Energy **I**nvestment **S**trategies And Long Term **E**mission **R**eduction **N**eeds

Strategien für Energie-Technologie-Investitionen und langfristige Anforderung zur Emissionsreduktion

EISERN

Projektendbericht

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020" durchgeführt.

Wien, November 2012

Andreas Müller, Christian Redl, Reinhard Haas
TU-Wien, Inst. f. Energiesysteme u. elektr. Antriebe

Andreas Türk, Lukas Liebmann, Karl W. Steininger
Wegener Zentrum für Klima und globalen Wandel

Tadej Brezina, Anna Mayerthaler, Josef M. Schopf
TU-Wien, Inst. f. Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Andreas Werner, Daniel Kreuzer, Armin Steiner
TU-Wien, Inst. f. Thermodynamik und Energiewandlung

Ursula Mollay, Wolfgang Neugebauer
Österreichisches Institut für Raumplanung

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung von Klima- und Energiefonds und Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch die FFG sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich

Inhaltsverzeichnis

I. Zusammenfassung VIII

1 Einleitung 1

1.1 Aufgabenstellung und Ziele der Studie 1

1.2 Schwerpunkte des Projektes 1

1.3 Einordnung in das Programm 1

1.4 Verwendete Methoden 2

1.5 Aufbau der Arbeit 2

2 Aktueller Diskurs im Bereich der Klimawandelforschung und die Auswirkungen auf ein 2°C-Erwärmungsziel: The sense of urgency 4

2.1 Zusammenhang zwischen atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und globalen Temperaturänderungen 4

2.2 Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Adaptions- und Vermeidungsmaßnahmen sowie zugehörige Kosten 7

2.2.1 Emissionsszenarien 7
2.2.2 Auswirkungen des Klimawandels in Österreich 8
2.2.3 Adaptions- und Vermeidungsmaßnahmen 10

2.3 Langfristige Stabilisierungs- bzw. Reduktionsszenarien und angekündigte Politikziele 14

2.3.1 Stabilisierungsszenarien 14

2.4 Stabilisierungsszenarien in EISERN 17

2.4.1 Vergleich der EISERN-Stabilisierungsszenarien auf europäischer Ebene 19
2.4.2 Schlussfolgerungen 22

3 Vorgaben für österreichische Emissionspfade in der langen Frist 24

3.1 Transregionale Emissionsszenarien und Pfade 24

3.2 Ergebnisse für Österreich 26

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse 27

4 Internationale Beispiele für Roadmaps bis 2050 28

4.1 Einleitung 28

4.2 EU communication: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 28

4.3 ECF-2050 Roadmap 36

4.4 Modell Deutschland 37

4.5 UK Low Carbon Transition plan 41
4.6 EU Energy Roadmap 43
4.7 Diskussion 47

5 Szenarien der Siedlungsentwicklung bis 2050 unter Berücksichtigung von bestehender Siedlungsstruktur und regionaler Bevölkerungsprognose 49

5.1 Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Energieverbrauch bzw. Energieeffizienz 49
5.2 Ausgangssituation – Die österreichische Siedlungsstruktur 2010 50
5.3 Bevölkerungsprognose 2010–2050 als Rahmenbedingung der Siedlungsentwicklung 54
5.4 Szenarien für die Siedlungsentwicklung – Annahmen zur Entwicklung auf Gemeindeebene 56
5.5 Siedlungspolitik – Raumordnungsinstrumente zur Lenkung der Siedlungstätigkeit 60
5.5.1 Ergebnisse aus den Szenarien zur Siedlungsentwicklung 64
5.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen 69
5.6.1 Qualitative Aspekte der Siedlungsentwicklung 69
5.6.2 Zeithorizont der Wirkung und Zwischenziele 70
5.6.3 Inhaltliche und räumliche Prioritäten 70

6 Verkehr 72

6.1 Aufgabe 72
6.2 Personenverkehr 72
6.2.1 Datengrundlage 72
6.2.2 Modell 72
6.3 Verknüpfung von MARS-Austria mit den Siedlungsszenarien und der Flottenentwicklung 74
6.4 Modelladaptionen 74
6.4.1 Elektroautos als eigenständiges Verkehrsmittel 74
6.4.2 Unterteilung des öffentlichen Verkehrs in zwei separate Modi 75
6.4.3 Vier (+1) Bezirkstypen 75
6.4.4 Bevölkerungsentwicklung, externe Vorgabe durch ÖIR 80
6.4.5 Modellkalibration 80
6.5 Grundszenarien 81
6.5.1 Szenariomatrix 81
6.5.2 Szenarienbeschreibung 83
6.5.3 Ergebnisse 89
6.5.4 Kurzexkurs Kostenfunktionen 92
6.6 Güterverkehr 94

6.6.1 Grundlage 94
6.6.2 Methode 96
6.6.3 Szenarien 99
6.6.4 Güterverkehrsaufwand (GVA) 99
6.6.5 Antriebstechnologie 100
6.6.6 Spezifische Emissionen 101
6.7 Ergebnisse 102
6.8 Gesamtergebnisse für den Personen- und Güterverkehr 104
6.9 Analyse der Wirkmächtigkeit der Raumplanungs- und Verkehrspolitikmaßnahmen 105
6.9.1 Maßnahmenpakete im Bereich der Verkehrspolitik 106
6.9.2 Ergebnisse der Sonderszenarien 107
6.10 Typische Umsetzungsdauern und Zeitvorläufe bei Maßnahmen im Verkehrsbereich 109
6.10.1 Beispiel: Mauten in Österreich 110
6.10.2 Beispiel: Kinderradhelmpflicht in Österreich 111
6.10.3 Beispiel: viergleisiger Westbahnausbau Asten – Linz Kleinmünchen 111
6.11 Empfehlungen 112
6.12 Conclusio: Politikempfehlungen im Bereich des Verkehr 113

7 Gebäude und elektrische Anwendungen 114

7.1 Einführung 114
7.2 Methodik 114
7.2.1 Berechnung von Energiebedarf und Energieeinsatz 114
7.2.2 Servicefaktor 115
7.3 Bestimmung des Maßnahmenzeitpunkts im Modell 116
7.4 Wärmebedarf in Gebäuden und dessen Deckung 119
7.4.1 Exogene Parameter in den Szenarien 119
7.4.2 Gebäudesimulationen 120
7.4.3 Exkurs: Langfristige Effekte von Sanierungsrate und Sanierungsqualität und der Einfluss des Rebound-Effektes 125
7.5 Elektrische Anwendungen im Gebäudesektor 129
7.5.1 Identifikation der Umsetzungshemmnisse von Stromsparpotenzialen und Strategien zu deren Überwindung 132
7.5.2 Sensitivitätsanalyse – Auswirkungen des Klimawandels: Die Nachfrage nach Klimatisierung 134
7.6 Schlussfolgerungen zu elektrischen Anwendungen 134
7.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen zum Energieverbrauch des Gebäudesektors 135

8 Eisen- / Stahl- und Zementindustrie 138

8.1 Mögliche Pfade zur CO_2-Emissionsreduktion in der Eisen- und Stahlerzeugung 138
8.1.1 Einleitung 138
8.1.2 Struktur der österreichischen Stahlindustrie 139
8.1.3 CO_2-arme Produktionstechnologien für die Eisen- und Stahlindustrie 143
8.1.4 Szenarien zur CO_2-Reduktion bis in das Jahr 2050 148
8.1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse 160
8.1.6 Ausblick 162
8.2 Mögliche Pfade zur CO_2-Emissionsreduktion in der Zementindustrie: 164
8.2.1 Einleitung 164
8.2.2 Ausgangslage 165
8.2.3 Emissionsprognose für die Zementindustrie 166
8.2.4 Gewählte Szenarien 168
8.2.5 Ergebnisse der Szenarien 169

9 Stromerzeugungssektor 172
9.1 Einführung und Methodik 172
9.1.1 Methodik 172
9.2 Exogene Parameter in den Szenarien 174
9.2.1 Simulationen zum Stromerzeugungsmix 177
9.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen Stromerzeugung 197

10 Gegenüberstellung von explorativen und normativen Emissionsszenarien 201
10.1 Einführung und Methodik 201
10.2 Notwendige versus mögliche Emissionspfade 201
10.3 Szenarien zu Nicht-CO_2-Treibhausgas-Emissionen 209
10.4 Diskussion und Schlussfolgerungen 211

11 Schlussfolgerungen und Handlungsoptionen 214

12 Ausblick 220

13 Literaturverzeichnis 221

14 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis 228

A. Anhang 237
A.1 Anhang Aktueller Diskurs im Bereich der Klimawandelforschung und die Auswirkungen auf ein 2°C-Erwärmungsziel 237
A.2 Anhang Siedlungsentwicklung bis 2050 unter Berücksichtigung von bestehender Siedlungsstruktur und regionaler Bevölkerungsprognose ... 239

A.3 Anhang Verkehr: Input für Szenarien 240
A.4 Anhang Wärmebedarf in Gebäuden und dessen Deckung 245

I. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie ist es, die zukünftigen Anforderungen an österreichische Treibhausgasemissionsreduktion auf Basis normativer, Top-down Ansätze zu ermitteln. Diese werden Bottom-up ermittelten Reduktionspotenzialen gegenübergestellt und daraus die Beiträge einzelner Energieverbrauchergruppen (bzw. Bereiche) bestimmt.

Die globalen Top-down bestimmten Emissionstrajektorien werden so bestimmt, dass diese mit globalen Temperaturstabilisierungsszenarien von +2, 2,5 und 3 °C konsistent sind. Daraus abgeleitet ergeben sich für Österreich bis 2050 normative Treibhausgas (THG)-Emissionsreduktionsvorgaben (gegenüber 1990) von 68 % (3°C-Ziel) bis 80 % (2°C-Ziel).

Die Analyse der Bottom-up Emissionsreduktionspotenziale wird für die Bereiche: Verkehr, Gebäude, Strom- und Wärmeerzeugung sowie die Industriesektoren Eisen- und Stahlerzeugung sowie Zementherstellung durchgeführt und damit 65 % der Emissionen von 2010 berücksichtigt.

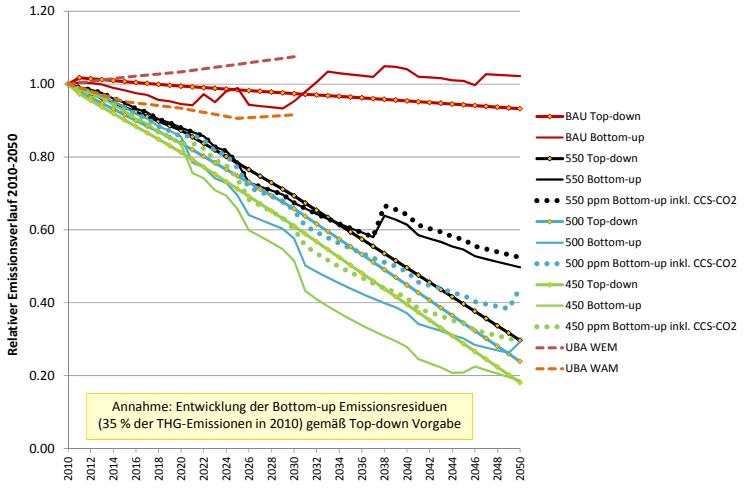


Abbildung 1. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN Szenarien sowie aktuelle Emissionstrends.

Die Ergebnisse zeigen, dass der aktuelle Treibhausgasreduktionspfad (BAU, UBA, 2011) im starken Gegensatz zu den Anforderungen steht. Gleichzeitig wird deutlich, dass **in allen Bereichen und Wirtschaftssektoren ein konsequentes Reduzieren von Treibhausgasen erforderlich ist**. Die hier aufgezeigten Reduktionspotenziale führen zu einer Verminderung der atmosphärischen[1] Emissionen bis 2050 von 40-85% bezogen auf den Stand von 2010. Werden die abgetrennten, zur Speicherung vorgesehenen CO_2-Emissionen in die Bilanz ebenfalls mit aufgenommen, liegen die erreichten Emissionsreduktionen bei etwa 35-55 % und erfüllen damit selbst im ambitioniertestem Fall Vorgaben eines 3°C-Zieles (550 ppmSzenario) nicht ganz. Dabei sei nochmals in Erinnerung gerufen, dass ein solches 55 % CO2-Reduktionsszenario bereits die (praktisch) vollständige Dekarbonisierung der Sektoren: Niedertemperatur-Wärmebereitstellung, Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie Personenverkehr unterstellt.

1 Nicht zur Speicherung abgetrennte CO_2-Emissionen

1 Einleitung

Politiken und darauf aufbauende Investitionen im Energiesystem werden zunehmend durch zukünftige Emissionsreduktionsverpflichtungen geprägt bzw. gesteuert. Dies hat für die zukünftige Entwicklung in Richtung eines hocheffizienten, emissionsarmen Energieversorgungssystems wesentliche Auswirkungen: Es werden massive Investitionen und der Aufbau von Humankapital nötig sein. Jetzt getätigte Investitionen beeinflussen das System langfristig. Daher, um teure lock-in Effekte und gestrandete bzw. Fehl-Investitionen zu vermeiden, müssen Politik und Entscheidungsträger diese in die erforderliche Richtung lenken.

Solche vorausschauenden Investitionsstrategien müssen einerseits Top-down abgeleitete Emissionspfade für Österreich, andererseits Bottom-up ermittelte Energieverbrauchs- und –aufbringungsszenarien und deren jeweilige Reduktionspotenziale berücksichtigen.

1.1 Aufgabenstellung und Ziele der Studie

Das ***erste Ziel dieser Studie*** ist es, die zukünftigen Anforderungen an österreichische Treibhausgasemissionsreduktion auf Basis normativer, Top-down Ansätze zu ermitteln. Dazu werden globale Energie- und Emissionsszenarien mittels verschiedener Ansätze der Lastenaufteilung in konsistente überregionale und österreichische Pfade übergeführt. ***Das zweite Ziel*** umfasst die Ermittlung zugehöriger Reduktionspotenziale von nachhaltigen Energie- und Transporttechnologien sowie entsprechender Investitionen. Dieser Schritt wird für die Sektoren Haushalt, Dienstleistung, Schlüsselindustrien, Energieerzeugung und Verkehr durchgeführt. Damit werden die Top-down ermittelten Emissionspfade Bottom-up Analysen von Reduktionsmöglichkeiten gegenübergestellt und dadurch der Beitrag der einzelnen Energieverbrauchergruppen (bzw. Bereiche) bestimmt. Zur Anwendung gelangen sektorale, kostengetriebene Simulationsmodelle.

Abschließend erlauben diese Analysen – unter Berücksichtigung künftiger Unsicherheiten – die Ableitung von Politikmaßnahmen und notwendigen Eckpfeilern einer zukünftigen langfristigen österreichischen Emissionsreduktions- und Energiestrategie. Diese Eckdaten einer langfristigen Strategie und entsprechende sektorale Effekte werden in die notwendigen politischen Diskussionen und Entscheidungen eingebracht.

1.2 Schwerpunkte des Projektes

Die Projektschwerpunkte liegen einerseits in der Analyse langfristig notwendiger Emissionsreduktionsvorgaben für Österreich, abgeleitet aus einem globalen Handlungsbedarf. Andererseits werden regionale, sektorspezifische Handlungsoptionen untersucht. Aus der daraus folgenden Synthese werden wissenschaftliche Grundlagen für einen möglichen energiepolitischen Diskurs um langfristige Emissionstrajektoren für Österreich erarbeitet.

1.3 Einordnung in das Programm

Das Programm „Neue Energie 2020" richtet sich an Projekte, die einen Beitrag zu einer langfristig nachhaltigen und sicheren Energieversorgung beitragen. Dabei stehen auch insbesondere die in den nächsten Jahrzehnten anstehenden deutlichen Veränderungen des bestehenden Energiesystems im Vordergrund. Das vorliegende Projekt EISERN, greift

diesen Aspekt direkt auf, indem es den Leitspruch: *„Think global, act local"* aufgreift. Die angesprochenen, notwendigen Veränderungen des Energiesystems ergeben sich aus einer globalen Sichtweise. Die erwartete Verknappung von fossilen Energieträgern lässt sich angesichts globaler Märkte nicht aus einer lokalen Betrachtung erklären. In selber Weise stellt sich das Problem des anthropogen verursachten Klimawandels dar. Ein, im Gegensatz zur Energieversorgung, Entsorgungsproblem ergibt sich aus der Summe der globalen menschlichen Aktivitäten. Dabei sind die verursachenden Akteure und die, von den Auswirkungen Betroffene in bisher beispiellosem Ausmaß sowohl räumlich wie auch zeitlich getrennt. Handlungen zur Erhöhung der Energieversorgungssicherheit bzw. Reduktion von Treibhausgasemissionen müssen jedoch, wenngleich auch unterstützt durch überregionale Rahmenbedingungen, auf lokaler Ebene gesetzt werden. Um monetär-ökonomische wie auch sozio-ökonomische negative Auswirkungen gering zu halten, bedarf es zunehmend Wissen um die lokale, sektorspezifische Umsetzbarkeit von langfristigen, aus globaler Sicht notwendigen, Treibhausgas-Emissionsreduktionspfaden. Im Projekt EISERN wurde in diesem Bereich Wissen generiert. Der vorliegende Endbericht sowie die zur Verfügung stehenden Teilberichte tragen dazu bei, die gewonnenen Erkenntnisse zu dokumentieren und zu verbreiten und können eine wertvolle Grundlage eines möglichen energiepolitischen Diskurses um eine langfristige Ausrichtung der Energieversorgung und Emissionsreduktionspfade in und für Österreich darstellen.

1.4 Verwendete Methoden

Die Ergebnisse des Projekts EISERN ergeben sich aus der Integration von zwei methodischen Ansätzen. Im ersten Teil der Studie sind in einem Top-down Ansatz normative Treibhausgasemissions-Szenarien aus globalen bzw. überregionalen Szenarien für Österreich erstellt worden. Dazu wurden im Wesentlichen unterschiedliche Target-sharing Methoden bzw. deren Ergebnisse angewendet und verglichen.

Im zweiten Teil der Studie kamen mehrere sektorspezifische Bottom-up Modelle zum Einsatz. Mit diesen Modellen wurden die Bereiche der Raumordnung, Verkehrsnachfrage und Flottenentwicklung, die Energienachfrage zur Raumkonditionierung sowie die Stromerzeugung abgebildet. Mit Ausnahme des Modells zur Raumordnung handelt es sich bei den skizzierten Modellen um sozio-ökonomisch getriebene Modelle. Im Bereich der Industrie wurden die Schlüsselsektoren Zementherstellung sowie die Eisen- und Stahlindustrie auf Basis von technologischen Möglichkeiten hinsichtlich ihrer Treibhausgasemissions-Reduktionspotenziale untersucht. Der Stromverbrauch von elektrischen Anwendungen wurde auf Basis verfügbarer Literatur, allen voran das ebenfalls im Rahmen des Klima- und Energiefonds geförderten PotEta-Projektes, fortgeschrieben. Die Entwicklung der normativen Emissionspfade für die restlichen Industriesektoren sowie der Nicht-CO_2 Emissionen wurden den Ergebnissen der auf Bottom-up Modellen basierten Studien Winiwarter et al. (2008) und Krutzler et al. (2011) gegenübergestellt. Daraus wurden für diese Bereiche Aussagen getroffen. Für die zur energetischen Verwendung zur Verfügung stehenden Biomassefraktionen wurde auf die Projektergebnisse von Kranzl et al. (2008) und Kalt et al. (2010) zurückgegriffen.

1.5 Aufbau der Arbeit

Zunächst wird im Bericht in Kapitel 2 eine Darstellung des Diskurses im Bereich der Klimawandelforschung gegeben. Es wird der gegenwärtige Stand-des-Wissens

hinsichtlich Klimawandel und dessen Auswirkungen übersichtlich aufbereitet, sowie das angepeilte 2°C-Erwärmungsziel aufgegriffen. Dazu wird die Rolle der notwendigen Adaptions- und Vermeidungsmaßnahmen, sowohl auf globaler als auch regionaler Ebene wiedergegeben.

Im nachfolgenden Kapitel 3 werden globale bzw. EU-weite Emissionsreduktionsvorgaben mittels Targetsharing-Ansätzen auf Österreich heruntergebrochen. Das Kapitel 3 zeigt die wichtigsten Ergebnisse dieser Analyse, die detaillierte Beschreibung der Methoden und Erkenntnisse werden im Teilbericht zu Arbeitspaket 2: „Vorgaben für österreichische Emissionspfade in der langen Frist" (Liebmann et al., 2012), der ebenfalls verfügbar ist, dokumentiert. In Kapitel 4 wird ein Überblick über internationale Beispiele für 2050 Roadmaps geliefert.

Kapitel 5 untersucht mögliche Entwicklungen im Bereich der Raumplanung. Diese stellen in weiterer Folge die Grundlage für die Bottom-up Modellierung des Verkehrssektors und dessen Transportaufkommen (Kapitel 6) und der Flächenentwicklungen im Gebäudebereich (Kapitel 7) dar. In den beiden letztgenannten Teilen werden die Ergebnisse der Bottom-up Modellierung des Verkehrssektors, der Raumwärmeentwicklung sowie des Stromverbrauches aufbereitet.

Die technologischen Möglichkeiten der Treibhausgasemissionsreduktionen der Eisen- und Stahlerzeugung sowie der Zementherstellung, beides Schlüsselindustriesektoren in Österreich, werden in Kapitel 8 aufgezeigt.

Kapitel 9 fasst den Stromverbrauch der gesamten Sektoren zusammen und untersucht die mögliche Stromaufbringung nach Energieträgern bzw. Technologien.

Kapitel 10 stellt schließlich die normativen Top-down Szenarien den explorativen Bottom-up Szenarien gegenüber. Daraus werden Schlussfolgerungen für Handlungsoptionen, die mit langfristigen Klimaschutzzielen im Einklang sind, abgeleitet und in Kapitel 11 dargestellt.

2 Aktueller Diskurs im Bereich der Klimawandelforschung und die Auswirkungen auf ein 2°C-Erwärmungsziel: The sense of urgency

Der Ausgangspunkt der Analyse in diesem Kapitel ist eine Diskussion des aktuellen Stands der Klimawandelforschung und der Rolle von notwendigen Adaptions- und Vermeidungsmaßnahmen. Aktuelles Wissen zum Zusammenhang zwischen globalen Temperaturanstiegen und Treibhausgaskonzentrationen wird vorgestellt, wobei besonderes Augenmerk auf die Rolle von Unsicherheiten und Konfidenzintervallen gelegt wird.

Um den Temperaturanstieg auf 2 °C zu begrenzen, darf die atmosphärische Treibhausgaskonzentration ca. 450 ppm CO_2-eq nicht überschreiten. Klimamodelle überführen das Temperaturziel schließlich in dynamische Treibhausgas-(THG)-Emissionsszenarien. Im Folgenden werden einige globale und trans-regionale (Europa, EU) Szenarien vorgestellt, in denen konsistente Pfade von Energieverbrauch und -aufbringung, verfügbare Technologien und notwendige CO_2-Emissionsreduktionen simuliert wurden, um globale Klimaziele zu erreichen. Darauf aufbauende Szenarien für österreichische THG-Emissionspfade werden im Rahmen der Diskussion von Target Sharing Ansätzen im Berichtsteil zu Arbeitspaket 2 erstellt. Konkret fasst dieses Kapitel den aktuellen Stand der Klimawandelforschung für folgende Bereiche fokussiert zusammen:

- Zusammenhang zwischen Treibhausgasemissionen, atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und globalen Temperaturänderungen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Konfidenzintervallen
- Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Adaptions- und Vermeidungsmaßnahmen sowie zugehörige Kosten
- Langfristige Stabilisierungs- bzw. Reduktionsszenarien im Vergleich zu Business-as-usual-Entwicklungen und angekündigte Politikziele

2.1 Zusammenhang zwischen atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und globalen Temperaturänderungen

Der aktuelle *4. Assessment Report* des IPCC spricht von einer eindeutigen nachweisbaren Klimaerwärmung aufgrund ausreichender Beobachtungen zu steigenden globalen Luft- und Meeresdurchschnittstemperaturen, Schnee- und Eisschmelzen sowie eines globalen Meeresspiegelanstiegs. Elf der zwölf Jahre von 1995 bis 2006 zählten zu den wärmsten zwölf Jahren seit Messungen der globalen Temperatur vorliegen (1850). Der lineare Trend des Temperaturanstieges der Jahre 1906 bis 2005 beträgt 0,74 °C (Konfidenzintervall 0,56 bis 0,92 °C)[2], wobei der Anstieg in den nördlichen Breitengraden größer ist.[3] Der Meeresspiegel ist im globalen Durchschnitt der Jahre 1961 bis 2003 um 1,8 mm/Jahr (Konfidenzintervall 1,3 bis 2,3 mm) angestiegen, wobei sich der Anstieg in

2 Alle angegebenen Konfidenzintervalle verstehen sich als 90 %ige Wahrscheinlichkeitsintervalle.

3 Ebenso ist der Anstieg kontinentaler Regionen höher als über den Weltmeeren.

den letzten 15 Jahren verstärkt hat.[4] Schließlich ist der Anteil der eisbedeckten Fläche auf der nördlichen Halbkugel um 7 % seit 1990 zurückgegangen (IPCC, 2007). Abbildung 2-1. fasst diese Entwicklungen graphisch zusammen.

Abbildung 2-2. zeigt die Entwicklung der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen in Gt CO_2-eq/Jahr für die von der UN Klimarahmenkonvention (UNFCCC) erfassten Treibhausgase.[5] Die Emissionen sind von 1970 bis 2004 um 70 % gestiegen, wobei CO_2-Emissionen einen Anteil von ca. 80 % der Gesamtemissionen des Jahres 2004 ausmachen. Die entwickelten Länder (Annex I der UNFCCC), in denen 20 % der Weltbevölkerung leben, waren 2004 für 46 % der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Die atmosphärischen Konzentrationen von CO_2 und CH_4 übersteigen bei weitem die natürlichen Schwankungen der letzten 650.000 Jahre und es gilt als sehr wahrscheinlich, dass der anthropogene Effekt eine Erwärmung zur Folge hat. Dieser zusätzliche Strahlungsantrieb (zusätzliche Energiemenge) beträgt seit 1750 1,6 W/m^2 (Konfidenzintervall 0,6 bis 2,4 W/m^2) (IPCC, 2007).

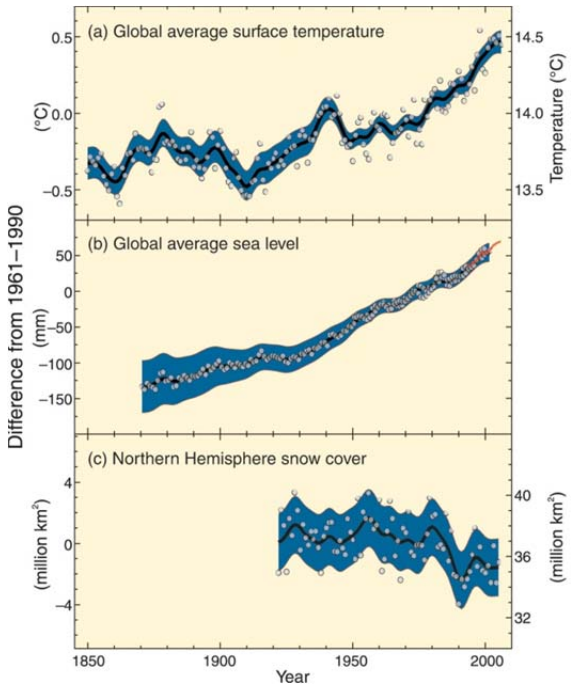


Abbildung 2-1. Beobachtete Änderungen der globalen Oberflächendurchschnittstemperatur (oberes Panel), des globalen durchschnittlichen Meeresspiegels (mittleres Panel), und der Schneebedeckung auf der Nordhalbkugel (März-April, unteres Panel).
(Quelle: IPCC, 2007)

4 Ca. 2/3 dieses Anstiegs sind auf die thermische Expansion der Ozeane zurückzuführen. Der restliche Anstieg verteilt sich auf das Abschmelzen der Gletscher sowie der polaren Eiskappen.

5 Die Klimarahmenkonvention umfasst die Gase CO_2 (Kohlendioxid), CH_4 (Methan), N_2O (Distickstoffoxid), HFCs (Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe), PFCs (Perfluorierte Kohlenwasserstoffe), sowie SF_6 (Schwefelhexafluorid).

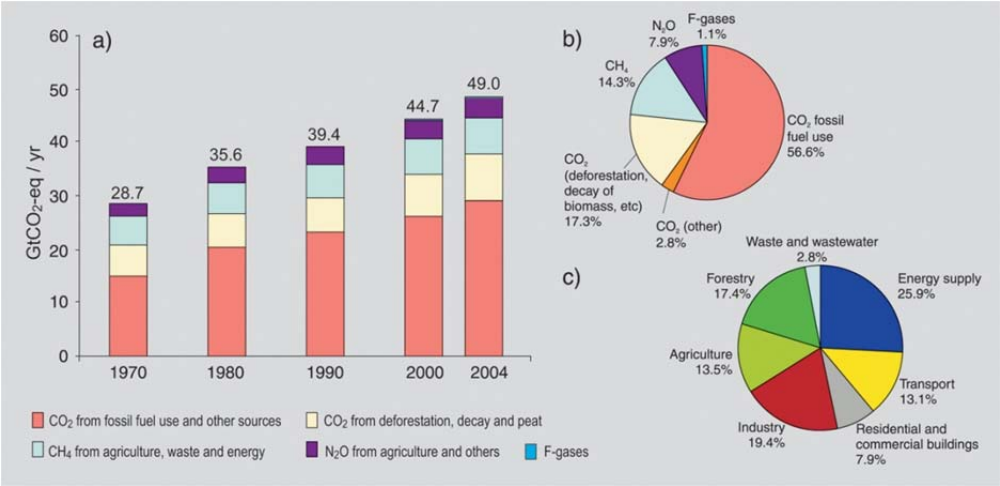


Abbildung 2-2. Entwicklung der jährlichen globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen von 1970-2004 (links) sowie Aufteilung der Emissionen des Jahres 2004 nach Treibhausgasen und Sektoren.
(Quelle: IPCC, 2007)

Im Einklang mit dem überwiegenden Anteil von CO_2 an den gesamten anthropogenen Treibhausgasemissionen ist auch der energetische Strahlungsantrieb von CO_2 am größten. Abbildung 2-3. zeigt die entsprechenden Größenordnungen diverser anthropogener Strahlungsantriebe (teils energiezuführend, teils energieabführend) sowie den solaren Strahlungseffekt.

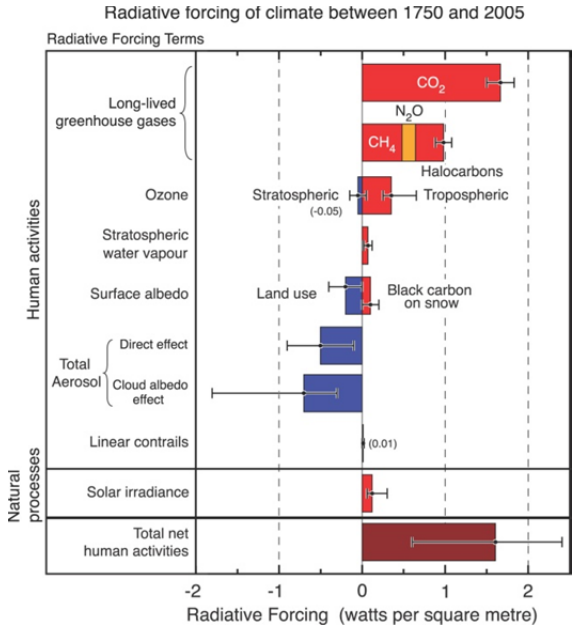


Abbildung 2-3. Beitrag von anthropogenen und natürlichen Aktivitäten zum Strahlungsantrieb und resultierender anthropogener Nettoeffekt.
(Quelle: IPCC, 2007)

Die beobachteten weltweiten Temperaturanstiege werden unter der Berücksichtigung des zusätzlichen anthropogenen Energieinputs durch Klimamodelle besser simuliert als unter alleiniger Berücksichtigung von natürlichen Strahlungsantrieben (IPCC, 2007). Abbildung 2-4. verdeutlicht dieses Resultat.

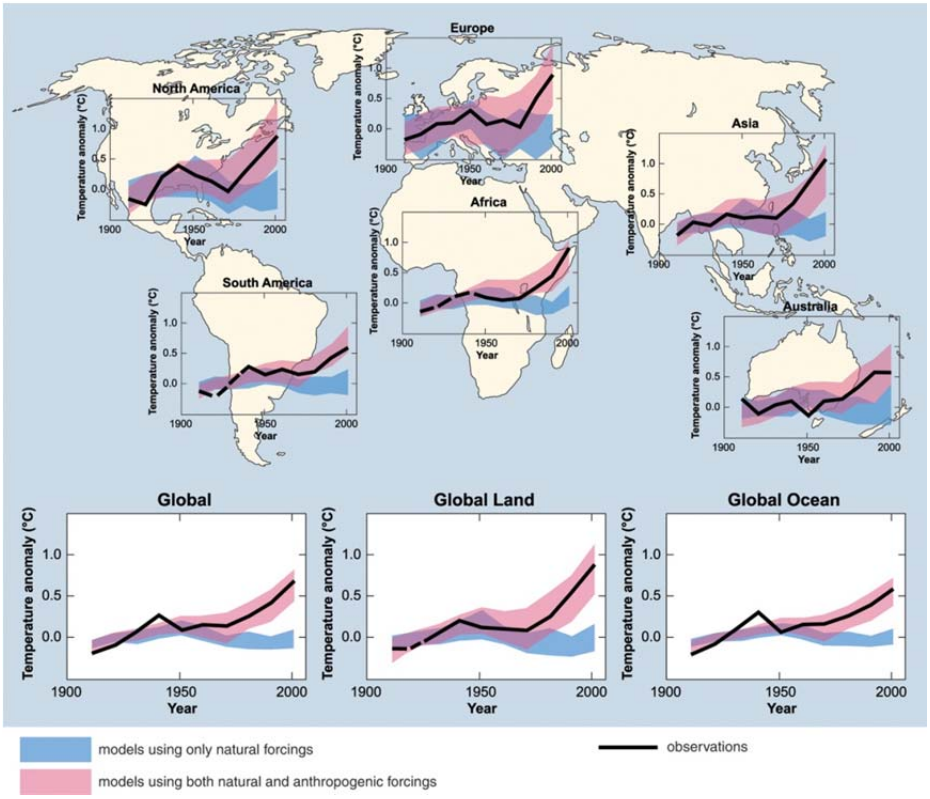
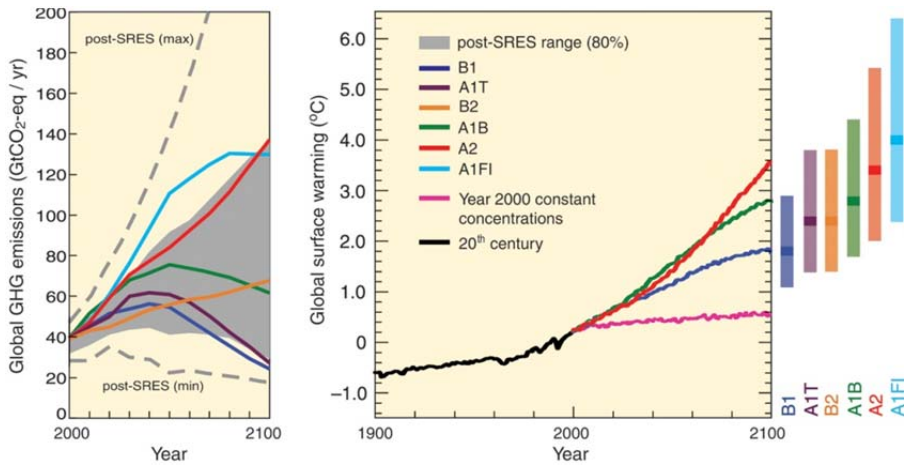


Abbildung 2-4. Vergleich von beobachteten und simulierten Temperaturänderungen unter Berücksichtigung natürlicher Strahlungseffekte (blau) und natürlicher und anthropogener Effekte (rosa). Das blaue Band ist das 90 % Wahrscheinlichkeitsintervall aus 19 Simulationen von fünf Klimamodellen. Das rosa Band ist das 90 % Wahrscheinlichkeitsintervall aus 58 Simulationen von 14 Klimamodellen. (Quelle: IPCC, 2007)

2.2 Auswirkungen des Klimawandels und mögliche Adaptions- und Vermeidungsmaßnahmen sowie zugehörige Kosten

2.2.1 Emissionsszenarien

Abbildung 2-5. zeigt die Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen für ausgewählte Szenarien und entsprechende Temperaturänderungen. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in den demographischen, ökonomischen und technischen Treibern und führen somit zu verschiedenen Emissionstrajektorien. Für die nächsten beiden Dekaden unterscheiden sich die Temperaturänderungen kaum zwischen den Szenarien. Sie liegen bei ca. 0,2 °C/Dekade. Langfristig ist die Bandbreite der Temperaturerhöhung im B1-Szenario am geringsten (1,1 bis 2,9 °C im Durchschnitt 2090-2099 im Vergleich zu 1980-1999) und im A2- und A1FI-Szenario am höchsten (jeweils plus 2-5,4 °C bzw. plus 2,4-6,4 °C). Diese Unterschiede werden durch verschiedene Emissionstrajektorien verursacht. Im B1-Szenario erreichen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 ihren Spitzenwert (ca. 55 Gt CO_2-eq) und fallen bis 2100 auf ca. 30 Gt CO_2-eq. Im A2-Szenario steigen die Emissionen kontinuierlich von 40 Gt CO_2-eq im Jahr 2000 auf ca. 140 Gt CO_2-eq im Jahr 2100 (IPCC, 2007).



Case	Temperature change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) [a, d]		Sea level rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	*Likely* range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant year 2000 concentrations[b]	0.6	0.3 – 0.9	Not available
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Notes:
a) These estimates are assessed from a hierarchy of models that encompass a simple climate model, several Earth Models of Intermediate Complexity, and a large number of Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCMs) as well as observational constraints.
b) Year 2000 constant composition is derived from AOGCMs only.
c) All scenarios above are six SRES marker scenarios. Approximate CO_2-eq concentrations corresponding to the computed radiative forcing due to anthropogenic GHGs and aerosols in 2100 (see p. 823 of the WGI TAR) for the SRES B1, AIT, B2, A1B, A2 and A1FI illustrative marker scenarios are about 600, 700, 800, 850, 1250 and 1550ppm, respectively.
d) Temperature changes are expressed as the difference from the period 1980-1999. To express the change relative to the period 1850-1899 add 0.5°C.

Abbildung 2-5. Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen in unterschiedlichen Szenarien und entsprechende Temperaturänderungen im Vergleich zum Durchschnitt 1980-1999 (oben rechts) in den SRES-Szenarien. Die Tabelle gibt neben den wahrscheinlichen Temperaturbereichen (66 %) auch Abschätzungen zum Meeresspiegelanstieg wieder.
(Quelle: IPCC, 2007)

2.2.2 Auswirkungen des Klimawandels in Österreich

Im Rahmen des Forschungsprojekts KlimAdapt[6] wurden unter anderem die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor in Österreich bis 2050 untersucht. Im Folgenden folgt eine Zusammenfassung der klimatologischen Ergebnisse. Dazu wurden globale bzw. überregionale Klimaszenarien verfeinert und in einem 1x1 km Raster für Österreich aufbereitet. Alle Szenarien in dem Projekt nahmen Bezug auf die bereits erwähnten IPCC-Szenarien A2, B1 und A1B (Kranzl et al., 2010).

In Abbildung 2-6. sind die gemittelten Ergebnisse von REMO-UBA (Jacob et al., 2008) für das ganze 21. Jahrhundert und die drei Emissionsszenarien B1, A1B und A2 gemittelt über Österreich dargestellt. Bei den Emissionsszenarien handelt es sich, wie oben bereits erwähnt, um verschiedene Annahmen, wie sich die Treibhausgaskonzentration im 21. Jahrhundert entwickeln wird. B1 ist hierbei ein optimistisches, A1B ein realistisches und A2 ein fatalistisches Szenario. Bei der Temperatur zeigen alle drei Szenarien einen Anstieg, wobei das A1B- und das A2-Szenario sehr ähnlich sind und bis zum Ende des Jahrhunderts einen Temperaturanstieg von mehr als 3 °C ergeben, beim B1-Szenario

6 Energie der Zukunft Projekt „KlimAdapt: Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel“ (Kranzl et al., 2010).

beträgt der Anstieg hingegen nur knapp 2 °C Grad. Bei der Jahresniederschlagssumme zeigen alle drei Szenarien keinen Trend, die Modelle zeigen jedoch Schwankungen auf dekadischer Zeitskala von einigen Prozent. Insgesamt ist der Temperaturanstieg im Regionalen Klimamodell (RCM) um etwa ein Grad geringer als im globalen Klimamodell, das den Rahmen und die Einbettung für dieses regionale Modell vorgibt (es „antreibt"). Grund könnte die realistischere Niederschlagsmodellierung im Alpenraum im RCM sein. Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung zeigt dieses Modell durchaus plausible räumliche Strukturen bei den Szenarien (Abbildung 2-7.). Der Temperaturanstieg ist ziemlich homogen, wobei die Erwärmung im Süden und Westen von Österreich etwas höher ist als im Norden und Osten. Beim Niederschlag zeigt sich eine Niederschlagszunahme am östlichen Alpenhauptkamm bis ins Wiener Becken und im Mühl- und Waldviertel. Der Westen und Süden Österreichs zeigt hingegen eher eine Niederschlagsabnahme (Kranzl et al., 2010).

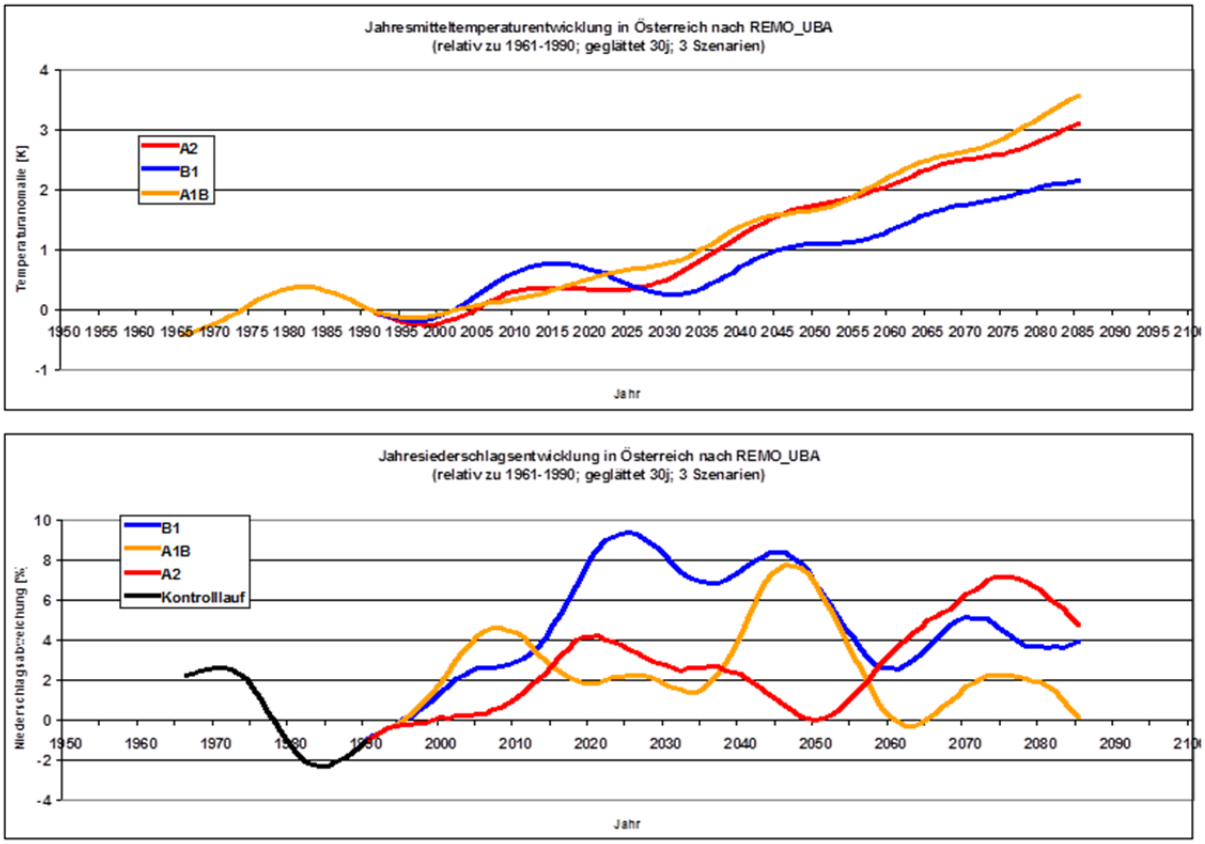
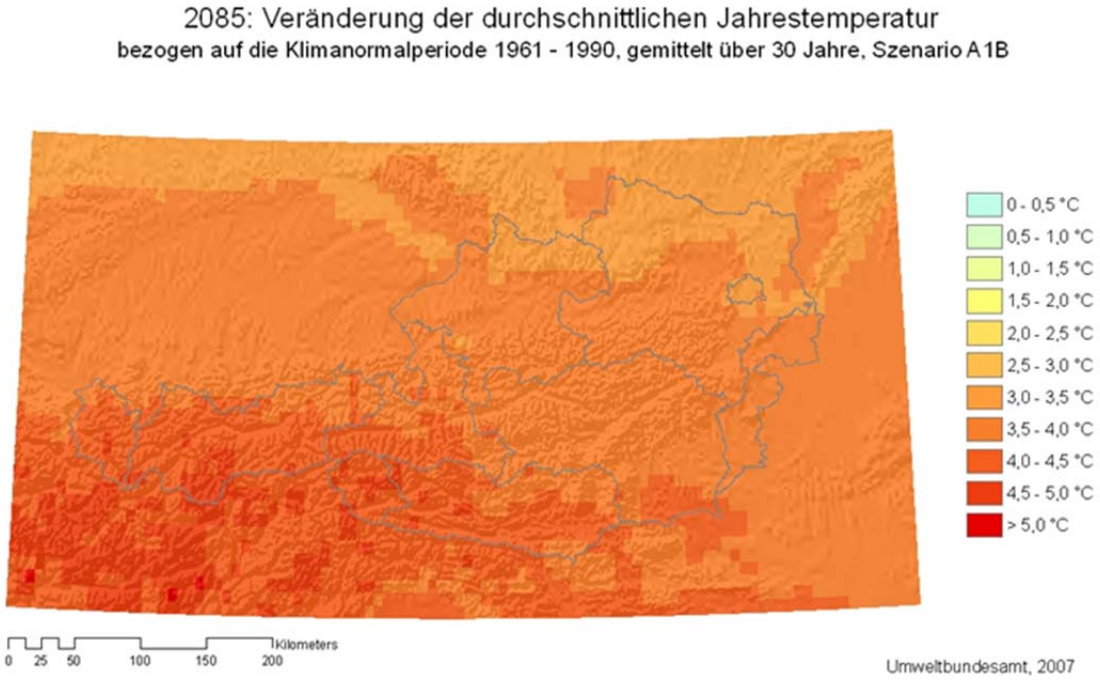


Abbildung 2-6. Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100 (oben) und Entwicklung der Jahresniederschlagssumme (relativ zu 1961-1990) in Österreich nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100 (unten).
(Quelle: Kranzl et al., 2010)



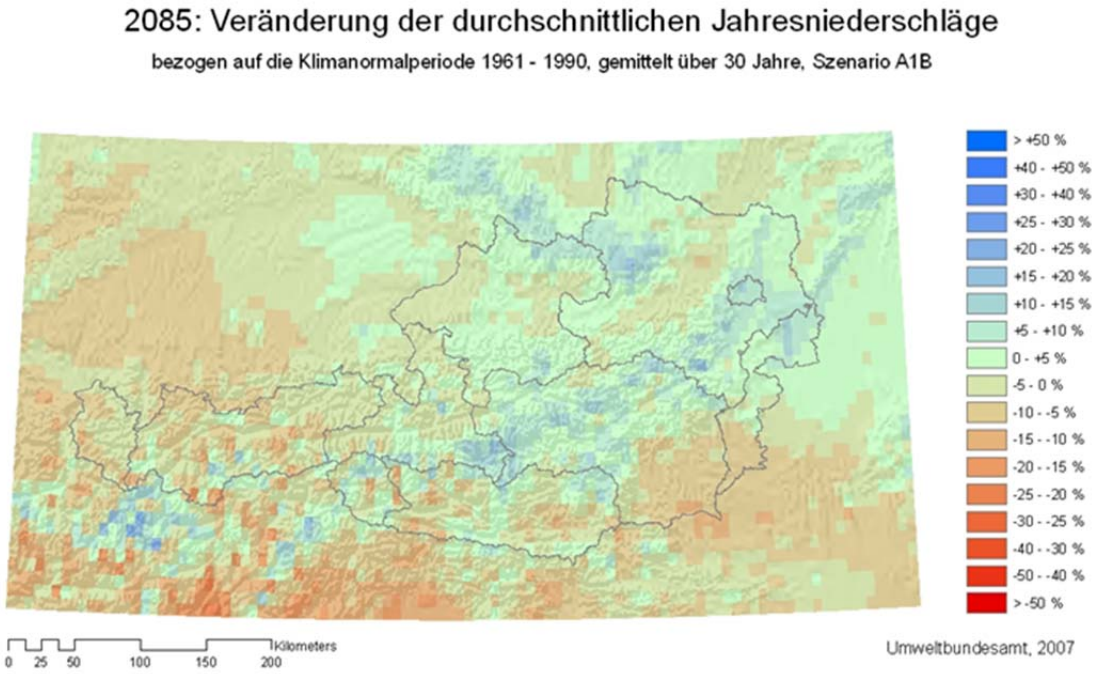


Abbildung 2-7. Änderung der Jahresmitteltemperatur in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach dem A1B-Szenario des RCM REMO-UBA für die Periode 2071-2100 (oben) und Änderung der Jahresniederschlagssumme in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach dem A1B-Szenario des RCM REMO-UBA für die Periode 2071-2100 (unten). (Quelle: Kranzl et. al, 2010; Umweltbundesamt, 2007)

2.2.3 Adaptions- und Vermeidungsmaßnahmen

Die Adaptions- bzw. Mitigationsfähigkeit einer Volkswirtschaft hängt von sozio-ökonomischen und ökologischen Verhältnissen sowie der Verfügbarkeit von Informationen und Technologien ab (IPCC, 2007). Allgemeine Aussagen sind daher nur

aggregiert möglich. Aussagen zur spezifischen Durchdringung von Technologien sind nur szenarienspezifisch möglich (siehe die sektoralen Bottom-up Analysen in den einzelnen EISERN-Szenarien im Berichtsteil zu Arbeitspaket 3). Nichtsdestotrotz wird im Folgenden ein allgemeiner Überblick über weltweit geplante Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen sowie die Bandbreite der Vermeidungskosten gegeben.

Abbildung 2-8. zeigt ausgewählte geplante Adaptionsmaßnahmen für die Sektoren Wasser, Landwirtschaft, Siedlungsinfrastrukturen, Gesundheit, Tourismus, Verkehr und Energie. Die Maßnahmen stoßen auf eine Vielzahl von Umsetzungshemmnissen, zeichnen sich allerdings auch durch Chancen und entsprechende Zusatznutzen aus („double dividends"). Zur Implementierung sind entsprechende politische Rahmenbedingungen zwingend notwendig.

Sector	Adaptation option/strategy	Underlying policy framework	Key constraints and opportunities to implementation (Normal font = constraints; *Italics = opportunities*)
Water {WGII, 5.5, 16.4; Tables 3.5, 11.6,17.1}	Expanded rainwater harvesting; water storage and conservation techniques; water reuse; desalination; water-use and irrigation efficiency	National water policies and integrated water resources management; water-related hazards management	Financial, human resources and physical barriers; *integrated water resources management; synergies with other sectors*
Agriculture {WGII 10.5, 13.5; Table 10.8}	Adjustment of planting dates and crop variety; crop relocation; improved land management, e.g. erosion control and soil protection through tree planting	R&D policies; institutional reform; land tenure and land reform; training; capacity building; crop insurance; financial incentives, e.g. subsidies and tax credits	Technological and financial constraints; access to new varieties; markets; *longer growing season in higher latitudes; revenues from 'new' products*
Infrastructure/ settlement (including coastal zones) {WGII 3.6, 11.4; Tables 6.11, 17.1}	Relocation; seawalls and storm surge barriers; dune reinforcement; land acquisition and creation of marshlands/wetlands as buffer against sea level rise and flooding; protection of existing natural barriers	Standards and regulations that integrate climate change considerations into design; land-use policies; building codes; insurance	Financial and technological barriers; availability of relocation space; *integrated policies and management; synergies with sustainable development goals*
Human health {WGII 14.5, Table 10.8}	Heat-health action plans; emergency medical services; improved climate-sensitive disease surveillance and control; safe water and improved sanitation	Public health policies that recognise climate risk; strengthen health services; regional and international cooperation	Limits to human tolerance (vulnerable groups); knowledge limitations; financial capacity; *upgraded health services; improved quality of life*
Tourism {WGII 12.5, 15.5, 17.5; Table 17.1}	Diversification of tourism attractions and revenues; shifting ski slopes to higher altitudes and glaciers; artificial snow-making	Integrated planning (e.g. carrying capacity; linkages with other sectors); financial incentives, e.g. subsidies and tax credits	Appeal/marketing of new attractions; financial and logistical challenges; potential adverse impact on other sectors (e.g. artificial snow-making may increase energy use); *revenues from 'new' attractions; involvement of wider group of stakeholders*
Transport {WGII 7.6, 17.2}	Realignment/relocation; design standards and planning for roads, rail and other infrastructure to cope with warming and drainage	Integrating climate change considerations into national transport policy; investment in R&D for special situations, e.g. permafrost areas	Financial and technological barriers; availability of less vulnerable routes; *improved technologies and integration with key sectors (e.g. energy)*
Energy {WGII 7.4, 16.2}	Strengthening of overhead transmission and distribution infrastructure; underground cabling for utilities; energy efficiency; use of renewable sources; reduced dependence on single sources of energy	National energy policies, regulations, and fiscal and financial incentives to encourage use of alternative sources; incorporating climate change in design standards	Access to viable alternatives; financial and technological barriers; acceptance of new technologies; *stimulation of new technologies; use of local resources*

Note:
Other examples from many sectors would include early warning systems.

Abbildung 2-8. Ausgewählte Beispiele geplanter Adaptionsmaßnahmen. (Quelle: IPCC, 2007)

Sowohl Bottom-up als auch Top-down Studien liefern (unter Berücksichtigung volkswirtschaftlicher Diskontraten) ein hohes ökonomisches Potenzial für Vermeidungsmaßnahmen und entsprechende Treibhausgasemissionsreduktionen. Diese könnten die prognostizierten Zuwächse für viele von IPCC analysierte Emissionsszenarien mehr als kompensieren (IPCC, 2007). Abbildung 2-9. zeigt die Potenziale auf globaler und sektoraler Ebene. Das ökonomische Potenzial kann nur durch entsprechende Politiken und das Beseitigen von Barrieren gehoben werden. Das im Unterschied zum ökonomischen Potenzial reduzierte Marktpotenzial (unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Diskontraten) kann für negative Vermeidungskosten durch das Beseitigen

von Umsetzungsbarrieren vergrößert werden. Mit steigenden CO_2-Preisen steigen die Wirtschaftlichkeit von Vermeidungsmaßnahmen und damit das wirtschaftlich realisierbare Reduktionspotenzial. Abbildung 2-9. zeigt, dass mit CO_2-Preisen kleiner 100 \$/t CO_2-eq bis zu 30 Gt CO_2-eq wirtschaftlich reduziert werden können. Dies entspricht den erwarteten Zuwächsen im A2-Szenario bis 2030 (IPCC, 2007).

Die sektoralen Beiträge unterscheiden sich dabei erheblich (siehe Abbildung 2-9. unten). In allen Sektoren kann ein Großteil der Potenziale kostengünstig gehoben werden. In den Bereichen Verkehr, Gebäude und Abfall liegen mit steigenden CO_2-Preisen allerdings kaum zusätzliche Reduktionsmöglichkeiten mehr vor. Im Fall strikter Reduktionsziele (und damit hoher CO_2-Preise) müssen daher zusätzliche Reduktionen hauptsächlich in den Sektoren Energieversorgung, Industrie, sowie Land- und Forstwirtschaft realisiert werden.

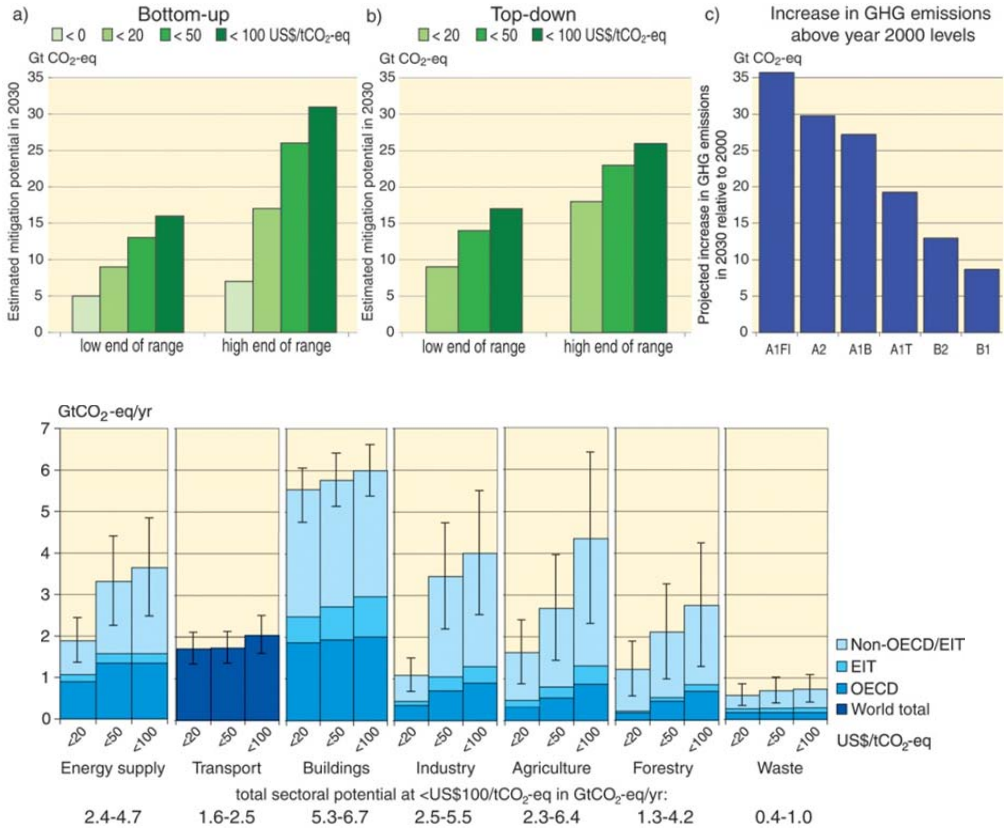


Abbildung 2-9. Globales ökonomisches Treibhausgasemissionsreduktionspotenzial bis 2030 und Zuwächse gegenüber 2000 (oben) sowie sektorale Aufteilung des Potenzials aus Bottom-up Studien. Potenziale nichttechnischer Natur (Verhaltensänderungen etc.) sind in den dargestellten Potenzialen nicht enthalten.
(Quelle: IPCC, 2007)

Unsicherheiten bestehen im Bereich des zu erwartenden Effekts von Produktionsverlagerungen ins (klimapolitikfreie) Ausland. Bandbreiten reichen -14 bis +130 %, wobei die meisten Studien für die zentralen Ergebnisse die engere Bandbreite im Bereich 5 bis 20 % angeben (IPCC, 2007; Böhringer et al., 2012), jüngst aber insbesondere durch zusätzlicher Berücksichtigung von Prozess-Emissionen tendenziell leicht höhere Werte (Bednar-Friedl et al., 2012). Die Europäische Union hat in ihren Politiken mögliche Abwanderungsentwicklungen allerdings berücksichtigt. Innerhalb des europäischen Emissionshandelssystems (EU-ETS) gibt es für Industriezweige, die sich in

einem globalen Marktumfeld bewegen, eine Reihe von Ausnahmen. So müssen auch bis 2020 im Industriesektor ein Großteil der CO_2-Zertifikate der betroffenen Unternehmen nicht ersteigert werden, sondern werden wie bisher gratis allokiert (EC, 2009).

Abschließend zeigt Abbildung 2-10. einen Überblick über bestehende und bis 2030 marktreif werdende Vermeidungsmaßnahmen. Zusätzlich erfolgen eine Nennung international erfolgreich implementierter Politiken zur Realisation dieser Vermeidungsmaßnahmen sowie verbundene Hemmnisse bzw. Restriktionen sowie verbundene Chancen und (Markt-)Möglichkeiten. Viele Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen zeigen gegenseitige Synergien (z. B. Energieeffizienzmaßnahmen, Nutzung von Bioenergie etc.), andere Maßnahmen müssen allerdings gegeneinander abgewogen werden (z. B. zusätzliche CO_2-Emissionen aufgrund erhöhter Klimatisierung) (IPCC, 2007).

Sector	Key mitigation technologies and practices currently commercially available. *Key mitigation technologies and practices projected to be commercialised before 2030 shown in italics.*	Policies, measures and instruments shown to be environmentally effective	Key constraints or opportunities (Normal font = constraints; *Italics = opportunities*)
Energy Supply (WGIII 4.3, 4.4)	Improved supply and distribution efficiency; fuel switching from coal to gas; nuclear power; renewable heat and power (hydropower, solar, wind, geothermal and bioenergy); combined heat and power; early applications of carbon dioxide capture and storage (CCS) (e.g. storage of removed CO_2 from natural gas); *CCS for gas, biomass and coal-fired electricity generating facilities; advanced nuclear power; advanced renewable energy, including tidal and wave energy, concentrating solar, and solar photovoltaics*	Reduction of fossil fuel subsidies; taxes or carbon charges on fossil fuels	Resistance by vested interests may make them difficult to implement
		Feed-in tariffs for renewable energy technologies; renewable energy obligations; producer subsidies	*May be appropriate to create markets for low-emissions technologies*
Transport (WGIII 5.4)	More fuel-efficient vehicles; hybrid vehicles; cleaner diesel vehicles; biofuels; modal shifts from road transport to rail and public transport systems; non-motorised transport (cycling, walking); land-use and transport planning; *second generation biofuels; higher efficiency aircraft; advanced electric and hybrid vehicles with more powerful and reliable batteries*	Mandatory fuel economy; biofuel blending and CO_2 standards for road transport	Partial coverage of vehicle fleet may limit effectiveness
		Taxes on vehicle purchase, registration, use and motor fuels; road and parking pricing	Effectiveness may drop with higher incomes
		Influence mobility needs through land-use regulations and infrastructure planning; investment in attractive public transport facilities and non-motorised forms of transport	*Particularly appropriate for countries that are building up their transportation systems*
Buildings (WGIII 6.5)	Efficient lighting and daylighting; more efficient electrical appliances and heating and cooling devices; improved cook stoves, improved insulation; passive and active solar design for heating and cooling; alternative refrigeration fluids, recovery and recycling of fluorinated gases; *integrated design of commercial buildings including technologies, such as intelligent meters that provide feedback and control; solar photovoltaics integrated in buildings*	Appliance standards and labelling	Periodic revision of standards needed
		Building codes and certification	*Attractive for new buildings.* Enforcement can be difficult
		Demand-side management programmes	Need for regulations so that utilities may profit
		Public sector leadership programmes, including procurement	*Government purchasing can expand demand for energy-efficient products*
		Incentives for energy service companies (ESCOs)	*Success factor: Access to third party financing*
Industry (WGIII 7.5)	More efficient end-use electrical equipment; heat and power recovery; material recycling and substitution; control of non-CO_2 gas emissions; and a wide array of process-specific technologies; *advanced energy efficiency; CCS for cement, ammonia, and iron manufacture; inert electrodes for aluminium manufacture*	Provision of benchmark information; performance standards; subsidies; tax credits	*May be appropriate to stimulate technology uptake.* Stability of national policy important in view of international competitiveness
		Tradable permits	Predictable allocation mechanisms and stable price signals important for investments
		Voluntary agreements	Success factors include: clear targets, a baseline scenario, third-party involvement in design and review and formal provisions of monitoring, close cooperation between government and industry
Agriculture (WGIII 8.4)	Improved crop and grazing land management to increase soil carbon storage; restoration of cultivated peaty soils and degraded lands; improved rice cultivation techniques and livestock and manure management to reduce CH_4 emissions; improved nitrogen fertiliser application techniques to reduce N_2O emissions; dedicated energy crops to replace fossil fuel use; improved energy efficiency; *improvements of crop yields*	Financial incentives and regulations for improved land management; maintaining soil carbon content; efficient use of fertilisers and irrigation	*May encourage synergy with sustainable development and with reducing vulnerability to climate change, thereby overcoming barriers to implementation*
Forestry/forests (WGIII 9.4)	Afforestation; reforestation; forest management; reduced deforestation; harvested wood product management; use of forestry products for bioenergy to replace fossil fuel use; *tree species improvement to increase biomass productivity and carbon sequestration; improved remote sensing technologies for analysis of vegetation/soil carbon sequestration potential and mapping land-use change*	Financial incentives (national and international) to increase forest area, to reduce deforestation and to maintain and manage forests; land-use regulation and enforcement	Constraints include lack of investment capital and land tenure issues. *Can help poverty alleviation.*
Waste (WGIII 10.4)	Landfill CH_4 recovery; waste incineration with energy recovery; composting of organic waste; controlled wastewater treatment; recycling and waste minimisation; *biocovers and biofilters to optimise CH_4 oxidation*	Financial incentives for improved waste and wastewater management	*May stimulate technology diffusion*
		Renewable energy incentives or obligations	Local availability of low-cost fuel
		Waste management regulations	Most effectively applied at national level with enforcement strategies

Abbildung 2-10. Ausgewählte Beispiele existierender und bis 2030 marktreifer sektoraler Vermeidungsmaßnahmen.
(Quelle: IPCC, 2007)

Aus der Kombination von Emissionsszenarien mit möglichen Vermeidungsmaßnahmen können Szenarien mit einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration abgeleitet werden. Der nächste Abschnitt widmet sich diesen Stabilisierungsszenarien.

2.3 Langfristige Stabilisierungs- bzw. Reduktionsszenarien und angekündigte Politikziele

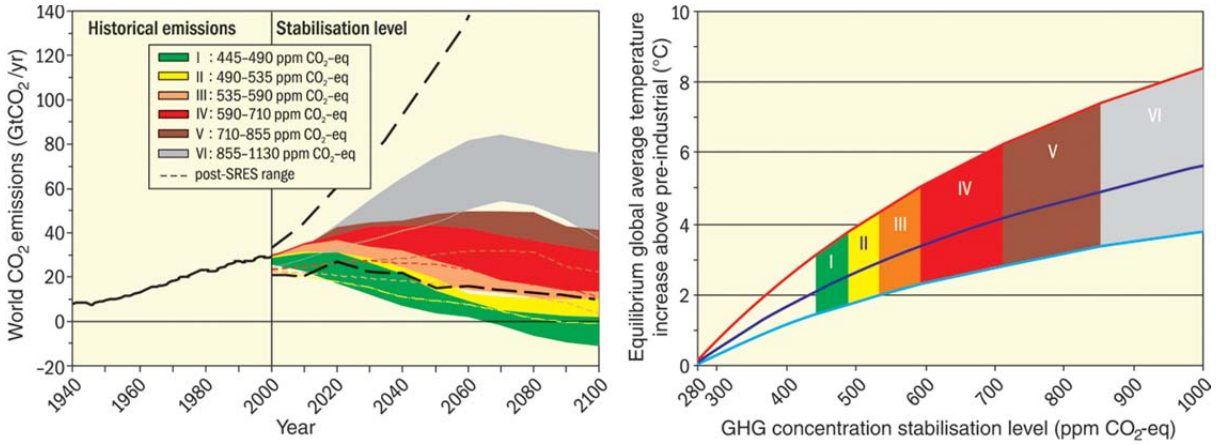
2.3.1 Stabilisierungsszenarien

Im Folgenden wird zunächst auf Stabilisierungsszenarien in IPCC (2007) sowie in IEA (2009a) eingegangen. Danach erfolgt eine Diskussion der im Projekt EISERN detailliert analysierten Emissionsszenarien. Diese orientieren sich an angekündigten Politikzielen.

2.3.1.1 IPCC (2007):

Die in Abbildung 2-9. und Abbildung 2-10. genannten Vermeidungsmaßnahmen müssen zu einem großen Anteil umgesetzt werden, um eine Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration zu erreichen. Wesentlich für die Stabilisierung der Konzentration ist eine Trendumkehr des Emissionsausstoßes. Je nach Zeitpunkt des Maximalausstoßes ergeben sich unterschiedliche Temperaturänderungen.

Um den Temperaturanstieg auf 2 °C zu beschränken, müssen die globalen Treibhausgasemissionen ab spätestens 2015 sinken und im Jahr 2050 um mindestens 50 % unter den Emissionen des Jahres 2000 liegen. Die Treibhausgaskonzentration würde sich auf ca. 450 ppm stabilisieren (siehe Abbildung 2-11.). Erfolgt eine Abnahme der globalen Emissionen erst ab ca. 2030 bis 2060, beträgt das Intervall der Temperaturerhöhung (10. bzw. 90. Perzentil) ca. 3,2 bis 4 °C gegenüber vorindustriellem Niveau. Die Treibhausgaskonzentrationen würden sich auf ca. 600 bis 700 ppm stabilisieren, (Niveau 2005: 375 ppm). Um die CO_2-Konzentration auf 450 ppm zu stabilisieren beträgt die kumulative Mange an Emissionen im 21. Jahrhundert 1800 Gt CO_2-eq (Konfidenzintervall 1370 bis 2200 Gt CO_2-eq) (IPCC, 2007).



Category	CO_2 concentration at stabilisation (2005 = 379 ppm)[b]	CO_2-equivalent concentration at stabilisation including GHGs and aerosols (2005=375 ppm)[b]	Peaking year for CO_2 emissions[a,c]	Change in global CO_2 emissions in 2050 (percent of 2000 emissions)[a,c]	Global average temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using 'best estimate' climate sensitivity[d,e]	Global average sea level rise above pre-industrial at equilibrium from thermal expansion only[f]	Number of assessed scenarios
	ppm	ppm	year	percent	°C	metres	
I	350 – 400	445 – 490	2000 – 2015	-85 to -50	2.0 – 2.4	0.4 – 1.4	6
II	400 – 440	490 – 535	2000 – 2020	-60 to -30	2.4 – 2.8	0.5 – 1.7	18
III	440 – 485	535 – 590	2010 – 2030	-30 to +5	2.8 – 3.2	0.6 – 1.9	21
IV	485 – 570	590 – 710	2020 – 2060	+10 to +60	3.2 – 4.0	0.6 – 2.4	118
V	570 – 660	710 – 855	2050 – 2080	+25 to +85	4.0 – 4.9	0.8 – 2.9	9
VI	660 – 790	855 – 1130	2060 – 2090	+90 to +140	4.9 – 6.1	1.0 – 3.7	5

Abbildung 2-11. Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen in Stabilisierungsszenarien und entsprechende Temperaturanstiege im Vergleich zum vorindustriellen Niveau.
(Quelle: IPCC, 2007)

Der Beitrag unterschiedlicher Technologien zur Erreichung der Stabilisierungsszenarien schwankt im Lauf der Zeit und ist abhängig vom Reduktionsziel, dem Baseline-Emissionspfad sowie den relativen Kosten. Die von IPCC (2007) bewerteten Szenarien liefern übereinstimmend, dass ca. 60 bis 80 % der Reduktionen im Bereich der Energiebereitstellung, des Energieverbrauchs und der industriellen Prozesse stattfinden. Energieeffizienz spielt dabei eine entscheidende Rolle zur Erreichung der Reduktionsziele. Abbildung 2-12. fasst die Beiträge unterschiedlicher Technologien vergleichend für vier globale Simulations- bzw. Optimierungsmodelle zusammen.

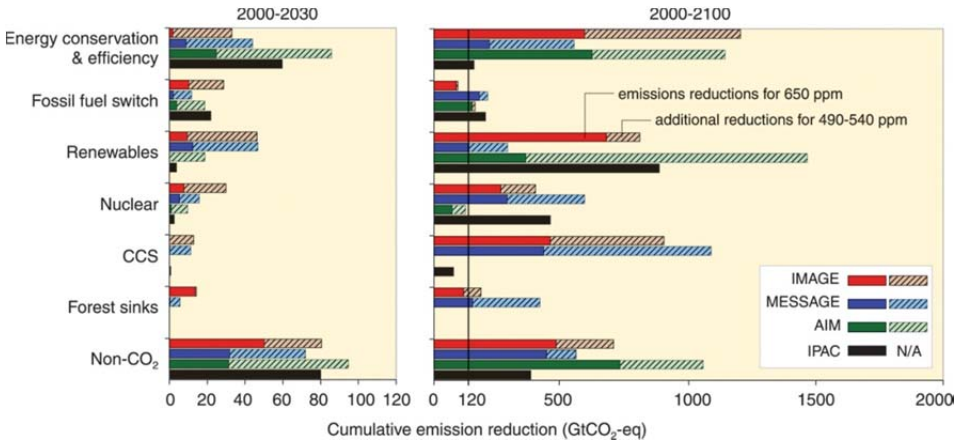


Abbildung 2-12. Kumulierte Emissionsreduktionen in einem 650 ppm und einem 490-540 ppm CO_2-eq Stabilisierungsszenario. Die Ergebnisse werden für vier verschiedene globale Simulations- bzw. Optimierungsmodelle dargestellt. Die Reduktionen beziehen sich auf kumulierte Baseline-Emissionen von 6000 bis 7000 Gt CO_2-eq (2000-2100). (Quelle: IPCC, 2007)

Die Kosten der Emissionsreduktion steigen mit zunehmender Strenge des Reduktionsziels. Die Stabilisierung auf ein Niveau zwischen 710 und 450 ppm CO_2-eq verursacht bis 2050 im Fall von 710 ppm einen Zuwachs des globalen BIPs von 1 %. Im Fall des 450 ppm-Stabilisierungsszenarios fällt das globale BIP bis 2050 im Vergleich zum Baseline-Szenario um 5,5 %. Umgerechnet auf jährliche Wachstumsraten bedeutet dies einen Rückgang um maximal 0,12 % p.a. Diesem Rückgang sind allerdings die Kosten des Klimawandels gegenüberzustellen, die naturgemäß nur sehr schwer abgeschätzt werden können. Angaben zu volkswirtschaftlichen Folgekosten einer emittierten Tonne CO_2-Emission reichen bis zu 95 $/t CO_2. Die (maximalen) Kosten der Vermeidung entsprechen also ungefähr den Folgekosten der Nichtvermeidung (IPCC, 2007).

Stern (2006) gibt Kosten der Stabilisierung der THG-Konzentration auf 550 ppm von ca. 1 % des globalen BIP im Jahr 2050 an. Im Vergleich zu den oben genannten Zahlen aus IPCC (2007) verdeutlicht dies den nichtlinearen Verlauf der zusätzlichen Kosten mit zunehmender Emissionsreduktion. Bei 5-6 °C Erwärmung bis Ende dieses Jahrhunderts (entspricht einer THG-Konzentration von ca. 800 ppm) gibt Stern (2006) eine permanente BIP-Reduktion von 5-10 % auf globaler Ebene an – der Verlust in Entwicklungsländern übersteigt dabei 10 % des BIP.

2.3.1.2 IEA (2009a)

Im Referenzszenario des World Energy Outlook 2009 steigt der globale Energieverbrauch bis 2030 im Vergleich zu 2007 um 40 % (Abbildung 2-13.). In diesem Szenario ist Kohle der Primärenergieträger mit den höchsten absoluten Zuwächsen – mit entsprechenden Folgen für die globalen CO_2-Emissionen. Die energiebedingten CO_2-Emissionen steigen von knapp 29 Gt im Jahr 2007 auf ca. 40 Gt im Jahr 2030. Dies würde dem Zusteuern auf ein 1000 ppm-Szenario entsprechen.

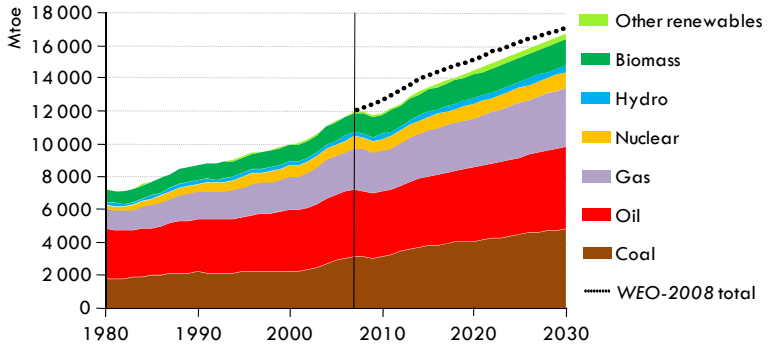


Abbildung 2-13. Globaler Primärenergiebedarf bis 2030 im Referenzszenario der IEA. (Quelle: IEA, 2009a)

In einem Stabilisierungsszenario (450 ppm CO_2-eq) fallen die energiebedingten CO_2-Emissionen im Jahr 2030 von 40 auf 26,4 Gt CO_2 (dies entspricht einem Rückgang um ca. 9 % im Vergleich zu 2007). Der Großteil des Emissionsrückganges ist dabei auf Endenergieeffizienz (52 %) zurückzuführen. Gesteigerte erzeugungsseitige Effizienz liefert 5 %, Erneuerbare 20 %, Biotreibstoffe 3 %, Kernenergie 10 % und CCS weitere 10 %. Abbildung 2-14. zeigt den Pfad vom Referenzszenario zum 450 ppm-Szenario auf. IEA (2009a) gibt die zusätzlichen (Investitions-)Kosten im Vergleich zum Referenzszenario mit 1,1 % des globalen BIP im Jahr 2030 an.

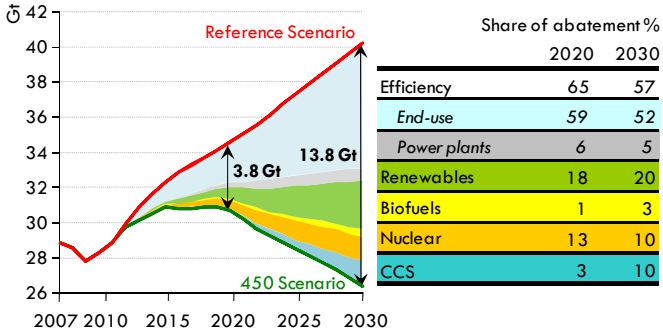


Abbildung 2-14. CO_2-Vermeidungsmaßnahmen und Auswirkungen auf die globalen energiebedingten CO_2-Emissionen im 450 ppm-Szenario. (Quelle: IEA, 2009a)

2.4 Stabilisierungsszenarien in EISERN

Die im Projekt EISERN analysierten Szenarien fokussieren auf eine Stabilisierung der Temperaturerhöhung auf 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau. Dieses Ziel ist konsistent mit angekündigten globalen und regionalen politischen Zielen: dem Abschlussdokument des Kopenhagener Klimagipfels, in dem die Staaten der Weltgemeinschaft die Verantwortlichkeit zur Limitierung des anthropogenen Temperaturanstiegs auf 2 °C anerkennen (Copenhagen Accord, 2009), sowie dem Europäischen Rat vom Oktober 2009 und Februar 2011, der ebenfalls das 2°C-Ziel als zentrales Ziel nennt.[7]

Zur Zielerreichung werden dazu von politischer Seite THG-Emissionsreduktionen in den Industriestaaten und der EU im Bereich von 80-95 % bis 2050 (im Vergleich zu 1990) als

7 Nationale Zielsetzungen werden im Berichtsteil zu Arbeitspaket 4 vorgestellt.

notwendig erachtet (Europäischer Rat, 2009). Zusätzlich zu den politischen Willensbekundungen werden in EISERN Szenarien mit einer Temperaturerhöhung bis ca. 3°C als Sensitivität getestet.[8] Konkret werden Emissionsszenarien untersucht, die die Treibhausgasemissionskonzentration auf

- 450 ppm CO_2-eq (450 ppm-Szenario)
- 500 ppm CO_2-eq (450 ppm-Szenario)
- 550 ppm CO_2-eq (450 ppm-Szenario)

beschränken. Als zentraler Benchmark wird zusätzlich ein *Business-as-usual-Referenzszenario* als viertes Szenario analysiert. In diesem Szenario werden einerseits bestehende Politikmaßnahmen fortgeschrieben, andererseits wird eine erwartbare technische Entwicklung (Effizienzsteigerungen) unterstellt.

Für entsprechende sozioökonomische und technisch qualitative Rahmenbedingungen in den Stabilisierungsszenarien kann z. B. auf die B1-Storyline des IPCC verwiesen werden. Obwohl im gegenständlichen Projekt diese Szenarien nicht analysiert werden, werden ähnliche Reduktionsszenarien betrachtet. Storylines in den EISERN-Stabilisierungsszenarien unterscheiden sich somit nicht qualitativ von der B1- Storyline in IPCC:

B1-Szenario-Storyline: Die B1-Storyline beschreibt eine konvergente Welt mit abnehmender Weltbevölkerung ab Mitte des Jahrhunderts und einem rasanten Wandel hin zu einer Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft mit reduzierten Stoffeinsätzen und der Einführung von saubereren und ressourceneffizienten Technologien. Es wird ein starkes Gewicht auf globale Lösungen in Bezug auf ökonomische, soziale und ökologische Nachhaltigkeit gelegt (Riahi et al., 2007).

Abbildung 2-15. zeigt die Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens einer gewissen Temperaturerwärmung für die drei analysierten Treibhausgaskonzentrationen (450, 500, 550 ppm CO_2-eq) für unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen der Klimasensitivitäten[9]. Die Wahrscheinlichkeit bei einer Treibhausgaskonzentration von 450 ppm CO_2-eq eine maximale Temperaturerhöhung von 2 °C zu erreichen, liegt bei ca. 50 %. Dieselbe Wahrscheinlichkeit impliziert bei einem 550 ppm-Szenario bereits eine maximale Temperaturerhöhung von 3 °C.

8 Aufgrund des aktuellen Standes der Verhandlungen zu einem globalen Post-Kyoto-Klimaschutzvertrag muss ein 2°C-Ziel als äußerst ambitioniert betrachtet werden. Wie allerdings die Analysen zum regionalen Target Sharing in Arbeitspaket 2 zeigen, beträgt für die EU-27 (als Aggregat) der Unterschied zwischen einem 450 ppm-Klimaschutz-Szenario und einem 550 ppm-Klimaschutz-Szenario in der zu erreichenden Emissionsreduktion nur 10 Prozentpunkte. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Absenz eines globalen Vertrages zur Erreichung eines 2°C-Klimaschutzziels trotzdem das Vorhandensein ambitionierter europäischer Klima- und Energiestrategien impliziert. Für weitere Details siehe den entsprechenden Berichtsteil.

9 Die Klimasensitivität ist die Klimaerwärmung bei Verdoppelung der CO_2-Konzentration.

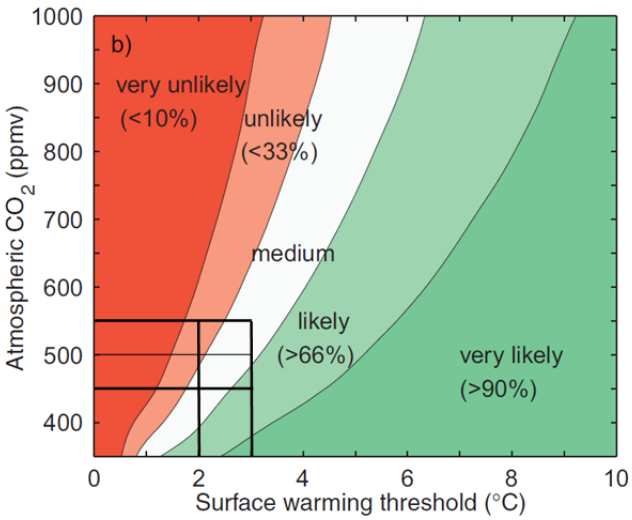


Abbildung 2-15. Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens einer gewissen Klimaerwärmung für eine gegebene Konzentration an Treibhausgasen (CO_2-eq) für ein gegebenes Klimamodell und variierter Klimasensitivität. Die schwarzen Linien stellen die in EISERN analysierten Konzentrationen dar: 450, 500 und 550 ppm CO_2-eq. (Quelle: IPCC, 2007).

2.4.1 Vergleich der EISERN-Stabilisierungsszenarien auf europäischer Ebene

Im Rahmen der Analyse von Arbeitspaket 2 (siehe entsprechenden Berichtsteil) wurden globale Emissionsstabilisierungsszenarien (450, 500, 550 ppm CO_2-eq) und deren entsprechende sozioökonomische Treiber aufbereitet und mittels Target Sharing Ansätzen in österreichische Pfade übergeführt. Als ersten Einblick fasst dieser Abschnitt wesentliche Ergebnisse auf EU-27 Ebene zusammen.

Die Basis bzw. Bandbreiten der Szenarien bilden das *Current Policy* und das *450 ppm*-Szenario des World Energy Outlook (IEA, 2010). Diese entsprechen in ihren sozio- und technoökonomischen Entwicklungen im Wesentlichen dem Referenz- und 450 ppm-Stabilisierungsszenario im gegenständlichen Projekt. IEA (2010) gibt die Entwicklungen der Szenarioparameter bis 2035 an. In EISERN werden die entsprechenden Trends bis 2050 fortgeschrieben. Details zur Methodik und den Parametern sind dem Berichtsteil zu Arbeitspaket 2 zu entnehmen.

Aus der Aufteilung der globalen Emissionstrajektorien in den vier Szenarien ergeben sich schließlich die Pfade für die EU-27. Diese werden in einem weiteren Schritt (siehe Berichtsteil zu Arbeitspaket 2) in österreichische Pfade übergeführt. Die gesamten THG-Emissionen (exklusive Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) sinken bis 2050 im Vergleich zum Jahr 1990 im BAU-Szenario um 22 %, im 550 ppm-Szenario um 75 %, im 500 ppm-Szenario um 80 % und im 450 ppm-Szenario um 85 % (siehe Abbildung 2-16.). Wie bereits erwähnt, werden vom Europäischen Rat (2009) zur 2°C Zielerreichung THG-Emissionsreduktionen in den Industriestaaten und der EU im Bereich von 80-95 % bis 2050 (im Vergleich zu 1990) als notwendig erachtet. Im EISERN 450 ppm-Stabilisierungsszenario gehen die THG-Emissionen bis 2050 um 85 % zurück – dieser Reduktionsumfang ist ein rein innereuropäischer. Zusätzliche Reduktionen außerhalb Europas im Rahmen flexibler Instrumente (z. B. Internationaler Emissionshandel, Joint Implementation, Clean

Development Mechanism) können die EU-Reduktion somit auf die genannte Obergrenze von 95 % erhöhen.

Zwischen 1990 und 2020 sinken die Emissionen im 550 ppm-Szenario um 25 %, im 500 ppm-Szenario um 28 % und im 450 ppm-Szenario um 30 %. Um konsistent mit eigenen langfristigen Zielen[10] zu sein, müsste die EU also ihr existierendes 2020-Ziel (-20 %) auf eine 30 %ige Reduktion anpassen. Allgemein zeigen die Verläufe der THG-Emissionen ein leicht nichtlineares zeitliches Verhalten mit zunehmenden Reduktionsraten.

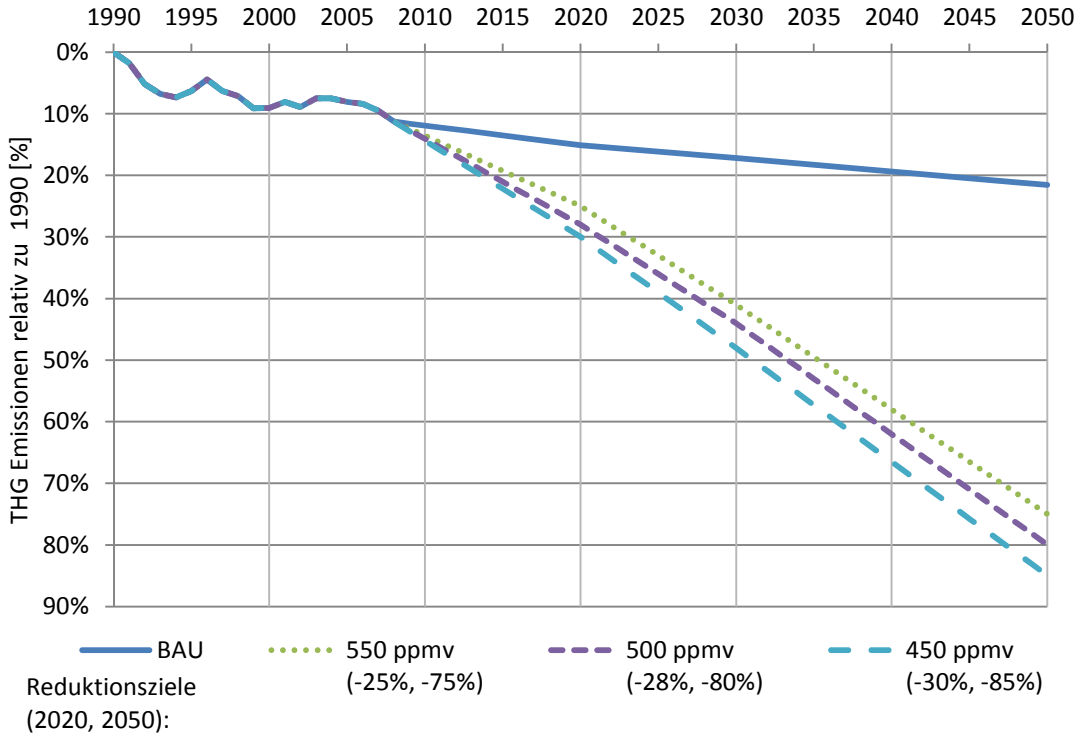


Abbildung 2-16. Verlauf der THG-Emissionen (exkl. LULUCF) in der EU-27 in den EISERN-Szenarien.
(Quelle: eigene Berechnungen)

Abbildung 2-17. zeigt den Verlauf des Bruttoinlandsverbrauchs im Referenzszenario sowie in den drei Stabilisierungsszenarien. Das Referenzszenario[11] als Obergrenze des Energieverbrauchs zeichnet sich zwischen 2010 und 2050 durch eine jährliche Wachstumsrate von 0,13 % aus. Im 450 ppm-Szenario[12] *sinkt* im selben Zeitraum der Energieverbrauch jährlich im Mittel um 0,1 %. Im Vergleich zum Wirtschaftswachstum bedeutet dies für beide Szenarien enorme Anforderungen an die Steigerung der Endenergieeffizienz!

Im Referenzszenario ist eine relative Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Energieverbrauch unterstellt (BIP-Wachstum 1,3 %, Endenergieeffizienzverbesserung 1 %), im 450 ppm-Szenario eine absolute Entkopplung (Endenergieeffizienzverbesserung 1,4 %). Im letzteren Szenario sinkt also die Energieintensität (EE/BIP) stärker als das

10 Z. B. 2°C–Ziel des Europäischen Rates vom Februar 2011.

11 Entspricht dem Current Policy–Szenario in IEA (2010) und dessen Trendfortschreibung.

12 Entspricht dem 450 ppm–Szenario in IEA (2010) und dessen Trendfortschreibung.

BIP wächst. Zum Vergleich hat sich die Endenergieeffizienz in Österreich zwischen 1976 und 2009 im Schnitt um 0,65 % pro Jahr erhöht. Dies zeigt die enormen Herausforderungen, die mit der Realisierung der in Abbildung 2-17. dargestellten Energieverbrauchspfade verbunden sein werden.

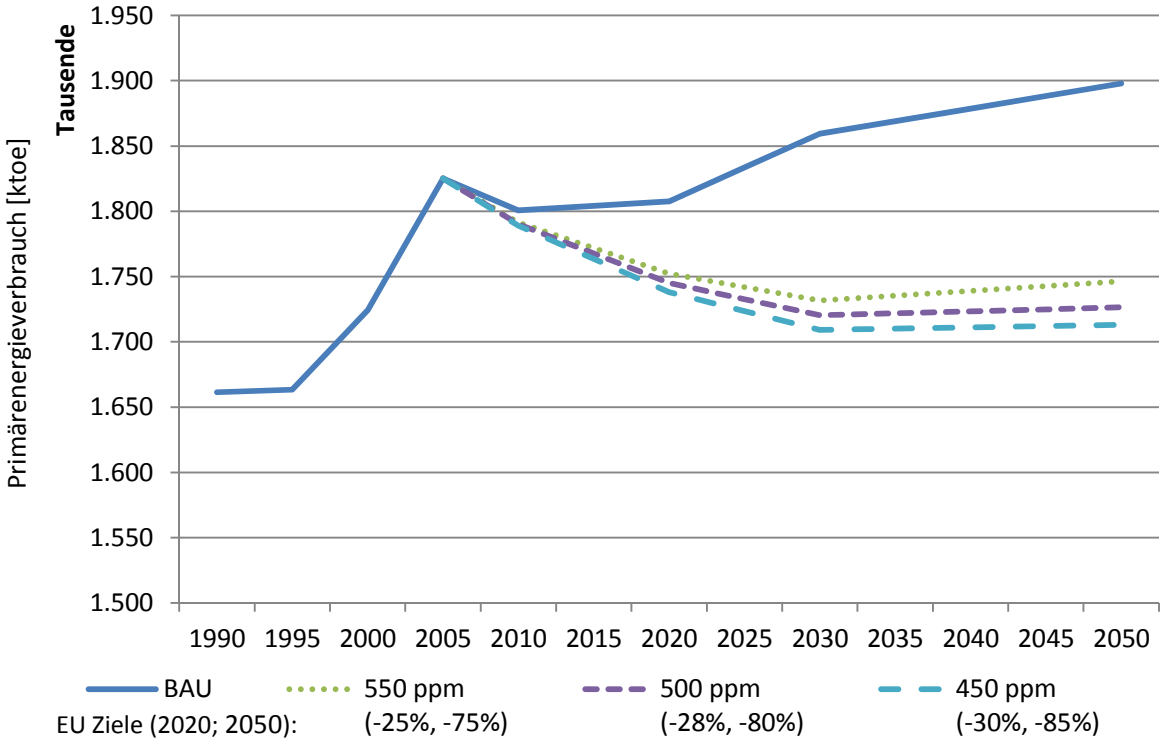


Abbildung 2-17. Projektionen des Bruttoinlandsverbrauchs in der EU-27 bis 2050 für die EISERN-Szenarien.
(Quelle: IEA, 2010; eigene Berechnungen)

Wie die sektoralen Bottom-up Analysen zeigen werden (siehe die entsprechenden Berichtsteile zu Arbeitspaket 3), spielen (relative) Energie- und CO_2-Preisentwicklungen eine wichtige Rolle bei der Investition in und Implementierung von Vermeidungsmaßnahmen.

Abbildung 2-18. zeigt die Entwicklung der Weltmarktpreise für Steinkohle, Rohöl und Erdgas nach IEA (2010). Erwartungsgemäß steigen aufgrund der globalen Nachfrageentwicklung die Erdölpreise am stärksten (plus 150 % zwischen 2005 und 2050), gefolgt von Erdgaspreisen (plus 127 % zwischen 2005 und 2050) und Steinkohlepreisen (plus 76 % zwischen 2005 und 2050).

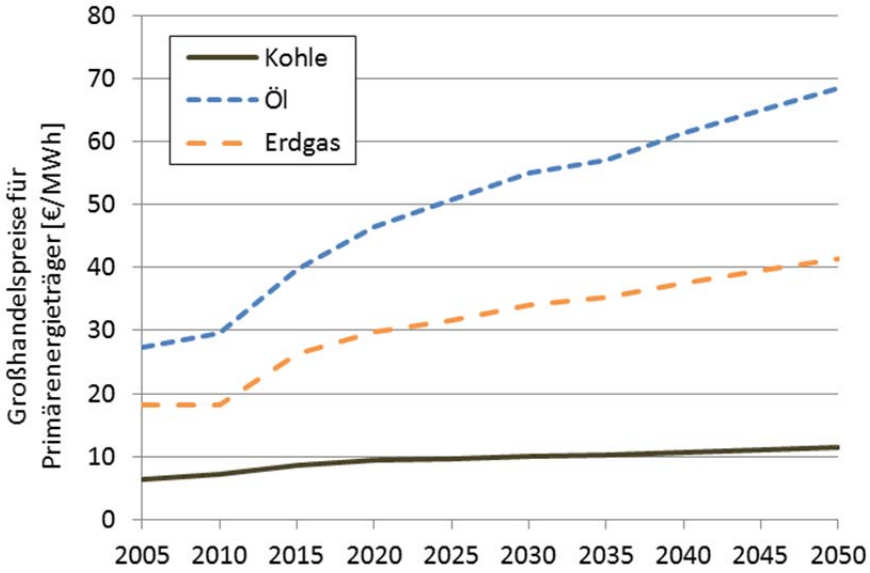


Abbildung 2-18. Preise auf globalen Primärenergiemärkten für Steinkohle, Rohöl und Erdgas.
(Quelle: IEA, 2010; eigene Berechnungen)

In diesem Zusammenhang spielen CO_2-Preise eine entscheidende Rolle zur Einleitung einer Dekarbonisierung der Energiesysteme. Im BAU-Szenario erhöhen sich die CO_2-Preise von 16 €/t CO_2 im Jahr 2005 auf 41 €/t CO_2 im Jahr 2050. Im selben Zeitraum steigen die CO_2-Preise im 450 ppm-Szenario allerdings von 16 auf 97 €/t CO_2 (siehe Abbildung 2-19.).

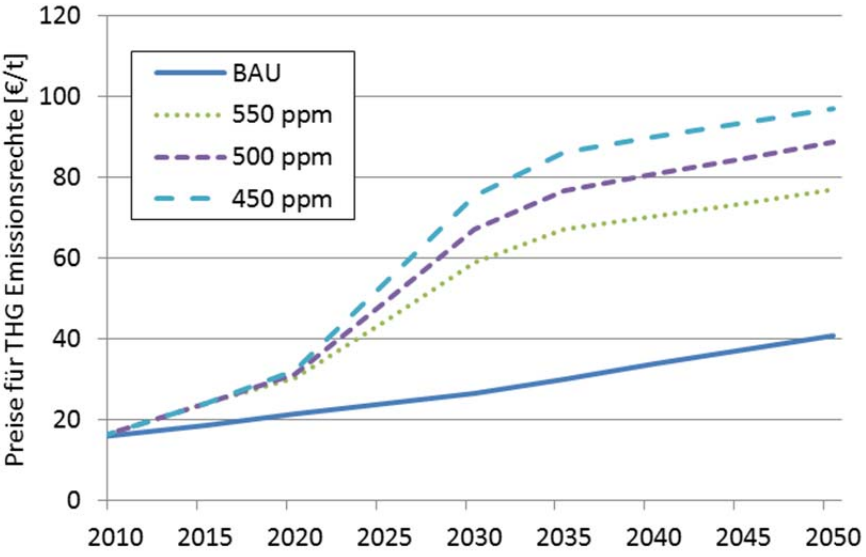


Abbildung 2-19. Verlauf der CO_2-Preise in der EU-27 in den EISERN-Szenarien.
(Quelle: IEA, 2010; eigene Berechnungen))

2.4.2 Schlussfolgerungen

Auf wissenschaftlicher Ebene stehen die massiven Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das weltweite Klima und den damit einhergehenden anthropogenen Klimawandel außer Frage. Auch die Vertreter der Staaten der Weltgemeinschaft sind sich

dessen bewusst und erkennen im Abschlussdokument des Kopenhagener Klimagipfels die Verantwortlichkeit zur Limitierung des anthropogenen Temperaturanstiegs auf 2 °C an. Auch der Europäische Rat hat das 2°-Ziel als Größe für die Staaten der Europäischen Union bekräftigt. Die Ergebnisse der Klimaforschung legen nahe, dass zur Erreichung des 2°C Zieles eine Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration auf etwa 450 ppm CO_2-eq notwendig ist. Für eine Begrenzung des Temperaturanstieges auf 3 °C ist eine Stabilisierung der CO_2-Konzentration auf 550 ppm CO_2-eq erforderlich.

Die damit einhergehenden Emissionsreduktionen von Industriestaaten sind gewaltig. Um ein 2°C-Ziel zu erreichen, müssen die EU-27 Staaten ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 um etwa 85 % gegenüber dem Niveau von 1990 reduzieren. Ein 3°C-Ziel erfordert für diese Staaten noch immer eine Reduktion der Emission von 75 % bis 2050.

Die abschließende Erkenntnis besagt, dass sofern eine Begrenzung des anthropogenen Klimawandels auf ein nicht-katastrophales Niveau (>3 °C) erzielt werden sollte, Regionen wie die EU-27 Staaten ihre Emissionen um 70 % oder mehr (bezogen auf das Niveau 2005) innerhalb der kommenden 40 Jahre reduzieren müssen. Aus diesen normativen Herausforderungen ergibt sich die Notwendigkeit, dass langfristige Energie- und Emissions-relevante Investitionen, auf ihre langfristigen Auswirkungen zu untersuchen sind und eine Fokussierung auf kurzfristige Ziele 2020 nicht ausreicht. Die Annahmen der zukünftigen Entwicklung der Energie- und CO_2-Preise spielen bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit von langfristigen Investitionsentscheidungen eine entscheidende Rolle. Die Preisentwicklungen lassen sich naturgemäß nicht vorhersagen. Richtwerte für CO_2-Emissionspreise, aus heutigem Wissen, liegen für 2-3 °C Zielerreichungspfade bei 60-80 €/t CO_2 in 2030, diese steigen bis 2050 auf 80-100 €/t CO_2.

3 Vorgaben für österreichische Emissionspfade in der langen Frist

In diesem Kapitel werden Emissionspfade, die im Einklang mit einem weltweiten 2°C-Ziel liegen und im Weitern als Zielvorgaben für das EISERN Projekt herangezogen werden, für Österreich bis zum Jahr 2050 dargestellt. Als Grundlage dafür dienen Emissionsszenarien und Methoden des internationalen und Europäischen Lastenausgleichs zur Begrenzung der THG Konzentration in der Erdatmosphäre. Überdies werden demographische, ökonomische als auch energie- und umweltspezifische Datensets, welche als Input für dieses Arbeitspaket dienen für folgende Arbeitspakete der Bottom-up Analyse des EISERN Projekts bereitgestellt. Für detaillierte Ausführung zu den klimapolitischen Themen dieses Kapitels wird auf den Teilbericht des Arbeitspakets 2 aus EISERN verwiesen.

3.1 Transregionale Emissionsszenarien und Pfade

Während zu weltweiten post-2012 Klimaregimen, internationalen Treibhausgas Lastenausgleichs-möglichkeiten und dem europäischen Emissionshandelssystem, dem „European Emissions Trading Scheme" (EU ETS) eine breite Diskussion in wissenschaftlicher Literatur und politischen Kreisen existiert, wurde das Thema des mittel- und langfristigen Lastenausgleichs innerhalb der EU weit weniger akademisch behandelt und auf EU Ebene diskutiert (den Elzen, Gijsen und Lucas, 2007, 11). Der Lastenausgleichsansatz des EISERN Projekts für die Berechnung der mittel- und langfristigen Reduktionsziele Österreichs entsprechend der drei gewählten Szenarien (globale Stabilisierungsziele von 450, 500 und 550 ppm CO_2-eq) fand in ähnlicher Form in Nakicenovic et al. (2007) und Kettner, Köppl und Schleicher (2008) für eine Berechnung von EU Reduktionsziele bis 2020 Anwendung.

Die Berechnungsmethode basiert auf einer Verknüpfung von Strukturindikatoren, die einer Kontraktions- und Konvergenzdynamik unterliegen. Die unterlegte Dynamik bedingt, dass es im angenommenen Zeitraum von 2005 bis 2050 zu einer Reduktion der nationalen Emissionsrechte aller 27 Mitgliedsstaaten auf das szenariospezifische Zielniveau der EU kommt. Da aktuell keine bestimmte Struktur für einen Lastenausgleich auf EU oder internationaler Ebene bis 2050 beschlossen ist, wird bei den THG Emissionen je EU Mitgliedsstaat nicht zwischen ETS und nicht-ETS Sektoren unterschieden[13], und kein internationaler THG Zertifikatehandel unterstellt. Es wird je Mitgliedsland ein Reduktionspfad für die gesamten THG Emissionen in CO_2-eq erstellt, die innerhalb eines Landes verursacht werden. Ausgenommen sind nur Emissionen der Landnutzung, Landnutzungs-veränderungen und Forstwirtschaft (LULUCF). Die bestimmenden Parameter des Modells sind die Bevölkerung, die wirtschaftliche Aktivität, die Energieintensität und der Emissionsfaktor. Für eine genauere Beschreibung des Lastenausgleichmodells wird auf den Teilbericht des Arbeitspakets 2 verwiesen.

13 ETS Sektoren laut Richtlinie 2003/87/EG, Anhang I, sind thermische Kraftwerke zur Energieumwandlung größer 20 MW Feuerungswärmeleistung, die Eisenmetallerzeugung und -verarbeitung, die mineral-verarbeitende Industrie und die Papier- und Zellstoff-Industrie. EU weit umfassen alle ETS Sektoren Anlagen, die für ca. 50 % der europäischen CO_2 Emissionen verantwortlich sind (Böhringer und Lange, 2012, 12). Andere Treibhausgase, wie Methan oder fluorierte Kohlenwasserstoffe, schließt das aktuelle EU ETS nicht ein (2003/87/EG, Anhang I).

In Abbildung 3-1. wird bis zum Jahr 2008 die historische und bis 2050 die verbindliche Emissionsentwicklung des 450 ppm-Szenario relativ zum Jahr 1990 für die EU-27, die EU-15, und die 12 neuen Mitgliedsstaaten (NM12) sowie für ausgewählte EU Mitgliedländer gezeigt. Dabei fällt auf, das Österreich als einzig hier dargestellter EU Staat bis 2006 ein starkes Wachstum an Emissionen aufweist, und zu diesem Zeitpunkt 20 % über den Emissionen von 1990 liegt. Damit sind die notwendigen Reduktionen im angeführten Fall relativ größer als für andere hier gezeigte Länder. Außerdem kann im Zeitraum von 2008 bis 2020 beobachtet werden, dass der Reduktionspfad Rumäniens im Vergleich zu allen anderen flacher verläuft. Das liegt an den modellierten Zwischenzielen von 2020 und 2030. Diese verhindern linear verlaufende Reduktionspfade zwischen 2005 und 2050, und räumen wirtschaftlich weniger entwickelten EU-Staaten etwas mehr Freiheiten in Bezug auf Ihre verpflichtenden THG Emissionsreduktionen ein.

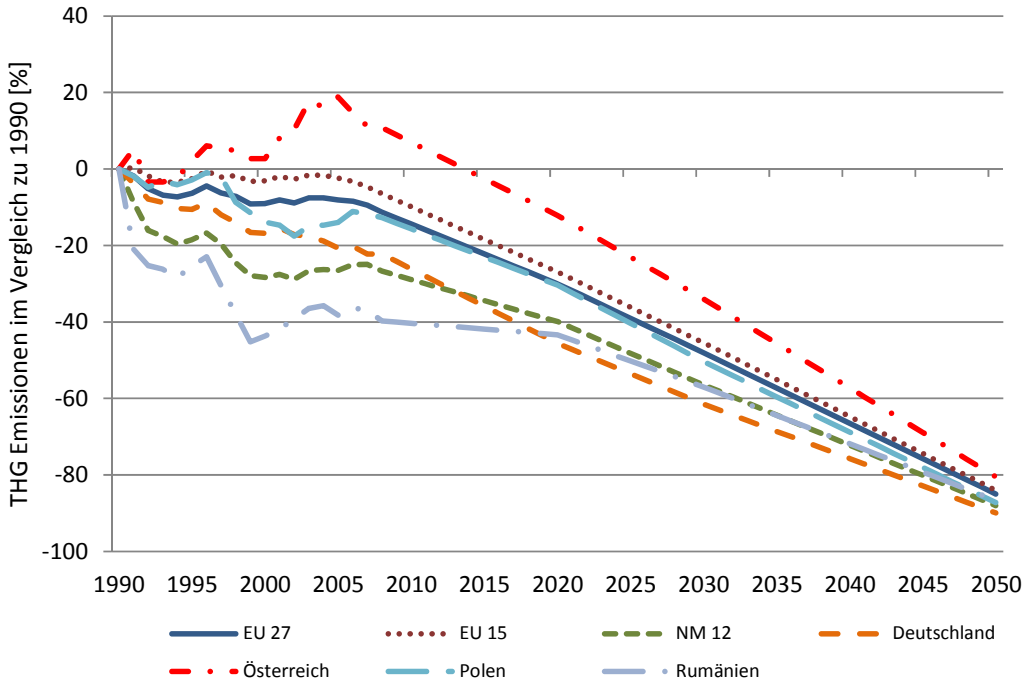


Abbildung 3-1. Die Entwicklung der THG Emissionen relativ zum Niveau von 1990 für ausgewählte Regionen und Staaten der EU. Eurostat Daten von 1990 bis 2008; danach eigene Berechnungen.
(Quelle: Eurostat, 2010; eigene Berechnungen)

In Abbildung 3-2. werden die Emissionspfade des 450 ppm-Szenario der Staaten und Regionen in Bezug zu ihren Einwohnerzahlen gesetzt, und so die Emissionen pro Kopf für historische und modellierte Daten dargestellt. Dadurch verändert sich das Bild etwas. Die historischen pro Kopf Emissionen Österreichs liegen so bis 2002 unter dem EU Schnitt. Außerdem liegen die pro Kopf Emissionen Rumäniens um ca. einem Drittel unter denen der EU. Die leicht rückläufig projizierten Bevölkerungszahlen führen zu fast gleich bleibenden Emissionsrechten pro Kopf für Rumänien. Gegenüber dem EU Durchschnitt müssen die pro Kopf Emissionen für Deutschland bis 2020 am stärksten abnehmen. Bis zum Jahr 2050 ergibt der modellierte Lastenausgleich einheitliche jährliche Emissionsrechte pro Kopf von 1,8 t CO_2-eq für alle Regionen und Staaten der EU. Dieses Ziel erscheint, gegenüber pro Kopf Emissionen von 10 t CO_2-eq im EU Schnitt des Jahres 2008, recht ambitioniert.

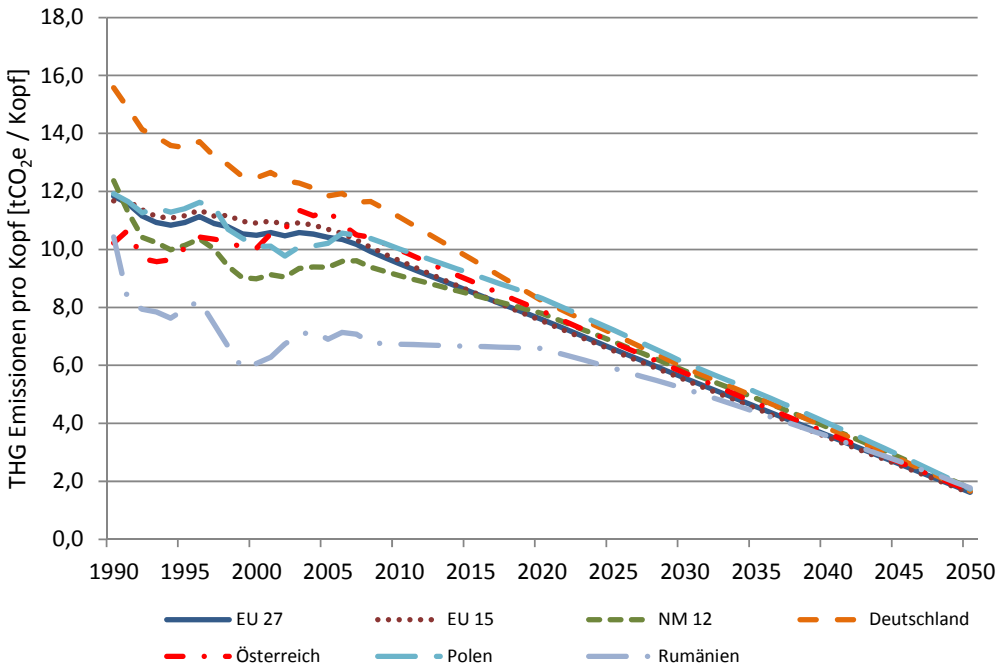


Abbildung 3-2. Die Entwicklung der THG Emissionen pro Kopf für ausgewählte Regionen und Staaten der EU. Eurostat Daten von 1990 bis 2008; danach eigene Berechnungen. (Quelle: Eurostat, 2010; eigene Berechnungen)

3.2 Ergebnisse für Österreich

In Abbildung 3-3. werden die THG Reduktionspfade aller EISERN Szenarien dargestellt. Die dazugehörigen Reduktionsziele relativ zu den Emissionen des Jahres 1990 werden in Fünfjahresschritten in Tabelle 3-1 angeführt. Außerdem beinhalten die Abbildung und die Tabelle ein BAU Szenario, welches sich aus einem EU BAU Szenario ergibt. Dieses orientiert sich an den wirtschaftlichen und energetischen Projektionen und an dem „New Policy Scenario" des World Energie Outlook (WEO) 2010 (IEA, 2010), welches bereits implementierte Politiken des Jahres 2010 berücksichtigt. Dadurch ergeben sich auch in diesem Szenario leichte Emissionsreduktionen für Österreich gegenüber 2005.

Tabelle 3-1. Ergebnisse der Lastenaufteilung je Szenario für die Entwicklung der Emissionsrechte in Prozent gegenüber 1990 für Österreich bis 2050. (Quelle: eigene Berechnungen)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	[%]								
BAU	10	9	7	6	5	4	3	2	1
550 ppm	8	1	-6	-15	-25	-36	-46	-57	-68
500 ppm	7	-1	-9	-19	-29	-40	-52	-63	-74
450 ppm	7	-3	-12	-23	-34	-46	-57	-69	-80

Trotz der unterschiedlichen weltweiten Reduktionsziele, die für die EISERN Szenarien gewählt wurden, ergeben sich drei durchwegs strickte Reduktionspfade für Österreich. Dies kommt durch die notwendigen EU Reduktionen zustande, deren Festlegung zu Beginn dieses Kapitels diskutiert wurde.

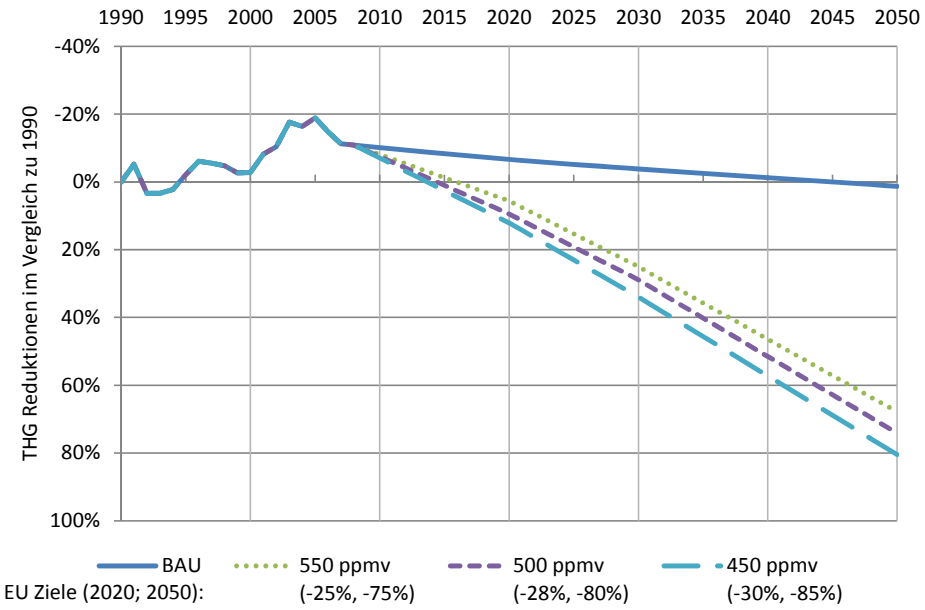


Abbildung 3-3. EISERN THG Reduktionspfade für das 550, 500 und 450 ppm-Szenario für Österreich.
(Quelle: Eurostat, 2010; eigene Berechnungen)

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Obwohl sich Österreich, wie andere industrialisierte Länder, bereits 1994 unter der internationalen Rahmenkonvention zu Begrenzung des Klimawandels für eine Begrenzung und Minderung der THG Emissionen aussprachen (UNFCCC, 1992), wurden in Österreich erst 2005 die bisher höchsten Emissionen pro Jahr erreicht. Berechnungen für einen internationalen Lastenausgleich zeigen, dass entscheidende THG Emissionsminderungen von vor allem Annex-I[14] Staaten bis 2050 notwendig sind, um die THG Konzentration so zu begrenzen, dass von einer maximalen durchschnittlichen Erderwärmung von 2 °C ausgegangen werden kann. Im Jahr 2010 lagen Österreichs THG Emissionen bei 84,6 Mio. Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente (UBA, 2012, 12), und damit 8 % über den Emissionen von 1990. Um auf einem linearen Reduktionspfad entsprechend einem internationalem 2°C-Ziel zu liegen, müssen Österreichs THG Emissionen, laut dem EISERN Lastenausgleichsmodell, ca. 2015 das Niveau von 1990 erreicht haben. Bis 2020 sind Emissionsminderungen von 6 % bis 12 % je gewähltem EISERN Szenario gegenüber 1990 notwendig. In der langen Frist bis 2050 ergeben sich für Österreich notwendige THG Reduktionen von 68 % bis 80 % gegenüber 1990 beziehungsweise 73 % - 83 % bezogen auf das Niveau von 2005. Das zeigt, dass ein Paradigmenwechsel in allen wirtschaftlichen Sektoren vonnöten ist, um entsprechende Reduktionen zu realisieren. Das betrifft die Emissionen der Energiebreitstellung, des Verkehrs, aus der Bereitstellung von Gebäudewärme, industrieller Prozesse und der Landwirtschaft gleichermaßen.

Für zusätzliche Information hinsichtlich Methode, Daten und Detailergebnisse wird auf den öffentlich verfügbaren Teilbericht Liebmann et al. (2012) verwiesen.

14 Sogenannte Annex-I-Staaten sind industrialisierte Staaten des Anhang I der Klimarahmenkonvention (UNFCCC, 1992), die sich laut dieser verpflichten ihre THG Emissionen zu reduzieren.

4 Internationale Beispiele für Roadmaps bis 2050

4.1 Einleitung

Im März 2011 veröffentlichte die Europäische Kommission die Communication „A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050", in der sie aufzeigt, wie die EU ein Treibhausgasreduktionsziel von 80 % bis 2050 erreichen könnte. Bereits 2010 hatte die European Climate Foundation (ECF) ihre 2050 Roadmap, eine detaillierte sektorspezifische Studie mit dem Zeithorizont 2050, veröffentlicht.

Nur wenige Länder, wie z. B. England und Deutschland, haben bisher nationale Bottom-up Studien zu den Möglichkeiten einer langfristigen Treibhausgasreduktion durchgeführt. Einige weitere, wie Schweden, haben solche in Auftrag gegeben[15]. Erst mit Hilfe solcher nationaler Analysen wird es möglich sein, Studien mit auf EU-Ebene aggregierten Aussagen zu diskutieren und zu verbessern, insbesondere in Hinblick auf die Aufteilung der Reduktionsziele auf die einzelnen Sektoren. Im Folgenden wird die EU 2050 Roadmap, die ECF 2050 Roadmap, das Modell Deutschland 2050 und der UK Low Carbon Transition Plan beschrieben und verglichen, die Fakten wurden aus den vorliegenden Dokumenten und Aussendungen entnommen.

4.2 EU communication: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050[16]

Die EU-Roadmap skizziert, wie die EU eine Wirtschaft mit massiv reduzierten CO_2-Emissionen bis 2050 erreichen kann. Die Roadmap gibt sektorale Reduktionspfade bis 2050 vor.

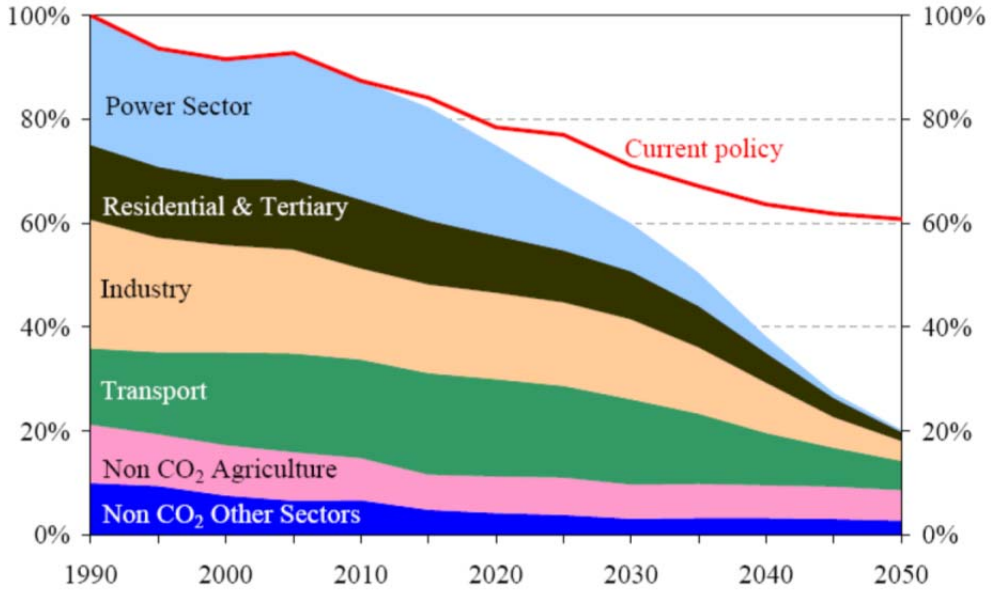


Abbildung 4-1. Sektorale Reduktionspfade bis 2050

15 http://www.sweden.gov.se/sb/d/5745/a/181428

16 http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm

In der Abbildung 4-1. ist der Weg zu einer Verringerung der Emissionen um 80 % bis 2050 in Fünfjahresschritten dargestellt. Die obere „Referenz-Projektion" zeigt, wie sich die EU-weiten Treibhausgasemissionen mit den derzeitigen Maßnahmen entwickeln würden. Ein mit einer internen Verringerung um 80 % kompatibles Szenario zeigt dann unter Berücksichtigung der im Laufe der Zeit verfügbaren technologischen Möglichkeiten, wie sich die Gesamtemissionen und die Emissionen einzelner Sektoren entwickeln könnten, wenn zusätzliche Maßnahmen getroffen würden. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass der Energieerzeugende Sektor die größten Emissionseinsparungen erreichen soll, gefolgt von Gebäuden/Kleinverbrauch und Industrie.

Tabelle 4-1 verdeutlicht die geforderten starken Emissionsminderungen im Bereich der Energieerzeugung, gefolgt vom Industriesektor.

Tabelle 4-1. Emissionssenkungen für einzelne Sektoren für 2030 und 2050 auf Basis 2005

GHG reductions compared to 1990	2005	2030	2050
Total	-7%	-40 to -44%	-79 to -82%
Sectors			
Power (CO_2)	-7%	-54 to -68%	-93 to -99%
Industry (CO_2)	-20%	-34 to -40%	-83 to -87%
Transport (incl. CO2 aviation, excl. maritime)	+30%	+20 to -9%	-54 to -67%
Residential and services (CO_2)	-12%	-37 to -53%	-88 to-91%
Agriculture (non-CO_2)	-20%	-36 to -37%	-42 to -49%
Other non-CO_2 emissions	-30%	-72 to -73%	-70 to -78%

Die Aufteilung der Emissionsreduktion auf Sektoren erfolgt gemäß der EU 2050 Roadmap nicht nur nach den technologischen Potenzialen, sondern auch nach den Kosten. Die EU geht davon aus, dass, wenn bestehende ETS und Nicht-ETS Maßnahmen bis 2050 weitergeführt werden, die ETS Sektoren ein deutlich größeres kosteneffizientes Reduktionspotenzial besitzen als die Nicht-ETS Sektoren. Daher wird von diesen Sektoren deutlich mehr an Emissionsminderung erwartet.

Der EU 2050 Roadmap liegen einige Szenarien zugrunde, die vor allem mit den Modellen POLES, Primes, und GAINS modelliert wurden. Neben dem Referenzszenario („Current policies" Szenario) werden folgende Szenarien modelliert:

- Global Climate Action: 80 %-95 % Reduktion in der EU, hauptsächlich durch innerstaatliche Reduktionen; 5 % Reduktion im Vergleich zu 1990 in Entwicklungsländer. Sinken der Preise für Energieimporte in die EU

- Effective and widely accepted technology: hier gibt es besonders günstige Rahmenbedingungen für alle Technologien. Außerdem ist vorgesehen, dass der Transportsektor seine Emissionen um ca. 60 %, der Bereich der Industrie um 80 %, der Haushalts- und Dienstleistungssektor um ca. 90 %, und der Energieerzeugungssektor seine Emissionen um über 90 % reduziert.

- Delayed CCS scenario: CCS erhält nicht die nötige Akzeptanz, andere CO_2-arme Technologien müssen verstärkt auf den Markt, ebenso ist ein höheres Maß an Energieeffizienz nötig. Dieses Szenario würde zu einem höheren Anteil an

nuklearer Energie führen, bei dem die Dekarbonisierung durch den Kohlenstoffpreis und nicht so sehr durch einen „Technology Push" erreicht würde.

- Delayed electrification scenario: Die Elektrifizierung des Transports ist weniger erfolgreich z. B. durch verzögerten Aufbau der Infrastruktur. In anderen Sektoren muss mehr reduziert werden.

- Delayed climate action scenario: Abgesehen von dem derzeitigen EU Energie und Klimapaket (-20 % bis 2020) werden weltweit in den nächsten 10 Jahren keine weiteren Maßnahmen implementiert.

Energie

Die EU 2050 Roadmap sieht eine völlige Dekarbonisierung des Energiesektors bis 2050 vor. Dabei sollen drei Technologien im Vordergrund stehen: Erneuerbare Energie, Nuklearenergie und Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS).

Elektrizität wird in der CO_2-armen Wirtschaft eine zentrale Rolle spielen. Der Analyse zufolge kann erreicht werden, dass in diesem Sektor bis 2050 praktisch kein CO_2 mehr emittiert wird, und dass fossile Brennstoffe im Verkehr und beim Heizen zum Teil ersetzt werden. Zwar wird der Stromverbrauch dieser beiden Sektoren steigen, doch aufgrund der zunehmenden Effizienzverbesserungen müsste der Gesamtstromverbrauch nur gemäß den historischen Wachstumsraten zunehmen.

Auch durch die Verwirklichung des Ziels für erneuerbare Energieträger dürfte der Anteil CO_2-armer Technologien am Strommix von derzeit etwa 45 % auf rund 60 % im Jahr 2020, auf 75 % bis 80 % im Jahr 2030 und auf knapp 100 % im Jahr 2050 steigen. Somit könnte auch das EU-Stromsystem diversifizierter und sicherer werden. Bestehende Technologien müssen in großer Vielfalt und in großem Umfang eingesetzt werden, einschließlich fortgeschrittener Technologien wie Photovoltaik, die mit der Zeit billiger und somit wettbewerbsfähiger werden.

Das EU-ETS trägt maßgeblich zu einem kräftigen Zustrom von CO_2-armen Technologien auf den Markt bei, so dass der Stromsektor selbst seine Investitionen und Betriebsstrategien an veränderliche Energiepreise und Technologien anpassen kann. Damit das EHS diese Aufgabe auf dem vorgezeichneten Weg ins Jahr 2050 erfüllen kann, sind ein hinreichendes CO_2-Preissignal und langfristige Absehbarkeit erforderlich. Diesbezüglich müssen Maßnahmen geprüft werden, einschließlich der vereinbarten linearen Senkung der EHS-Obergrenze[17]. Andere Instrumente, wie die Energiebesteuerung und technologische Unterstützung können ebenfalls geeignet sein, um sicherzustellen, dass der Stromsektor seinen vollen Beitrag leistet.

Da die zentrale Rolle, die Elektrizität in der CO_2-armen Wirtschaft spielt, die beträchtliche Nutzung erneuerbarer Energieträger mit teils sehr unterschiedlicher Ausbeute erforderlich macht, sind umfangreiche Investitionen in Netze erforderlich, um die Kontinuität der

17 Die Richtlinie 2003/87/EG in der Fassung der Richtlinie 2009/29/EG sieht eine lineare Verringerung der Obergrenze um 1,74 Prozentpunkte pro Jahr vor. Diese Verringerung ist bereits im EHS verankert und gilt auch nach 2020.

Stromversorgung jederzeit sicherzustellen[18]. Investitionen in intelligente Netze sind ein Schlüsselfaktor, der ein CO_2-armes Stromsystem möglich macht, da sie namentlich die nachfrageseitige Effizienz sowie einen größeren Anteil erneuerbarer Energieträger und dezentraler Energieerzeuger fördert und die Elektrifizierung des Verkehrs ermöglichen. Diese Investitionen bringen zusätzliche Vorteile für Verbraucher, Erzeuger und die Gesellschaft allgemein in Form eines zuverlässigeren Netzes, von Energieversorgungssicherheit und verringerten Emissionen. In diesem Zusammenhang könnte bei künftigen Arbeiten geprüft werden, wie der politische Rahmen solche Investitionen auf EU-Ebene sowie auf nationaler und lokaler Ebene fördern und Anreize für Nachfragesteuerung schaffen kann.

Verkehr

Technologische Innovation kann zum Übergang zu einem effizienteren und nachhaltigeren europäischen Verkehrssystem beitragen, indem sie auf drei Hauptfaktoren einwirkt:

- Fahrzeugeffizienz durch neue Motoren, neue Werkstoffe und neues Design;
- Verwendung von umweltschonender Energie durch neue Kraftstoffe und Antriebssysteme;
- bessere Nutzung von Netzen und sichererer Betrieb durch Informations- und Kommunikationssysteme.

Das Weißbuch Verkehr wird ein umfassendes, kombiniertes Bündel von Maßnahmen vorsehen, die die Nachhaltigkeit des Verkehrssystems verbessern sollen.

Bis 2025 dürfte die wichtigste treibende Kraft für die Umkehrung des Trends steigender Treibhausgasemissionen in diesem Sektor die bessere Kraftstoffeffizienz sein. Durch eine Kombination mit Maßnahmen wie Preisregelungen zur Bekämpfung von Verkehrsüberlastung und Luftverschmutzung, Infrastrukturentgelte, intelligente Stadtplanung und besserer öffentlicher Verkehr könnten die Emissionen von Straße, Schiene und Binnenwasserstraßen bis 2030 unter das Niveau von 1990 zurückgeführt werden, während gleichzeitig eine bezahlbare Mobilität möglich wäre. Die durch CO_2-Standards und intelligente Besteuerungssysteme geförderte höhere Effizienz und bessere Nachfragesteuerung dürften auch die Entwicklung von Hybridmotortechnologien vorantreiben und den allmählichen Übergang zur breiten Durchdringung für umweltfreundlichere Fahrzeugen bei allen Verkehrsträgern, einschließlich (mit Batterien oder mit Brennstoffzellen betriebener) Steckdosenhybriden und Elektrofahrzeuge zu einem späteren Zeitpunkt erleichtern.

Die Synergien mit anderen Nachhaltigkeitszielen wie geringere Erdölabhängigkeit, die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Automobilindustrie sowie der Nutzen für die Gesundheit (höhere Luftqualität in Städten), sind überzeugende Argumente für die EU, sich verstärkt dafür einzusetzen, dass die Entwicklung und der frühe Einsatz der Elektrifizierung und generell alternativer Kraftstoffe und Antriebsverfahren im gesamten Verkehrssystem beschleunigt werden. Auch die Automobilindustrie in den USA, in Japan,

18 Mitteilung der Kommission – Energieinfrastrukturprioritäten bis 2020 und danach – ein Konzept für ein integriertes europäisches Energienetz (KOM (2010) 677.

Korea und China investiert verstärkt in Batterietechnologie, Elektrofahrzeuge und Brennstoffzellen.

Nachhaltige Biokraftstoffe könnten als alternative Kraftstoffe vor allem in der Luftfahrt und in schweren Nutzfahrzeugen eingesetzt werden, wobei es in diesen Sektoren nach 2030 zu einem Wachstumsschub kommt. Sollte die Elektrifizierung nicht auf breite Nachfrage stoßen, müssten Biokraftstoffe und andere Kraftstoffalternativen eine größere Rolle spielen, damit im Verkehrssektor vergleichbare Emissionsminderungen erreicht werden können. Im Falle von Biokraftstoffen könnte dies direkt oder indirekt dazu führen, dass geringere Netto-Treibhausgaseinsparungen erreicht werden und die Biodiversität, Wasserwirtschaft und Umwelt im Allgemeinen stärker unter Druck geraten. Damit wächst die Notwendigkeit, zu Biokraftstoffen der zweiten und dritten Generation überzugehen und die laufenden Arbeiten zu indirekten Landnutzungsänderungen und Nachhaltigkeit voranzutreiben. Abbildung 4-2. zeigt die möglichen Reduktionspfade im Bereich des Verkehrssektors (am Beispiel Straßenverkehr und Luftfahrt) für die Szenarien „Effective and widely accepted technology" und „Delayed electrification".

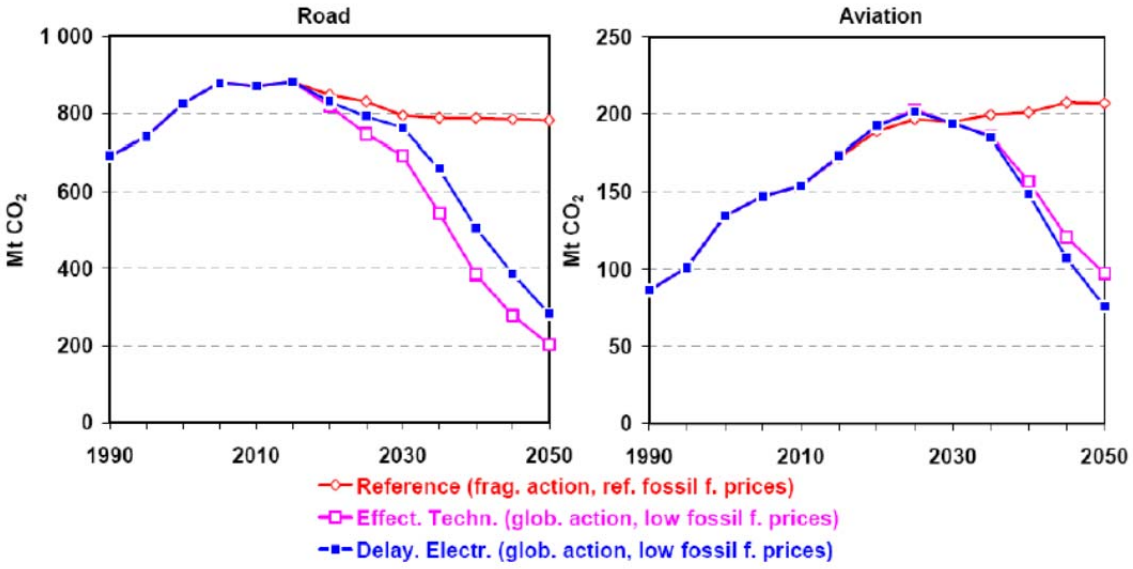


Abbildung 4-2. Reduktionspfade im Verkehrssektor (Straßenverkehr und Luftfahrt)

Gebäude

Gebäude bieten vor allem durch die Verbesserung ihrer Energiebilanz preisgünstige, kurzfristig realisierbare Möglichkeiten zur Emissionsminderung. Die laut Analyse der Kommission mögliche Reduktion der Emissionen um etwa 90 % ist ein überdurchschnittlich hoher Beitrag. Dies unterstreicht, wie wichtig es ist, das Ziel der neugefassten Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden[19] zu erreichen, dass ab 2021 alle Neubauten praktisch nach Nullenergiestandard errichtet werden. Dieser Prozess ist bereits angelaufen, und viele Mitgliedstaaten wenden für Gebäude bereits strengere Energiestandards an. Am 4. Februar 2011 hat der Europäische Rat unter Berücksichtigung des Kernziels der EU beschlossen, dass ab 2012 alle Mitgliedstaaten Energieeffizienzstandards in öffentliche Beschaffungsverfahren für öffentliche Gebäude und Dienstleistungen aufnehmen sollten.

19 Richtlinie 2010/31/EU.

Mit der Zeit müssen die Anstrengungen erheblich verstärkt werden. Derzeit sollten neue Gebäude als intelligente Niedrig- oder Nullenergiehäuser geplant werden. Die Zusatzkosten hierfür können durch Brennstoffeinsparungen amortisiert werden. Eine größere Herausforderung ist jedoch die Nachrüstung von Bestandsgebäuden, insbesondere die Finanzierung der notwendigen Investitionen. Einige Mitgliedstaaten ziehen bereits proaktiv die Strukturfonds heran. Den Projektionen der Analyse zufolge müssen in den kommenden zehn Jahren die Investitionen in energiesparende Gebäudekomponenten und -ausrüstungen um bis zu 200 Mrd. € steigen. Einige Mitgliedstaaten haben bereits intelligente Finanzierungsregelungen eingeführt, wie Zinsvergünstigungen, um Investitionen des Privatsektors in die effizientesten Gebäudelösungen zu mobilisieren. Auch andere private Finanzierungsmodelle müssen untersucht werden.

Wie im Verkehrssektor würde der Übergang zum Einsatz von wenig CO_2-intensivem Strom (einschließlich Wärmepumpen und Speicheröfen) und erneuerbaren Energien (z. B. Solarheizung, Biogas, Biomasse), die auch von Fernwärmesystemen bereit gestellt werden, dazu beitragen, den Verbraucher vor steigenden Preisen für fossile Brennstoffe zu bewahren, und wäre zudem mit beträchtlichen gesundheitlichen Vorteilen verbunden. Abbildung 4-3. zeigt die möglichen Reduktionen bei den Gebäudeemissionen in den unterschiedlichen Szenarien.

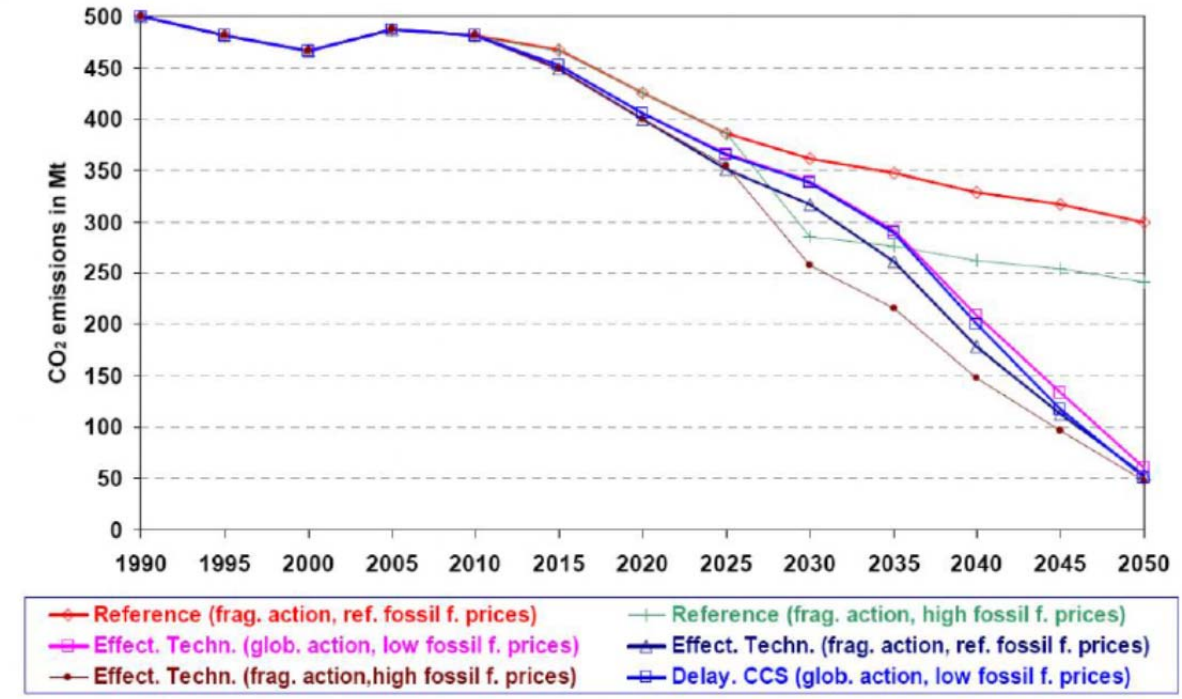


Abbildung 4-3. Reduktion der Gebäudeemissionen in verschiedenen Szenarien

Industrie

Aus der Analyse der Kommission wird deutlich, dass in der Industrie die THG-Emissionen bis 2050 um 83 % bis 87 % verringert werden könnten. Fortschrittlichere ressourcenschonende und energieeffiziente Industrieprozesse und –anlagen, mehr Recycling sowie Technologien zur Verringerung von Nicht-CO_2-Emissionen (z. B. Stickoxide und Methan) könnten einen wesentlichen Beitrag leisten, denn damit könnten energieintensive Sektoren ihre Emissionen um mindestens die Hälfte reduzieren. Da Lösungen sektor-

spezifisch sind, hält die Kommission es für notwendig, zusammen mit den betreffenden Sektoren spezifische Fahrpläne aufzustellen.

Zusätzlich zum Einsatz von fortschrittlicheren Industrieprozessen und -anlagen müsste nach 2035 die CO_2-Abscheidung und –Speicherung (CCS) in großem Umfang insbesondere zur Abscheidung von Emissionen aus Industrieprozessen (z. B. im Zement- und Stahlsektor) eingesetzt werden. Hierfür wären jährliche Investitionen von über 10 Mrd. € nötig. Bei global geltenden Klimaschutzmaßnahmen würde dies keine Bedenken in Bezug auf die Wettbewerbsfähigkeit auslösen, sollten sich aber die wichtigsten Konkurrenten der EU nicht in ähnlicher Weise engagieren, müsste die EU eingehender prüfen, wie sie den Risiken der Emissionsverlagerung begegnen könnte, die sich aus diesen Zusatzkosten ergeben würden.

Während die EU ihren klimapolitischen Rahmen erstellt, muss weiter beobachtet und analysiert werden, wie sich diese Maßnahmen in Verbindung mit den Anstrengungen von Drittländern auf die Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Industriezweige auswirken, und erforderlichenfalls müssen geeignete Maßnahmen ins Auge gefasst werden. Die Analyse der Kommission bestätigt frühere Feststellungen, denen zufolge die derzeitigen Maßnahmen im heutigen Kontext hinreichende Schutzmechanismen bieten, und enthält die Erkenntnisse zu den Optionen zur Verringerung von Emissionsverlagerungen, die in der Mitteilung vom Mai 2010 dargelegt sind, unter anderem auch zur Einbeziehung von Einfuhren in das EU-EHS[20]. Inwieweit die bestehenden geeigneten Schutzmechanismen ausreichen, wird weiterhin in Verbindung mit den Anstrengungen von Drittländern ständig aufmerksam beobachtet werden. Die Kommission bleibt wachsam, um in der EU eine solide industrielle Basis zu erhalten. Sie wird auch künftig die Liste der Sektoren, für die ein Risiko der Emissionsverlagerung besteht, aktualisieren, wie in der EU-EHS-Richtlinie vorgesehen[21]. Das beste Mittel gegen die Verlagerung von CO_2-Emissionen wäre ein wirksames globales Vorgehen.

Annahmen zu Energie- und Zertifikatenpreise

Die folgenden Grafiken zeigen die von der EU angenommene Entwicklung der Energie- und Zertifikatepreise:

20 KOM(2010) 265.

21 Artikel 10a Absatz 13 der Richtlinie 2003/87/EG in der Fassung der Richtlinie 2009/29/EG.

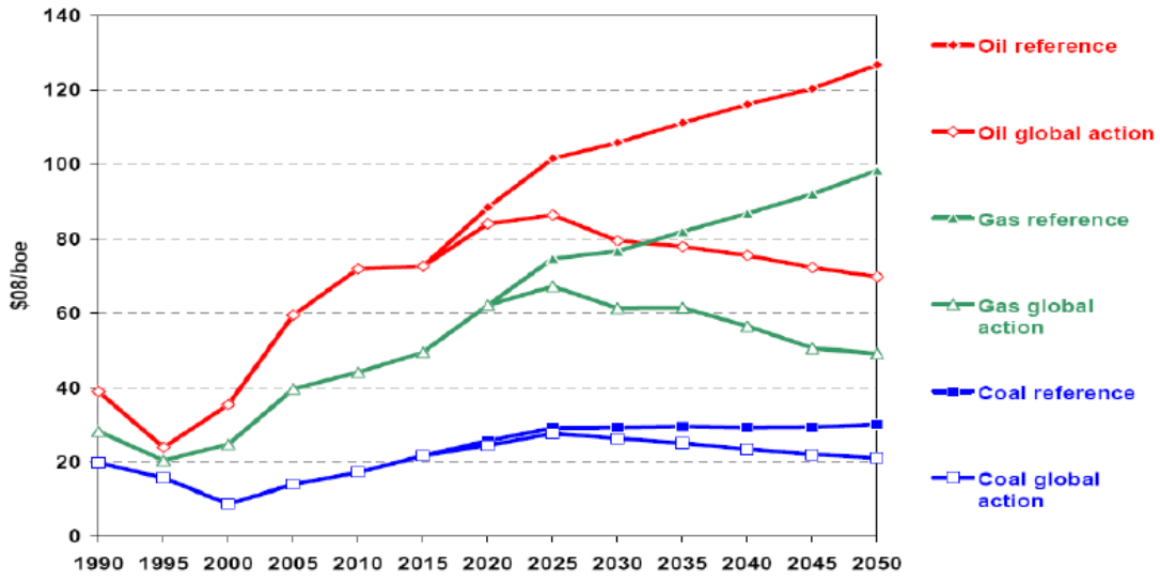


Abbildung 4-4. Energiepreisszenarien

Die Energiepreisszenarien unterscheiden zwischen Referenz und Global Action. Abbildung 4-4. zeigt die starke Reduktion der Energiepreise im Falle einer Global Action.

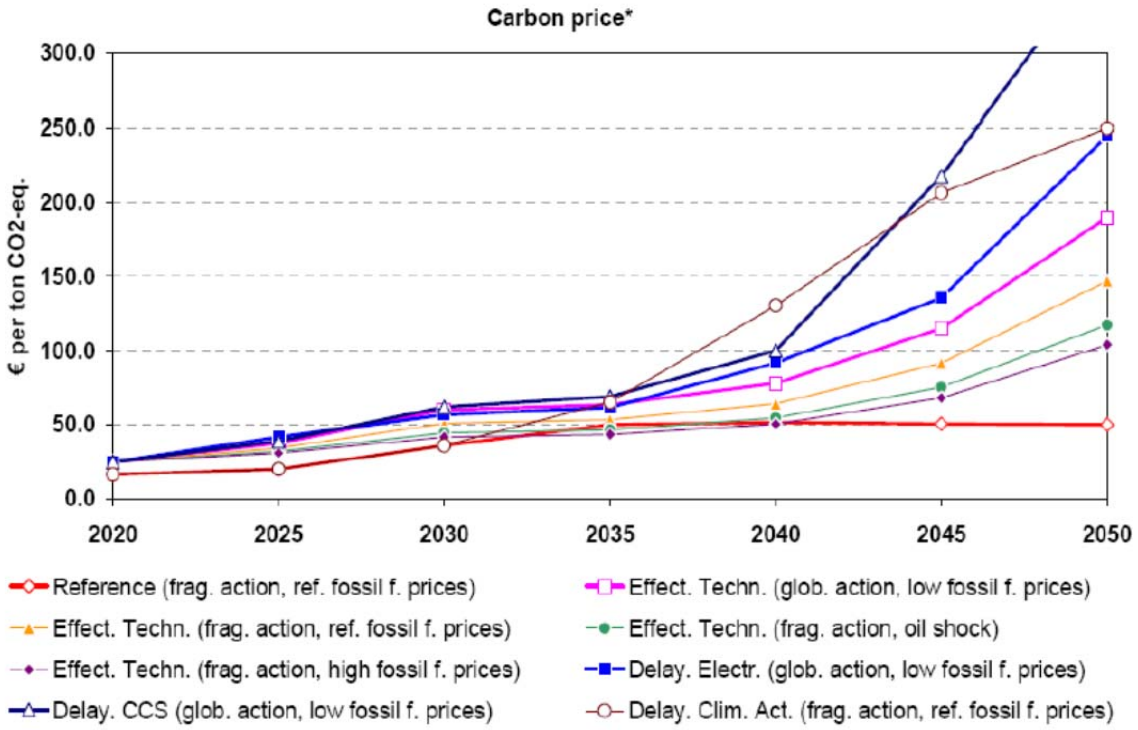


Abbildung 4-5. CO_2-Preisszenarien

In Abbildung 4-5. sind verschiedene CO_2-Preisszenarien dargestellt. Im Referenzszenario sind die CO_2-Preise ca 50 €/Tonne CO_2-eq ab 2030. Um Reduktionen deutlich unter dem Referenzniveau zu erreichen sind gemäß der EU 2050 Roadmap CO_2-Preise zwischen 100 und 370 €/Tonne bis 2050 nötig.

4.3 ECF-2050 Roadmap[22]

Die Roadmap 2050 der European Climate Foundation (ECF) wurde mit Hilfe führender Europäischer Experten entwickelt. Sie zeigt, dass eine Treibhausgasreduktion von 80 % bis 2050 verglichen zu 1990 mit Technologien machbar ist, die entweder schon am Markt oder in ihrer Entwicklung weit fortgeschritten sind. Wenn es aber keine Lebensstil-änderungen gibt, müssten alle verfügbaren Technologien bis zu ihrem maximalen Potenzial ausgeschöpft werden. Energieeffizienzmaßnahmen (wie in der McKinsey 2030 Global GHG Abatement Kostenkurve) würden jedenfalls in allen Sektoren in vollem Umfang implementiert werden. Im Verkehrs und Gebäudebereich werden fossile Brennstoffe völlig ersetzt.

Energie

Die Roadmap 2050 sieht eine fast völlige Dekarbonisierung des Energiesektors vor, durch Erneuerbare, Nuklear und CCS; aber auch Stromimporte aus Nordafrika werden berücksichtigt. Der Energiesektor ist einer der Grundpfeiler zur Erlangung einer 80 %igen Reduktion an Treibhausgasen im Jahr 2050 und muss um mindestens 95 % dekarbonisiert werden, um dieses Ziel überhaupt erreichen zu können. Wenn man davon ausgeht, dass Kohlekraftwerke, die noch 2011 – 2012 gebaut wurden/werden zwischen 2020 und 2030 auf die CCS Methode umgerüstet werden und alle neuen fossilen Kraftwerke bereits ab 2020 damit ausgestattet sind, dann würde dass Einsparungen um -70 % bis 2030, -90 % bis 2040 und -96 % bis 2050 (mit kleinen Unterschieden bei den verschiedenen Pfaden) bringen.

Verkehr

Für diesen Sektor wird von einer schnellen Marktdurchdringung mit Elektrofahrzeugen, Brennstoffzellen, und Biotreibstoffen der zweiten Generation ausgegangen. Im Jahr 2050 werden nur mehr 10 % der LKW noch mit Diesel betrieben. Diese Änderung würde die Emissionen um 0,7 GT CO_2-eq reduzieren. Dies ist jedoch nur eine Annahme, auch andere Szenarien sind möglich. Die Elektrifizierung beginnt mit Hybrid und Plug-in-Hybriden für Stadtfahrzeuge, (Durchdringung von ca. 20 % im Jahr 2020), mit einem kleinen Anteil an Elektrofahrzeugen bis 2020. Für das Jahr 2030 wird angenommen, dass Elektrofahrzeuge den Markt schon in hohem Ausmaß durchdrungen haben werden. Dies würde den Strombedarf bis 2050 um bis zu 700 TWh in 2050 erhöhen. Luft- und Seetransport könnten Emissionen um weitere 0,1 Gt CO_2-eq durch einen Übergang auf Biotreibstoffe.

Gebäude

Im Gebäudesektor kommt es zu einer großflächigen Anwendung von Wärmepumpen und in einem kleineren Ausmaß von Biomasse/Biogas. Diese Technologien müssen bereits in den nächsten Jahren bei der Konstruktion von Gebäuden und Infrastruktur berücksichtigt werden, um eine Reduktion der Emissionen um 80 % erreichen zu können. Wärme-pumpen sind bereits jetzt sehr effizient und sollen im Jahr 2050 bereits COP 4[23] erreichen können. Ca. 90 % des übrigen Bedarfs für Gebäude (nach Verbesserungen in der

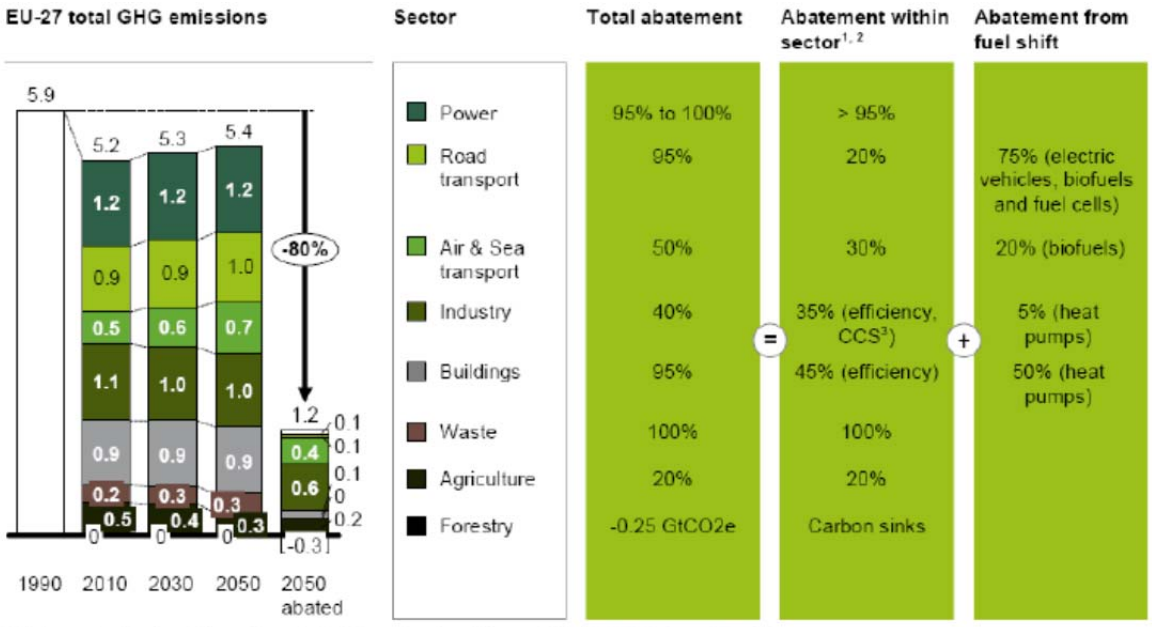
22 http://www.roadmap2050.eu/

23 Coefficient of Performance: COP 4 bedeutet, dass aus 1 kWh eingesetzter (elektrischer) Energie 4 kWh Wärmeenergie (auf einem bestimmten Temperaturniveau) gewonnen werden können.

Energieeffizienz) wird durch dekarbonisierte Stromversorgung abgedeckt. Bei hoher Gebäudedichte wird die Versorgung durch Fernwärme mittels Wärmepumpen angenommen, wie es derzeit zum Beispiel schon in Stockholm üblich ist. Alternativen dazu sind mit Biomasse oder Biogas befeuerte Kraft-Wärmekopplungsanlagen oder Fernheizwerke oder mit Biogas betriebene Boiler für Haushalte.

Insgesamt kann das Ziel einer 80 %igen Reduktion nur durch eine Ausdehnung der Ziele über alle Sektoren hin erreicht werden. Schon durch die Vorgabe der Basis wird eine signifikante Erhöhung der Energieeffizienzmaßnahmen vorausgesetzt (1–2 % pro Jahr). Trotzdem muss jeder Sektor darüber hinausgehen, um das Maximum an Reduktionen zu erreichen, die für die Implementierung aller Maßnahmen, die in der McKinsey Global GHG Abatement Cost Curve festfehalten wurden. Weiters muss der Energiesektor um mindestens 95 % dekarbonisiert werden, ein Übergang bei den Treibstoffen hin zu Elektrifizierung, Biomasse und/oder Wasserstoff muss in den Sektoren Verkehr, Industrie und Gebäude umgesetzt werden.

Abbildung 4-6. zeigt eine mögliche Kombination von Reduktionsleves über alle Sektoren, um das 80 %-Ziel der EU-27 im Jahr 2050 zu erreichen. Sie zeigt die unterschiedlichen Reduktionsminderungen in den verschiedenen Sektoren, wie viel davon im Sektor selbst reduziert werden muss und welche Reduktionen aus einem „Fuel shift" resultieren.



1 Abatement estimates within sector up to 2030 based on the McKinsey Global GHG Abatement Cost Curve
2 Large efficiency improvements are already included in the baseline based on the IEA WEO 2009 (up to 2030), especially for industry
3 CCS applied to 50% of large industry (cement, chemistry, iron and steel, petroleum and gas); not applied to other smaller industries
SOURCE: McKinsey Global GHG Abatement Cost Curve; IEA WEO 2009; US EPA; EEA; Team analysis

Abbildung 4-6. Reduktionsziele für einzelne Sektoren

4.4 Modell Deutschland[24]

Die Studie „Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050" wurde vom Ökoinstitut im Auftrag des WWF im Jahre 2009 erstellt. Sie enthält neben einem Referenzszenario auch ein Innovationsszenario mit einer Treibhausgasreduktion von 87 % und ein „Modell

24 http://www.wwf.de/themen/klima-energie/modell-deutschland-klimaschutz-2050/

Deutschland" mit einer Reduktion von 95 %. Im Referenzszenario wird eine ambitionierte Fortsetzung heutiger Energie- und Klimaschutzpolitik abgebildet. Das Innovationsszenario orientiert sich an der angestrebten Emissionsminderung sowie an weiteren Leitplanken (Restriktionen für den Einsatz von Biomasse etc.). Der Energiebedarf von Neubauten sinkt fast auf null, die energetische Sanierungsrate im Gebäudebestand verdoppelt sich, verbunden mit ambitionierten Zielwerten für Sanierungen (der Raumwärmebedarf wird auf nahezu Null reduziert). 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 als auch im Personenverkehr werden 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 zum Umbau der Märkte, zu einer Verstärkung der Dienstleistungstendenz und zu leicht veränderten Branchenstrukturen. Der Strombedarf in der Variante „ohne CCS" wird im Jahr 2050 zu 84 % aus erneuerbaren Quellen gedeckt, in der Variante „mit CCS" zu 66 %.

Zusätzlich kann in „Modell Deutschland":

- der erhebliche Sockel verbleibender industrieller CO_2-Emissionen durch den flächendeckenden Einsatz von CCS für die einschlägigen Industrieprozesse (Roheisenerzeugung, Zementherstellung) weiter deutlich zurückgeführt werden;

- der verbleibende Prozesswärmebedarf der Industrie sowie die verbliebenen Erdgas-und Heizölanwendungen im Dienstleistungssektor 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 Komplementäraßnahmen im Verkehrssektor;

- durch einen weitgehenden Ersatz von konventionellen Kraftstoffen durch Biokraftstoffe im Flugverkehr ebenfalls deutliche zusätzliche Emissionsminderungen erbracht werden; mit der Verbringung von CO_2 aus der Biokraftstoffproduktion in geologische Formationen (Biomasse-CCS) eine zusätzliche CO_2-Senke erschlossen werden.

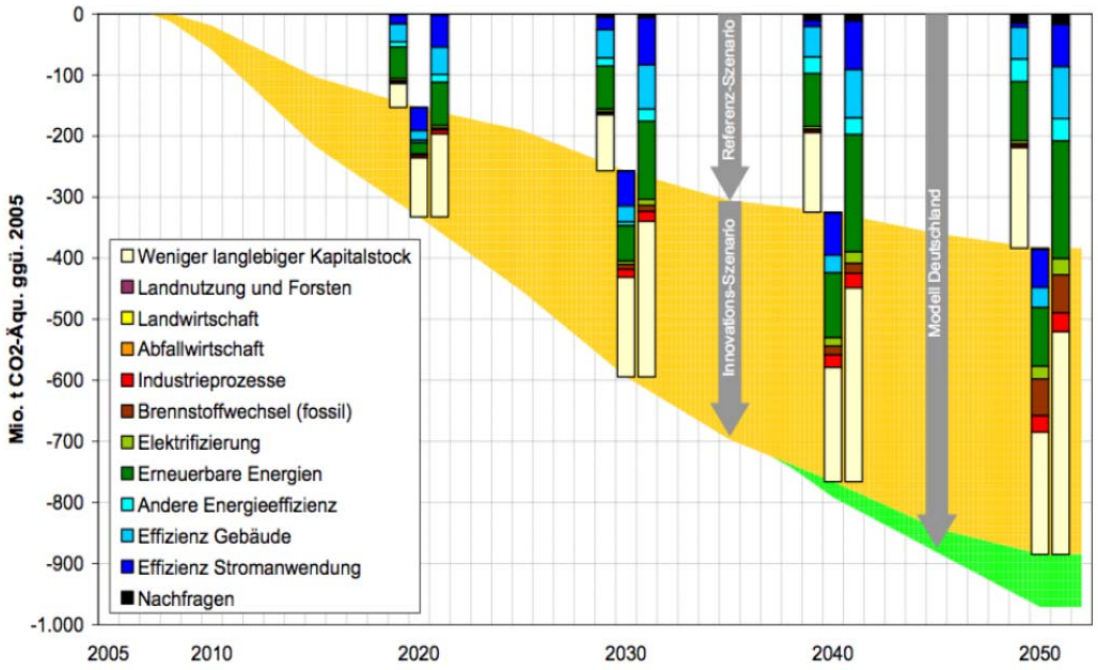


Abbildung 4-7. Komponentenzerlegung für die gesamte Emissionsentwicklung im Referenz-, und Innovationsszenario, 2005 - 2050

Die in Abbildung 4-7. gezeigte Übersicht verdeutlicht, dass im Referenzszenario etwa die Hälfte (46 %) aller Minderungsbeträge der Energieeffizienz (bei Strom, Gebäuden etc.) zuzurechnen ist. Auf die erneuerbaren Energien entfallen hier 29 %, auf die Elektrifizierung (v.a. des Verkehrs) rund 6 %. Zu beachten ist, dass vor allem in den ersten Dekaden des Szenarienzeitraums 2005 – 2050 die Wirkungsbeiträge der verschiedenen Handlungsbereiche im Bereich der Energieeffizienz Anteile von über 50 % der gesamten Minderungsleistung repräsentieren und die Beiträge der erneuerbaren Energie bei Werten um 30 % liegen.

Für das Innovationsszenario ergeben sich deutlich andere Akzente

Die spezifische Rolle der erneuerbaren Energien ist im Verhältnis zu den Energieeffizienzbeiträgen erheblich größer (35 % im Vergleich zu 30 % im Referenzszenario). Im Bereich der Energieeffizienzbeiträge kommt der effizienteren Stromnutzung eine deutlich größere Rolle zu (7 % im Vergleich zu 2 %). Der Ersatz von CO_2 intensiven durch weniger CO_2 intensive fossile Brennstoffe (soweit sie 2050 noch genutzt werden) erbringt erhebliche Zusatzbeiträge (9 % im Vergleich zu 2 %). Über die Minderung der Treibhausgasemissionen im Bereich der Industrieprozesse werden messbare Zusatzbeiträge erbracht (6 % im Vergleich zu 3 %). Der Bereich Landnutzung und Forste liefert ebenfalls nicht zu vernachlässigende Minderungsbeiträge (2 % exklusiv im Innovationsszenario).

Die Minderungsbeiträge aus der gesamten Palette der Energieeffizienzoptionen sowie eine breite Einführung von erneuerbaren Energien bilden damit zentrale Baustein sowohl des Referenz- als auch des Innovationsszenarios. Die im Innovationsszenario erreichten massiven Emissionsminderungen (87 % im Vergleich zu 1990 bzw. 73 % gegenüber 2005) erfordern jedoch neben einer verstärkten Erschließung der Energieeffizienzpotenziale eine deutlich größere Rolle der erneuerbaren Energien, der Elektrifizierung des Verkehrs und der fossilen Brennstoffsubstitution wie auch die Erschließung anderer

Emissionsminderungspotenzial im Bereich von Industrieprozessen, Landnutzung, Landwirtschaft etc. Die Übersicht in Abbildung 4-7. verdeutlicht schließlich auch, dass die verbleibenden Lücken bei der Emissionsreduktion für das Erreichen des 95 % Minderungsziels vor allem in den Jahren nach 2040 entstehen. Für diesen – langfristigen – Zeithorizont wären dann zusätzlich Minderungspotenzial zu identifizieren und zu bewerten.

Industrie

Die deutsche Industrie wird in vielen Sektoren von der Veränderung der Nachfrage in Richtung CO_2-arme oder -freie Produkte profitieren. Der Umbau der Industrie schafft sogar neue Chancen: Eindeutige Gewinner werden die Branchen sein, die den Wandel zu innovativen CO_2-armen Produkten und Fertigungsweisen frühzeitig beginnen. Sie könnten ihre Energieeffizienz in der Produktion stark verbessern und somit – trotz einem zu Grunde gelegten Anstieg der Gesamtproduktion – ihren Energieverbrauch um mehr als 50 % reduzieren.

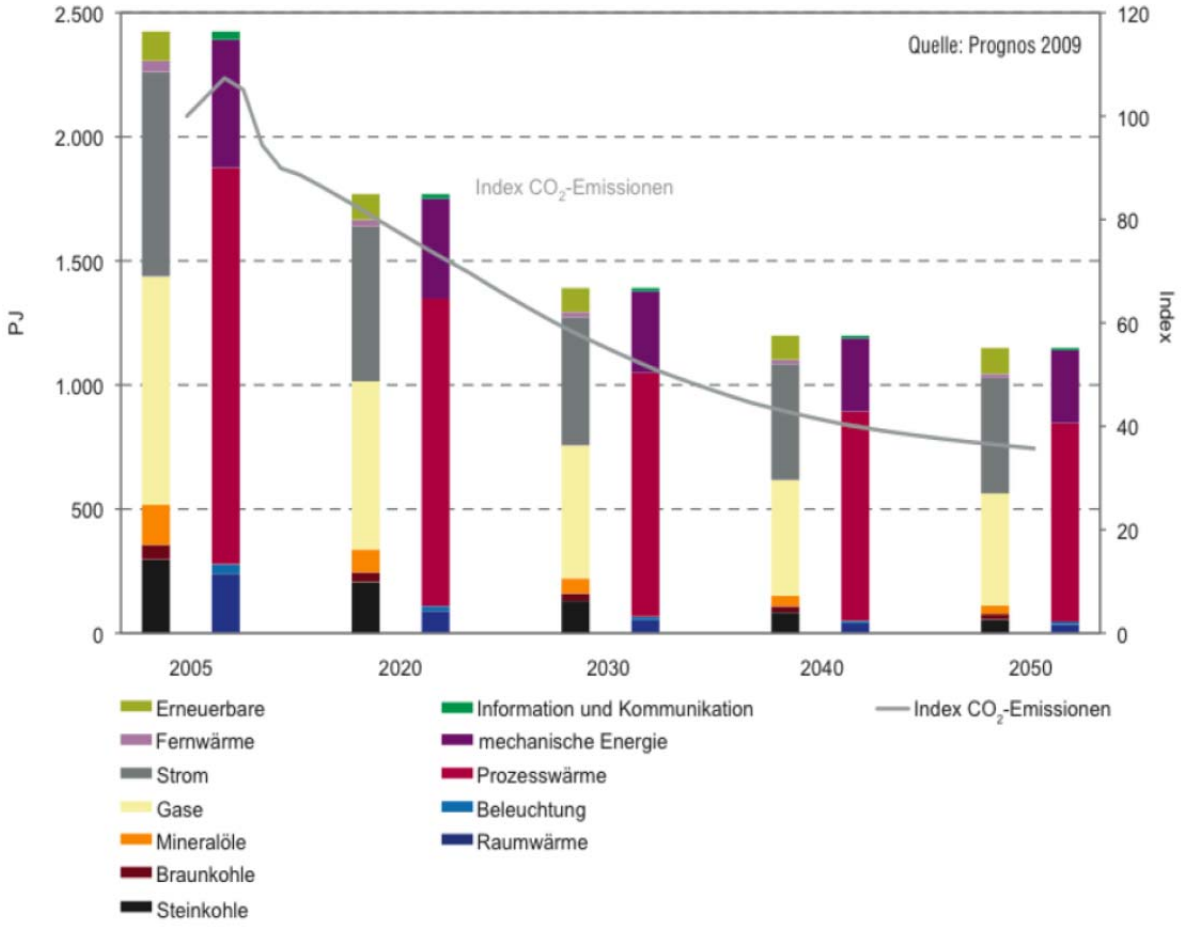


Abbildung 4-8. Endenergieverbrauch im Sektor Industrie im Innovationsszenario nach Verwendungszwecken und Energieträgern in PJ, Index direkte CO_2 Emissionen 2005 - 2050

Wie in Abbildung 4-8. ersichtlich, werden die direkten CO_2-Emissionen des Industriesektors bis zum Jahr 2050 von 101 (2005) auf 36 Millionen Tonnen schrumpfen, das entspricht einer Reduktion um 64 %. Zwei Drittel dieser Emissionen können durch eine verbesserte Energieeffizienz eingespart werden. Der wesentliche Minderungsbeitrag wird

durch die Senkung des Prozesswärmebedarfs geleistet. Durch neue Produktionsverfahren und Verschiebungen von den energieintensiven (z. B. Metallerzeugung) zu den weniger energieintensiven Industriezweigen reduziert sich der absolute Prozesswärmebedarf um 50 % bei einer Produktionssteigerung von knapp 20 %. An zweiter Stelle beim Energieeinsatz in der Industrie stehen Kraftanwendungen mit 21 % in 2005. Hocheffiziente Querschnittstechnologien und spezifisch entwickelte Werkstoff-, Produkt- und Prozessoptimierungen verringern hier den Endenergieeinsatz. Insgesamt nimmt der Energiebedarf für diese Anwendungen zwischen 2005 und 2050 um 43 % ab. Der spezifische Raumwärmebedarf von Industriegebäuden verringert sich bis zum Jahr 2050 sehr stark. Im Industriesektor gibt es für Emissionsminderungen physikalische Grenzen bei den spezifischen Verbräuchen von Prozessen mit Wärme- und Krafteinsatz. Deshalb wird im Industriesektor 2050 insgesamt nur rund 53 % weniger Energie verbraucht als 2005. Der Energiemix in der Industrie wird von Strom (41 %) und Gas (39 %) dominiert.

Der Anteil erneuerbarer Energien und emissionsfreier Energieträger (Fern- und Nahwärme, Strom) am gesamten Endenergiebedarf sollte bis 2030 auf etwa 60 % und bis 2050 auf 90 % steigen. Noch notwendige CO_2-intensive Industrien wie etwa die Stahl- oder Zementbranche sollten bis zum Jahr 2050 nur noch mit CO_2-Abtrennung und -Speicherung (CCS) betrieben werden.

Annahmen zu Energie- und Zertifikatenpreise

Die Preise der Energieträger Erdöl, Erdgas und Steinkohle steigen bis 2050 deutlich an. Am Weltmarkt liegt der reale Ölpreis im Jahr 2030 mit 125 US-$(2007)/Barrel um mehr als 130 % höher als im Jahr 2005. Diese Entwicklung orientiert sich an der Einschätzung des IEA World Energy Outlook 2008 (IEA, 2008). Nach 2030 verstärkt sich der Preisanstieg. Im Jahr 2050 erreicht der reale Ölpreis 210 US-$(2007)/Barrel. Gegenüber 2005 bedeutet dies eine Vervierfachung. Die realen Grenzübergangspreise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle verändern sich annähernd parallel zu den Weltmarktpreisen. Der Grenzübergangspreis für Erdgas orientiert sich an der Ölpreisentwicklung und steigt bis zum Jahr 2030 um 135 % auf 3,9 €Cent/ kWh, bis zum Jahr 2050 um 300 % auf 6,6 €-Cent/kWh (real, in Preisen von 2007). Steinkohle verteuert sich aufgrund der höheren Verfügbarkeit langsamer als Öl und Erdgas. Der reale Steinkohlepreis liegt im Jahr 2030 mit 118 €/t SKE um 78 % höher als 2005, bis 2050 steigt er auf 199 €/t SKE (+200 %).

Die in den Preisen enthaltenen CO_2-Zuschläge steigen linear von 10 €/t CO_2 im Jahr 2010 auf 50 €/t CO_2 (real, in Preisen von 2007). Die CO_2-Zuschläge können theoretisch über Zertifikate oder CO_2-Steuern implementiert werden. In den Szenarien wird unterstellt, dass die CO_2-Zuschläge entsprechend den CO_2-Faktoren der Energieträger ab 2010 auf die Energieträgerpreise aufgeschlagen werden.

4.5 UK Low Carbon Transition plan[25]

Der „UK Low Carbon Transition Plan" beschreibt in erster Linie einen Reduktionspfad bis 2020, aber gibt auch einen Ausblicke bis 2050 und stellt sicher, dass kurz- und mittelfristige Handlungsempfehlungen mit langfristigen konsistent sind. Beispielsweise

25 http://www.decc.gov.uk/assets/decc/White%20Papers/UK%20Low%20Carbon%20Transition%20Plan%20WP09/1_20090724153238_e_@@_lowcarbontransitionplan.pdf

sollen bereits bis 2020 die Emissionen aus der Stromerzeugung um 40 % fallen, einerseits durch den Ausbau Erneuerbarer anderseits mit Hilfe von CCS Pilotanlagen aber auch neuer nuklearer Anlagenkapazität. Ziel für 2050 ist es, die Emissionen um 80 % zu reduzieren, größtenteils mit Hilfe von Maßnahmen im Inland.

Dem UK Low Carbon Transition Plan liegen die Annahmen zugrunde, dass der CO_2-Preis bis 2050 auf etwa 100 bis 300 €/Tonne steigt, mit 200 €/Tonne als wahrscheinlichem Wert.

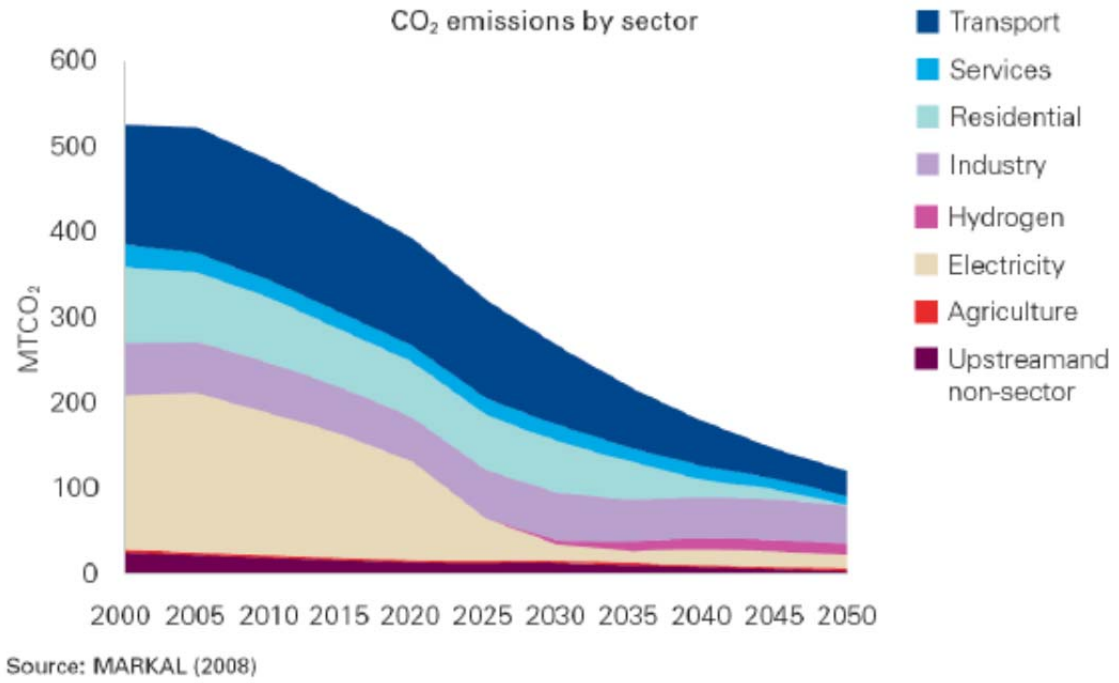


Abbildung 4-9. Ein möglicher UK Reduktionspfad bis 2050

Abbildung 4-9. zeigt, dass die Emissionen in Haushalten bis 2050 gegen Null gehen, während es relativ wenig Minderung im Industriesektor gibt. Reduktionen im Bereich Verkehr und Haushalte sind bis 2020 wesentliche Schwerpunkte des Low Carbon Transition Plans, aber auch andere Bereiche wie Landwirtschaft und Arbeitsplätze werden behandelt.

Haushalte

Über ¾ der in Großbritannien in Haushalten verbrauchten Energie wird für das Heizen von Räumen oder Wasser aufgewendet, der Großteil davon kommt aus gasbetriebenen Boilern. Dies ist immerhin für 13 % der Treibhausgasemissionen in Großbritannien verantwortlich, bis 2050 müssen diese Emissionen nahezu Null sein. Der Low Carbon Transition Plan, gemeinsam mit anderen Strategien, sieht vor, dass die Emissionen aus Haushalten um 29 %, ausgehend von 2008, verringert werden. Um das zu erreichen, soll der Plan dabei helfen, den Energieverbrauch zu reduzieren und die benötigte Energie mehr und mehr aus CO_2-armer Produktion von Wärme und Elektrizität unter Verwendung von Sonnenenergie und Wärmepumpen zu generieren. Kernmaßnahmen des Transition Plans beinhalten die Unterstützung von Haushalten bei Energiesparmaßnahmen und Maßnahmen zur Gebäudedämmungen von insgesamt 6 Mio. Gebäuden. Dazu gehört

unter anderem die Verpflichtung der Energieversorger, die Haushalte in ihren Anstrengungen dahingehend zu unterstützen. Für Einsparungen bis zum Jahr 2020 sollen dann in jedem Haushalte smart meters installiert werden. Dies soll den Menschen helfen, ihren Energieverbrauch besser zu verstehen, ihre Anstrengungen, Energie zu sparen zu unterstützen und besseres Service durch die Energieversorger zu gewährleisten.

Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Tätigkeiten und Änderungen in der Landnutzung sind für etwa 7 % der Treibhausgasemissionen in Großbritannien verantwortlich. Der Transition Plan, auch hier gemeinsam mit anderen Maßnahmen, sieht eine Reduktion der Emissionen aus der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft um 6 %, ausgehend vom Stand 2008, vor. Die langfristige Herausforderung für die Regierung und die Landwirte wird sein, Wege zu finden, um einerseits die Emissionen zu reduzieren, aber trotzdem den Landschaftsschutz und die Lebensmittelproduktion aufrecht zu erhalten.

Bei der Zersetzung von Müll kommt es zur Freisetzung von Methan, welches für ca. 4 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Großbritannien verantwortlich zeichnet. Der Transition Plan soll dabei helfen, diese Emissionen um 13 %, ausgehend vom Stand 2008 zu reduzieren. Insgesamt sollen die Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft zu 4% der Einsparungen im Zeitraum 2018 – 2022 beitragen. Landwirte sollen dazu ermutigt werden, selbst Aktionen zu setzen, um die Emissionen zu reduzieren. Dies soll vor allem durch den effizienteren Einsatz von Düngemitteln und ein besseres Management von Vieh und Gülle erreicht werden. Es wird auch geprüft, ob weitere Unterstützung von Seiten der Regierung notwendig ist. So sollen Beratungsprogramme zur Unterstützung der Landwirte und bessere Instrumente zur Bemessung, Berichterstattung und Verifizierung von Emissionen aus der Landwirtschaft zur Verfügungen gestellt werden, für private Finanzierung von Forstflächen zur Aufnahme von Kohlenstoff gesorgt, die Generierung von erneuerbarer Energie aus Abfall und Gülle gefördert und schließlich die Menge an Müll, die immer noch deponiert wird, reduziert und für eine bessere Absaugung von Emissionen von Deponien gesorgt werden.

Weiters sind auch in den Bereichen Transport, Energiebereitstellung und Arbeitsplätze weitreichende Einsparungen geplant. So sollen bis 2020, bei Sicherstellung der Energiebereitstellung die Emissionen aus den Sektoren Energie und Industrie zusammen um 22 %, ausgehend vom Stand 2008 reduziert werden. 2020 kämen dann rund 40 % der Elektrizität aus Niedriegkohlenstoff-Quellen. Emissionen aus dem Bereich Arbeitsplätze sollen um 13 %, ausgehend von 2008 reduziert werden. Investitionen in Forschung und Entwicklung neuer, kohlenstoffarmer Technologien sollen vermehrt getätigt werden, so sind zum Beispiel bis zu £ 120 Millionen für Offshore Windanlagen vorgesehen. Die Emissionen aus dem Transportsektor sollen um 14 % ausgehend vom Stand in 2008 gesenkt werden.

4.6 EU Energy Roadmap

Aufbauend auf die EU 2050 Roadmap veröffentlichte die Europäische Kommission im Dezember 2011 die EU Energy Roadmap[26]. In dem vorliegenden Energiefahrplan 2050 untersucht die Kommission die mit dem EU-Dekarbonisierungsziel verbundenen Heraus-

26 http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/index_en.htm

forderungen, wobei dieses Ziel unter Gewährleistung der Energieversorgungssicherheit und der Wettbewerbsfähigkeit erreicht werden soll. Mit diesem Fahrplan wird einer Aufforderung des Europäischen Rates nachgekommen[27].

Die EU-Politikansätze und -Maßnahmen zur Erreichung der Energie-2020-Ziele[28] und der Energiestrategie bis 2020 sind ehrgeizig[29]. Sie werden auch nach 2020 zur Erreichung dieser Ziele und zur Senkung der Emissionen um ca. 40 % bis 2050 beitragen. Allerdings werden sie nicht ausreichen, um das für 2050 angestrebte EU-Dekarbonisierungsziel zu erreichen, da dieses Ziel im Jahr 2050 weniger als zur Hälfte erreicht sein wird. Dies zeigt das Ausmaß der Anstrengungen und Veränderungen sowohl struktureller als auch gesellschaftlicher Art, die für die Realisierung der notwendigen Emissionssenkungen unter Beibehaltung eines wettbewerbsfähigen und sicheren Energiesektors erforderlich sind.

Langfristige Zukunftsprognosen sind nicht möglich. In den Szenarios dieses Energiefahrplans 2050 werden Wege zur Dekarbonisierung des Energiesystems untersucht. Alle setzen größere Veränderungen etwa bei den CO_2-Preisen, Technologien und Netzen voraus. Es wurden mehrere Szenarios untersucht[30], bei denen eine Verringerung der Treibhausgasemissionen um 80 % erreicht werden soll, was eine Senkung der energiebezogenen CO_2-Emissionen um 85 % (Verkehrssektor eingeschlossen) bedeutet. Darüber hinaus hat die Kommission die Szenarios und Standpunkte von Mitgliedstaaten und beteiligten Akteure analysiert. Aufgrund des langen Zeithorizonts sind diese Ergebnisse natürlich mit Unwägbarkeiten behaftet, nicht zuletzt deshalb, weil sie auf Annahmen beruhen, die ihrerseits nicht sicher sind[31]. Es kann unmöglich vorhergesagt werden, ob das Ölfördermaximum erreicht wird, da wiederholt neue Vorkommen entdeckt wurden, in welchem Umfang Schiefergas in Europa wirtschaftlich sein wird, ob und wann die CCS- Technologie (Carbon Capture and Storage, d. h. die CO_2-Abscheidung und -Speicherung) kommerziell ausgereift ist, welche Rolle die Kernenergie in den Mitgliedstaaten spielen und wie sich der weltweite Klimaschutz entwickeln wird. Gesellschaftliche, technologische und verhaltensbezogene Änderungen werden ebenfalls erhebliche Auswirkungen auf das Energiesystem haben[32].

27 Außerordentliche Tagung des Europäischen Rates vom 4. Februar 2011

28 Europäischer Rat vom 8./9 März 2007: Bis 2020 Verringerung der Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber 1990 (um 30 %, wenn die entsprechenden internationalen Voraussetzungen gegeben sind, Europäischer Rat vom 18./11.Dezember 2009), Einsparung von 20 % des EU-Energieverbrauchs gegenüber den Prognosen für 2020; Anteil erneuerbarer Energien am EU-Energieverbrauch von 20 %, Anteil von 10 % im Verkehrssektor.

29 Siehe auch „Energie 2020 – Eine Strategie für wettbewerbsfähige, nachhaltige und sichere Energie", KOM(2010) 639, vom November 2010.

30 Hierfür wurde das PRIMES-Energiesystemmodell verwendet.

31 Zu diesen Unwägbarkeiten gehören u. a. das Tempo des Wirtschaftswachstums, das Ausmaß der globalen Anstrengungen zur Begrenzung des Klimawandels, geopolitische Entwicklungen, die Höhe der weltweiten Energiepreise, die Dynamik der Märkte, die Entwicklung künftiger Technologien, die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen, gesellschaftliche Veränderungen und die öffentliche Wahrnehmung.

32 Die europäischen Gesellschaften müssen möglicherweise neu darüber nachdenken, wie Energie verbraucht wird, z. B. durch eine Änderung der Städteplanung und der Verbrauchsmuster. Siehe Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa (KOM(2011) 571).

Die Analyse der Szenarios dient der Veranschaulichung; in ihr werden die Folgen, Herausforderungen und Chancen möglicher Wege zur Modernisierung des Energiesystems untersucht. Bei den Szenarios handelt es sich nicht um Entweder-Oder-Optionen; ihr Fokus liegt vielmehr auf den sich abzeichnenden Gemeinsamkeiten, und sie unterstützen längerfristige Investitionsansätze.

Szenarien – Aktuelle Trendszenarien

- Referenzszenario. Das Referenzszenario umfasst aktuelle Trends und langfristige Prognosen zur wirtschaftlichen Entwicklung (Wachstum des Bruttoinlandsprodukts (BIP) um 1,7 % pro Jahr). Es schließt ebenfalls politische Konzepte ein, die bis März 2010 verabschiedet wurden, darunter die 2020-Ziele für den Anteil der erneuerbaren Energien und die Senkung der Treibhausgasemissionen sowie die Richtlinie über das Emissionshandelssystem (ETS). Für die Analyse wurden mehrere Sensitivitäten mit niedrigeren und höheren BIP-Wachstumsraten und niedrigeren und höheren Energieimportpreisen untersucht

- Aktuelle politische Initiativen (API). Bei diesem Szenario werden Maßnahmen, die z. B. nach den Ereignissen von Fukushima nach den Naturkatastrophen in Japan verabschiedet wurden, sowie Maßnahmen, die im Rahmen der Strategie Energie 2020 vorgeschlagen werden, aktualisiert; das Szenario umfasst auch Maßnahmen, die im Zusammenhang mit dem „Energieeffizienzplan" und der neuen „Energiebesteuerungsrichtlinie" vorgeschlagen wurden.

- Hohe Energieeffizienz. Politische Verpflichtung, sehr hohe Energieeinsparungen zu erreichen; dazu gehören z. B. strengere Mindestanforderungen an Geräte und neue Gebäude, hohe Sanierungsraten bei bestehenden Gebäuden und die Festlegung von Energieeinsparverpflichtungen für Energieversorgungs-unternehmen. Dies führt zu einer Senkung der Energienachfrage um 41 % bis 2050 gegenüber den Spitzen im Zeitraum 2005-2006.

- Diversifizierte Versorgungstechnologien. Es wird keine Technologie bevorzugt. Alle Energiequellen können auf einer Marktbasis ohne spezielle Fördermaßnahmen miteinander konkurrieren. Die Dekarbonisierung wird durch die Festlegung eines Preises für CO_2-Emissionen vorangetrieben, wobei von der öffentlichen Akzeptanz sowohl der Kernenergie als auch der CCS-Technologie (Carbon Capture and Storage = CO_2- Abscheidung und -Speicherung) ausgegangen wird.

- Hoher Anteil erneuerbarer Energien (EE). Starke Förderung der erneuerbaren Energien, die zu einem sehr hohen Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch (75 % im Jahr 2050) und zu einem Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch von 97 % führt.

- Verzögerte CCS-Technologie. Dieses Szenario ähnelt dem Szenario „diversifizierte Versorgungstechnologien", jedoch wird von einer Verzögerung bei der CCS-Technologie ausgegangen, was zu einem höheren Anteil der Kernenergie führt und bewirkt, dass die Dekarbonisierung durch die CO_2-Preise statt durch einen Technologieschub vorangetrieben wird.

- Geringer Kernenergieanteil. Das Szenario ähnelt dem Szenario für diversifizierte Versorgungstechnologien, allerdings mit der Annahme, dass keine neuen Kernkraftwerke (außer den bereits im Bau befindlichen) gebaut werden, was eine größere Verbreitung der CCS-Technologie zur Folge hat (ca. 32 % bei der Stromerzeugung).

Abbildung 2: Stromanteil in den aktuellen Trendszenarios und in den Dekarbonisierungsszenarios (als % der Endenergienachfrage)

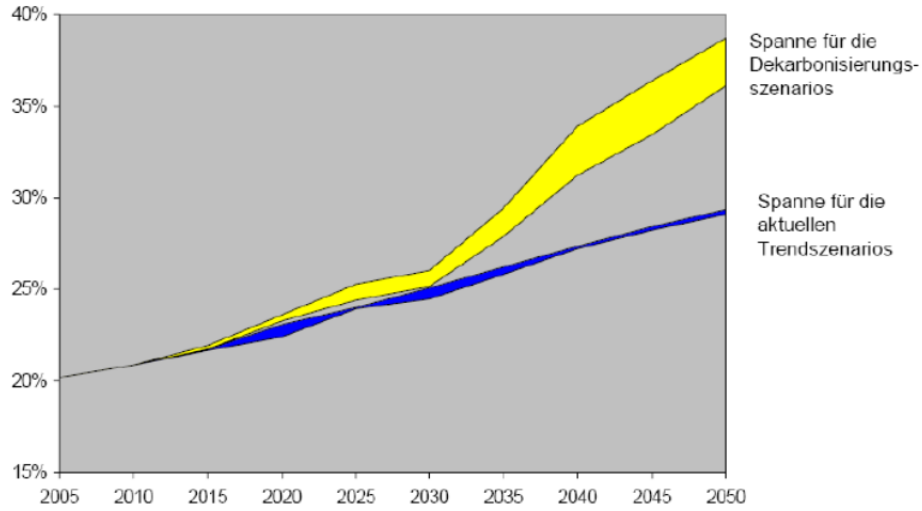


Abbildung 4-10. Stromanteil in den aktuellen Trendszenarien und in den Dekarbonisierungsszenarien

Aus der Kombination der Szenarios lassen sich einige Schlussfolgerungen ziehen, die jetzt zur Gestaltung der Dekarbonisierungsstrategien beitragen können, welche bis 2020, 2030 und darüber hinaus ihre volle Wirkung entfalten sollen. Hauptaussagen umfassen unter anderem:

Strom spielt eine immer größere Rolle

Aus allen Szenarios geht hervor, dass **Strom eine viel größere Rolle spielen muss** als bisher (mit 36-39 % wird sich sein Anteil an der Endenergienachfrage 2050 fast verdoppeln) und einen Beitrag zur Dekarbonisierung in den Bereichen Verkehr sowie Heizung/Kühlung leisten muss (siehe Abbildung 4-2.). Allen Dekarbonisierungsszenarios zufolge könnte Strom ca. 65 % der Energienachfrage von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen decken. Sogar im Szenario „hohe Energieeffizienz" steigt die Stromnachfrage. Um dies zu erreichen, **müsste das Stromerzeugungssystem strukturell geändert werden** und bereits 2030 eine nennenswerte Dekarbonisierung erreichen (57-65 % im Jahr 2030 und 96-99 % im Jahr 2050). Dies verdeutlicht, wie wichtig es ist, den Übergang jetzt einzuleiten und die Signale zu setzen, die notwendig sind, um die Investitionen in CO_2-intensive Anlagen in den nächsten beiden Jahrzehnten möglichst niedrig zu halten.

Energieeinsparungen im gesamten System sind unabdingbar

Bei allen Dekarbonisierungsszenarios müssten **außerordentlich große Energieeinsparungen** (siehe Abbildung 4-3.) erzielt werden. Die *Primär*energienachfrage sinkt bis 2030 um 16 % bis 20 % und bis 2050 um 32 % bis 41 % gegenüber Höchstwerten im Zeitraum 2005-2006. Um erhebliche Energieeinsparungen erzielen zu können, müssen Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch stärker voneinander entkoppelt und entsprechende schärfere Maßnahmen in allen Mitgliedstaaten und Wirtschaftsbranchen vorgesehen werden.

Erheblicher Anstieg des Anteils erneuerbarer Energien

Der **Anteil erneuerbarer Energien steigt** in allen Szenarios **deutlich** und deckt im Jahr 2050 mindestens 55 % des Bruttoendenergieverbrauchs, was eine Zunahme um 45 Prozentpunkte gegenüber dem derzeitigen Anteil von ca. 10 % darstellt. Der Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch erreicht im Szenario „hohe Energieeffizienz" 64 % und im Szenario „hoher Anteil erneuerbarer Energien" 97 %, wobei dieses Szenario für den Ausgleich der variablen regenerativen Versorgung sogar in nachfrageschwachen Zeiten von erheblichen Stromspeicherkapazitäten ausgeht.

CO_2-Abtrennung und -Speicherung spielen eine zentrale Rolle beim Systemumbau

Die Technologie der **CO_2-Abtrennung und -Speicherung** (CCS-Technologie) wird, falls sie kommerzialisiert wird, in den meisten Szenarios einen erheblichen Beitrag leisten; im Fall einer eingeschränkten Kernenergieerzeugung wird sie mit einem Anteil von bis zu 32 % an der Stromerzeugung eine besonders große Rolle spielen und in den anderen Szenarios (mit Ausnahme des Szenarios „hoher Anteil erneuerbarer Energien") einen Anteil von 19 % bis 24 % haben.

Stärkere Interaktion zwischen Dezentralisierung und zentralisierten Systemen

Die **Dezentralisierung** des Stromsystems und der Wärmeerzeugung nimmt aufgrund einer vermehrten Erzeugung aus erneuerbaren Energien zu. Allerdings müssen, wie die Szenarios zeigen, **zentralisierte große Systeme** wie Kernkraft- und Gaskraftwerke und dezentrale Systeme immer mehr zusammenarbeiten. In dem neuen Energiesystem muss sich eine neue Konfiguration dezentraler und zentraler Großsysteme herausbilden, die voneinander abhängen, etwa wenn lokale Ressourcen nicht ausreichen oder zeitlich unstet zur Verfügung stehen.

4.7 Diskussion

Die Roadmaps unterscheiden sich deutlich was die Reduktionspfade für die einzelnen Sektoren betrifft. Alles 2050 Strategien gemein ist die große Rolle, die CCS zugewiesen wird.

Während die ECF Roadmap von einer fast völligen Dekarbonisierung des Transportsektors ausgeht und Import von CO_2-freiem Strom aus Nordafrika berücksichtigt, wird in der EU Roadmap von einer deutlich geringeren Emissionsreduktion im Transportsektor ausgegangen. Im Energiesektor legt das Modell Deutschland mehr als die anderen Strategien einen Schwerpunkt auf Energie aus Biomasse.

Die EU 2050 Roadmap nimmt wesentlich größere Emissionsminderungen im Industriebereich an als die ECF Roadmap, mit der Begründung der höheren Kosteneffizienz in den EU-ETS Sektoren. Der UK Low Carbon Transition Plan wiederum sieht kaum Reduktionen im Industriesektor vor, im Haushaltsbereich sollen die Emissionen bis 2050 jedoch fast gegen Null gehen. Während die EU 2050 Roadmap im Industriesektor neben fortschrittlicheren Industrieprozessen vor allem CSS als Schlüssetechnologie sieht, liegt die Akzentsetztung bei anderen 2050 Strategien deutlich anders: das Modell Deutschland beispielsweise betont die Rolle von stark verbesserter Energieeffizienz in der Produktion, der Prozesswärmebedarf könnte bis zu 50 % gesenkt werden. Die EU 2050 Roadmap wiederum nimmt an, durch fortschrittlichere ressourcenschonende und energieeffiziente Industrieprozesse und –anlagen, mehr Recycling sowie Technologien zur Verringerung von Nicht-CO_2-Emissionen die Emissionen im Industriesektor um bis zu 50 % reduzieren zu können.

Im Gegensatz zur EU 2050 Roadmap gibt die EU Energy Roadmap keine Trajektorien für Sektoren vor, sondern skizziert verschiedene Szenarien, um die 2050 Ziele zu erreichen. Im Gegensatz zur EU 2050 Roadmap lässt die EU Energy Roadmap somit den einzelnen EU Mitgliedstatten einen großen Handlungsspielraum.

5 Szenarien der Siedlungsentwicklung bis 2050 unter Berücksichtigung von bestehender Siedlungsstruktur und regionaler Bevölkerungsprognose

5.1 Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Energieverbrauch bzw. Energieeffizienz

Siedlungsentwicklung und Siedlungsstruktur gehen nicht direkt in unterschiedliche Energieverbräuche ein, sie stellen in diesem Zusammenhang jedoch eindeutig einen wesentlichen Faktor dar. Die nachfolgende Darstellung basiert auf der detaillierten Literaturrecherche zum vorliegenden Thema, die im Zuge des Projekts SUME durchgeführt wurde[33].

Hier soll der Konnex zwischen Siedlungsstruktur und Energieverbrauch (lediglich als Hintergrundinformation) kurz vereinfacht dargestellt werden. Die generellen Zusammenhänge wurden inzwischen vielfach empirisch nachgewiesen. Im Wesentlichen sind zwei Aspekte hinsichtlich dieses Zusammenhanges zu unterscheiden: die Energieversorgung für Gebäude sowie der Energieverbrauch im Verkehr. Diese beiden Aspekte weisen Korrelationen mit dem Anteil der Bevölkerung in zusammenhängend bebauten Gebieten sowie mit der Bevölkerungsdichte innerhalb dieser Gebiete auf.

33 SUME – Sustainable Urban Metabolism for Europe (2008–2011) ist ein EU gefördertes Forschungsprojekt im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms (www.sume.at)

Tabelle 5-1. Tendenzieller Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Energieverbrauch. (Quelle: SUME, Working Paper 1, 2009)

	Energieversorgung für Gebäude	Energieverbrauch für Verkehr
Anteil der Bevölkerung im zusammenhängend bebauten Gebiet	Streusiedlungsgebiete führen zu einem deutlich längeren Leitungsnetz (Ver- und Entsorgung), das zusätzlich zum Energieverbrauch im Bau mehr Energieeinsatz für den laufenden Betrieb benötigt (z. B. Pumpen).	Je größer die Ausdehnung des Siedlungsgebietes desto weiter die gefahrenen Distanzen. Attraktiver öffentlicher Verkehr ist in Streusiedlungsgebieten nicht möglich. Die Distanzen sind für Fahrradverkehr oder Fußgänger oftmals zu groß.
Bevölkerungsdichte	Energieeffiziente Wärmenetze können nur in Gebieten höherer Dichte betrieben werden.	Die zurückzulegenden Distanzen innerhalb einer Siedlungseinheit verringern sich proportional zur Bevölkerungsdichte. Höhere Bevölkerungsdichten o ermöglichen ein attraktives Angebot für (energieeffizienten) Öffentlichen Verkehr und verbessern die Chancen für nicht-motorisierten Verkehr; o verbessern die Chancen für Funktions-mischung und Nahversorgung vor Ort und verringern dadurch die gefahrenen Strecken (kürzere Strecken, mehr nicht-motorisierter Verkehr).

Quelle: SUME, Working Paper 1, 2009

Die nachfolgende Beschreibung der Ausgangssituation bezieht sich daher im Besonderen auf die oben dargestellten Charakteristika der Siedlungsstruktur. Die Annahmen zu den Szenarien bauen auf diesen Zusammenhängen auf und versuchen eine Siedlungsentwicklung darzustellen, die sich durch einen geringeren Grad der Zersiedelung und geringfügig höhere Bevölkerungsdichten günstiger auf Energieverbrauch und Energieeffizienz auswirkt.

5.2 Ausgangssituation – Die österreichische Siedlungsstruktur 2010

Im Jahr 2010 wurden die **Siedlungseinheiten** (SE)[34] Österreichs von Statistik Austria neu berechnet. Österreich wies zu Jahresbeginn 2010 insgesamt 1.629 Siedlungseinheiten auf, in denen sich 71 % aller Gebäude befanden, 80 % der Bevölkerung wohnte innerhalb dieser Siedlungseinheiten.

Aufgrund der Kriterien für Siedlungseinheiten konnte nicht in allen Gemeinden Österreichs eine Siedlungseinheit identifiziert werden. Rund ein Viertel aller Gemeinden weist

34 Eine Siedlungseinheit ist ein zusammenhängendes Gebiet von Wohnhäusern (einschließlich Gehöftanlagen), industriellen, gewerblichen, Verwaltungs–, Bildungs– und kulturellen Einrichtungen, Bürohäusern, Verkehrsanlagen und innerörtlichen Erholungseinrichtungen (z. B. Parks), wobei die Baulücken (abgesehen von natürlichen Hindernissen) 200 m nicht überschreiten dürfen. Die von Statistik Austria ausgewiesenen Siedlungseinheiten werden von insgesamt mindestens 501 EinwohnerInnen bewohnt. Diese Siedlungseinheiten sind unabhängig von den Gemeindegrenzen und anderen administrativen Gliederungen.

keine Siedlungseinheit innerhalb der Gemeinde auf. In diesen meist kleinen Gemeinden – gemessen an der Zahl der EinwohnerInnen – ohne Siedlungseinheit wohnen allerdings nur rund 6 % der österreichischen Gesamtbevölkerung (siehe folgende Tabelle).

Tabelle 5-2. Siedlungsstruktur in Österreich 2010. (Quelle: Statistik Austria, 2011)

	Einwohner-Innen 2010	***in % der EW in Österreich***	**Gemeinden 2010**	***in % der Gemeinden***
Österreich	8.375.290	*100 %*	2.379	100 %
in Siedlungseinheiten insg.	6.682.076	*80 %*	-	-
Gemeinden mit mind. einer Siedlungseinheit	7.896.900	*94 %*	1.801	76 %
Gemeinden ohne Siedlungseinheit	478.390	*6 %*	578	24 %

Quelle: Statistik Austria, 2011

Dabei zeigen sich deutliche **Unterschiede innerhalb Österreichs**: einerseits hinsichtlich der Zahl der Gemeinden mit und ohne Siedlungseinheiten sowie andererseits in Bezug auf die Charakteristika der Siedlungseinheiten (insb. Bevölkerungsdichte).

Auf Ebene der Bundesländer weisen die Steiermark, Kärnten und Oberösterreich mit unter 70 % deutlich geringere Anteile an Bevölkerung innerhalb der Siedlungseinheiten auf. Einen überdurchschnittlichen Anteil weist neben der Stadt Wien auch das Bundesland Vorarlberg mit rund 92 % auf.

Wie zuvor erläutert ist zusätzlich zum Anteil der EinwohnerInnen, der in den geschlossen(eren) Siedlungsverbänden wohnt, auch die Dichte innerhalb dieser Siedlungsverbände wesentlich. Aufgrund ihrer topographischen Voraussetzungen weisen die westlichen Bundesländer diesbezüglich neben Wien deutlich höhere durchschnittliche Werte auf (Vorarlberg 1.725 EW/km^2, Salzburg 1.744 EW/km^2 und Tirol 1.272 EW/km^2)[35].

35 Hier ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den zugrundeliegenden Flächen nicht ausschließlich um Flächen für die unterschiedlichen Nutzungen (Wohnen, Gewerbe, Industrie etc.) handelt, sondern dass durch die Definition der Siedlungseinheiten gemäß der Abstandsregel von 200m auch beträchtliche Flächen dazwischen berücksichtigt sind.

Tabelle 5-3. Siedlungsstruktur in den Bundesländern Österreichs 2010. (Quelle: Statistik Austria, 2011)

Bundesland	Einwohner-Innen 2010 insgesamt	Einwohner-Innen 2010 in Siedlungs-einheit	Anteil der Bevölkerung innerh. der Siedlungseinh.	Fläche/Ein-wohnerIn in Siedlungs-einheit	Bevölker-ungsdichte/ km² in Sied-lungseinh.
Burgenland	283.965	227.648	80,2 %	1.008	992
Kärnten	559.315	386.410	69,1 %	830	1.205
Niederösterreich	1.607.976	1.218.585	75,8 %	777	1.286
Oberösterreich	1.411.238	984.087	69,7 %	720	1.389
Salzburg	529.861	422.512	79,7 %	573	1.744
Steiermark	1.208.372	824.012	68,2 %	786	1.272
Tirol	706.873	586.357	83,0 %	571	1.752
Vorarlberg	368.868	340.389	92,3 %	580	1.725
Wien	1.698.822	1.692.076	99,6 %	245	4.078
Österreich insg.	**8.375.290**	**6.682.076**	**79,8 %**	**605**	**1.653**
Österreich insg. ohne Wien	6.676.468	4.990.000	74,7 %	727	1.375

Quelle: Statistik Austria, 2011

Die folgenden Karten zeigen den Anteil der Bevölkerung innerhalb der Siedlungseinheiten (im Durchschnitt über den jeweiligen Bezirk, Abbildung 5-1.) sowie den Anteil der Bevölkerung außerhalb der Siedlungseinheiten bwz. Gemeinden ohne Siedlungseinheit (auf Ebene der Gemeinden, Abbildung 5-2.).

Regional zeigen sich die höchsten Bevölkerungsanteile in Siedlungseinheiten in den Agglomerationsräumen der größeren Städte. Darüber hinaus sind in einzelnen Regionen aufgrund von Siedlungstraditionen (Nordburgenland, Weinviertel) und/ oder Knappheit des Dauersiedlungsraumes (Vorarlberg, Tirol) deutlich höhere Anteile zu verzeichnen.

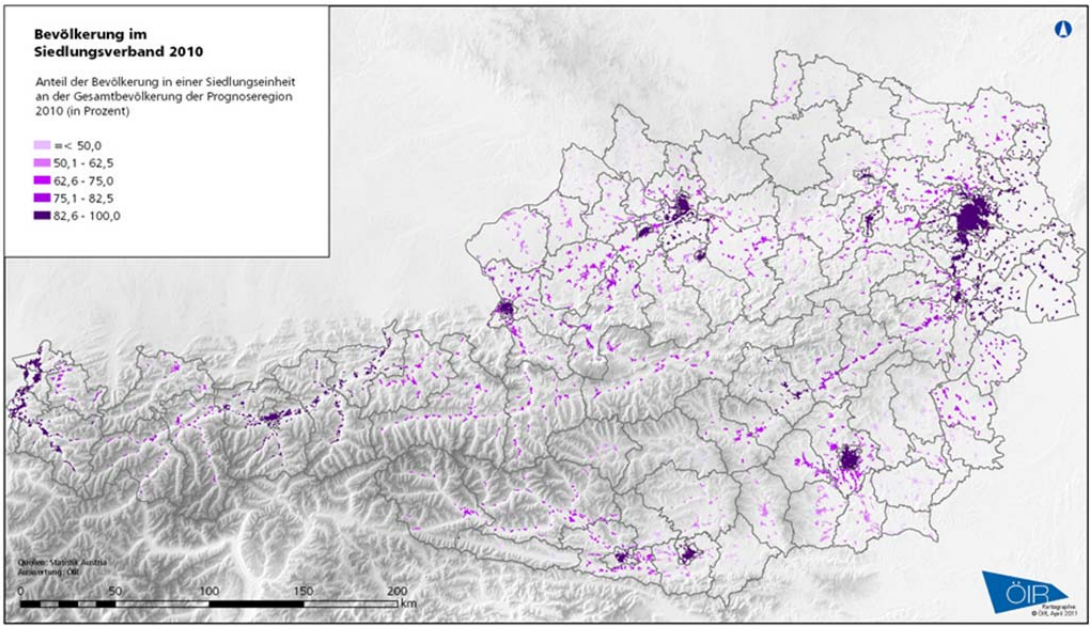


Abbildung 5-1. Anteil der Bevölkerung in Siedlungseinheiten 2010

Im Gegensatz dazu sind die Anteile der innerhalb von Siedlungseinheiten wohnhaften Bevölkerung im Waldviertel (NÖ), im nördlichen Mühlviertel (OÖ), in der Südoststeiermark und dem Südburgenland deutlich geringer. Zusätzlich zum deutlich höheren Grad der Zersiedelung in den genannten Regionen befindet sich in diesen Gebieten auch der Großteil jener Gemeinden, die aufgrund geringer Einwohnerzahlen und Streusiedlungsstrukturen keine Siedlungseinheit aufweisen können (folgende Karte, dunkelgrüne Flächen).

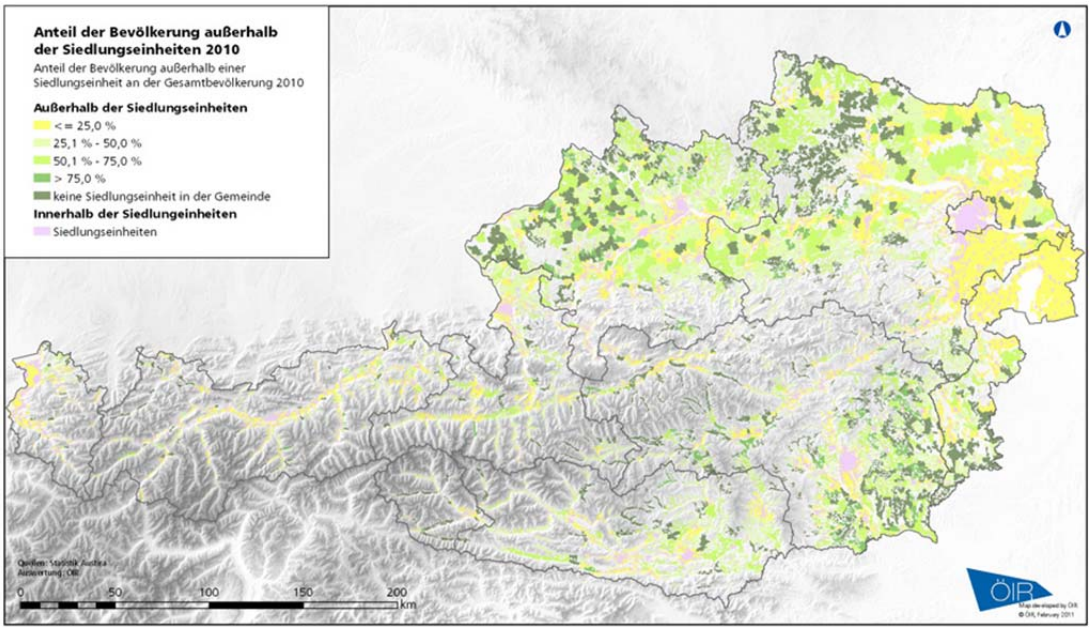


Abbildung 5-2. Anteil der Bevölkerung außerhalb der Siedlungseinheiten 2010

Diese Regionen mit deutlich geringeren Siedlungsdichten weisen in der Regel deutlich geringere Energieeffizienz in ihrer Versorgung sowie eine besonders schwierige (Kosten-) Situation in Bezug auf die infrastrukturelle Erschließung (Öffentlicher Verkehr, Ver- und Entsorgung, Nahversorgung, soziale Infrastruktur etc.) auf.

Zusätzlich zur generellen Frage der Bevölkerungsanteile in Siedlungseinheiten ist auch die Bevölkerungsdichte in den Siedlungseinheiten von Bedeutung. Sie spielt beispielsweise hinsichtlich der im Einzugsbereich von ÖV-Haltestellen lebenden Personen oder in Bezug auf die Versorgung von Gebäuden mittels Wärmenetzen eine wichtige Rolle. Da die Ausweisung von Siedlungseinheiten Villen- und Einfamilienhausgebiete ebenso einschließt wie dichte städtische Viertel mit Blockrandbebauung wurde diese Charakteristik mittels durchschnittlicher Dichten abgebildet (Abbildung 5-3.).

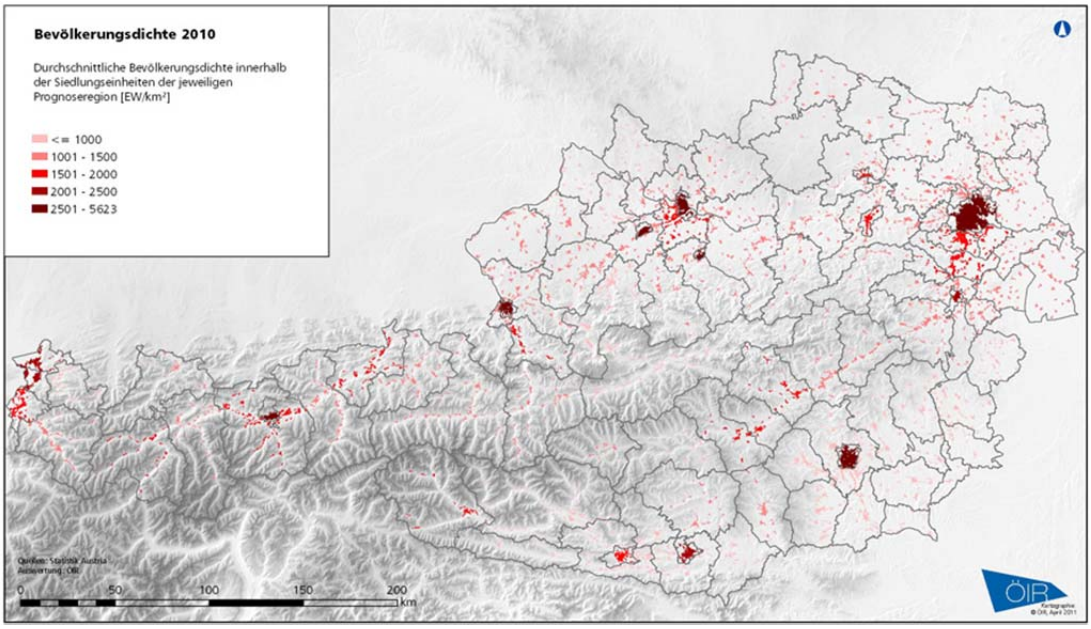


Abbildung 5-3. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten 2010

Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass die hier dargestellte durchschnittliche Dichte innerhalb der Bezirke in diesem Zusammenhang nur einen Anhaltspunkt für die Frage der ÖV-Versorgung wie auch für die Möglichkeit des Betriebs von Wärmenetzen darstellen kann. Die tatsächliche Situation muss jeweils deutlich kleinräumiger, auf Ebene von Gemeinden bzw. von Ortsteilen und Siedlungsgebieten innerhalb der Gemeinden geklärt werden.

5.3 Bevölkerungsprognose 2010–2050 als Rahmenbedingung der Siedlungsentwicklung

Für den künftigen Spielraum der Raumplanung hinsichtlich der Entwicklung energieeffizienter(er) Siedlungsstrukturen bis 2050 ist neben der aktuellen Siedlungsstruktur auch die regional unterschiedliche Bevölkerungsentwicklung in diesem Zeitraum zu berücksichtigen. Insbesondere bei anhaltendem Nachfragedruck durch Bevölkerungszuzug ist von größeren Erweiterungen der Siedlungsgebiete auszugehen, auf die die Raumplanung im Prinzip direkt Einfluss nehmen kann. Dagegen ist der Handlungsspielraum der Raumplanung in Regionen mit Bevölkerungsrückgang deutlich geringer.

Die folgende Karte zeigt die Bevölkerungsveränderung in den Österreichischen Prognoseregionen[36] gemäß ÖROK-Bevölkerungsprognose (Statistik Austria 2010). Hier ist deutlich der hohe Bevölkerungsdruck im Raum Wien und im Umland der Landeshauptstädte zu erkennen, wogegen in vielen ländlich geprägten Regionen von zum Teil deutlichen Bevölkerungsrückgängen ausgegangen wird (insbesondere im Waldviertel, in der Obersteiermark sowie in Kärnten abseits des Kärntner Zentralraums).

36 Die Prognoseregionen entsprechen im Wesentlichen den politischen Bezirken. Ausnahmen stellen vor allem Stadtumlandbezirke sowie einzelne kleine Bezirke dar, die als Prognoseregion zusammengelegt wurden.

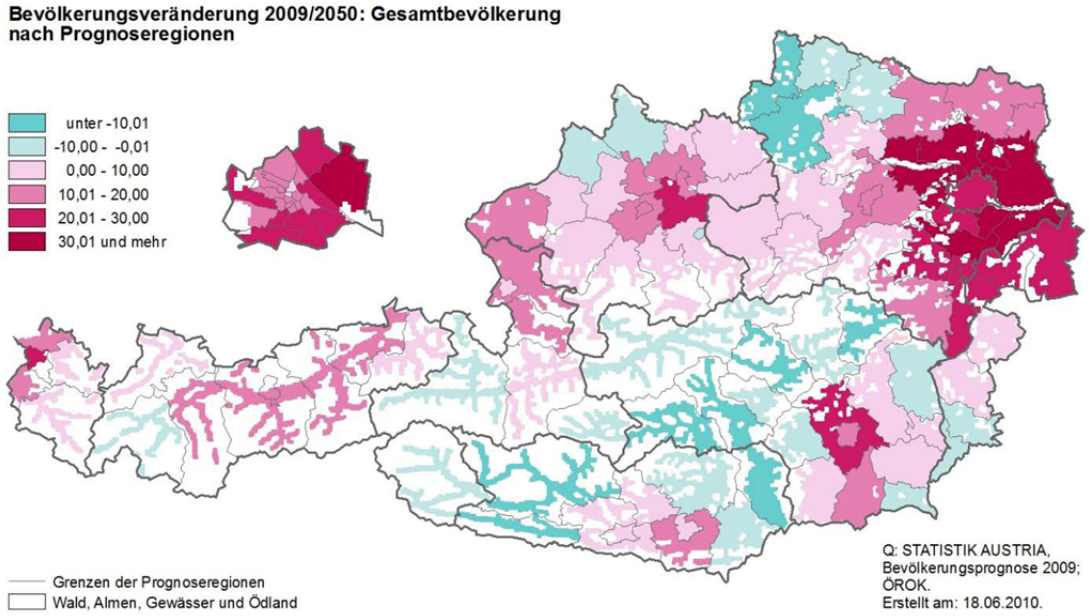


Abbildung 5-4. Bevölkerungsprognose bis 2050.
(Quelle: ÖROK-Bevölkerungsprognose 2009, 2010)

Auf Basis dieser Prognose wurde im Rahmen von EISERN eine Umlegung der bezirksweisen Bevölkerungsentwicklung auf die Gemeinden durchgeführt. Durch diese Umlegung kann die Gesamtheit aller Zu- und Abwanderungsbewegungen (auch innerhalb der Bezirke) dargestellt werden, auf Basis derer erst Veränderungen der Siedlungseinheiten und damit in Zusammenhang stehende Flächenzuwächse eingeschätzt werden können. Aufgrund der unterschiedlichen Standortattraktivität der Gemeinden innerhalb von politischen Bezirken als Wohnort – so weisen die Bezirkshauptorte oftmals auch in ‚Abwanderungsbezirken' noch Zuwanderung auf, während die Abwanderung in den peripher gelegenen Gemeinden mit geringerer Infrastrukturausstattung deutlich überdurchschnittlich ist.

Die folgende Tabelle zeigt die Bedeutung dieses Arbeitsschrittes. Außerhalb Wiens macht die Summe aller Zuwanderungen (in den einzelnen Gemeinden) einen Wert von rund 873.000 Personen aus, während andere Gemeinden zur gleichen Zeit ein negatives Gemeindesaldo (in ‚Abwanderungsgemeinden') von rund 188.100 EinwohnerInnen aufweisen. Im Saldo zeigt sich nur noch ein Bevölkerungszuwachs von 684.900 EinwohnerInnen tatsächlich ist der Zuwachs jedoch größer. Eine Betrachtung auf Bezirksebene würde die Anzahl der zugewanderten Personen (innerhalb Österreichs) bis 2050 daher um ca. 188.100 EinwohnerInnen unterschätzen.

Tabelle 5-4. Bevölkerungsentwicklung in Österreich 2010 – 2050

	Veränderung der EinwohnerInnen Österreich	Veränderung der EinwohnerInnen Österreich ohne Wien	Anzahl der Gemeinden (ohne Wien)
Zuwanderung in Gemeinden	+ 1.190.300	+ 873.000	1.285
Abwanderung aus Gemeinden	– 188.100	– 188.100	1.071
Bezirkssaldo	+ 1.002.300	+ 684.900	-

Geht man davon aus, dass die bestehende Siedlungsstruktur überwiegend im Rahmen von Bevölkerungszuwanderung (in wachsenden Gemeinden) zu beeinflussen ist – also vor allem dort, wo zusätzlicher Wohnraum benötigt wird – beträgt der prioritäre Handlungsspielraum für Veränderungen zwischen 2010 und 2050 die Siedlungstätigkeit von rund 12 % der EinwohnerInnen Österreichs (873.000 EinwohnerInnen) in mehr als der Hälfte der Gemeinden (insgesamt 1.285 Zuwanderungsgemeinden).

Im Zusammenhang mit den sogenannten ‚Abwanderungsgemeinden' sind Entwicklungen in Richtung einer energieeffizienten Siedlungsstruktur noch schwieriger zu beeinflussen. Durch Anreize für die Nutzung freiwerdender Gebäude innerhalb des Siedlungsverbandes und den Verzicht auf die Nutzung freistehender Gebäude oder Gebäudegruppen außerhalb der Siedlungseinheiten kann zumindest versucht werden, die ungünstige Entwicklung weiter abnehmender Bevölkerungsdichten abzuschwächen (siehe nachfolgende Szenariendefinitionen).

Dabei muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass dabei der Handlungsspielraum in einzelnen Gemeinden auch im betrachteten Zeitraum bis 2050 durchaus massiv ist und in diesen Gemeinden von essentiellen Auswirkungen auf die Energieeffizienz auszugehen ist. Durch die Betrachtung der Entwicklung auf Bezirksebene bzw. in Bezug auf ganz Österreich erscheint der (durchschnittliche) Spielraum auf aggregierter Ebene der Bezirke deutlich geringer.

5.4 Szenarien für die Siedlungsentwicklung – Annahmen zur Entwicklung auf Gemeindeebene

Aufbauend auf der Siedlungsstruktur Österreichs gemäß der oben dargestellten Siedlungseinheiten (geschlossener Siedlungsverband, Statistik Austria 2010) und unter Berücksichtigung der ÖROK-Bevölkerungsprognose (ÖROK 2010, umgelegt auf Gemeinden durch ÖIR) für die Bevölkerungsveränderung bis 2050 wurden **drei Szenarien** definiert.

Siedlungsstrukturen ergeben sich aus einer großen Anzahl von Teilschritten, die in ihrer Gesamtheit über lange Zeiträume zu Veränderungen führen (können). Die nachfolgend beschriebenen Szenarien der Siedlungsentwicklung stellen unterschiedliche Entwicklungspfade dar, die sich aus einem Bündel von zunehmend stärker eingreifenden Politiken der Raumordnung (und zugehörigen Instrumenten, siehe nachfolgender Abschnitt) ergeben würden. Dabei werden die ‚notwendigen' Wirkungen des Instrumentenbündels beschrieben, es wird aber nicht auf die einzelnen

Landesraumordnungsgesetze eingegangen[37]. Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass die Szenarien kein ‚Krisenszenario' enthalten, sondern von einer kontinuierlichen Entwicklung ausgehen[38].

Die Szenarien bauen also auf vereinfachten Annahmen zur Siedlungsentwicklung auf Basis der bisherigen Trends in den Gemeinden (Siedlungstraditionen) und generellen raumplanerischen bzw. ordnungspolitischen Eingriffsmöglichkeiten durch Planung bzw. Vorgaben der öffentlichen Hand auf, wobei dabei durchaus auch Anreizinstrumente (z. B. Wohnbauförderung) eingesetzt werden. Die folgende Abbildung zeigt die wesentlichen definierten Eckpunkte der Siedlungsentwicklung in den einzelnen Szenarien.

BAU (wenig amb. Szenario)	*ambitioniertes Szenario*	*sehr ambitioniertes Szenario*
Status-quo	**Vermeidung von Zersiedelung**	**Verdichtung**
– Ansiedlung auch außerhalb der Siedlungseinheit (gemeindetypisch)	– Keine weitere Zersiedelung der Gemeinden	– Keine weitere Zersiedelung, Nachverdichtung in den Gemeinden
– Gleichbleibender Flächenverbrauch für neue EW	– Leicht reduz. Flächenverbrauch für neue EW	– Reduzierter Flächenverbrauch für neue EW
– schleichende Entkernung der Ortszentren	– Ortszentren entwickeln sich durchschnittlich	– Stärkung der Ortszentren auch in schrumpfenden Gemeinden

Anmerkung: EW ... EinwohnerInnen

Abbildung 5-5. Szenariendefinition Siedlungsentwicklung

Um deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien zu erhalten, wurde im Bereich der Siedlungsentwicklung im Gegensatz zu anderen Sektoren nicht zwischen Business-as-usual (BAU) und dem wenig ambitionierten Szenario unterschieden. Wie oben erläutert ist zwar der Handlungsspielraum in einzelnen Gemeinden massiv, in Bezug auf ganz Österreich muss aber gleichzeitig auf die hohe Systemträgheit der bestehenden Siedlungsstrukturen hingewiesen werden. Direkte Lenkungseffekte sind nur im Falle von Neuwidmung betreffend des Neubaus von Gebäuden bzw. Siedlungen zu erzielen. Die gebaute Umwelt (bestehende Gebäude) kann ohne massive Eingriffe in das Eigentumsrecht in der Regel nur sukzessive, und damit nur über lange Zeiträume verändert werden.

Generell wird in den Szenarien eine Unterscheidung zwischen wachsenden und schrumpfenden Gemeinden getroffen. Die nachfolgende Darstellung der definierten Wirk-

37 Da Raumplanung Ländersache ist – neun unterschiedliche Raumordnungsgesetze mit unterschiedlich definierten und eingesetzten Instrumenten – hätte eine solche detaillierte Analyse der rechtlichen Bedingungen je Bundesland den Rahmen des Projektes überschritten.

38 Ein solches ‚Krisenszenario' erscheint beispielsweise im Zusammenhang mit Peak Oil durchaus möglich. In diesem Fall wäre durch viel stärker erhöhte Treibstoffpreise und damit verbundene Kosten eine stärkere Zuwanderung zu kleinen und mittleren Zentren zu erwarten, während ländlich-periphere Regionen im Gegenzug einen beschleunigten Rückzug aus der Fläche bewältigen müssten.

ungen des Einsatzes raumordnerischer Instrumente auf die Gemeindeentwicklung bis 2050 (und der dahinterstehenden Annahmen) behandeln diese beiden Gruppen daher getrennt.

Szenario ‚BAU' (wenig ambitioniert): Entwicklung entsprechend status-quo

Dieses Szenario bildet die Weiterentwicklung der Siedlungsstruktur entsprechend der Ergebnisse der bisherigen Raumordnungspolitik der Gemeinden (und Siedlungstraditionen) ab. Gemeinden mit hohen Anteilen an Bevölkerung außerhalb der Siedlungseinheiten lassen demgemäß bei Bevölkerungszuwachs eine weitere Entwicklung außerhalb der Siedlungseinheiten zu.

- Bevölkerungszuwachs bewirkt Siedlungsentwicklung entsprechend der heutigen Siedlungsstruktur. Der **Zuwachs an Siedlungsfläche** erfolgt **im Verhältnis des Bestands** je Gemeinde (gemeindetypisches Verhältnis zwischen EinwohnerInnen innerhalb einer Siedlungseinheit/außerhalb des Siedlungsverbands). D.h. in Gemeinden mit hohen Bevölkerungsanteilen außerhalb der Siedlungseinheit (zersiedelte Gemeinden/ Streusiedlungsgemeinden) nimmt bei Bevölkerungswachstum auch die Anzahl der Personen außerhalb der Siedlungseinheit zu, das Verhältnis zwischen Bevölkerung innerhalb und außerhalb der Siedlungseinheit im Jahr 2050 entspricht jenem aus dem Jahr 2010.

- Das Ausmaß der neu bebauten Siedlungsfläche (als Erweiterung der Siedlungseinheit in der Gemeinde) entspricht dem **bestehenden pro-Kopf-Flächenverbrauch** der jeweiligen Gemeinde.

- In schrumpfenden Gemeinden erfolgt ein leicht **verstärkter Bevölkerungsrückgang in Siedlungskernen**, da ‚Ortsrandlagen' (oftmals mit Garten) gegenüber Häusern in Ortskernen als attraktiver empfunden werden. Hierzu trägt auch der zunehmende Funktionsverlust der Ortszentren insbesondere in kleinen Gemeinden bei (Nahversorgung wandert zunehmend an den Ortsrand, Aufrechterhaltung der Versorgung mit Gastronomie und sozialer Infrastruktur wird schwieriger etc.).

Szenario ‚ambitioniert': Vermeidung von Zersiedelung - verstärkte Konzentration auf den Siedlungsverband

Im ambitionierten Szenario wird davon ausgegangen, dass einer weiteren Zersiedelung durch Raumordnungsinstrumente konsequent Einhalt geboten wird. Neue Siedlungstätigkeit ist ausschließlich auf die Siedlungseinheiten beschränkt. Die bestehenden Streusiedlungsgebiete bestehen weiter, werden aber nicht mehr ausgebaut (z. B. keine Erweiterungen oder Lückenschlüsse von Streusiedlungsgebieten).

- Siedlungsentwicklung (Widmung von Wohnbauland und Neubau von Gebäuden) findet ausschließlich **im Anschluss an die bestehenden Siedlungseinheiten** statt. In wachsenden Gemeinden nimmt die Anzahl der EinwohnerInnen in den Siedlungseinheiten zu, gleichzeitig dehnen sich die Siedlungseinheiten auch flächenmäßig aus. Der Anteil der BewohnerInnen innerhalb der Siedlungseinheiten steigt.

- In Bezug auf den Flächenverbrauch werden sanfte Maßnahmen in Richtung eines geringeren Flächenverbrauchs pro EinwohnerIn für neue Bebauung gesetzt (-20 % des aktuellen pro-Kopf-Verbrauchs). Dies kann sowohl durch tendenziell kleinere Grundstücke (für Einfamilienhäuser) als auch durch einen geringfügig höheren Anteil an verdichteten Wohnformen oder mehrgeschossigem Wohnbau erfolgen.

- Dagegen erfolgt der Bevölkerungsrückgang in schrumpfenden Gemeinden proportional zur Bevölkerungsverteilung. Die bestehenden Siedlungsstrukturen werden gleichmäßig ‚perforiert', der Anteil der EinwohnerInnen innerhalb der Siedlungseinheiten bleibt gleich. Der schleichenden Entkernung der Ortszentren kann durch das Setzen von Anreizen (z. B. Förderung innerstädtischer Sanierung, Nahversorgung etc., siehe auch folgender Abschnitt) tendenziell entgegengewirkt werden.

Szenario ‚sehr ambitioniert': Verdichtung des Siedlungsverbandes und Stärkung der Stadt- und Dorfkerne

Das sehr ambitionierte Szenario geht von einer deutlich strikteren Anwendung der Raumordnungsinstrumente aus. Zusätzlich zur Vermeidung von Zersiedelung liegt der Fokus hier auf Verdichtung der bestehenden Siedlungseinheiten.

- Bevölkerungszuwachs findet zum Großteil innerhalb der bestehenden Siedlungseinheiten statt. 70 % der neuen EinwohnerInnen siedeln sich auf freien Flächen innerhalb der Siedlungseinheit an und bewirken daher keine flächenbezogene Erweiterung der Siedlungseinheit. Die übrigen 30 % der neuen EinwohnerInnen siedeln sich im Anschluss an die bestehenden Siedlungsverbände an. Im Gegensatz zum ambitionierten Szenario bewirkt dies einen deutlich geringeren Flächenverbrauch und effizientere Nutzung der bestehenden Leitungsinfrastruktur (Ver- und Entsorgung) sowie bessere Bedingungen für den öffentlichen Verkehr.

- Zusätzlich zum geringen Anteil des Bevölkerungszuwachses, der auf neue Siedlungsflächen im Anschluss an die Siedlungseinheiten stattfindet, wurde ergänzend von einem viel geringeren Flächenverbrauch pro EinwohnerIn für diese neue Bebauung ausgegangen (-50 %). Dementsprechend benötigen neue EinwohnerInnen, die Flächen im Anschluss an die Siedlungseinheit besiedeln, pro-Kopf nur halb soviel Fläche wie jene im Szenario BAU/wenig ambitioniert.

- Demgegenüber bewirkt der Einsatz des sehr ambitionierten Instrumentariums in schrumpfenden Gemeinden eine Gegenentwicklung zur schleichenden Entkernung der Ortszentren und gleichzeitig einen deutlich stärkeren Bevölkerungsrückgang außerhalb des Siedlungsverbandes. Insbesondere hier wird es nicht primär um strikte Raumordnungspolitik im Bereich Wohnen gehen, sondern vermehrt auch um gezielte Anreize, Vermeidung hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen kontraproduktiv wirkender Förderungen[39] sowie um die Frage der Attraktivität der Ortszentren.

39 So bewirkt etwa die Wohnbauförderung derzeit, dass der Bau sowohl von energieeffizienten als auch von wenig energieeffizienten Siedlungsformen (mit deutlich höheren Folgekosten sowohl für die

Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht über die wesentlichen Annahmen, die hinsichtlich der Wirkungen des einzusetzenden Instrumentariums (Strikte Raumordnung, Anreize und Förderungen) für wachsende und schrumpfende Gemeinden getroffen wurden. Die hier angesprochenen Politiken und Instrumentarien werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Tabelle 5-5. Annahmen zu Siedlungsentwicklung und Flächenverbrauch in den Szenarien

	wachsende Gemeinden		**schrumpfende Gemeinden**	
Szenarien	**innerhalb / nahe der Siedlungseinheit**	**abseits der Siedlungseinh.**	**innerhalb der Siedlungseinheit**	**außerhalb der Siedlungseinheit**
BAU (wenig ambitioniert)	Bevölkerungsverteilung erfolgt entsprechend heutiger Verteilung (im Anschluss an die / abseits der Siedlungseinheit). Der Flächenverbrauch wächst entsprechend durchschnittlichem Flächenverbrauch der jeweiligen Gemeinde		höherer Leerstand → +30 % im Verhältnis zu proportionalem Bevölkerungsrückgang *	niedrigerer Leerstand → -30 % im Verhältnis zu proportionalem Bevölkerungsrückgang *
ambitioniert	100 % der neuen Bebauung im Anschluss an die Siedlungseinheit. Fläche wächst bei leicht reduziertem Flächenverbrauch pro Kopf (-20 %)	keine weiteren Gebäude abseits	Leerstand entsprechend Bevölkerungsverteilung	Leerstand entsprechend Bevölkerungsverteilung
sehr ambitioniert	70 % des Einwohner-Innenzuwachses fließt in Verdichtung der bestehenden Siedlungseinheit. 30 % des Zuwachses erfolgt als Bebauung im Anschluss an die Siedlungseinheit bei stark reduziertem Flächenverbrauch pro Kopf (-50 %)	keine weiteren Gebäude abseits	niedrigerer Leerstand → -50 % im Verhältnis zu proportionalem Bevölkerungsrückgang *	höherer Leerstand → +50 % im Verhältnis zu proportionalem Bevölkerungsrückgang *

Anmerkung zu *: *+X% im Verhältnis zu proportionalem Bevölkerungsrückgang* bedeutet eine Verschiebung / Zurechnung von X% der jeweils anderen Kategorie (innerhalb der Siedlungseinheit oder außerhalb der Siedlungseinheit), dementsprechend wird dieser Anteil bei –X% abgezogen und der jeweils anderen Kategorie aufgeschlagen.

5.5 Siedlungspolitik – Raumordnungsinstrumente zur Lenkung der Siedlungstätigkeit

Um die zuvor dargestellten Siedlungsszenarien umzusetzen braucht es ein Bündel an Raumordnungsinstrumenten, das Einfluss auf darauf hat, welche Möglichkeiten der Wohnstandortwahl innerhalb der Gemeinden grundsätzlich zur Verfügung stehen und welche Bedingungen bzw. welche Vorteile für EinwohnerInnen daraus entstehen. Damit

Umwelt als auch für die öffentliche Hand) gefördert wird. Gleichzeitig unterscheidet die Wohnbauförderung bisher Lagefaktoren (zentrale Lage oder peripherer Standort, Anschluss an Öffentliche Verkehrsmittel etc.) nur in geringem Ausmaß. Beträchtliches Lenkungspotenzial hinsichtlich der Umweltwirkungen geht damit verloren. Ein weiteres Beispiel kontraproduktiv wirkender Förderungen stellt die Pendlerpauschale in der derzeitigen Form dar. Sie bewirkt, dass eine Abhängigkeit vom Pkw für die Fahrt zur Arbeit bzw. die dadurch entstehenden Kosten für Haushalte in der Wohnstandortentscheidung nur von geringerer Bedeutung sind. Damit wird eine Ansiedlung abseits guter öffentlicher Verkehrsanbindung erleichtert.

kann die Raumplanung einen Beitrag zu energieeffizienter Siedlungsentwicklung leisten (Zusammenhang zwischen Siedlungsstrukturen und Energieverbrauch bzw. –effizienz, siehe Abschnitt 5.1).

Die in den folgenden Tabellen genannten Instrumente sind zum Großteil bereits im Einsatz in einzelnen Bundesländern oder Gemeinden, allerdings nicht flächendeckend in Österreich. Die Herausforderung besteht daher nicht so sehr darin, grundsätzlich neue Instrumente zu entwickeln sondern vielmehr darin, die genannten Instrumente in die unterschiedlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen (Raumordnungsgesetze) der Länder zu implementieren und konsequent einzusetzen. Hinsichtlich der Förderungssysteme stellen die wesentlichen Aspekte der Veränderung die Abkehr vom ‚Gießkannenprinzip', die Durchforstung nach kontraproduktive Wirkungen unterschiedlicher Förderungen (hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Umwelt und Energieeffizienz) sowie die Entwicklung von wirkungsvollen Kombinationen der unterschiedlichen Anreizsysteme für die Innenentwicklung (Gemeindezentren) dar.

In **Szenario ‚BAU / wenig ambitioniert'** wurde davon ausgegangen, dass die bisherige Praxis der Raumordnung in den Ländern und Gemeinden bzw. die heutigen Optionen in Bezug auf die Wohnstandortwahl weiter aufrecht bleiben. Für die hier betrachteten Hauptbereiche bedeutet dies:

Zersiedelung

Mit den geltenden Landesgesetzen wird die vorherrschende Praxis der Raumplanung in den Gemeinden weitergeführt. Wie bisher widmen die Gemeinden Bauland (in unterschiedlichem Ausmaß) auch außerhalb der Siedlungseinheiten.

Siedlungsdichte und Flächenverbrauch

Der Flächenverbrauch für Wohnnutzung bleibt hoch, das freistehende Einfamilienhaus ist die deutlich überwiegende Siedlungsform in ländlichen Gebieten und wird auch in Stadtrandregionen stark nachgefragt und gebaut.

Entwicklung der Ortszentren und der Nahversorgung

Der Trend des Funktionsverlustes und der Aushöhlung der Ortszentren hält an, weitere Einkaufszentren werden an Stadt- und Ortsrändern gebaut. Leerstand in zentralen Lagen nimmt zu, insbesondere in Gemeinden mit Bevölkerungsrückgang.

Anreizsysteme

Das Förderungssystem bleibt gleich, die Problematik des ‚Gießkannenprinzips' mit zu geringem Fokus auf räumlich bedingter Energieeffizienz und umweltbezogen und volkswirtschaftlich wünschenswerte Entwicklung bleibt bestehen. Raumplanerische Gesichtspunkte wie Lagekriterien (zentrale Lage, Ortsrand, Streusiedlung), Bevölkerungsdichte durch unterschiedliche Wohnformen (Einfamilienhaus, Reihenhaus, Mehrfamilienhaus) oder Mobilitätskriterien (Anschluss an öffentlichen Verkehr) werden weiterhin kaum berücksichtigt. Dazu wirken Förderungen aus anderen Bereichen sogar gänzlich kontraproduktiv (z. B. Pendlerpauschale).

Die nachfolgende Tabelle bietet einen Überblick über den Einsatz der Raumordnungs-instrumentarien in Szenario ‚BAU/wenig ambitioniert'.

Tabelle 5-6. Einsatz des Raumordnungsinstrumentariums in Szenario ‚BAU/wenig ambitioniert'

Instrumentarium der Raumordnung	Zielsetzung/Wirkung des Einsatzes des Instrumentariums
Örtliche Entwicklungskonzepte	o Gleichbehandlung und Versorgung aller Ortsteile einer Gemeinde
Flächenwidmungsplanung	o Landesgesetze und Planungspraxis der Gemeinden wie bisher o Möglichkeit der Ausweitung von Streusiedlungsgebieten bzw. des Lückenschlusses (Neubau in abgelegenen Gebieten) o Einkaufsflächenentwicklung am Ortsrand in beschränktem Ausmaß weiter möglich (Entwicklung bereits gewidmeter Flächen, Ausbau bestehender Zentren), keine maßgeblichen Einschränkungen der laufenden Entwicklung und Nutzung o Ausweisung von bindenden Vorranggebieten für Wärmenetze unter Berücksichtigung notwendiger Dichten nur in beschränktem Ausmaß
Bebauungsplanung	o Landesgesetze und Planungspraxis der Gemeinden wie bisher o Ausweisung von nahezu 100 % Einfamilienhäusern in ländlichen Neubaugebieten
Wohnbauförderung	o Kaum Unterscheidung nach Lagekriterien (Zentrum, Randlage) oder nach Wohnformen (Einfamilienhaus, verdichtete Wohnformen/Reihenhaus, Mehrfamilienhaus)

Das **ambitionierte Szenario** basiert vor allem auf einer strikten Einschränkung weiterer Zersiedelung. Darüber hinaus wird in Ansätzen versucht der schleichenden Entkernung der Ortszentren entgegenzuarbeiten.

Zersiedelung

Zersiedelung wird strikt gestoppt. Baulandwidmungen ohne Anschluss an Siedlungseinheiten sind grundsätzlich nicht mehr möglich.

Siedlungsdichte und Flächenverbrauch

Der Flächenverbrauch für Wohnnutzung bleibt relativ hoch, Bevölkerungszuwachs bewirkt Flächenwachstum der Gemeinden, das Einfamilienhaus bleibt die überwiegende Siedlungsform im Neubau.

Entwicklung der Ortszentren und der Nahversorgung

Der Funktionsverlust und die Aushöhlung der Ortszentren bleiben bestehen, werden aber nicht weiter verschlechtert. Die Ausweisung von zusätzlichen Einkaufszentren an Stadt- und Ortsrändern ist nicht mehr möglich. Leerstand in zentralen Lagen nimmt nicht mehr zu.

Anreizsysteme

Das Förderungssystem bleibt im Wesentlichen gleich und entspricht damit dem Szenario ‚BAU'.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den gegenüber dem Szenario ‚BAU/wenig ambitioniert' veränderten bzw. zusätzlichen Einsatz des Raumordnungsinstrumentariums.

Tabelle 5-7. Veränderter bzw. zusätzlicher Einsatz des Raumordnungsinstrumentariums im ambitionierten Szenario

Instrumentarium der Raumordnung	Zielsetzung / Wirkung des Einsatzes des Instrumentariums
Örtliche Entwicklungskonzepte	o Berücksichtigung von Aspekten der Kostenwahrheit in Ver- und Entsorgungsbereitstellung: Erschließungs-/Infrastrukturbeiträge (insbesondere) bei Neubebauung. Derzeit erfolgt Querfinanzierung durch Pauschalkosten, aufgrund von Kostenwahrheit für Aufschließungs- und Erhaltungskosten müssten entlegenere Parzellen höheren Beitrag leisten, kompakte Siedlungsformen in zentralen Lagen würden dadurch attraktiver o Analysen zu Rückwidmung von zu hohem Bauland-potenzial
Flächenwidmungsplanung	o Strikte Flächenwidmung: Widmungsstop in abgelegenen Lagen und Streusiedlungen o Rückwidmung von zu hohem Baulandpotenzial, und Parzellen in abgelegenen Lagen o Strenge Regelungen für die Ansiedlung von Einkaufszentren am Stadt-/Ortsrand, keine Ausweisung von zusätzlichen EKZs in Randlagen
Bebauungsplanung	o Einfamilienhausbebauung nach wie vor vorherrschend
Anreizsysteme/Förderungen	o Wohnbauförderung und teils kontraproduktive Anreizsysteme wie in Szenario ‚BAU'

Im **sehr ambitionierten Szenario** kann schließlich eine weitgehend energieeffiziente Weiterentwicklung der Siedlungsstrukturen erfolgen. Dazu ist sowohl ein striktes raumordnungspolitisches Instrumentarium als auch ein stringentes Anreizsystem ohne kontraproduktive Wirkungen notwendig.

Zersiedelung

Zersiedelung wird strikt gestoppt. Baulandwidmungen, ohne Anschluss an Siedlungseinheiten sind grundsätzlich nicht mehr möglich. Der Großteil der Siedlungstätigkeit findet innerhalb der Siedlungseinheiten statt.

Siedlungsdichte und Flächenverbrauch

Der Flächenverbrauch für Wohnnutzung sinkt, Bevölkerungszuwachs bewirkt nur in geringem Ausmaß ein Flächenwachstum der Gemeinden, das Einfamilienhaus wird im Neubau von verdichteten Siedlungsformen abgelöst.

Entwicklung der Ortszentren und der Nahversorgung

Dem bisherigen Funktionsverlust und der Aushöhlung der Ortszentren wird intensiv entgegengearbeitet. Die Ausweisung von zusätzlichen Einkaufszentren an Stadt- und Ortsrändern ist nicht mehr möglich. Anreizsysteme machen Nahversorgung und Wohnen in Ortszentren wieder attraktiver, Leerstand in zentralen Lagen nimmt ab.

Anreizsysteme

Das Förderungssystem wird grundsätzlich überarbeitet. Nur gezielte Förderung im Bereich Wohnen (mittels Kriterien zur Lage, Wohnform, Mobilitätsangebot etc.)

Folgende zusätzliche Verschärfungen der Raumordnungspolitik und der Umsetzungspraxis (ergänzend zu den Veränderungen im ambitionierten Szenario) können zur gewünschten Entwicklung beitragen.

Tabelle 5-8. Veränderter bzw. zusätzlicher Einsatz des Raumordnungsinstrumentariums im sehr ambitionierten Szenario

Instrumentarium der Raumordnung	Zielsetzung / Wirkung des Einsatzes des Instrumentariums
Örtliche Entwicklungskonzepte	o Kostenwahrheit bei Ver- und Entsorgungsbereitstellung ist eingeführt: Erschließungs-/Infrastrukturbeiträge (Zuschläge für periphere Lagen) sind durchgesetzt, leicht erhöhte Beiträge werden auch für die laufenden Kosten eingehoben o Rückwidmung von zu hohem Baulandpotenzial ist abgeschlossen
Flächenwidmungsplanung	o Durchgehende Einführung von Baugeboten / befristeten Baugenehmigungen und Baulandumlegung: Vermeidung von Baulandhortung in zentralen Lagen o Aktive Bodenpolitik, Baulandsicherung (Bodenbeschaffung, Baulandmobilisierung) der Gemeinden unterstützt durch Bodenbeschaffungsfonds der Länder: Qualitätsstandards (z. B. Kriterien der Energieeffizienz) können stärker eingefordert werden, kompaktere Siedlungsentwicklung möglich o Regelungen für Einkaufszentren: Kostenwahrheit für Ver- und Entsorgung von EKZs in Randlagen, Verkehrserregerabgabe
Bebauungsplanung	o Verstärkte Festlegung von kompakten Strukturen, Nutzungsmix, Dichten und alternativen Energieversorgungssystemen o Stadtumbauplanung, behutsame Veränderung der gebauten Strukturen
Anreizsysteme/Förderungen	o Wohnbauförderung berücksichtigt Aspekte energieeffizienter Siedlungsentwicklung (insb. Dichte/Bautyp) sowie Mobilitäts- und Lageaspekte in Neubau und Sanierung o Konsistente Bündel von Anreizen für Innenentwicklung werden eingesetzt (Förderung von Gewerbe, Handel und Nahversorgung sowie Wohnnutzungen in Ortszentren, Verkehrsberuhigung, Attraktivierung der Ortszentren, Vorgaben zur Erdgeschoßnutzung etc.)

5.5.1 Ergebnisse aus den Szenarien zur Siedlungsentwicklung

Auf Basis dieser Annahmen konnte eine Aggregation der angenommenen schrittweisen Entwicklungen auf Gemeindeebene durchgeführt werden, die eine quantitative Abschätzung des tatsächlichen Handlungsspielraumes (über ganz Österreich gesehen) ermöglicht.

Für die nachfolgende Berücksichtigung der Ergebnisse im Rahmen der Bottom-up Analysen zu den Sektoren Verkehr und Gebäude spielen der Anteil der Bevölkerung in Siedlungseinheiten und die darin erreichten Bevölkerungsdichten eine wesentliche Rolle.

Aus diesem Grund wird in der folgenden Darstellung der Ergebnisse primär auf diese Fragestellungen eingegangen.

Der durchschnittliche **Anteil der EinwohnerInnen innerhalb der Siedlungseinheiten** betrug im Jahr 2010 (Wien ausgenommen) zwischen 68 % in der Steiermark und 92 % in Vorarlberg. Die Entwicklung gemäß den unterschiedlichen Szenarien zeigt aufgrund des bereits sehr hohen Anteils innerhalb der Siedlungseinheiten kaum Veränderungen in Vorarlberg, dagegen steigt der Anteil der Bevölkerung im zusammenhängenden Siedlungsraum in den anderen Bundesländern deutlich.

Ein geringer Anstieg der EinwohnerInnen im Szenario ‚BAU' ergibt sich daraus, dass Zuwanderungsgemeinden tendenziell höhere Bevölkerungsanteile in den Siedlungseinheiten aufweisen. Dadurch erfolgt eine Verlagerung von Bevölkerung außerhalb der Siedlungsgebiete aus Abwanderungsgemeinden in Siedlungseinheiten anderer Gemeinden (z. B. in kleine bis mittlere Städte, sowie in die Landeshauptstädte und nach Wien).

Der wesentliche Sprung hinsichtlich der Wirkungen ergibt sich in ganz Österreich durch die strikte Vermeidung von weiterer Zersiedelung im ambitionierten Szenario. Im weiter verschärften sehr ambitionierten Szenario ergeben sich hinsichtlich des Bevölkerungsanteils innerhalb der Siedlungseinheiten nur noch kleine Verbesserungen für jene Bundesländer, die die meisten Bezirke mit hohen Bevölkerungsverlusten aufweisen (Steiermark und Kärnten).

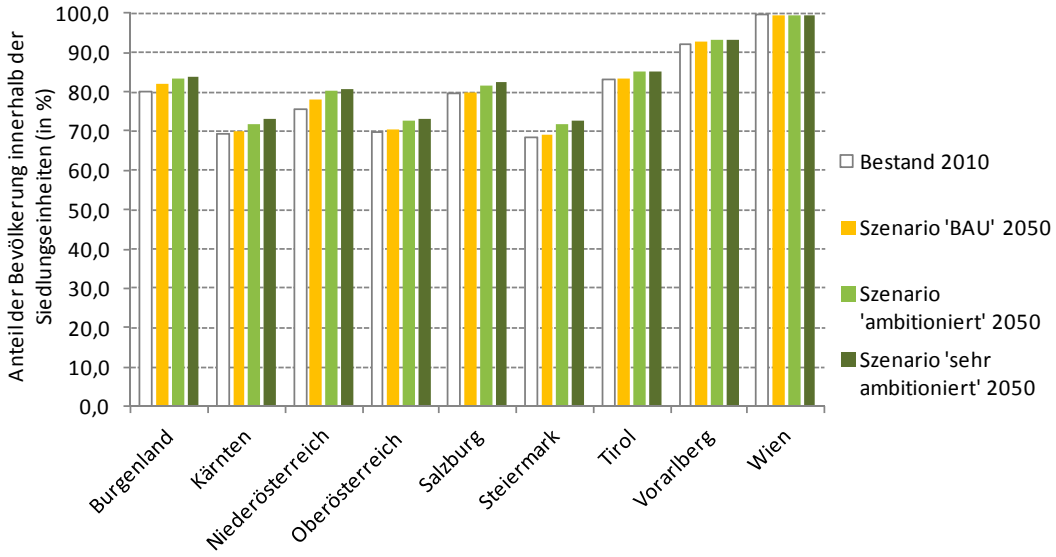


Abbildung 5-6. Durchschnittlicher Anteil der EinwohnerInnen innerhalb der Siedlungseinheiten

Im Gegenzug mit dem steigenden Anteil der Bevölkerung in Siedlungseinheiten in den unterschiedlichen Szenarien (BAU – ambitioniert – sehr ambitioniert) sinkt das Ausmaß der Zersiedelung. Die folgenden Karten zeigen die Anzahl der Bevölkerung, die gegenüber einem BAU Szenario nicht außerhalb der Siedlungseinheiten wohnen würden. Die höchste Anzahl an Personen zeigt sich diesbezüglich in Zuwanderungsbezirken, die eine Streusiedlungsstruktur aufweisen.

Insgesamt würde der konsequente Einsatz raumordnerischer Instrumente gegen weitere Zersiedelung im ambitionierten Szenario rund 160.000 Personen von zersiedelten Gebieten in die Siedlungseinheiten lenken (Abbildung 5-7.), im sehr ambitionierten Szenario steigt diese Zahl durch die darüber hinausgehenden strikteren Maßnahmen und unterstützende Anreizsysteme auf rund 200.000 Personen (Abbildung 5-8.).

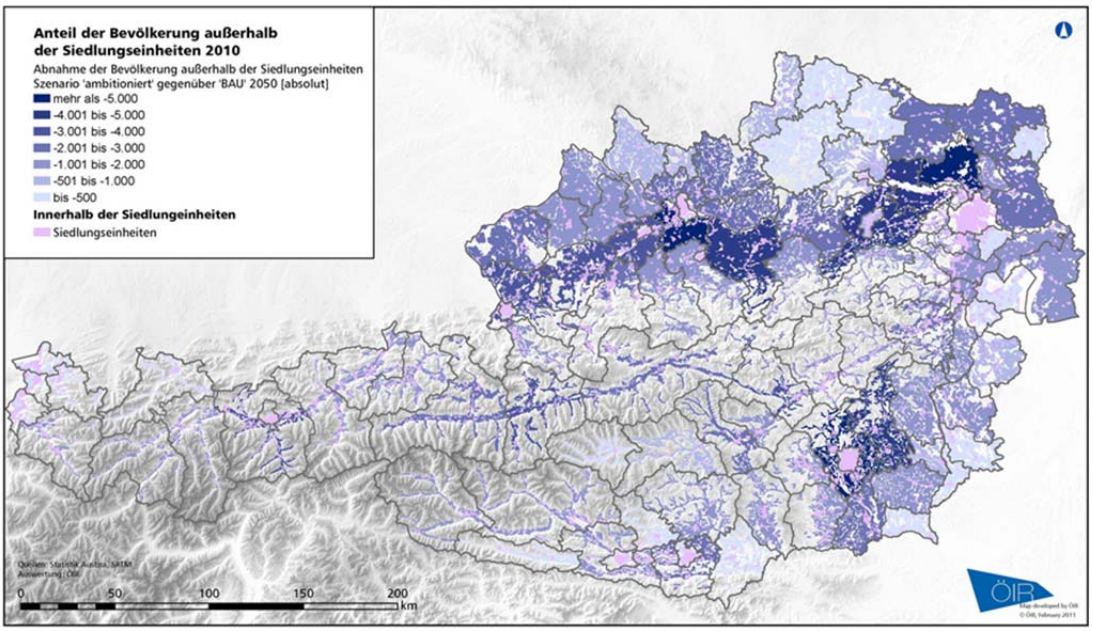


Abbildung 5-7. Reduzierte Zersiedelung – Szenario ‚ambitioniert' versus BAU 2050

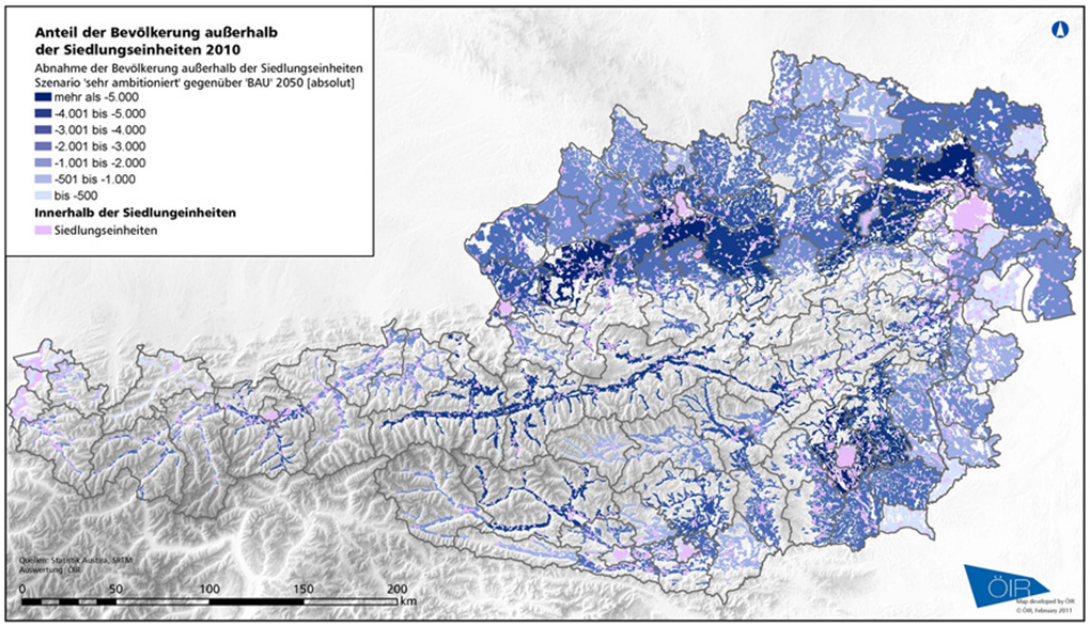


Abbildung 5-8. Reduzierte Zersiedelung – Szenario ‚sehr ambitioniert' versus BAU 2050

Die **Veränderung der durchschnittlichen Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten** je Bundesland zeigt unterschiedliche Wirkungen der vorausgesetzten Instrumentarien innerhalb der Bundesländer. In Szenario ‚BAU' 2050 ist insbesondere für Kärnten und die Steiermark, in geringerem Ausmaß auch für Oberösterreich und Salzburg eine Verringerung der Dichten gegenüber dem Bestand 2010 zu verzeichnen. Hier wirkt sich der höhere Anteil an Abwanderungsgemeinden aus, für den von sinkenden

Dichten in Siedlungseinheiten ausgegangen wird. Dagegen bleibt die Dichte gegenüber dem Bestand 2010 für die Bundesländer mit stagnierender oder positiver Entwicklung entsprechend den Annahmen gleich.

Demgegenüber wirkt das ambitionierte Szenario einer Verringerung der Dichten entgegen. In den oben genannten Bundesländern sind die Dichten zwar höher als in Szenario ‚BAU', eine dem Ausgangsjahr 2010 entsprechende durchschnittliche Dichte kann jedoch nicht erreicht werden, in den übrigen Bundesländern erhöht sich die Bevölkerungsdichte im ambitionierten Szenario geringfügig.

Erst im sehr ambitionierten Szenario wird durch strikte Instrumentarien des Bodenmanagements und der Verdichtung eine deutliche Verbesserung möglich. Demgemäß zeigen sich die höchsten Anstiege der Bevölkerungsdichte in jenen Bundesländern, die großteils Regionen mit hohen Bevölkerungszuwächsen aufweisen (wie Niederösterreich, Oberösterreich, Tirol und Vorarlberg).

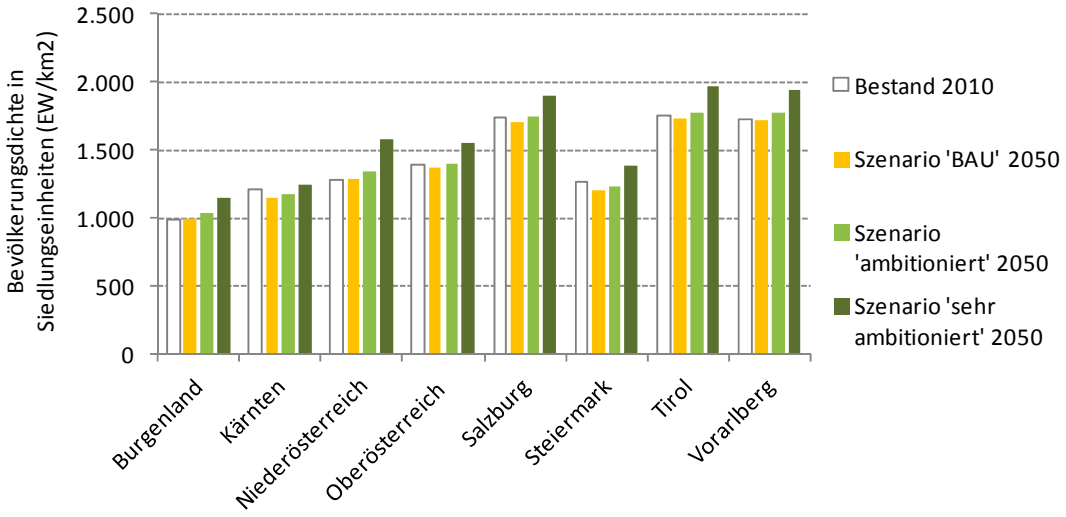


Abbildung 5-9. Entwicklung der durchschnittlichen Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten je Szenario

In den folgenden Karten ist die **räumliche Verteilung der Dichteentwicklung** dargestellt. Die zuvor genannten Zusammenhänge sind hier im Detail für die Bezirke zu sehen.

In Szenario ‚BAU' ist generell von gleichbleibenden Dichten in Österreich auszugehen, nur in den Bezirken mit deutlichem Bevölkerungsrückgang ist eine Abnahme der Bevölkerungsdichte zu verzeichnen.

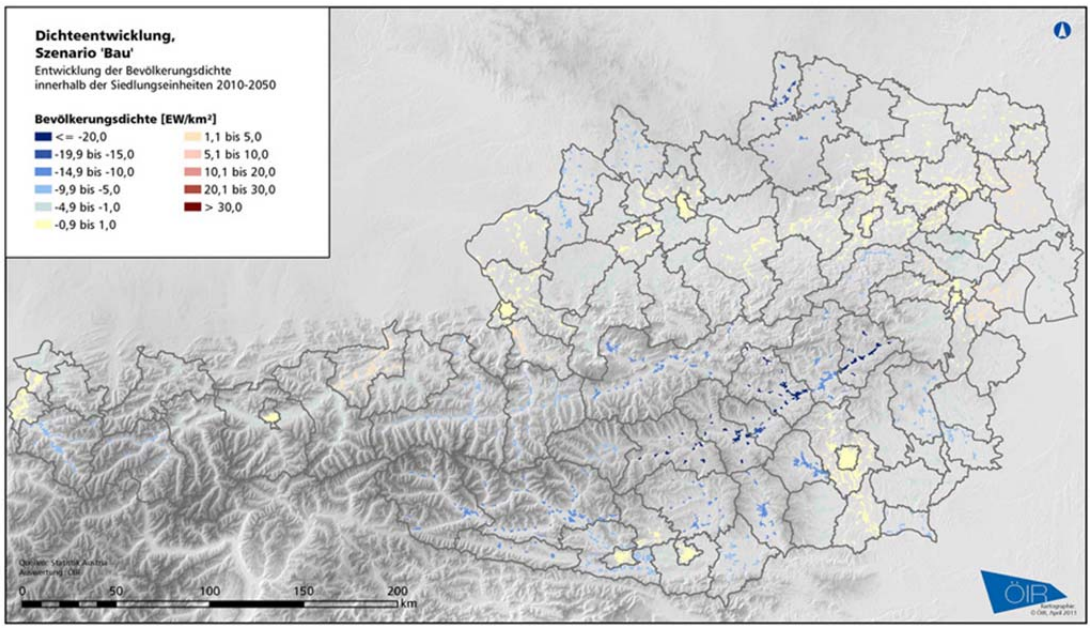


Abbildung 5-10. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten – Veränderung Szenario BAU (wenig ambitioniert) 2050 im Verhältnis zum Bestand 2010 (in %)

Demgegenüber zeigt sich im ambitionierten Szenario eine Verringerung der Dichteabnahmen in den schrumpfenden Bezirken (bezogen auf die Bevölkerungszahl), in deutlich wachsenden Bezirken kann eine geringe Verdichtung erreicht werden.

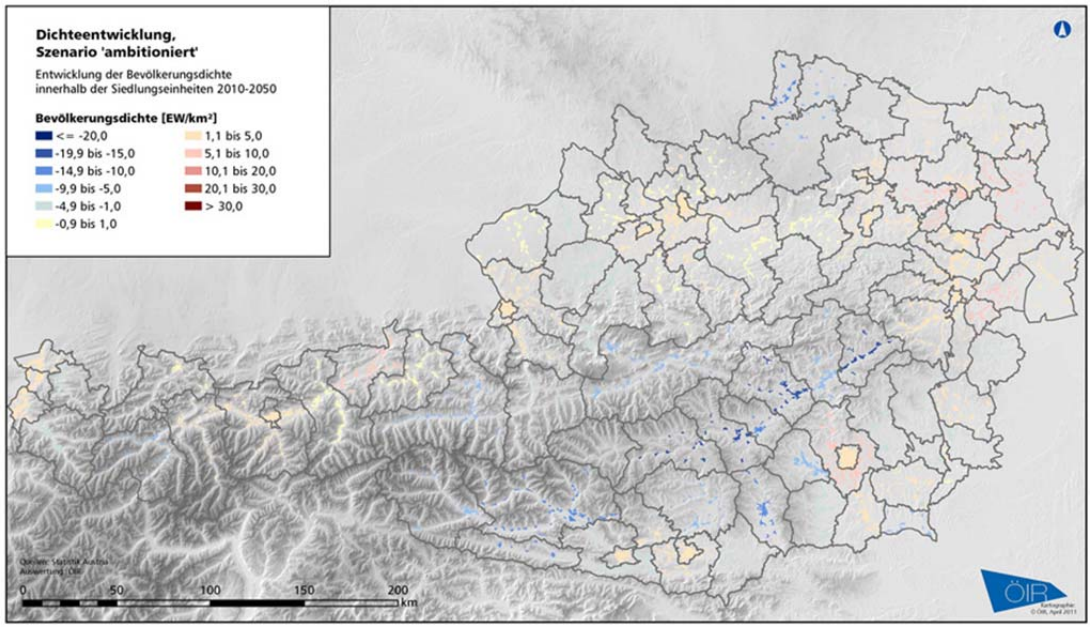


Abbildung 5-11. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten – Veränderung Szenario ambitioniert 2050 im Verhältnis zum Bestand 2010 (in %)

Erst das sehr ambitionierte Szenario erreicht Verdichtung oder zumindest Konsolidierung in weiten Teilen Österreichs mit Ausnahme der Bezirke mit besonders hohen Bevölkerungsverlusten. Ein hohes Ausmaß an Verdichtung erfolgt aufgrund der massiven Zuwanderung in den Agglomerationen Wien und Graz, gefolgt vom Oberösterreichischen Zentralraum (Linz-Wels).

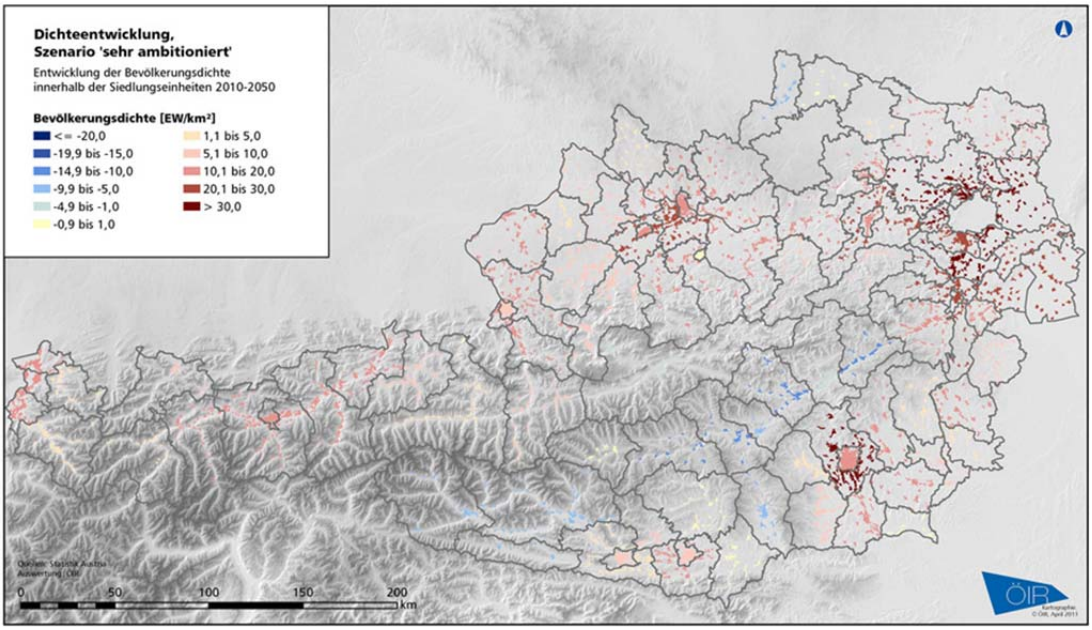


Abbildung 5-12. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten – Veränderung Szenario sehr ambitioniert 2050 im Verhältnis zum Bestand 2010 (in %)

5.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.6.1 Qualitative Aspekte der Siedlungsentwicklung

Die zuvor beschriebenen Szenarien wurden flächendeckend für Österreich auf Ebene der Bezirke erstellt und können daher nicht auf kleinräumige Unterschiede und Strukturen innerhalb der Bezirke und Gemeinden eingehen. Im Rahmen der künftigen Weiterentwicklung der Siedlungsstrukturen sind diese Aspekte jedoch von höchster Bedeutung sowohl für die dort gebotene Lebensqualität als auch für die Leistbarkeit dieser Entwicklungen (Gemeindebudgets). Einige wichtige qualitative und kleinräumige Aspekte werden daher nachfolgend kurz erläutert.

Wesentlich ist das Erreichen einer **gezielten Verdichtung anstatt eines Siedlungsbreis höherer Dichte**. Dies gilt besonders in den Stadtumlandgebieten, in denen erhöhter Zuwanderungsdruck auch in Zukunft zu massiven Veränderungen der Siedlungsstrukturen führen wird, in geringerem Ausmaß aber auch für ländliche Siedlungen. Ziel ist eine kleinräumig differenzierte Dichteentwicklung, die dazu beiträgt räumlich standortgebundene Angebote (Nahversorgung, soziale Infrastruktur, ÖV-Haltestellen) besser zu erreichen sowie leitungsgebundene Infrastruktur effizient einsetzen zu können.

Die Berücksichtigung des infrastrukturellen Angebots für die Dichteentwicklung mit Gebieten kleinräumig höherer Dichte beinhaltet folgende Vorteile:

- Möglichkeit einer effizienten technischen Ver- und Entsorgung (inkl. Energieversorgung und Wärmenetze)
- Gute kleinräumige Anbindung an ein attraktives (für den öffentlichen Sektor leistbares) Angebot mit Öffentlichem Verkehr (inkl. Kindergarten-/Schulbusse)

- Günstige Erreichbarkeit eines attraktiven Angebots an sozialer Infrastruktur (Kindergärten, Schulen, Ärzte)

- Bessere und kostengünstigere Bedingungen für Versorgung mit mobilen sozialen Diensten (mobile Altenbetreuung, Essen auf Rädern etc.)

- Stadtviertel, die die fußläufige Erreichbarkeit unterstützen und die ohne Pkw-Einsatz ‚funktionieren' (Kindergarten, Schule, Nahversorgung, Freizeit), gemäß dem Konzept der Stadt der kurzen Wege

Eine ergänzende **Durchgrünung** der Siedlungsstrukturen mittels (halb)öffentlicher Grünräume ermöglicht zusätzlich zu den Vorteilen dichterer Siedlungsgebiete für die Infrastrukturversorgung eine bessere Erreichbarkeit von Naherholungsgebieten. Dazu bewirken innerörtliche Grünflächen eine Verbesserung der kleinklimatischen Bedingungen und erhöhen damit die Lebensqualität für die BewohnerInnen ohne die Erreichbarkeit von sozialer Infrastruktur zu beeinträchtigen und die Kosten für technische Infrastrukturbereitstellung zu erhöhen (wie dies bei flächigen Einfamilienhausgebieten der Fall ist).

Darüber hinaus ist die attraktive Weiterentwicklung der Ortszentren (eigentlich Rückentwicklung zu früheren Attraktivitäten in Ortszentren) wesentlich für Lebensqualität und Energieeffizienz (fußläufige Erreichbarkeit, Nutzung des Fahrrades). Ein guter **funktionaler Mix in den Ortskernen** erlaubt die effiziente Versorgung der Bevölkerung, und ist ein wichtiger Beitrag zu Lebensqualität insbesondere für nicht-motorisierte Bevölkerungsgruppen (alte Menschen, Schüler etc.).

5.6.2 Zeithorizont der Wirkung und Zwischenziele

Die Szenarienergebnisse für ganz Österreich zeigen einen beträchtlichen Handlungsspielraum der Raumordnung für Energieverbrauch und Energieeffizienz auf. Darüber hinaus zeigt sich die hohe Systemträgheit der bestehenden Siedlungsstrukturen. Eine Veränderung der bereits gebauten Strukturen mittels Lenkung der Neubautätigkeit und sukzessiver Unterstützung von Siedlungsumbau wirkt nur sehr langfristig.

Erst durch die konsequente, schrittweise Umsetzung raumplanerischer Prinzipien über Jahrzehnte kommt insgesamt es zu einer spürbaren Verbesserung der Siedlungsstrukturen hinsichtlich ihres Einflusses auf Energieverbrauch und Energieeffizienz. Das bedeutet gleichzeitig, dass Zwischenziele in Bezug auf Raumordnung nur einen Zwischenschritt als ‚Teil des Weges' für das Ziel einer langfristigen Verbesserung darstellen können. Eine Verschiebung der Umsetzung auf einen späteren Zeitpunkt ist in diesem Bereich keineswegs als sinnvoll zu betrachten.

5.6.3 Inhaltliche und räumliche Prioritäten

Wie in den Szenarien gezeigt, liegen die Prioritäten im Bereich Siedlungsentwicklung einerseits bei Maßnahmen für die **konsequente Lenkung der Neubautätigkeit** in Richtung Siedlungseinheiten und andererseits bei der **sukzessiven Veränderung der bestehenden Siedlungsstrukturen**. Dazu wird ein stimmiges Gesamtkonzept von raumordnungspolitischen Instrumenten benötigt, das (zumindest in ähnlicher Weise) flächendeckend für ganz Österreich wirksam wird.

Hinsichtlich der räumlichen Priorität sind zwei Aspekte zu berücksichtigen: In Bezug auf die quantitativen Auswirkungen der Maßnahmen liegt die räumliche Priorität bei den **großen Agglomerationen**. Für sie wird der höchste Bevölkerungsdruck durch Zuwanderung erwartet, was gleichzeitig einen großen direkten raumordnungsbezogenen Handlungsspielraum bewirkt. Hier muss der Fokus auf der Ausweisung attraktiver neuer Siedlungsgebiete liegen, die infrastrukturell effizient erschlossen werden können und aufgrund höherer Dichte über ein gutes Angebot an sozialer Infrastruktur, Versorgung und Grünraum verfügen.

Gleichzeitig besteht für **ländliche Regionen mit Bevölkerungsabwanderung** ein erhöhter Handlungsdruck, da hier die abnehmende Bevölkerungsanzahl und -dichte – und damit in Zusammenhang auch die abnehmende Versorgung mit sozialen Diensten – ohne Gegensteuerung sukzessive zu einer Verringerung der Lebensqualität führt. Diese Entwicklung wirkt sich gleichzeitig negativ auf Gemeindebudgets aus und erzeugt eine generelle Abwärtsspirale für die Attraktivität des ländlichen Raums als Wohnstandort. Zwar ist diese Entwicklung quantitativ weniger bedeutend als die Auswirkungen der Zuwanderung in Stadtumlandgebieten, sie betrifft jedoch flächenmäßig weite Teile des ländlichen Raums und ist daher ebenso von hoher Bedeutung.

6 Verkehr

6.1 Aufgabe

Das Ziel dieser Analyse ist die Abschätzung der möglichen CO_2-Emissionsreduktionen im Verkehr im Rahmen von je vier Grundszenarien für den Personen- und Güterverkehr. Der Beitrag des Personenverkehrs zu den CO_2-Emissionen basiert auf der Synthese von drei Teilbereichen: (1) der Raumplanung, die die Siedlungsentwicklung steuert und damit auch das daraus resultierende (2) Mobilitätsverhalten beeinflusst und dem Beitrag der dabei verwendeten (3) Technologien. Im Task 3.3 kombinieren wir für den Personenverkehr die Teilszenarien und Resultate der Raumplanung (ÖIR, Task 3.1) und technologische Überlegungen (TUW EEG) mit dem Verkehrs- und Landnutzungsmodell MARS-Austria, um damit die Emissionsmengen abzuschätzen. Am Ende wird über drei Sonderszenarien die Wirkmächtigkeit der einzelnen Teilbereiche abgeschätzt.

Für den Güterverkehr werden in vier Szenarien der Einfluss von sich unterschiedlich entwickelnden Güterverkehrsaufwänden (auch Verkehrsleistung [tkm] genannt), Modal Splits, technologischen Durchdringungsgraden und alternativen Antrieben sowie verbesserter spezifischer Emissionen Emissionspfade entwickelt.

6.2 Personenverkehr

6.2.1 Datengrundlage

Das Verkehrs- und Landnutzungsmodell MARS-Austria[40] (Mayerthaler, Haller et al., 2009) wurde auf die Bedürfnisse von EISERN und die aktuelle Datenlage adaptiert. Aktuelle Daten, jünger als 2001, sind gerade auf dem Gebiet des Verkehrsverhaltens nicht vorhanden. Die Volkszählung wurde mit der Probezählung im Jahr 2006 auf eine Registervolkszählung umgestellt und findet 2011 das erste Mal statt. Dabei werden nicht mehr (Alltags-) Mobilitätsdaten erfasst, wie es die Jahrzehnte davor der Fall war. Es war hier notwendig, auf diverse Mikrozensusdaten der Statistik Austria, die allerdings andere Erhebungsmethoden und Detailschärfen aufweisen, zurückzugreifen und mit Hilfsmitteln einen aktuellen Datenstand abzuschätzen bzw. zu extrapolieren. Leider war es aufgrund der Datenlage nicht möglich, alle Daten auf das Basisjahr 2010 umzustellen. In Teilbereichen wurden deshalb die Daten aus dem Jahr 2001 beibehalten. MARS-Austria modelliert auf Bezirksniveau. Bei der Statutarstadt Rust musste eine Gebietszusammenfassung mit dem sie umgebenden Bezirk vorgenommen werden.

6.2.2 Modell

MARS-Austria ist ein Verkehrs- und Landnutzungsmodell für Österreich, das auf Bezirksebene (120 Modellzonen) das gesamte Bundesgebiet abdeckt. Es besteht im Wesentlichen aus drei Teilmodellen die miteinander verknüpft sind:

- das Transport-Submodell,
- das Migrations-Submodell der Bevölkerung,
- das Standortwahl-Submodell der Unternehmen.

40 Basisjahr 2001, aus einem FWF-Projekt stammend.

Das Verkehrsmodell deckt die ersten drei Stufen eines klassischen Verkehrsmodells ab:

- Verkehrserzeugung
- Verkehrsverteilung – Zielwahl
- Verkehrsaufteilung – Verkehrsmittelwahl

Bei der Verkehrserzeugung wird die Anzahl der Fahrten in eine oder von einer bestimmten Modellzone kalkuliert. Die Zielwahl der Verkehrsverteilung, verteilt die Gesamtanzahl der Fahrten auf alle Quell-Ziel Paare. Die Verkehrsmittelwahl schließlich verteilt die Fahrten auf die verschiedenen Verkehrsmittel, normalerweise definiert als prozentuelle Anteile – den Modal Split. MARS-Austria berücksichtigt Autoverkehr (Elektroautos als separater Mode), Öffentlichen Verkehr (Bus und Bahn) sowie die nicht motorisierten Verkehrsmittel (Fuß und Fahrrad).

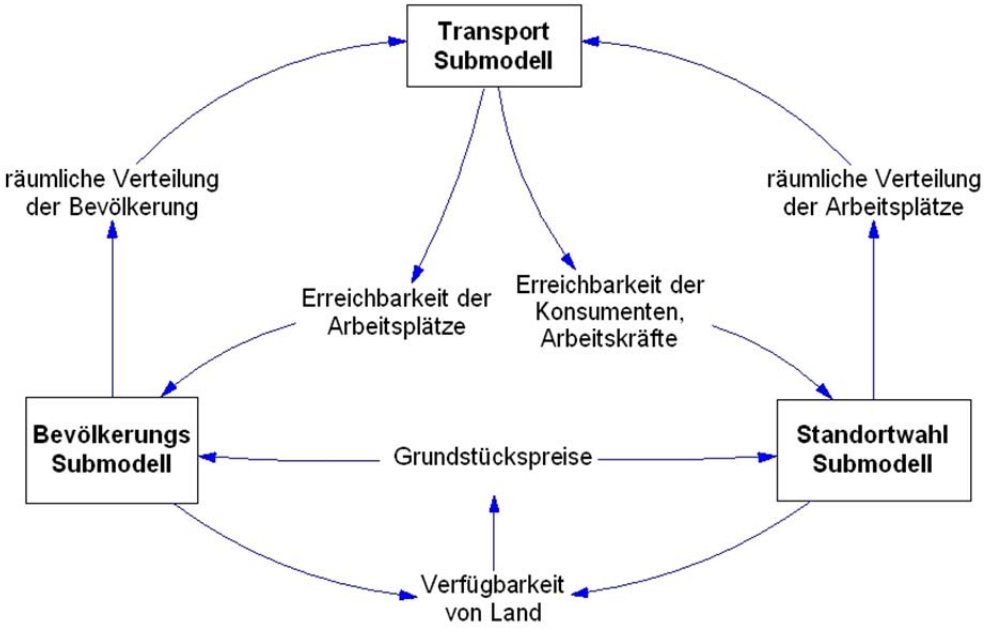


Abbildung 6-1. Die drei Submodelle von MARS-Austria und deren Verknüpfungen

Das Bevölkerungssubmodell berechnet aufgrund von spezifischen Auszugsraten je Zone in jedem Zeitschritt einen Pool an Auszüglern. Diese Auszügler werden dann mit einem Gravitationsansatz auf die möglichen Zielzonen verteilt. Die Attraktivität in eine bestimmte Zone zu ziehen wird durch Faktoren wie z. B. die Lebenshaltungskosten oder die Lebensqualität bestimmt.

Das Standortwahlmodell der Unternehmen ist strukturell ähnlich wie das Bevölkerungsmodell. Hier wird die Attraktivität einer Zone durch die vorhandene Fläche zur Betriebsansiedlung, die Preise von Bauland und das durchschnittliche Einkommen in der Zone beeinflusst.

Der Link vom Verkehrs-Submodell zum Bevölkerungs-Submodell und zum Standortwahl-Submodell ist jeweils die Erreichbarkeit der Zone. So werden Änderungen im Verkehrssystem, die die Erreichbarkeit verändern, an die beiden anderen Modelle weitergegeben

und beeinflussen dort die Migration der Bevölkerung bzw. die Standortwahl von Unternehmen.

Das Modell ist in einer System Dynamics Programmiersprache implementiert und ermöglicht es, zu jedem Zeitpunkt die Modellergebnisse darzustellen. Die Laufzeit für das Projekt EISERN beträgt 40 Jahre, von 2010 bis 2050.

6.3 Verknüpfung von MARS-Austria mit den Siedlungsszenarien und der Flottenentwicklung

Abbildung 6-2. zeigt schematisch, wie die Zwischenergebnisse des Task 3.1, den Szenarien der Raumplanung durch das ÖIR und den Ergebnissen der Technologie- und Flottenentwicklung durch das EEG mit MARS-Austria zusammengeführt werden.

Innerhalb des Prognosezeitraums von 2010 bis 2050 ändert sich die Siedlungsentwicklung. Die Werte werden jährlich in MARS-Austria als laufender Input eingelesen. Auch die Flottenentwicklung vom EEG wird als jährlicher Input in MARS-Austria verwendet.

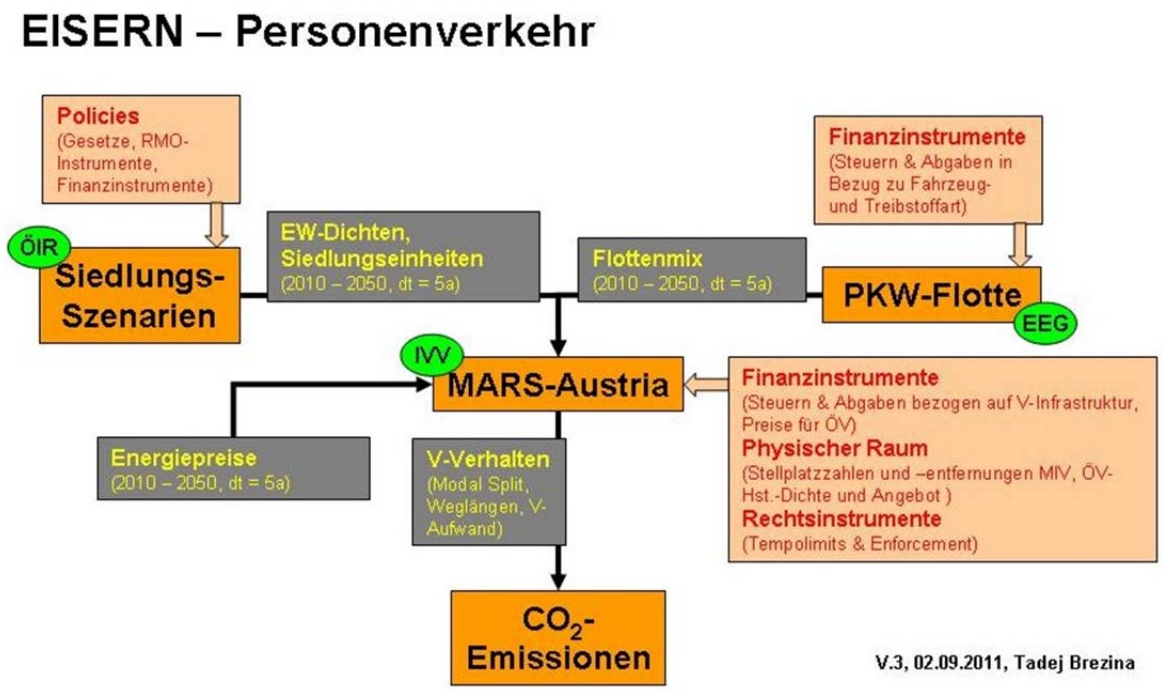


Abbildung 6-2. Input-Output-Diagramm des Parameterflusses zwischen den Siedlungs-, PKW-Flotten- und Verhaltensszenarien.

6.4 Modelladaptionen

6.4.1 Elektroautos als eigenständiges Verkehrsmittel

In früheren urbanen und nationalen Case Studies, wurde die Elektromobilität nicht als eigenes Verkehrsmittel modelliert, sondern als Teil des motorisierten Individualverkehrs angesehen. Für die Emissionsberechnungen wurde der Anteil der Elektroautos an der gesamten Fahrzeugflotte berechnet. Daraus ergaben sich Fahrzeugkilometer die mit Elektroautos zurückgelegt wurden und ein dementsprechend verminderter CO_2-Ausstoß.

Im Verkehrsmodell wurden Elektroautos nicht explizit berücksichtigt. Das heißt, ihr Einfluss auf das Verkehrsverhalten wurde nicht modelliert. Im Zuge dieses Projekts haben wir das Verkehrsmodell um das Verkehrsmittel Elektroauto[41] erweitert. Dementsprechend waren große Umbauarbeiten in der Modellstruktur nötig. Durch diese explizite Berücksichtigung von Elektrofahrzeugen ist es nun möglich auch Politikmaßnahmen zu simulieren, die einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten der Elektroautonutzer (und Plug-In Hybride) haben.

6.4.2 Unterteilung des öffentlichen Verkehrs in zwei separate Modi

Der öffentliche Verkehr in MARS-Austria gliedert sich in schienengebundenen Verkehr (vom Verkehr unabhängig) und in öffentlichen Busverkehr (nicht oder nur teilweise vom Verkehr unabhängig). Da wir innerhalb der Städte Straßenbahnen explizit simulieren wollten, ist es nun möglich das Verkehrsmittel Bahn für jede Modellzone separat ein- und auszuschalten.

6.4.3 Vier (+1) Bezirkstypen

Vom ÖIR wurden 4 Bezirkstypen[42] klassifiziert:

- Urban
- Suburban
- Ländlich mit guter ÖV Anbindung
- Ländlich mit schlechter ÖV Anbindung

Darüber hinausgehend wird im MARS-Austria Model Wien als zusätzlicher (fünfter) Bezirkstyp geführt.

Wesentliche Faktoren zur Bestimmung dieser vier Typen waren die räumliche Lage (zentral/peripher, Nähe zu ÖV-Hauptverkehrslinien), sowie die Dichte in den Siedlungseinheiten und der Anteil der Bevölkerung der abseits der Siedlungseinheiten lebt. Details dazu sind dem Berichtsteil zur Raumplanung (Kapitel 5) zu entnehmen.

Die Abbildung 6-3. bis Abbildung 6-6. zeigen die Gliederung der österreichischen Bezirke nach den vier Bezirkstypen. Neben dem Ausgangszustand im Jahr 2010 ist das Jahr 2050 jeweils für die drei verschiedenen Szenarien dargestellt.

41 Darunter werden nicht nur reine Elektroautos sondern auch Plug-in Hybrid Fahrzeuge zusammengefasst.

42 Darüber hinausgehend wird im MARS-Austria Model Wien als zusätzlicher (fünfter) Bezirkstyp geführt.

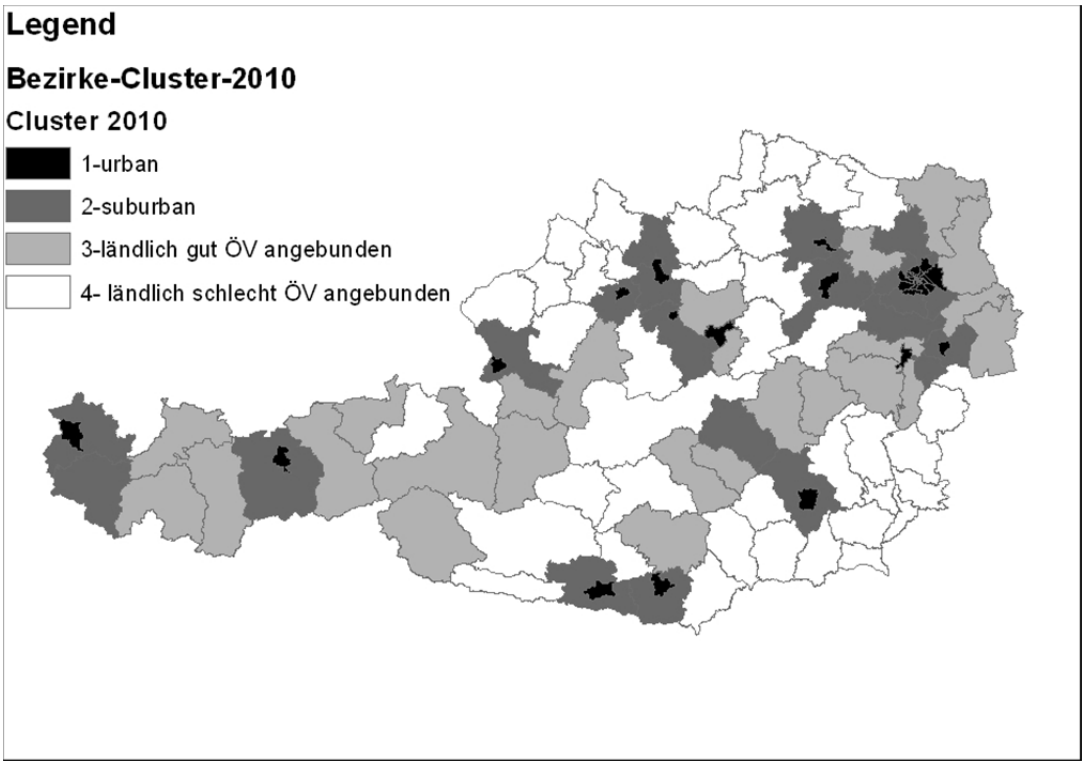


Abbildung 6-3. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im Basisjahr 2010.

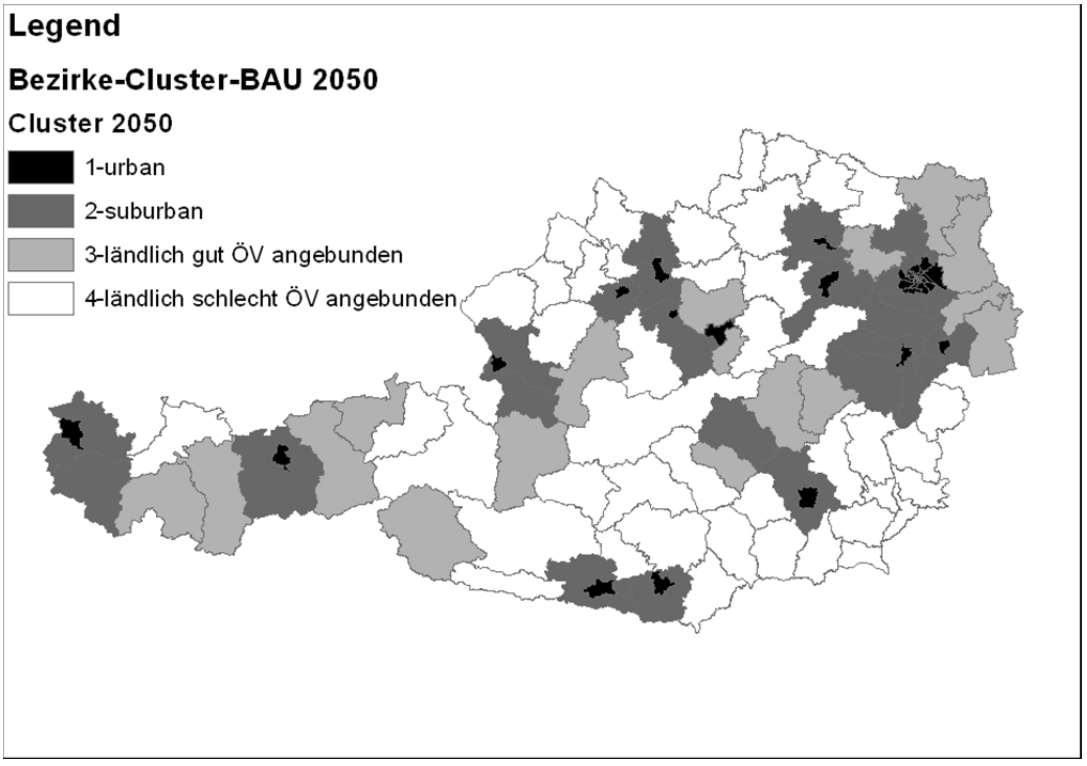


Abbildung 6-4. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im BAU Szenario im Jahr 2050.

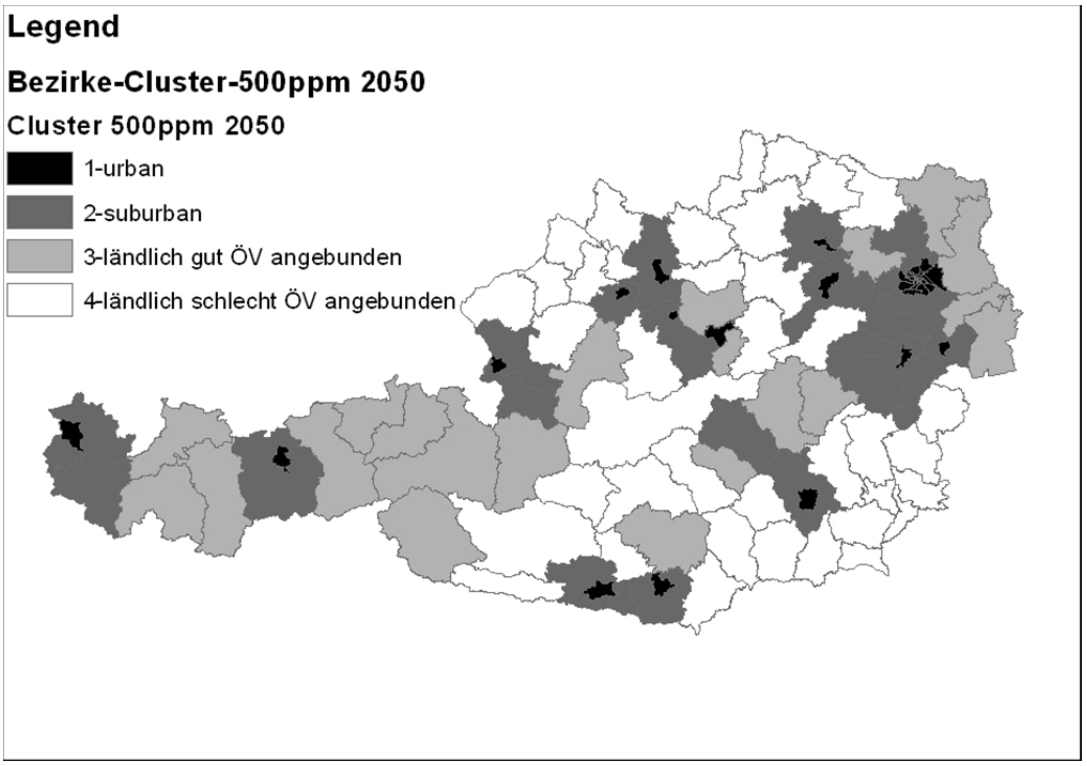


Abbildung 6-5. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im 500 ppm-Szenario im Jahr 2050.

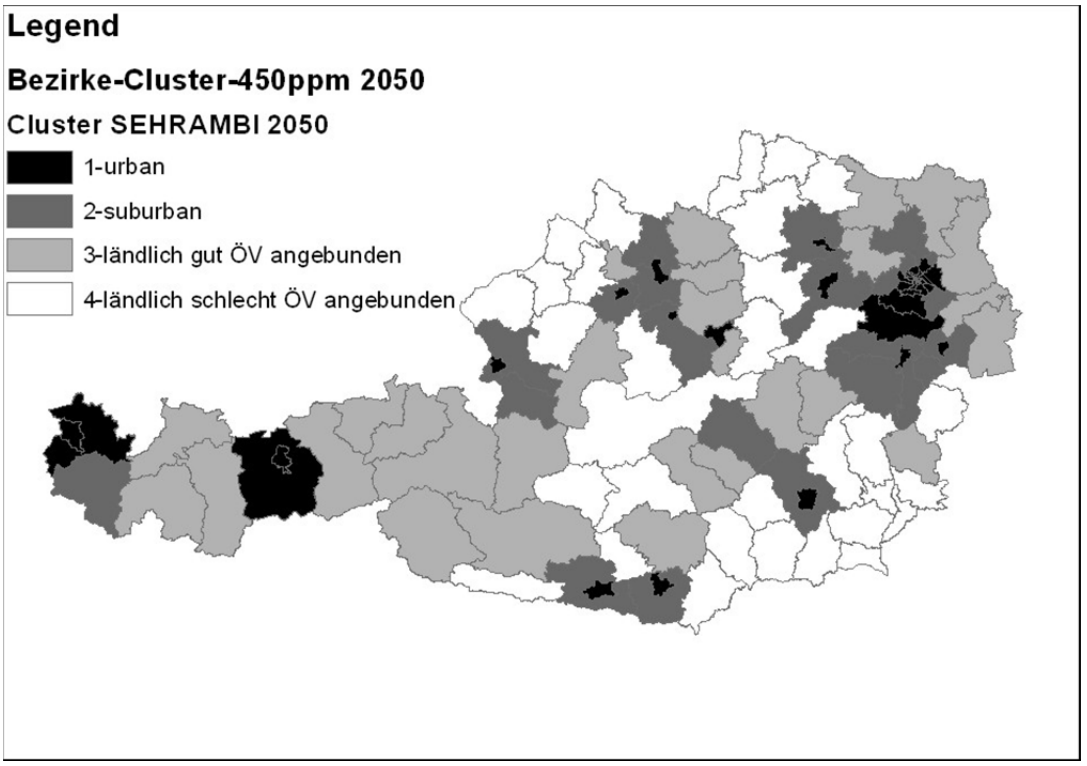


Abbildung 6-6. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im 450 ppm-Szenario im Jahr 2050.

Die Bezirkstypen haben einen starken Einfluss auf die Input-Daten des Verkehrsmodells von MARS-Austria, z. B. über Verbindungshäufigkeiten im ÖV, die Dichte der ÖV-Haltestellen, die Zugangszeiten zu Haltestellen und Parkplätzen und die Bewirtschaftung von Parkplätzen. Wie bereits erwähnt berücksichtigt das MARS-Austria Modell Auto-

verkehr, Elektroautos, öffentlichen Verkehr (Bus und Bahn) und nichtmotorisierten Verkehr (zu Fuß gehen und Radfahren).

MARS-Austria benötigt Inputdaten für alle Verkehrsmittel entweder in Vektor- oder Matrixform. Diese Daten werden von einem Dateninterface zum Zeitpunkt 0 in das Modell geladen und bleiben dann entweder konstant (keine Politikmaßnahme ist aktiv), oder ändern sich über die Zeit (Politikmaßnahme ist aktiv). Die Vektordaten sind zonenspezifisch, die Matrixdaten auf Quell-Ziel-Basis.

Tabelle 6-1. Vektor- und Matrixdaten für das Verkehrsmodell in MARS-Austria.

	Auto	E-Auto	Bus	Bahn
Vektordaten				
Fußgehdistanzen zum/vom Parkplatz	X	X		
Parkplatzsuchzeiten	X	X		
Parkgebühren	X	X		
Distanz zur ÖV Haltestelle			X	X
Matrixdaten				
Distanzen	X	X	X	X
Geschwindigkeiten t=0	X	X	X	X
Taktzeit (Fahrplan)			X	X
Umsteigezeiten		X	X	
Fahrpreise			X	X

Da Wien sowohl dichte- als auch angebotsmäßig eine Sonderstellung in Österreich aufweist, haben wir für die bessere Abbildung des intrazonalen Verkehrs in Wien noch einen eigenen Bezirkstyp (0 - Wien) eingeführt. Die somit 5 Bezirkstypen ermöglichen es, die jeweiligen Vektordaten nach Typ zu unterscheiden. So sind beispielsweise die Parkgebühren in urbanen Bezirken höher, während Sie in ländlichen Bezirken niedriger sind bzw. keine Parkgebühren eingehoben werden. Die Vektordaten unterscheiden sich also für jede der 120 Modellzonen nach Bezirkstyp.

Durch die fünf Bezirkstypen ergeben sich insgesamt 14 Interaktionsmöglichkeiten zwischen den Zonen (Tabelle 6-2). Diese 14 verschiedenen Möglichkeiten unterscheiden sich beispielsweise bezüglich des Taktfahrplans oder den Umsteigezeiten im ÖV. Zwischen zwei urbanen Zentren werden öfter Züge verkehren, als zwischen zwei schlecht angebundenen ländlichen Bezirken. Diese Interaktionsmöglichkeiten können in Matrixform dargestellt werden und ermöglichen deshalb auch, alle Matrixdaten entsprechend den Bezirkskombinationen anzupassen. Es ergibt sich also jeweils eine Matrix mit Inputdaten, differenziert nach Interaktionsmöglichkeit.

Tabelle 6-2. Interaktionsmöglichkeiten, die sich durch die fünf Bezirkstypen ergeben.

Klassifikation	Interaktions-Code	Von Bezirkstyp	Nach Bezirkstyp
urban intra (+ Wien interzonal)	0	1	1
urban ↔ urban	1	1	1
urban ↔ suburban	2	1	2
urban ↔ ländlich gut	3	1	3
urban ↔ ländlich schlecht	4	1	4
suburban intra	5	2	2
suburban ↔ suburban	6	2	2
suburban ↔ ländlich gut	7	2	3
suburban ↔ ländlich schlecht	8	2	4
ländlich gut intra	9	3	3
ländlich gut ↔ ländlich gut	10	3	3
ländlich gut ↔ ländlich schlecht	11	3	4
ländlich schlecht intra	12	4	4
ländlich schlecht ↔ ländlich schlecht	13	4	4

Während der Prognosezeitraum durchlaufen wird, ändern die einzelnen Bezirke ihren Bezirkstyp. Je nach Ambitioniertheitsgrad der CO_2-Reduktion des Szenarios wechseln weniger oder mehr Bezirke ihren Bezirkstyp. Das Szenariodesign erlaubt ein Gleichbleiben, eine Verbesserung oder eine Verschlechterung des Bezirkstyps. Wenn eine Zone vom Typ suburban in den Typ urban wechselt, ändern sich damit auch die verkehrlichen Rahmenbedingungen. In diesem Fall verbessert sich das ÖV Angebot, gleichzeitig erhöhen sich beispielsweise die Parkgebühren für Pkw und E-Pkw. Die Entwicklung der Zonen mit ihrem jeweiligen Bezirkstyp über die Zeit verändert damit die Rahmenbedingungen im Verkehrssystem und beeinflusst die Ziel- und Verkehrsmittelwahl.

Abbildung 6-7. fasst die oben beschriebenen Verknüpfungen der Siedlungsszenarien und der Flottenentwicklung mit MARS-Austria zusammen. In rosa sind die ÖIR-Variablen eingefärbt, in orange die Variablen des EEG.

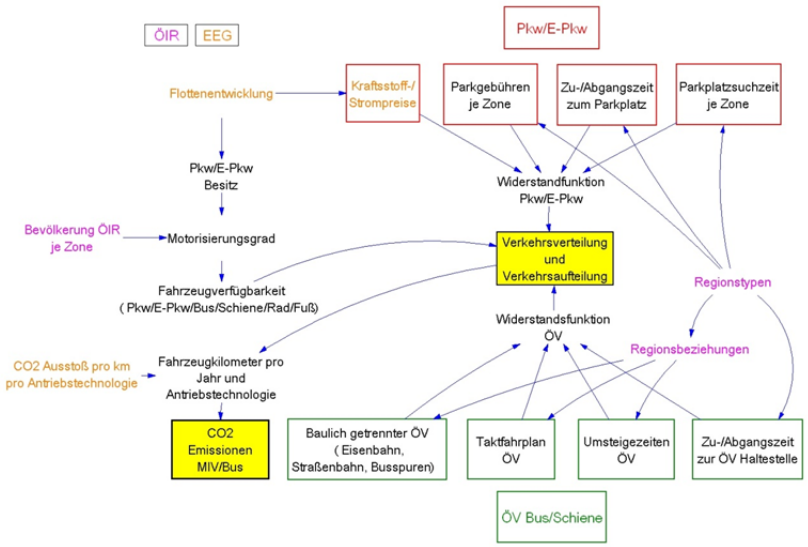


Abbildung 6-7. Die Wirkungen der Variablen von ÖIR und EEG auf die Modellvariablen in MARS-Austria.

6.4.4 Bevölkerungsentwicklung, externe Vorgabe durch ÖIR

Wie aus der Beschreibung der Modellstruktur ersichtlich ist, verfügt MARS-Austria über ein eigenes Bevölkerungssubmodell in dem das Migrationsverhalten der Bevölkerung simuliert wird. Im EISERN Projekt wird die Bevölkerungsentwicklung je Zone bis ins Jahr 2050 vom ÖIR vorgegeben. Dementsprechend wird die Modellstruktur in MARS-Austria nicht benötigt, allerdings musste eine andere Modellstruktur geschaffen werden, um die externen Entwicklungen ins Modell zu implementieren. Die Bevölkerung je Zone ist eine Schlüsselvariable, die im Modell verschiedene Schnittstellen mit anderen Variablen aufweist. So wird beispielsweise der Motorisierungsgrad je Zone berechnet, oder die Fahrzeugverfügbarkeit kalkuliert. Darüber hinaus beeinflusst die Bevölkerung die Berechnung der Attraktivität in eine Zone zu fahren und bestimmt wie viele Neubauten im Land-use Modell benötigt werden um alle Einzügler, die in diese Zone wollen, aufzunehmen.

Das sind nur einige der Beispiele, wo die Bevölkerung zur Berechnung benötigt wird. Diese vielen Schnittstellen machten umfangreiche strukturelle Anpassungen in der Modelstruktur nötig. Die externe Bevölkerungsentwicklung kann jetzt durch binäre Variable aktiviert oder deaktiviert werden.

6.4.5 Modellkalibration

Durch den langen Voraussagehorizont bis 2050 erschien es uns sinnvoll und notwendig das Basisjahr von 2001 auf 2010 zu setzten und die Daten so weit wie möglich anzupassen. Für die Kalibrierung des Verkehrsmodells war es nötig, Informationen über das Verkehrsverhalten der ÖsterreicherInnen im Basisjahr zu haben. Leider fand die letzte bundesweite Verkehrserhebung 1995 statt. Das Fehlen aktueller Verkehrsdaten stellt inzwischen ein Dilemma für aussagekräftige Verkehrsstudien aller Art dar: Die wesentlichen Charakteristika des heutigen Mobilitätsverhaltens werden durch diese Mobilitätserhebung nicht mehr gültig abgebildet. Das heißt, dass zuletzt für das Jahr 1995 der Modal Split der Bevölkerung für verschieden Wegezwecke erhoben wurde. In dem Versuch aktuelle Aussagen über das heutige Verkehrsverhalten (Modal Split) zu treffen, wurde auf regionale Erhebungen (NÖ, Wien und Vorarlberg) zurückgegriffen (Herry, Russ et al., 2002) und der Trend für gesamt Österreich fortgeschrieben. Außerdem wurde auf eine VCÖ-Publikation zurückgegriffen (VCÖ 2007).

Tabelle 6-3. Anteil der Wege nach Modal-Split und Wegzweck 1995 in [%]. (Quelle: Herry, Russ et al., 2002)

Modal Split / Wegzweck	Berufs-pendler	Ausbildungs-verkehr	Dienstlich / Geschäftlich / Erledigung	Private Erledigung / Einkauf	Freizeit-verkehr	Sonstiger Zweck
MIV	63,6	17,1	79,3	47,6	49,0	70,9
Bus	11,1	26,6	6,0	5,5	7,5	5,0
Zug	7,0	18,0	3,9	3,6	5,0	4,0
Nicht motor.	18,2	38,3	11,2	43,3	38,5	20,5

76 % aller Wege sind andere als Ausbildungswege. Mit diesem Anteil kann man sich die Anteile der Nicht-Berufspendler ausrechnen. Dies wiederum führt zum gewichteten Modal-Split aller anderen Wegzwecke.

Tabelle 6-4. Gewichteter Anteil der Wege nach Modal Split und Wegzweck Freizeit [%]. (Quelle: Herry, Russ et al., 2002; eigene Berechnungen)

Modal Split / Wegzweck	Alle Freizeitwege
MIV	45,9
Bus	10,3
Zug	6,9
Nicht motorisiert	37,0

Diese Modal Split Werte (Tabelle 6-4) wurden als Basis verwendet. Mit den regionalen Erhebungen und der Hochrechnung des VCÖ wurden die neuen Modal Split Werte für das Jahr 2010 und die Wegzwecke Berufspendler (Kategorie „commuting" in MARS-Austria) und Freizeitwege (Kategorie „other" in MARS-Austria) berechnet.

Tabelle 6-5. Anteil der Wege nach Modal Split und Wegzweck 2010 [%].

Modal Split / Wegzweck	Berufspendler 2010	Freizeitwege 2010
MIV	66,48	55,04
Bus	10,86	9,50
Zug	6,62	5,35
Nicht motorisiert	16,04	30,17

Diese Modal Split Werte wurden schließlich als Datengrundlage für die Kalibrierung des Verkehrsmodells im Basisjahr 2010 verwendet.

6.5 Grundszenarien

Ein breit gefächertes Portfolio an Maßnahmen, die sich auf das Verkehrsverhalten auswirken, wurde erarbeitet. Dabei wurde der Frage der fachlichen Notwendigkeit und der Implementierbarkeit besonderes Augenmerk gelegt: Welche Maßnahmen der Verkehrspolitik stehen zur Verfügung? Welche bieten sich für eine Steuerung der CO_2-Emissionen im Personenverkehr an? Welche bieten sich zur Bottom-up-Modellierung mit MARS-Austria an?

6.5.1 Szenariomatrix

Die Politikmaßnahmen aus den drei Bereichen Fahrzeugtechnologie, Verkehrsverhalten und Raumplanung sind in einer Szenariomatrix zusammengeführt worden, so dass für die drei Maßnahmenszenarien (wenig ambitioniert, ambitioniert, stark ambitioniert) und das BAU über die drei Bereiche ein konsistentes (widerspruchsfreies) Setzen von Maßnahmen möglich ist (Tabelle 6-6). Zu beachten ist, dass von Seiten der Raumplanung das BAU Szenario mit dem wenig ambitionierten Szenario (550 ppm-Szenario) gleichgesetzt ist und daher im Bereich Raumplanung nur drei unterschiedliche Teilszenarien zur Verfügung stehen.

Tabelle 6-6. Szenariomatrix: Übersicht der Maßnahmenkombinationen der drei Bereiche Verkehrspolitik, Flottenentwicklung und Raumplanung.

		BAU	550 ppm	500 ppm	450 ppm
Verkehrspolitik	BAU	X			
	Wenig ambitioniert		X		
	Ambitioniert			X	
	Sehr ambitioniert				X
Flottenentwicklung	BAU	X			
	Wenig ambitioniert		X		
	Ambitioniert			X	
	Sehr ambitioniert				X
Raumplanung	BAU	X	X		
	Ambitioniert			X	
	Sehr ambitioniert				X

6.5.1.1 Grundannahmen

Flottenentwicklung

Es gelten dieselben, oben genannten Annahmen über die Energiepreise und Steuern.

Verkehrspolitik

Jedem Szenario liegen Grundannahmen über Eingangsparameter des Modells zugrunde. Diese ändern sich je Szenario und umfassen:

- Benzin-/Diesel-/Strompreise
- Steuern für Benzin/Diesel/Strom
- Spezifischer Energieverbrauch der Elektrofahrzeuge
- Spezifischer CO_2-Ausstoß der verschiedenen Antriebstechnologien

Die Annahmen über die Energiepreise und Steuern wurden wie der spezifische Energieverbrauch und der spezifische CO_2-Ausstoß der Antriebstechnologien vom EEG zur Verfügung gestellt. Im BAU (Business-as-usual) Grundszenario wird keine verkehrspolitische Maßnahme gesetzt. In den anderen Szenarien werden verschiedene Maßnahmenkombinationen aus Tabelle 6-6 eingeführt.

Raumplanung

Die Gesamtbevölkerung steigt lt. Statistik-Austria-Prognose bis zum Jahr 2050 auf 9,46 Millionen. Die Raumordnungsszenarien beinhalten immer vier Maßnahmen die sich nach Ambitioniertheitsgrad unterscheiden:

- Verbot von Baulandanweisungen abseits der Siedlungseinheiten.
- Überwiegend Ausweisung verdichteter Bauweise im Neubau, Verminderung der Zahl und Größe von Einfamilienhaus-Bauplätzen.
- Baulandausweisung/Neubau überwiegend/ausschließlich innerhalb der Grenze der Siedlungseinheit.

- Förderung von Wiedernutzung bestehender Wohnhäuser im Ortskern.

6.5.2 Szenarienbeschreibung

BAU-Szenario

Das Business-as-usual-Szenario setzt sich aus folgenden Entwicklungen und Annahmen zusammen:

- Mäßige Erhöhung des Anteils von Hybrid- und Elektrofahrzeugen an der Gesamtflotte – auf 31 % und 39 % im Jahr 2050 (siehe Abbildung 6-8.).
- Steigender Motorisierungsgrad (steigt auf 642 Pkw/1000 Einwohner bis 2050).

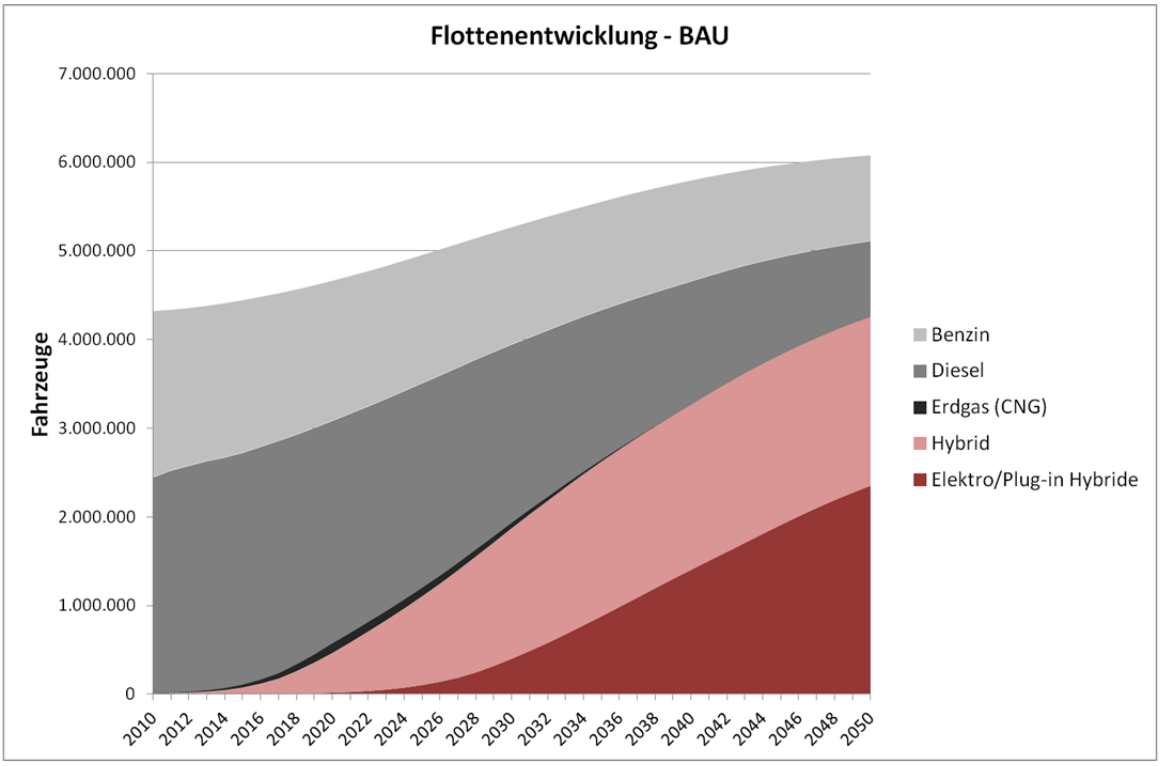


Abbildung 6-8. Die Flottenentwicklung im BAU Szenario.

- Keine verkehrspolitischen Maßnahmen.
- Siedlungsverhalten status quo:
  - Ansiedlungen auch außerhalb der Siedlungseinheit.
  - Gleichbleibender Flächenbedarf für neue EinwohnerInnen.
  - Schleichende Entkernung der Ortszentren.

550 ppm-Szenario

- Die geänderte Flottenentwicklung bedingt einen höheren Durchdringungsgrad mit Elektrofahrzeugen. Der Anteil der Hybridfahrzeuge steigt auf 36 %, jener der Elektrofahrzeuge auf 44 % im Jahr 2050.

- Der Motorisierungsgrad steigt, im Vergleich mit dem BAU Szenario, etwas moderater auf 589 Pkw/1000 Einwohner bis 2050.

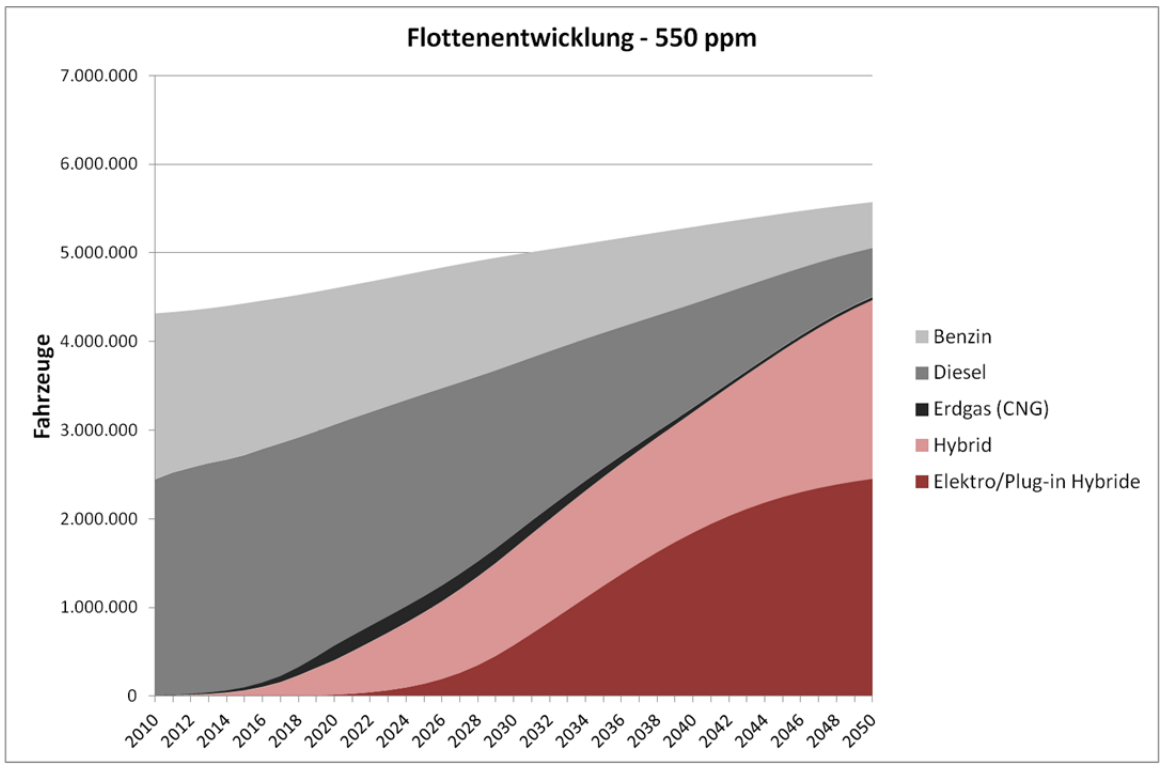


Abbildung 6-9. Die Flottenentwicklung im 550 ppm-Szenario

Im 550 ppm-Szenario werden erste verkehrspolitische Maßnahmen aktiv:

- Im Jahr 2015 werden die Ticketpreise österreichweit um 25 % gesenkt relativ zum Ausgangswert 2010 (rund 0,07 €/km).

- Österreichweite Infrastrukturentgelte auf Benzin- (0,05 €/l), Diesel- (0,06 €/l) und Hybridfahrzeuge (0,05 €/l) im Jahr 2020 bzw. 0,12 €/l, 0,14 €/km und 0,13 €/km im Jahr 2030. Das entspricht gemessen relativ zum Ausgangswert einer Steigerung von 12 % im Jahr 2020 und 30 % im Jahr 2030.

- Österreichweites Infrastrukturentgelt auf Elektrofahrzeuge von 0,05 €/km ab dem Jahr 2030.

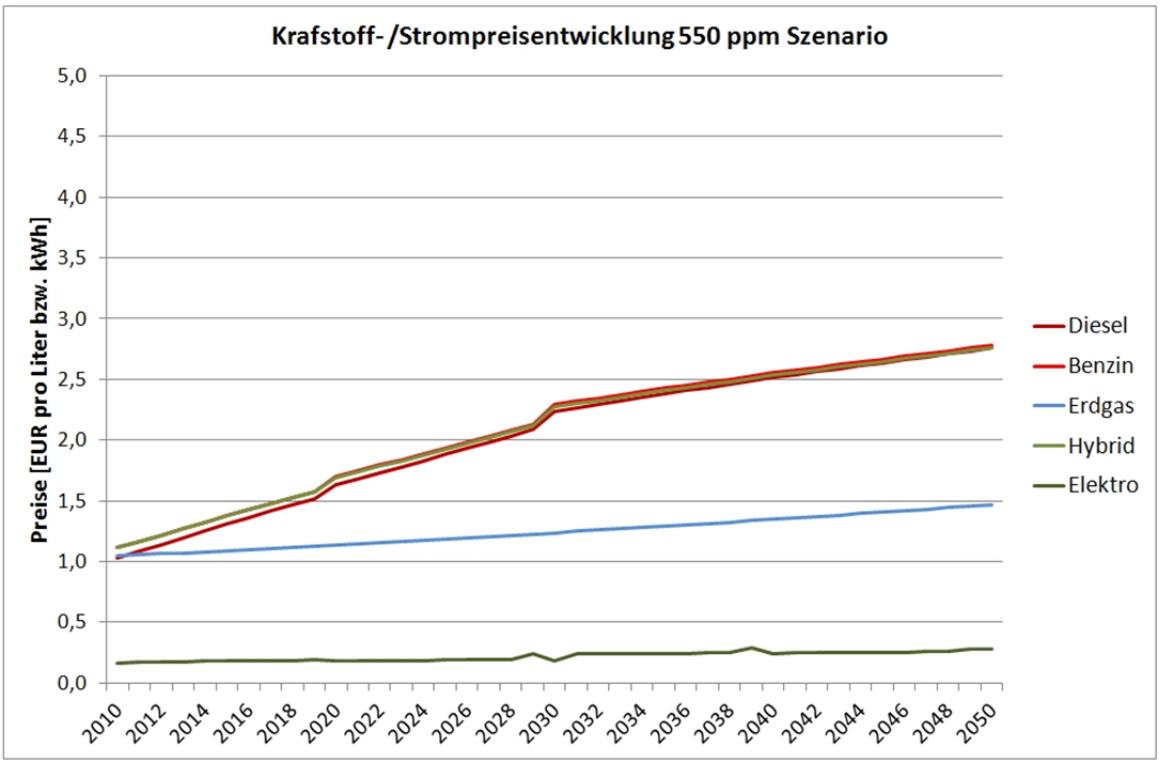


Abbildung 6-10. Kraftstoff- und Strompreisentwicklung im 550 ppm-Szenario.

- Das zugrundeliegende Siedlungsszenario entspricht dem BAU Szenario.

500 ppm-Szenario

- Die Flottenentwicklung im 500 ppm-Szenario zeigt einen Anteil von nur mehr 12 % Hybridfahrzeugen im Jahr 2050, jedoch setzten sich Elektrofahrzeuge mit einem Anteil von 50 % im Jahr 2050 stark durch.

- Der Motorisierungsgrad bleibt bis 2050 in diesem Szenario auf dem heutigen Niveau von 515 Pkw/1000 Einwohner.

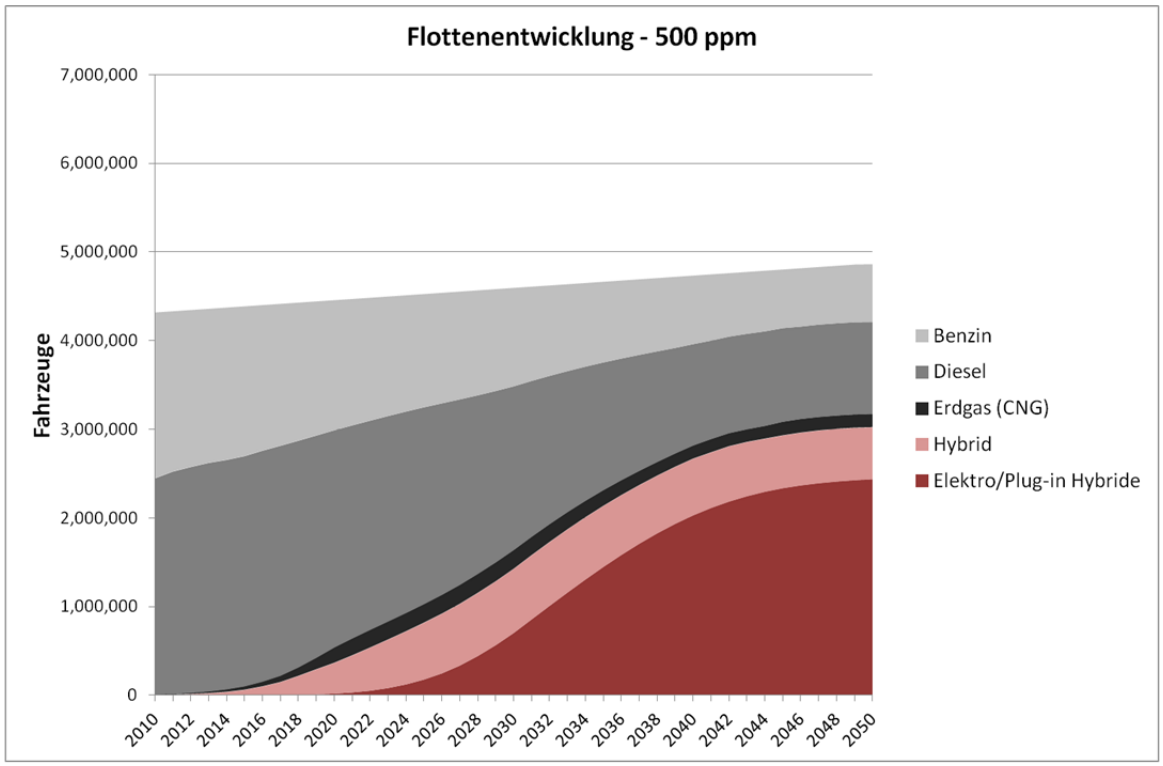


Abbildung 6-11. Die Flottenentwicklung im 500 ppm-Szenario.

Die verkehrspolitischen Maßnahmen im 500 ppm-Szenario umfassen:

- Im Jahr 2015 werden die Ticketpreise österreichweit um 25 % gesenkt. Im Jahr 2030 um 50 %, gemessen am Ausgangswert 2010.
- In allen Bezirken, wo aktuell Parkraum bewirtschaftet wird, werden die Parkgebühren im Jahr 2015 um 15 % je Parkvorgang erhöht.
- Die Ausgangswerte sind:
  - Wien rund 3,78 €/Parkvorgang
  - Urbane Zonen: 2,88 €/Parkvorgang
  - Suburbane Zonen: 1,76 €/Parkvorgang
- Durch Verbesserungen der Radinfrastruktur (Ausbau von Radwegen und Bau von „Rad Highways") kann die österreichweite Durchschnittsgeschwindigkeit der Radfahrer auf 18 km/h gesteigert werden (Ausgangswert im Mittel 16 km/h).
- Österreichweite Infrastrukturentgelte auf Benzin- (0,08 €/km), Diesel- (0,10 €/km) und Hybridfahrzeuge (0,09 €/km) im Jahr 2020 bzw. 0,16 €/km, 0,19 €/km und 0,17 €/km im Jahr 2030. Das entspricht gemessen am Ausgangswert einer Steigerung von 20 % im Jahr 2020 und 40 % im Jahr 2030.
- Österreichweites Infrastrukturentgelt auf Elektrofahrzeuge von 0,08 €/km ab dem Jahr 2030.

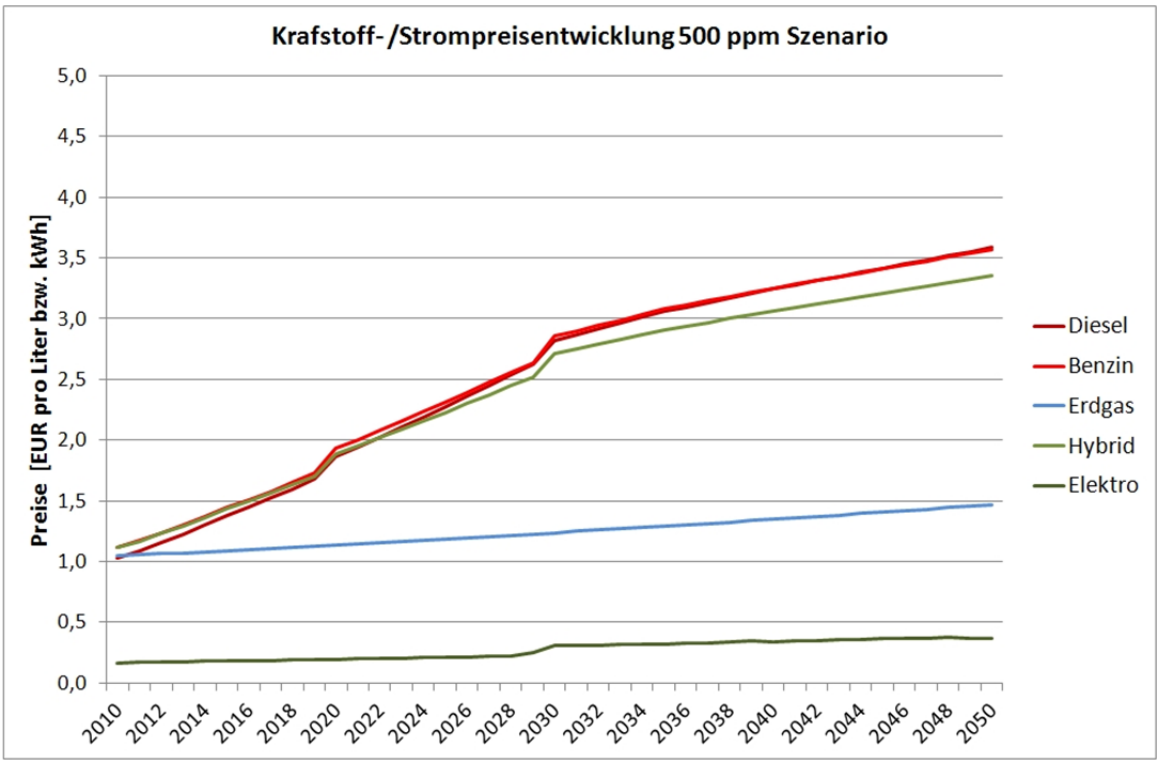


Abbildung 6-12. Die Kraftstoff- und Strompreisentwicklung im 500 ppm-Szenario.

- Die Siedlungsentwicklung in diesem Szenario beinhalten:
  - Keine weitere Zersiedlung der Gemeinden.
  - Leicht reduzierter Flächenverbrauch für neue EinwohnerInnen.
  - Ortszentren entwickeln sich durchschnittlich.

450 ppm-Szenario

- Im 450 ppm-Szenario sind Elektroautos im Jahr 2050 die vorherrschende Pkw-Technologie. Der Anteil der E-Pkw steigt auf 98 % im Jahr 2050.
- Das 450 ppm-Szenario ist das einzige, in dem der Motorisierungsgrad zurückgeht. Im Jahr 2050 haben 450 Personen von 1000 einen Pkw oder E-Pkw.

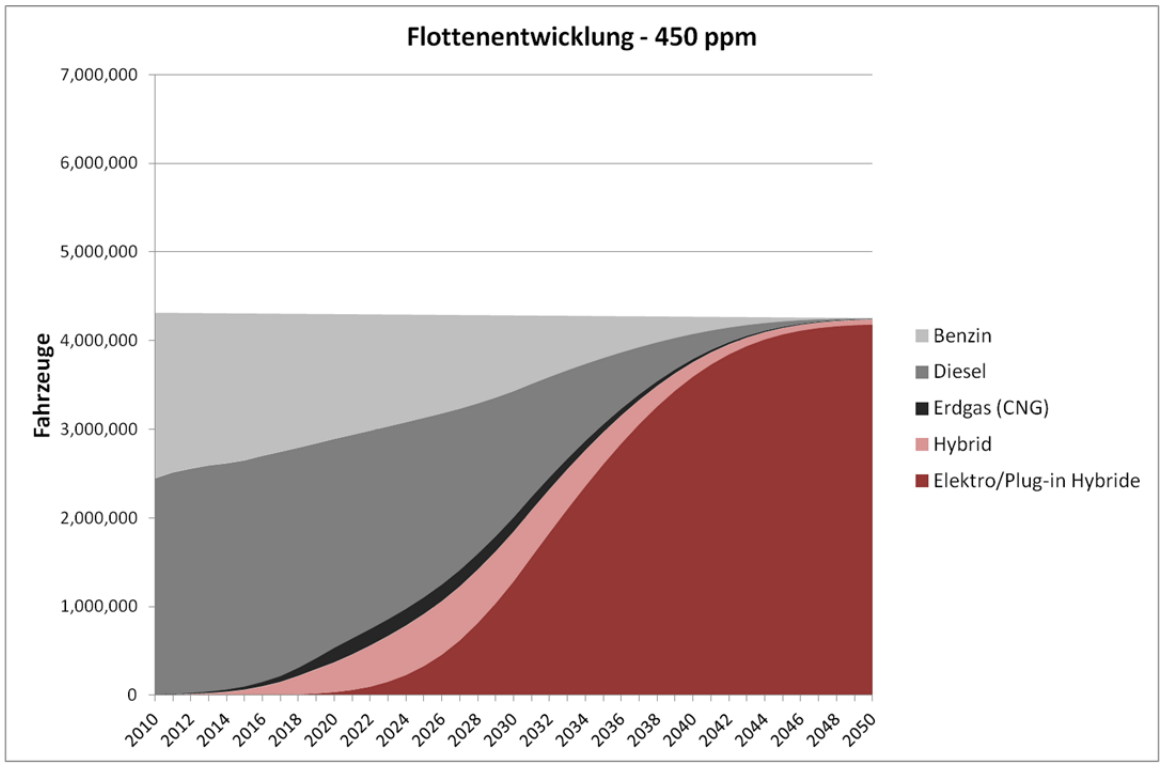


Abbildung 6-13. Die Flottenentwicklung im 450 ppm-Szenario.

Das 450 ppm-Szenario stellt das ambitionierteste Szenario dar. Dementsprechend umfangreich sind auch die verkehrspolitischen Maßnahmen:

- Im Jahr 2015 werden die Ticketpreise österreichweit um 25 % gesenkt. Im Jahr 2030 um 50 %, gemessen am Ausgangswert 2010.

- In allen Bezirken, wo aktuell Parkraum bewirtschaftet wird, werden die Parkgebühren im Jahr 2015 um 15 % je Parkvorgang erhöht.

- Durch Verbesserungen der Radinfrastruktur (Ausbau von Radewegen und Bau von „Rad Highways") kann die österreichweite Durchschnittsgeschwindigkeit der Radfahrer auf 20 km/h gesteigert werden.

- Österreichweite Infrastrukturentgelte auf Benzin- (0,16 €/km), Diesel- (0,19 €/km) und Hybridfahrzeuge (0,17 €/km) im Jahr 2020 bzw. 0,24 €/km, 0,29 €/km und 0,26 €/km im Jahr 2030. Das entspricht gemessen am Ausgangswert einer Steigerung von 40 % im Jahr 2020 und 60 % im Jahr 2030.

- Österreichweites Infrastrukturentgelt auf Elektrofahrzeuge von 0,10 €/km ab dem Jahr 2030.

- Zusätzlich wurde ein Sammelgaragenkonzept umgesetzt. Das bedeutet, dass bis 2050 in urbanen Bezirken schrittweise immer mehr Fahrzeuge in Sammelgaragen anstatt auf Oberflächenparkplätzen untergebracht werden. Das erhöht die durchschnittliche Zugangszeit von der Haustüre bis zum Parkplatz. Diese beträgt im Basisjahr rund 3,3 Minuten und erhöht sich bis 2060 auf 6 Minuten. Eine Zugangszeit von 6 Minuten entspricht in etwa einem Fußweg von 360 Metern. Der

durchschnittliche Zugangsweg in Wien zur nächsten Straßenbahnhaltestelle beträgt in etwa 300 Meter.

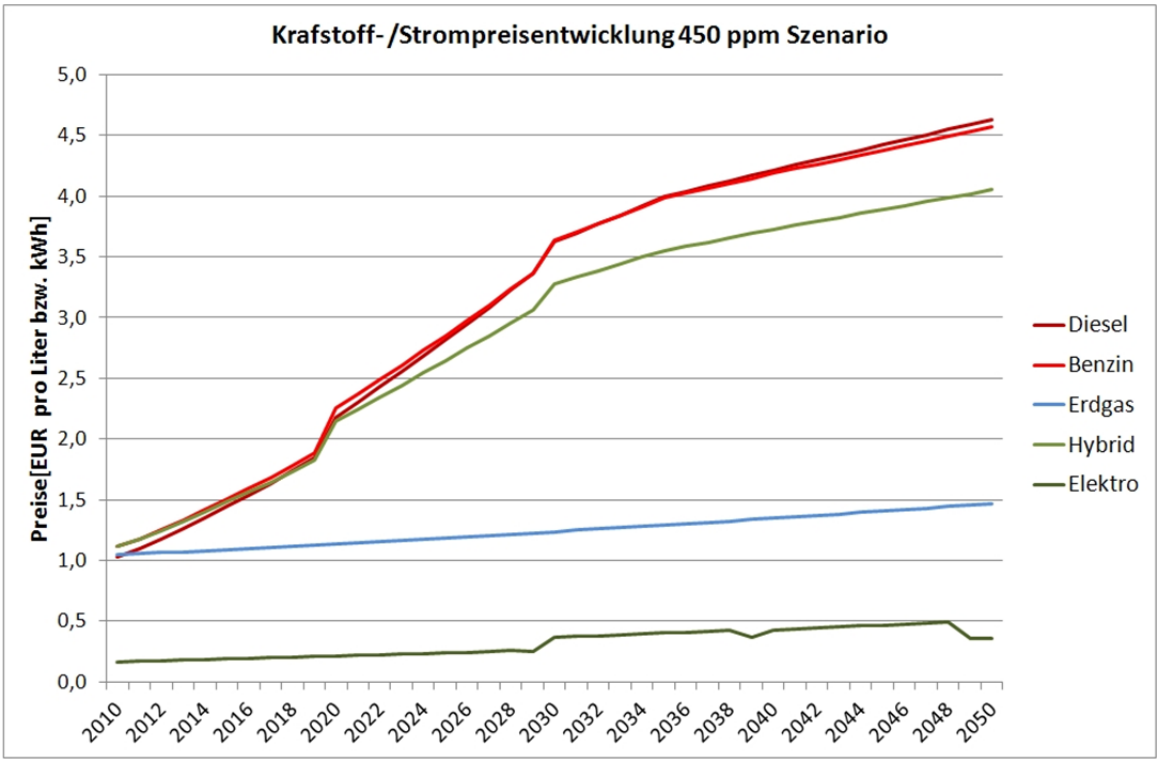


Abbildung 6-14. Die Kraftstoff- und Strompreisentwicklung im 450 ppm-Szenario.

- Das Siedlungsszenario umfasst:
  - Keine weitere Zersiedlung, Nachverdichtung in den Gemeinden.
  - Reduzierter Flächenverbrauch für neue EinwohnerInnen.
  - Stärkung der Ortszentren auch in schrumpfenden Gemeinden.

6.5.3 Ergebnisse

CO_2-Emissionen

Die Emissionen des Straßenverkehrs (Personen- und Güterverkehr) im Jahr 2009 betrugen lt. Bericht des UBA 14,88 Mio. Tonnen CO_2 (Anderl und Freudenschuß et al., 2008).

Inkludiert sind alle Verkehrsträger (Straßenverkehr, Schienenverkehr, Schiffsverkehr) außer dem Luftverkehr. Das betrifft den Verkehr im Inland mit den Pkw, allen leichten Nutzfahrzeugen (LNF), schweren Nutzfahrzeugen (SNF) und der Bahn sowie die Schifffahrt.

Der Ausstoß des Personenverkehrs an den gesamten Emissionen beträgt 10,2 Mio t CO_2 im Jahr 2009, also 68 % der gesamten CO_2-Emissionen des Verkehrssektors.

In der Roadmap 2050 der „European Climate Foundation (ECF)"[43] sind Ziele zur Emissionsreduktion für den Verkehrssektor vorgegeben. Das Reduktionsziel sieht einen CO_2- Ausstoß von – 60 % zum Zeitpunkt 2050 im Vergleich zum Referenzjahr 1990 vor. Diese 60 % beziehen sich auf ein gesamt Europäisches Ziel für den Sektor Verkehr. Der Anteil der tatsächlich von Österreich zu leisten ist, kann sich von den 60 % unterscheiden. Für den Verkehrssektor in Österreich würde eine 60 %-ige Reduktion bedeutenden den CO_2-Ausstoß im Jahr 2050 auf 5,3 Mt pro Jahr zu reduzieren.

In Abbildung 6-15. sind die direkten CO_2-Emissionen im Personenverkehr für die vier verschiedenen Grundszenarien (BAU, 550 ppm, 500 ppm, 450 ppm) dargestellt. Die graue Energie ist nicht berücksichtigt. Es handelt sich somit nicht um eine Lebenszyklusanalyse, sondern um die reine Betrachtung des Fahrzeugbetriebes. Die blaue Linie stellt die Reduktion laut Roadmap 2050 dar. Emissionen des Betriebs von Elektrofahrzeugen werden dem Energieerzeugungssektor zugerechnet, im Betrieb werden die E-Pkw somit mit null CO_2-Emissionen bilanziert. Die Beimischung von Biodiesel und Ethanol im Ausmaß von 5,75 % seit 2010 laut EU-Richtlinie ist berücksichtigt. Der beigemischte Anteil von Biotreibstoff wird im Fahrzeugbetrieb auch mit null CO_2 Emissionen bilanziert.

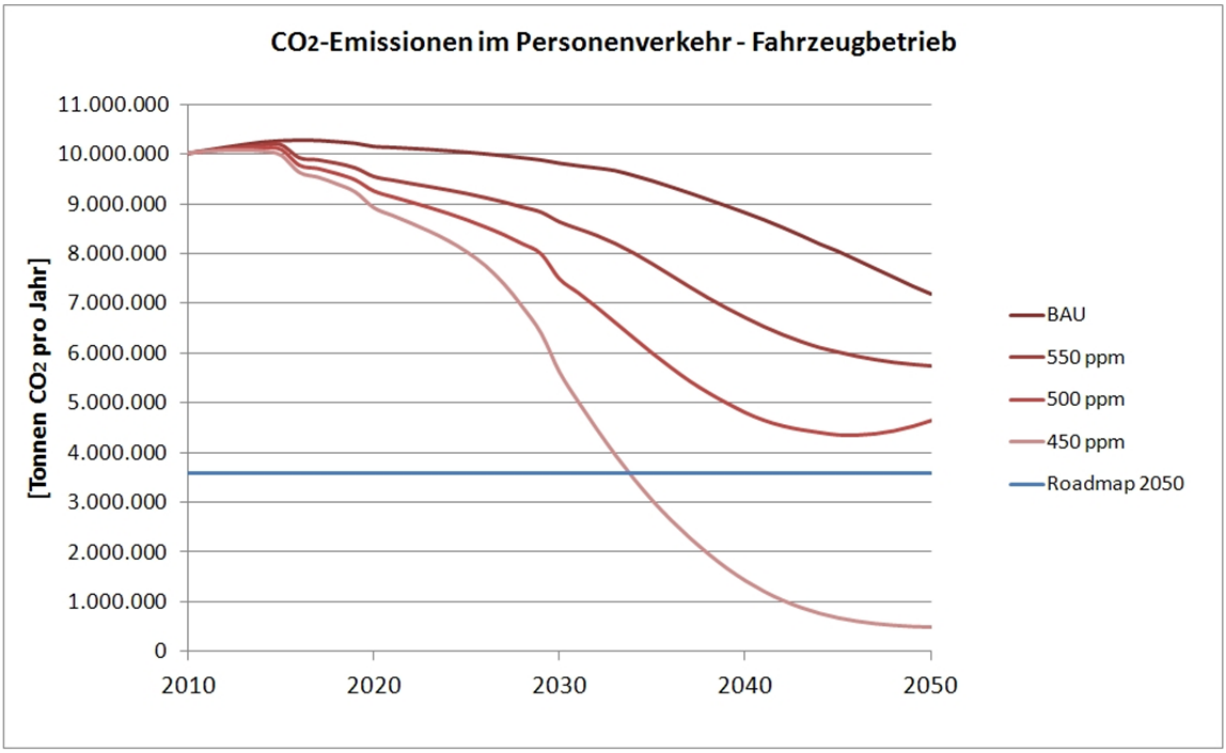


Abbildung 6-15. CO_2 Emissionen im Personenverkehr – Fahrzeugbetrieb.

Das einzige Szenario das die vorgesehen Reduktion der CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr erreicht ist das 450 ppm-Szenario. Alle anderen Szenarien bleiben zumindest über der Roadmap-Grenze.

43 http://www.europeanclimate.org/

BAU-Szenario

Im BAU Szenario sind die CO_2-Emissionen im Jahr 2050 um rund 28 % kleiner als im Basisjahr. Diese Reduktion kommt nur durch die Substitution der Fahrzeugtechnologie zustande. Abbildung 6-16. bzw. Abbildung 6-17. zeigen den Modal Split der einzelnen Szenarien zum Zeitpunkt 2025 bzw. 2050 im Vergleich zum Basisjahr und 1995. Es ist erkennbar, dass im BAU Szenario keine Verhaltensänderung passiert. Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs steigt im Jahr 2050 auf 69 % und ist bereits im Jahr 2050 mit 63 % höher als im Basisjahr.

550 ppm-Szenario

Im 550 ppm-Szenario können die kombinierten Maßnahmen eine Reduktion von rund 43 % der CO_2 -Emissionen im Jahr 2050 zum Basisjahr 2010 bewirken. Das Verkehrsverhalten unterscheidet sich bis zum Jahr 2025 nicht vom BAU Szenario, im Jahr 2050 ist der Anteil des MIV bei 66 % und somit um 3 % Punkte kleiner als im BAU Szenario.

500 ppm-Szenario

Die CO_2-Emissionen im 500 ppm-Szenario können um rund 54 % gesenkt werden. Das Verkehrsverhalten unterscheidet sich in diesem Szenario bereits im Jahr 2025 von den bisher beschriebenen Szenarien. Die kombinierten verkehrspolitischen Maßnahmen führen zu einer Stärkung der nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer, der Anteil bleibt stabil auf 24 %. Der MIV hat einen Anteil von 61 %. Im Jahr 2050 kann der öffentliche Verkehr seinen Anteil annähernd halten und die nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer können an Anteilen gewinnen. Das Endresultat entspricht annähernd dem Modal Split im Jahr 2010.

450 ppm-Szenario

Die CO_2-Emissionen können im 450 ppm-Szenario um 95 % im Vergleich zum Jahr 2010 gesenkt werden. Die starke Flottendurchdringung und die Kombination der anderen Maßnahmen erreichen diese starke Reduktion.

Das 450 ppm-Szenario ist auch das einzige Szenario in dem der Anteil des motorisierten Individualverkehrs zu jedem betrachteten Zeitpunkt kleiner als im Basisjahr 2010 ist. Er beträgt sowohl im Jahr 2025 als auch im Jahr 2050 59 %. Im Jahr 2050 ist der Anteil der reinen Elektrofahrzeuge bereits 90 %, nur mehr 2 % der Wege mit einem herkömmlichen Pkw mit Verbrennungskraftantrieb zurückgelegt werden. Sowohl der nicht motorisierte Verkehr als auch der öffentliche Verkehr können ihre Anteile leicht steigern bzw. konstant halten.

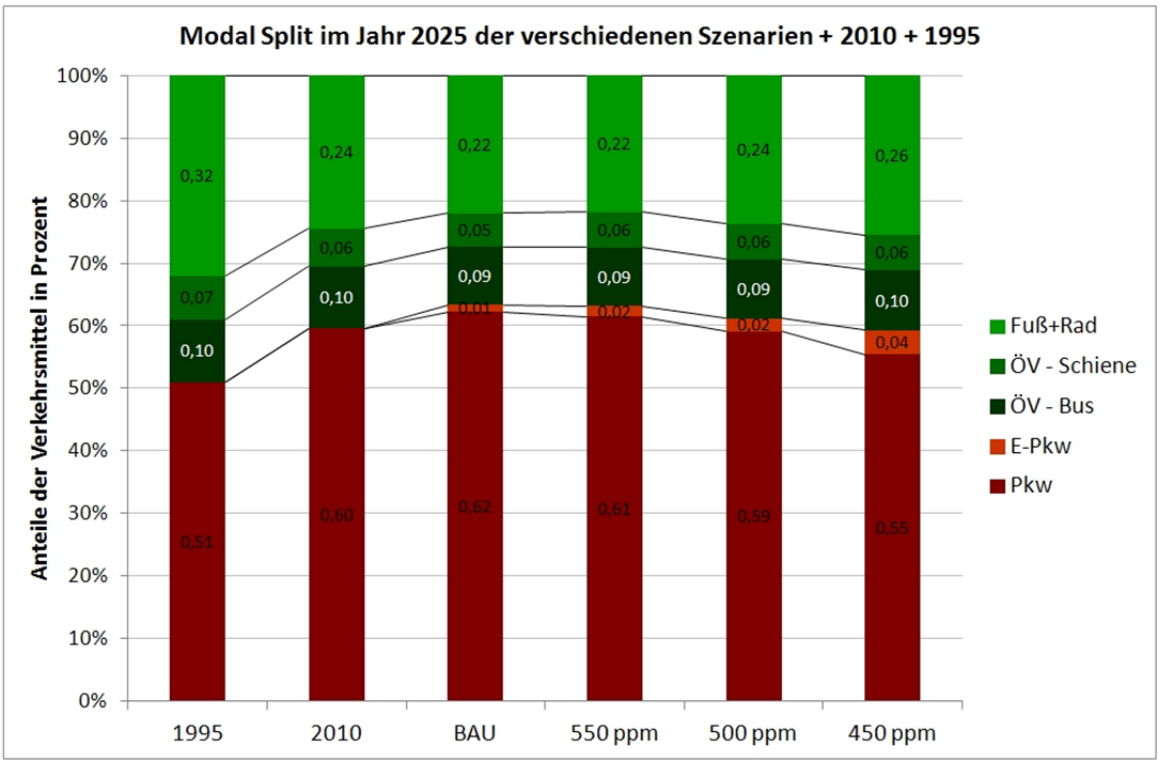


Abbildung 6-16. Modal Split der Jahre 1995, 2010 und 2025 für die Szenarien.

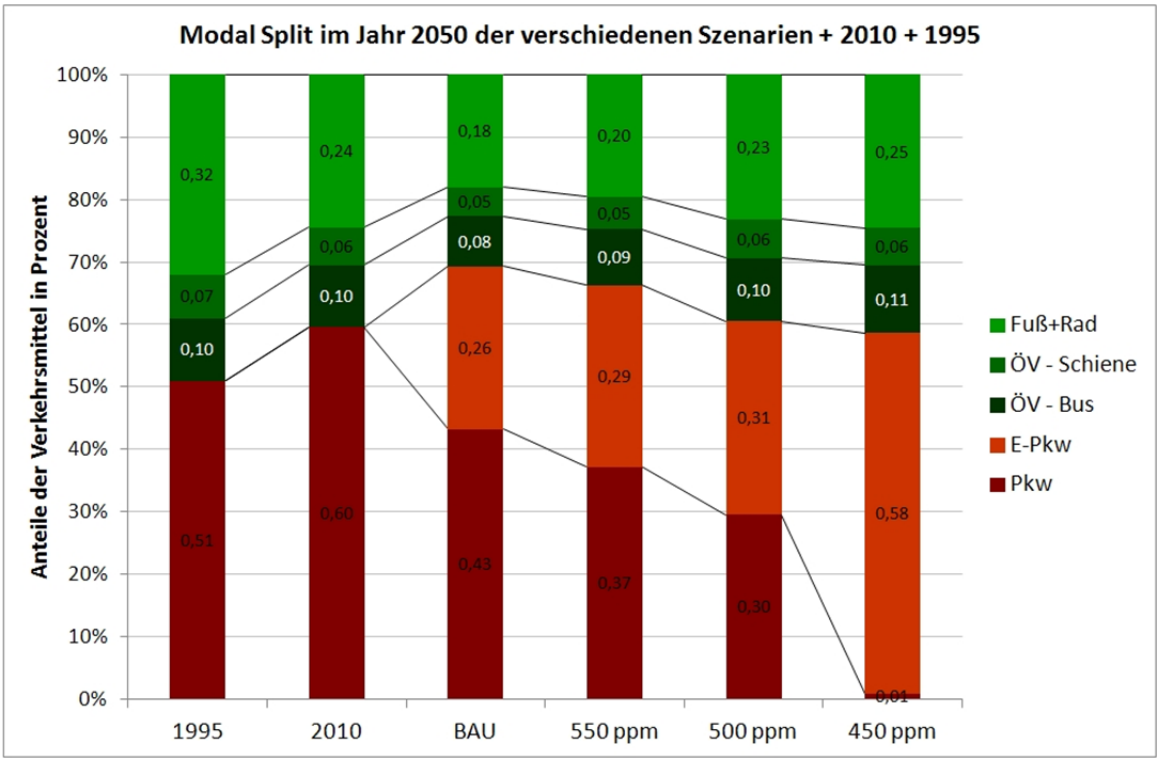


Abbildung 6-17. Modal Split der Jahre 1995, 2010 und2050 für die Szenarien.

6.5.4 Kurzexkurs Kostenfunktionen

Das in MARS-Austria modellierte Verkehrsverhalten basiert auf dem generalized costs Ansatz, der monetäre Kosten mit Zeitaufwänden vereinigt. Abbildung 6-18. bis Abbildung 6-20. zeigen dabei die für unterschiedliche Modi und ausgesuchte Relationen

auftretenden unterschiedlichen Ausprägungen der Anteile der monetären und der Zeitkosten.

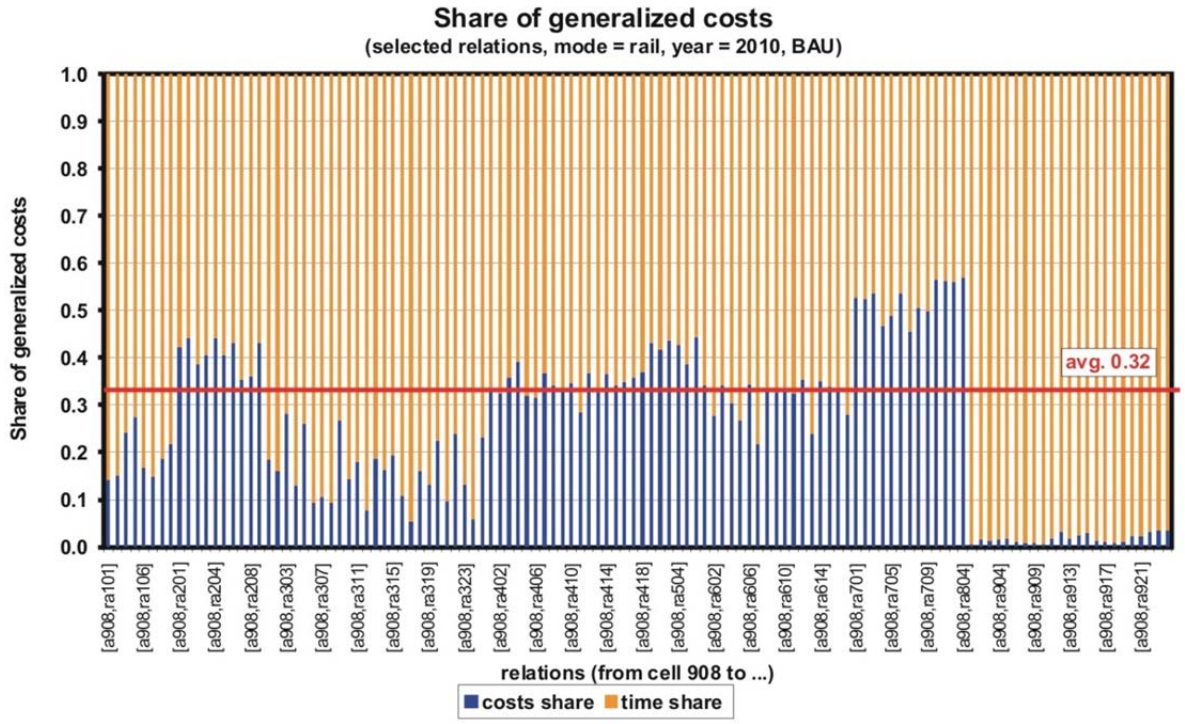


Abbildung 6-18. Anteil der Anteile Zeit und Kosten an den Generalized Costs für Schienenverkehrsmittel auf ausgewählten Relationen im Jahr 2010.

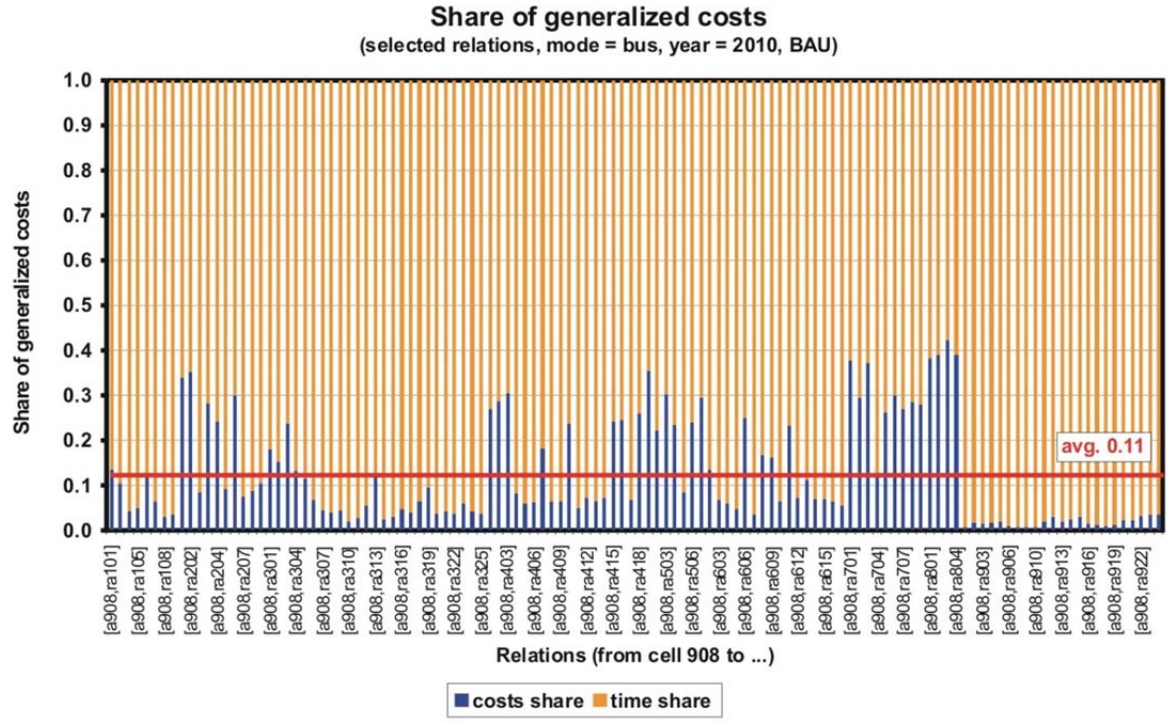


Abbildung 6-19. Anteil der Anteile Zeit und Kosten an den Generalized Costs für das Verkehrsmittel Bus auf ausgewählten Relationen im Jahr 2010.

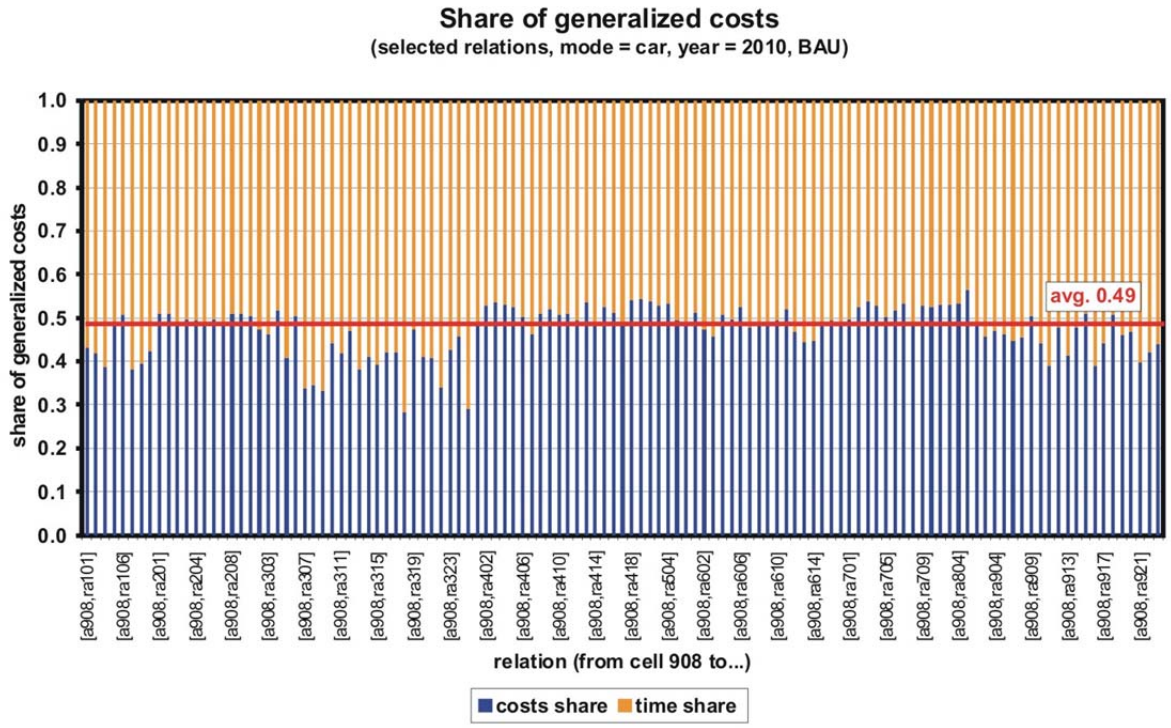


Abbildung 6-20. Anteil der Anteile Zeit und Kosten an den Generalized Costs für das Verkehrsmittel PKW auf ausgewählten Relationen im Jahr 2010.

6.6 Güterverkehr

6.6.1 Grundlage

Der Güterverkehr ist in Österreich seit den 1950er Jahren beständig gewachsen. Wie Abbildung 6-21. zeigt, hat es ein stetiges Wachstum des Güterverkehrsaufwandes [Tonnen-km (tkm) pro Jahr] auf der Eisenbahn gegeben – 1969 bis 2009 um den Faktor 1,55. Ab Ende der 1980er Jahre setzte ein dramatisches Wachstum der Tonnen-km der Sattel- und Lastzüge ein, das sich auch durch eine anteilsmäßige Vorherrschaft auszeichnete (Abbildung 6-22.) – 1969 bis 2009 um den Faktor 4,71. Die große Anzahl der kleinen und mittelgroßen LKW leistete einen im Großen und Ganzen konstanten Beitrag dazu. Während die Eisenbahn vor allem durch sukzessive Elektrifizierung von ehemaligen Diesel- und Dampfstrecken eine überproportionale Senkung ihrer CO_2-Emissionen schaffte, stiegen die Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge (SNF, SLZ) rasant an (Abbildung 6-23.).

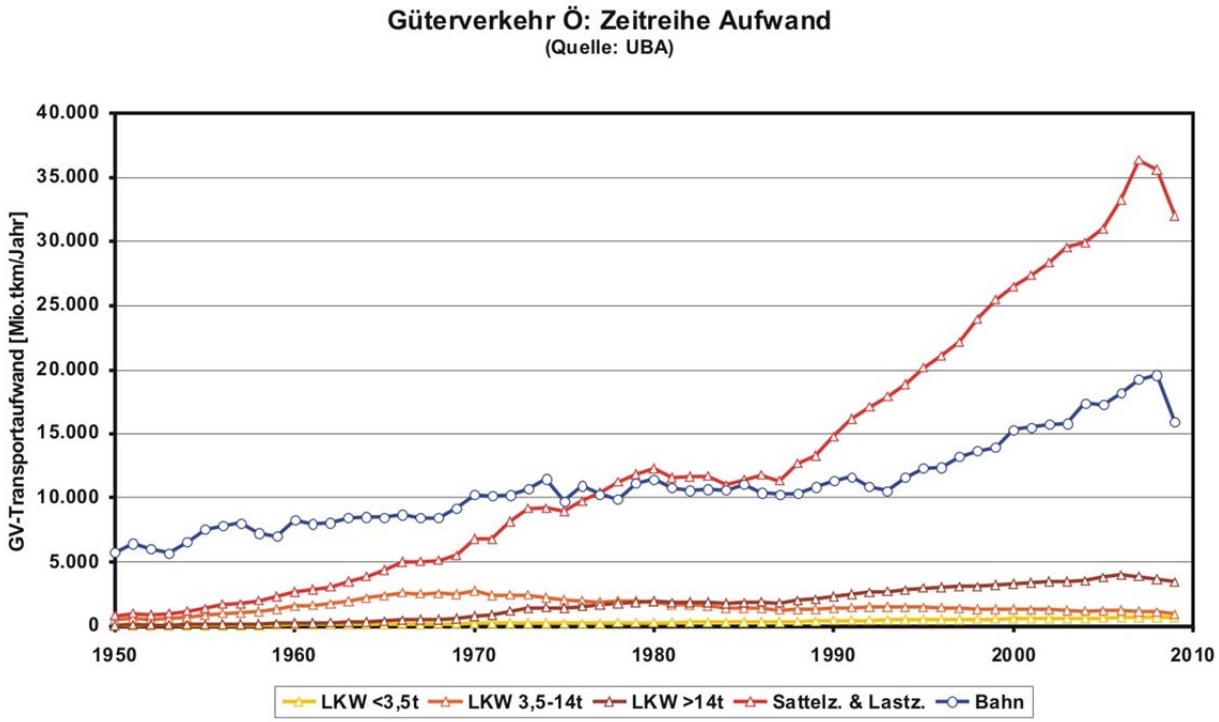


Abbildung 6-21. Zeitreihe des Güterverkehrsaufwandes von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009.
(Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008)

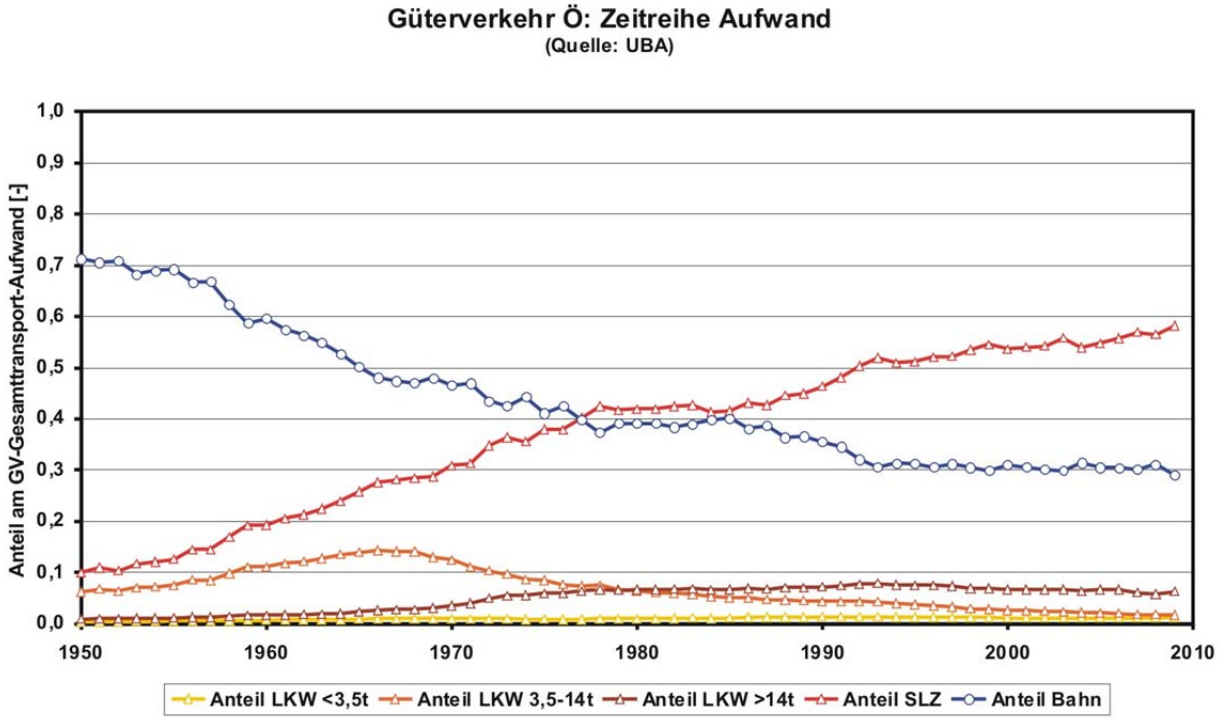


Abbildung 6-22. Zeitreihe des Güterverkehrsanteiles von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009. (Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008)

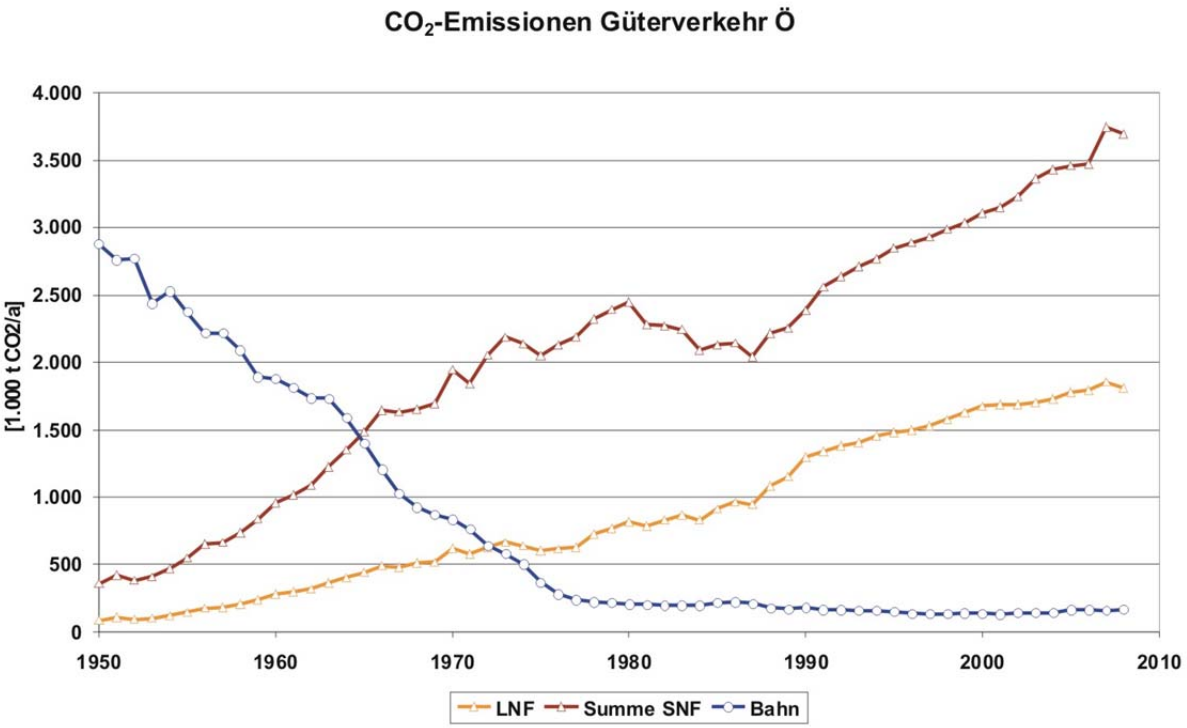


Abbildung 6-23. Zeitreihe der CO2-Emissionen aus dem Güterverkehr von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009. (Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008)

6.6.2 Methode

Im Gegensatz zum Personenverkehr, wo das Verhalten und die Wirkung von Maßnahmen darauf iterativ modelliert wurden, nehmen wir beim Güterverkehr eine lineare Abschätzung gemäß Abbildung 6-23. vor[44]. Ausgehend vom Güterverkehrsaufwand (GVA) für Österreich für das Jahr 2005 (Tabelle 6-7) aus „Verkehr in Zahlen 2007" (Herry und Sedlacek et al., 2007), der für das Basisjahr 2010 übernommen wird, wird eine weitere Spezifizierung in Antriebstechnologien je Verkehrsträger und CO_2-Emissionen je Verkehrstechnologie vorgenommen (Abbildung 6-23.). Aus dieser Spezifizierung ergeben sich drei Ebenen der emissionsrelevanten Eingriffsmöglichkeiten:

- Beim Transportaufwand, sowohl auf die absoluten Größen als auch in Relation zu anderen Verkehrsträgern – Güter Modal Split.
- Auf den Anteil verschiedener Technologien innerhalb der Verkehrsträger.
- Und die GVA-bezogenen, spezifischen Emissionen je Antriebstechnologie.

44 Die Methodik wurde angelehnt an jene der Energieverbrauchsberechnung im Projekt „Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich – ZEFÖ" der Umwelt Management Austria: http://www.uma.or.at/projekte/ZEFo.htm.

Tabelle 6-7. GVA für Österreich 2005 nach Verkehrsträgern und Destinationen. (Quelle: Herry und Sedlacek et al., 2007)

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	500.898	1.652.962	1.647	1.025	**2.156.531**
Quell-/Ziel-V	1.002.702	1.280.106	38.124	36.035	**2.356.967**
Transit-V	614.703	1.273.802	115.364	36.159	**2.040.028**
Summe	**2.118.303**	**4.206.870**	**155.135**	**73.219**	**6.553.527**

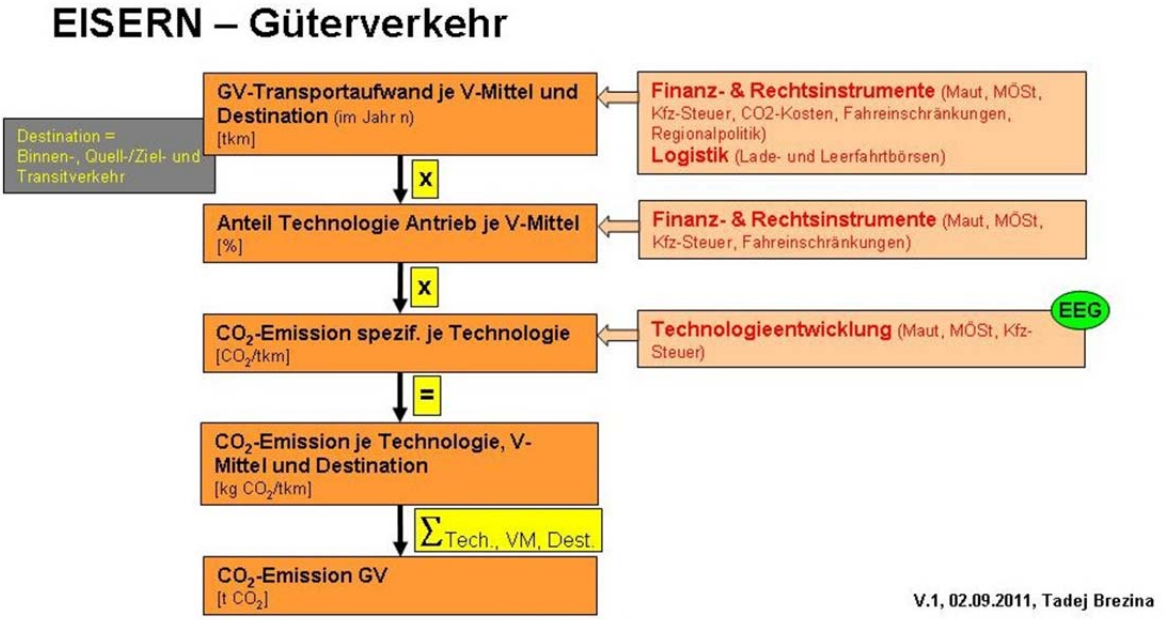


Abbildung 6-24. Berechnungsformel für die CO_2-Emissionen des Güterverkehrs.

Die Gesamtemissionen berechnen sich somit aus folgender Formel:

$$E^{[tCO_2]} = \sum_i \sum_t \sum_d \left(GVA_{i,d}^{[tkm]} \cdot \alpha_t^{[-]} \cdot E_t'^{[tCO_2/tkm]} \right)$$

i...Verkehrsmittel/-träger; t... Antriebstechnologie, d...Destination (Quell, Ziel, Binnen, Transit), E...Gesamtemissionen, E'...spezifische Emissionen je Technologie, GVA...Güterverkehrsaufwand (Güterverkehrsleistung), α_t...Anteil Antriebstechnologie an beförderter Leistung.

Die in den vier Grundszenarien berücksichtigten Antriebstechnologien sind in Tabelle 6-8 angeführt. Beim Rohrleitungstransport wurde keine neue Technologie berücksichtigt.

Tabelle 6-8. Antriebstechnologien bei den Verkehrsträgern.

Straße	Schiene	Schiff	Rohrleitung
LKW Diesel LKW Agrodiesel LKW Hybrid LKW Brennstoffzelle LKW Elektro	Eisenbahn Elektro Eisenbahn Diesel Eisenbahn Agrodiesel	Schiff Diesel Schiff Agrodiesel	Rohrleitung traditionell

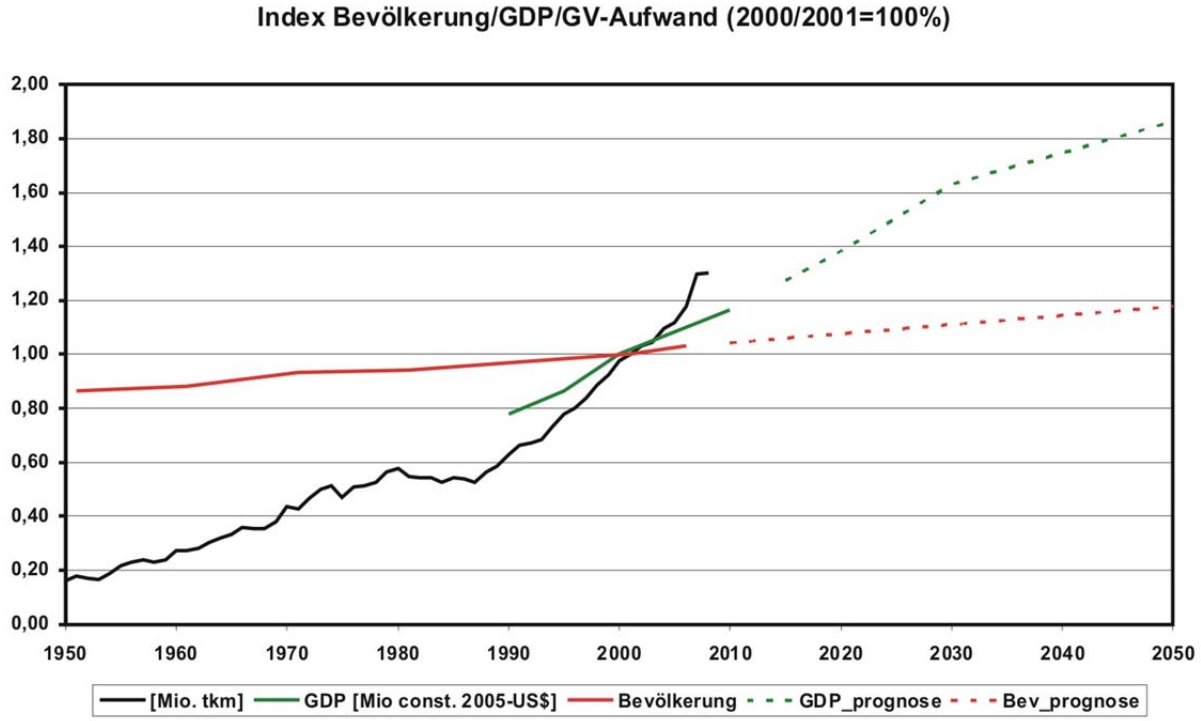


Abbildung 6-25. Index der Entwicklung des Güterverkehrsaufwandes, der Bevölkerung und des österreichischen GDP samt Prognosewerten bis 2050. Basisjahr = 2000. (Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008; Statistik Austria, 2011; Worldbank Group, 2010)

Zur Einbindung des zu prognostizierenden Güterverkehrsaufwand-Wertes werden die bisherigen Entwicklungen und Prognosen von Bevölkerung, Güterverkehrsaufwand und BIP herangezogen. Die Bevölkerung nahm 1970 bis 2000 um den Faktor 1,07 zu, der GV-Aufwand wuchs 1970 bis 2008 um den Faktor 3,00 und das GDP wuchs 1990 bis 2000 um den Faktor 1,28. Die Prognosen für die Bevölkerung und das GDP für die nächsten 40 Jahre (2010 – 2050) sehen einen Zunahmefaktor von 1,13 respektive 1,60 vor. Wegen der in Österreich und der EU schon weit fortgeschrittenen, geographischen Dislozierung ist ein Wachstum des Güterverkehrsaufwandes wie bisher selbst im Business-as-usual nicht zu erwarten. Daher wurde eine Deckelung des GVA-Wachstums mit dem BIP-Wachstumsfaktor von 1,6 von heutiger Basis vorgenommen.

6.6.3 Szenarien

Die Grundlage der Szenarien ist in Tabelle 6-9 zusammengefasst.

Tabelle 6-9. Güterverkehrsszenarien.

Szenario	Transportaufwand (Güterverkehrsaufwand)	Antriebstechnologie	Spezifische Emissionen [CO_2/tkm]
BAU	φ = 1,56	Zunahme alternativer Antriebe auf der Straße, v.a. Hybrid, Agrotreibstoffe: 0-4 %	ε = 1,0
550 ppm	φ = 1,34		ε = 0,93 – 0,97
500 ppm	φ = 1,05		ε = 0,90 – 0,93
450 ppm	φ = 0,89		ε = 0,85 – 0,90

6.6.4 Güterverkehrsaufwand (GVA)

Wir sehen den GVA als zentrales Stellinstrument im Güterverkehr. Alle Maßnahmen der räumlichen Entwicklung des Wirtschafts- und Siedlungssystems als auch die der Verkehrsmittelwahl und der Logistik bilden sich im GVA ab. Je ambitionierter die Politik (Bund, Länder, Gemeinden) Steuerungsmaßnahmen (analog dem Personenverkehr) im Güterverkehr setzt, umso mehr haben die Maßnahmen Einfluss auf den GVA. Die Maßnahmen stammen z. B. aus den Bereichen: Betriebsansiedlungs- und Siedlungsstrukturpolitik – wichtig für den Handwerker, Zuliefer- und Verkaufsbereich, der Straßenbemautung, der Erleichterung von effizienten Logistikmaßnahmen und dem Transitverkehr. Wie oben beschrieben, gehen wir im BAU von einem Anstieg im Ausmaß des prognostizierten GDP aus – Faktor 1,56. Im wenig ambitionierten Szenario 550 ppm findet ein geringerer Anstieg statt, während im ambitionierten Szenario 500 ppm der GVA konstant gehalten wird im sehr ambitionierten Szenario eine Reduktion um etwa 10 % vorgenommen wird.

Nicht nur absolut nehmen wir Einfluss auf den GVA, sondern auch auf die Verteilung zwischen den Verkehrsmitteln. Je ambitionierter das Szenario umso mehr werden Maßnahmen gesetzt, die eine faktische Verlagerung auf weniger emissionsintensive nach sich ziehen. Die Abbildung 6-26. und Abbildung 6-27. zeigen den deutlichen Unterschied im Modal Split des Jahres 2050 zwischen dem BAU und dem 450 ppm-Szenario.

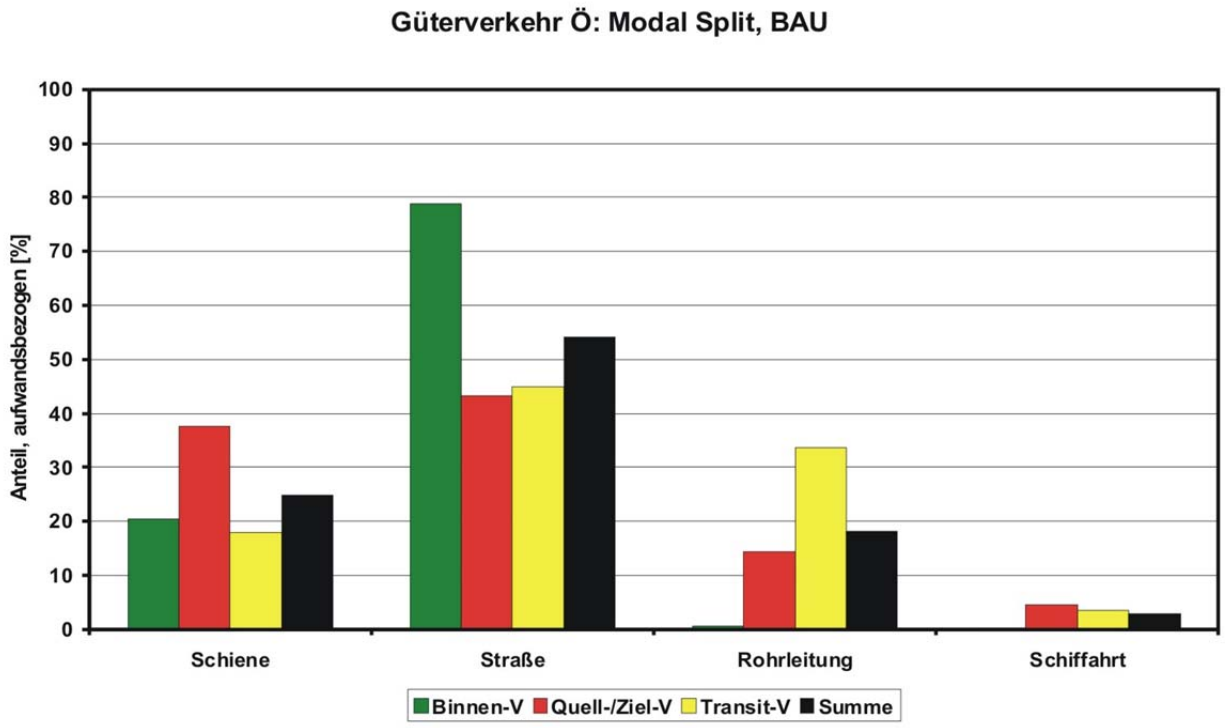


Abbildung 6-26. Aufwandsbezogener Modal Split im Jahr 2050 für das BAU Szenario.

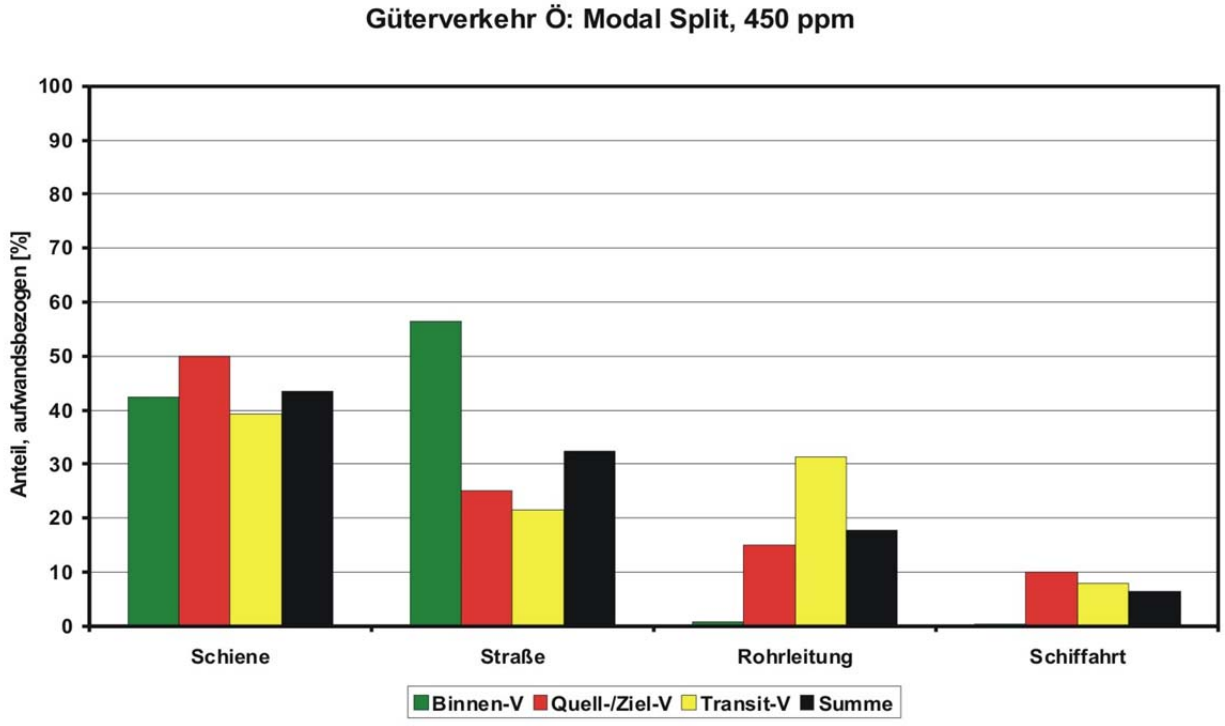


Abbildung 6-27. Aufwandsbezogener Modal Split im Jahr 2050 für das 450 ppm-Szenario.

6.6.5 Antriebstechnologie

Bei der Antriebstechnologie findet vor allem bei den LKW mit zunehmendem Ambitionierungsgrad eine Verlagerung auf alternative Technologien statt, hier vor allem auf Hybride, denen aus heutiger Sicht für den Straßengütertransport das größte Potenzial zuerkannt wird.

Der Einsatz von Agrodiesel wird gemäß den Erkenntnissen aus (Brezina and Emberger 2008) auf einen einstelligen Prozentanteil limitiert (0-4 %, siehe Tabelle 6-9), damit diese Versorgung möglichst nachhaltig, durch in Österreich hergestellte Kraftstoffe ohne lange Anlieferwege vorgenommen werden kann.

6.6.6 Spezifische Emissionen

Obwohl die Fahrzeuge in den letzten 60 Jahren weiter entwickelt wurden, sodass teils beachtliche Reduktionen beim fahrzeugbezogenen CO_2-Ausstoß erzielt werden konnten, ergeben die Emissions- und Verkehrsaufwandsstatistiken des UBA nur geringe Veränderungen bei den auf den Tonnenkilometer bezogenen Emissionen innerhalb der jeweiligen LKW-Klassen (Abbildung 6-28.). Lediglich die Bahn hat ihre spezifischen Emissionen durch den Wechsel von Kohle- auf elektrische Traktion stark reduziert. Die praktische Konstanz bei den LKW konnte im Rahmen dieses Projekts nicht näher untersucht werden, aber die Vermutung liegt nahe, dass keine wesentlich verbesserte Logistik, Reboundeffekte beim Fahrzeuggewicht ähnlich wie bei den PKW und auch verlängerte Transportwege da hineinspielen. Im BAU Szenario ändert sich daher auch nichts daran. Unter der optimistischen Annahme, dass durch CO_2-Emissionen bedingte finanzielle Belastungen auch in Emissionsentwicklung und Logistik Wirkung zeigen wird, gestehen wir den spezifischen Emissionen eine Verbesserung bis 2050 von maximal 15 % zu.

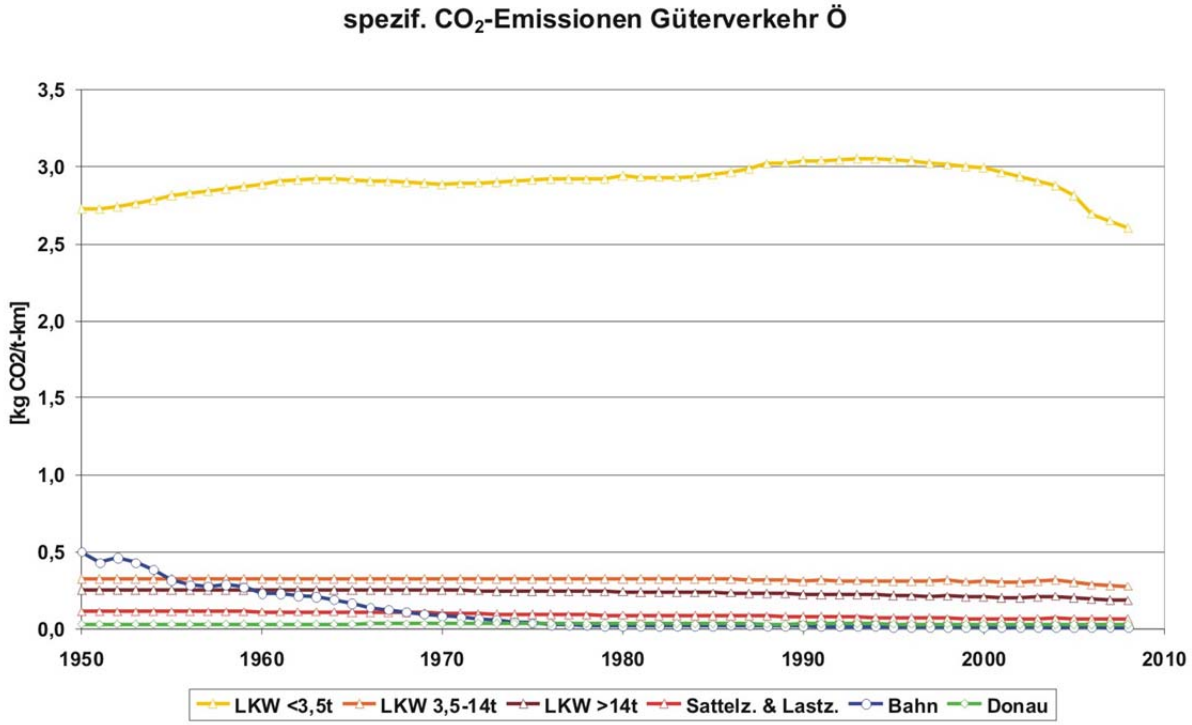


Abbildung 6-28. Spezifische CO_2-Emissionen des Österreichischen Güterverkehrs bezogen auf den Tonnenkilometer .

6.7 Ergebnisse

Tabelle 6-10. CO_2-Emissionen für den Güterverkehr in Österreich, Basisjahr 2010 [t CO_2/a].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	500.898	1.652.962	1.647	1.025	**2.156.531**
Quell-/Ziel-V	1.002.702	1.280.106	38.124	36.035	**2.356.967**
Transit-V	614.703	1.273.802	115.364	36.159	**2.040.028**
Summe	**2.118.303**	**4.206.870**	**155.135**	**73.219**	**6.553.527**
Summe o. Transit	**1.503.599**	**2.933.068**	**39.771**	**37.060**	**4.513.499**

Zum Vergleich: Das Umweltbundesamt (Anderl und Freudenschuß et al., 2008) gibt die CO_2-Emissionen nach Fahrzeugtypen an, nicht gegliedert nach dem Transportsektor. Für 2008 betrug die Summe der Emissionen von leichten und schweren Nutzfahrzeugen 5,207 Mio. t CO_2 pro Jahr für die Inlandsemission. Ohne Transitverkehr beläuft sich unser Basisjahr-Ergebnis auf 4,513 Mio. t CO_2 pro Jahr. Berücksichtigt man den Wirtschafts-krisen bedingten Einbruch für das Jahr 2009, so liegen die beiden Resultate in annähernd gleicher Größenordnung.

Tabelle 6-11. CO_2-Emissionen für den Güterverkehr in Österreich, BAU Szenario 2050 [t CO_2/a].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	672.945	2.897.050	2.000	1.400	**3.573.395**
Quell-/Ziel-V	1.345.890	1.738.230	50.000	44.800	**3.178.920**
Transit-V	828.240	2.317.640	150.000	44.800	**3.340.680**
Summe	**2.847.075**	**6.952.920**	**202.000**	**91.000**	**10.092.995**
Summe o. Transit	**2.018.835**	**4.635.280**	**52.000**	**46.200**	**6.752.315**

Tabelle 6-12. CO_2-Emissionen für den Güterverkehr in Österreich, 550 ppm-Szenario 2050 [t CO_2/a].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	507.892	2.212.704	1.746	1.630	**2.723.972**
Quell-/Ziel-V	1.108.128	1.438.258	43.650	46.172	**2.636.208**
Transit-V	738.752	1.880.799	116.400	46.172	**2.782.123**
Summe	**2.354.772**	**5.531.761**	**161.796**	**93.974**	**8.142.303**
Summe o. Transit	**1.616.020**	**3.650.962**	**45.396**	**47.802**	**5.360.180**

Tabelle 6-13. CO_2-Emissionen für den Güterverkehr in Österreich, 500 ppm-Szenario 2050 [t CO_2/a].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	467.581	1.414.749	1.488	1.823	**1.885.641**
Quell-/Ziel-V	791.291	808.428	37.200	46.872	**1.683.791**
Transit-V	647.420	858.955	93.000	46.872	**1.646.246**
Summe	**1.906.291**	**3.082.132**	**131.688**	**95.567**	**5.215.677**
Summe o. Transit	**1.258.871**	**2.223.177**	**38.688**	**48.695**	**3.569.431**

Tabelle 6-14. CO_2-Emissionen für den Güterverkehr in Österreich, 450 ppm-Szenario 2050 [t CO_2/a].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	376.992	924.041	1.358	2.151	**1.304.542**
Quell-/Ziel-V	502.656	462.021	29.100	53.777	**1.047.553**
Transit-V	502.656	508.223	77.600	53.777	**1.142.255**
Summe	**1.382.304**	**1.894.284**	**108.058**	**109.705**	**3.494.351**
Summe o. Transit	**879.648**	**1.386.062**	**30.458**	**55.928**	**2.352.095**

Die Verringerung der Emissionen bei der Schiene ist auf die Verringerung des gesamten Transportaufwandes und eine leichte Verlagerung vom fossilen auf Agrodiesel zurück zu führen. In Abbildung 6-29. sind die Summen der einzelnen Szenarien und des Basisjahres nach den Verkehrsträgern aufgeschlüsselt angeführt. Für die Zusammenführung in Abschnitt 6.8 wurde aus dem Güterverkehr der Transitverkehr herausgerechnet, da beim Personenverkehr ebenfalls kein Transit behandelt worden ist.

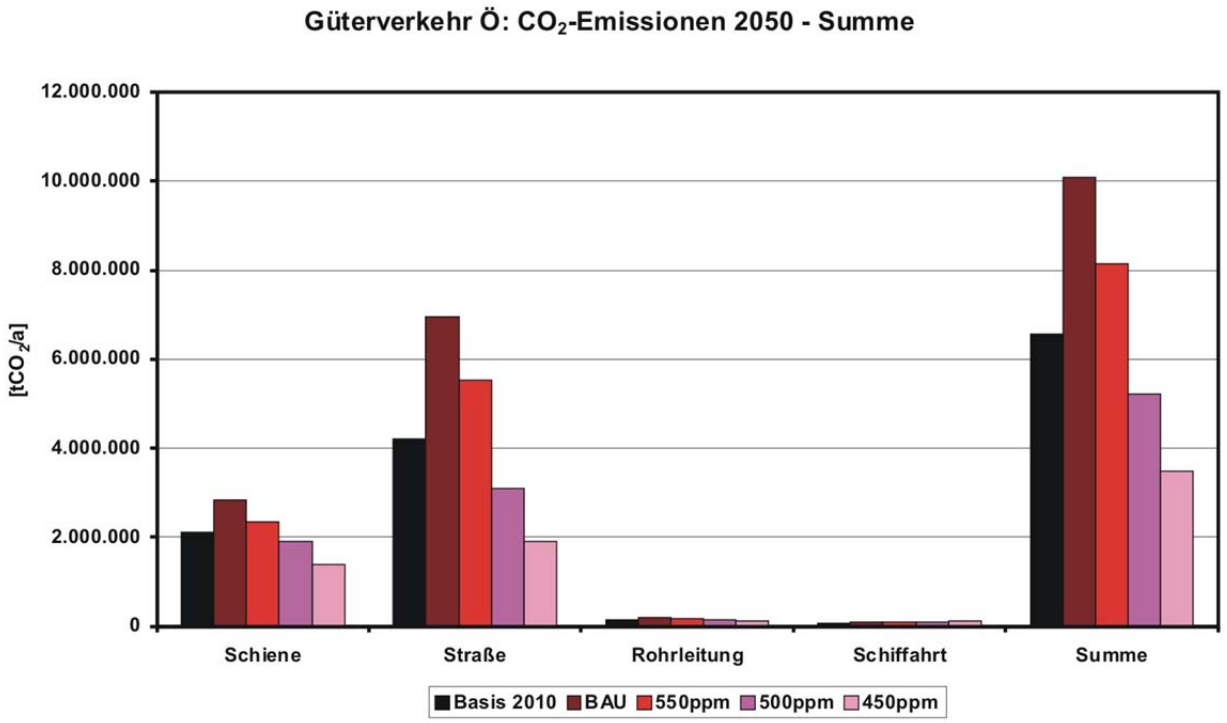


Abbildung 6-29. CO_2-Emissionen des Güterverkehrs im Überblick: Basisjahr 2010 und die vier Szenarien im Jahr 2050 (mit Transit).

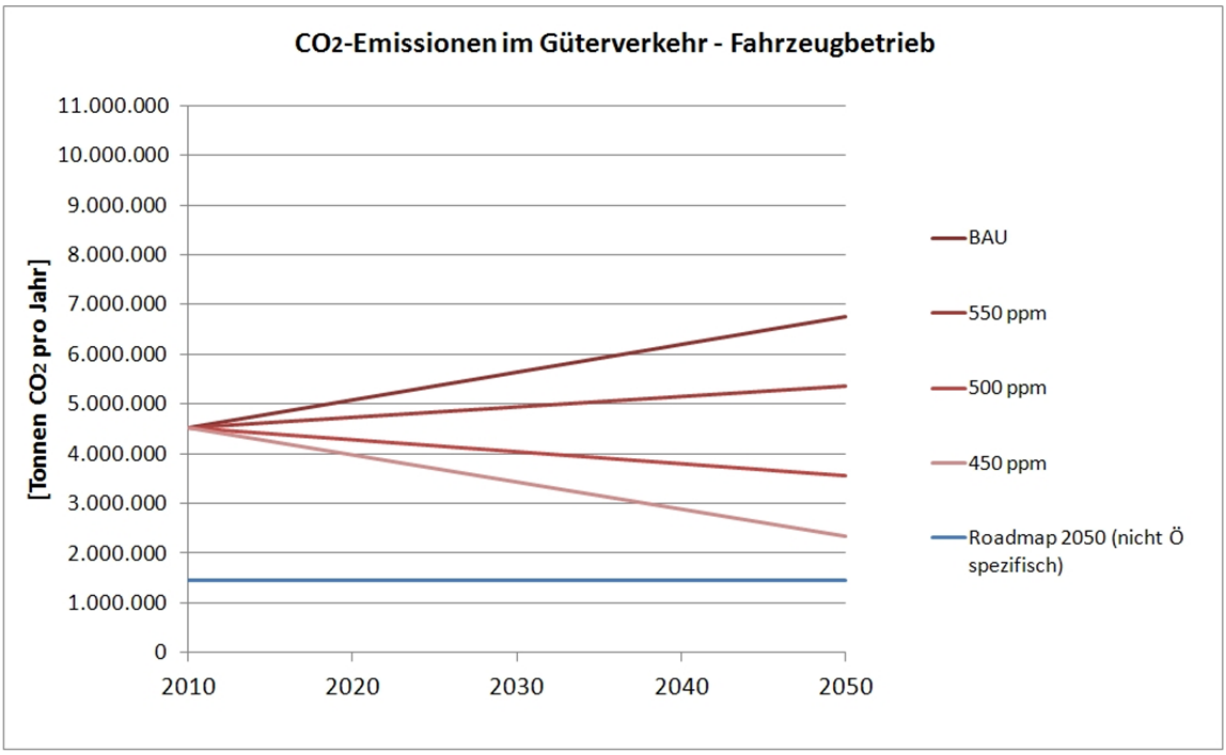


Abbildung 6-30. CO_2 Emissionen im Güterverkehr – Fahrzeugbetrieb.

6.8 Gesamtergebnisse für den Personen- und Güterverkehr

Für den Verlauf der Emissionen 2010 bis 2050 von Güter- und Personenverkehr wurden die GV-Ergebnisse für das Jahr 2050 linear mit dem Basisjahr 2010 interpoliert und mit den Jahresergebnissen aus MARS-Austria addiert (Abbildung 6-31.). Für die Gegenüberstellung der in Summe über den Zeitraum 2010 bis 2050 produzierten Emissionen, wurde der lineare Verlauf des Güterverkehrs aufkumuliert (Abbildung 6-32.).

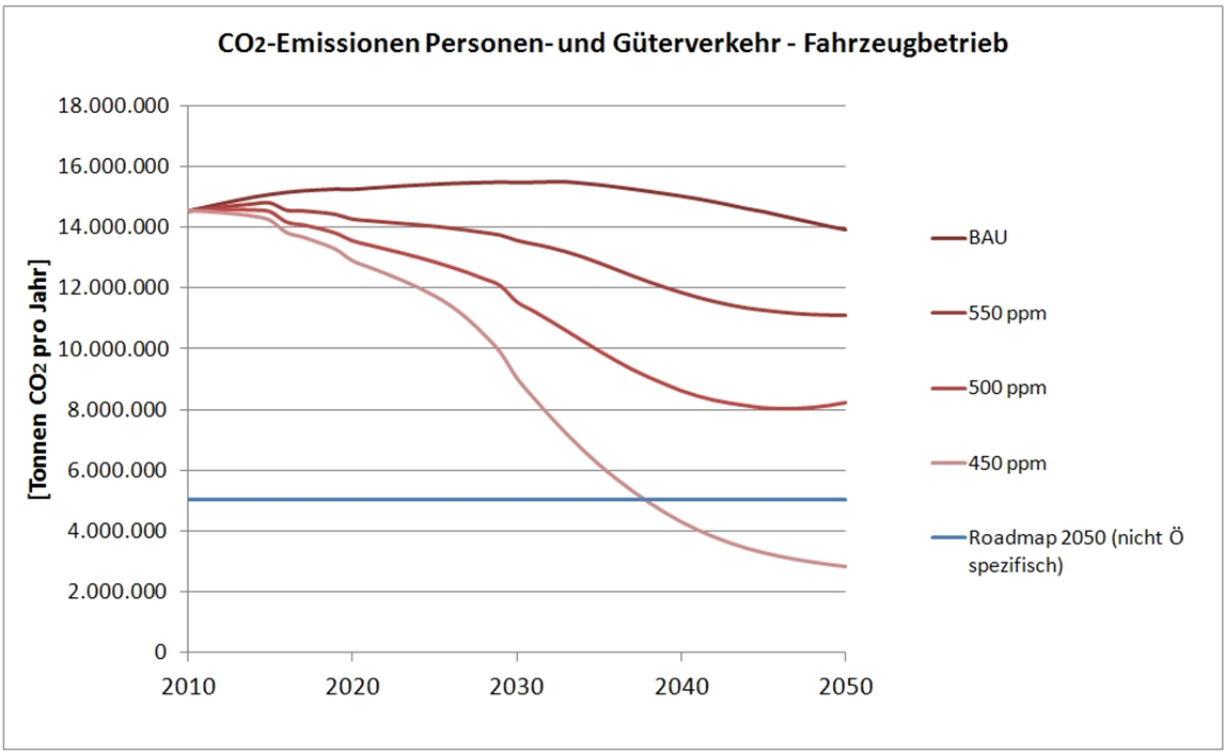


Abbildung 6-31. CO_2-Emissionen im Personen- und Güterverkehr (ohne Transit) – reiner Fahrzeugbetrieb.

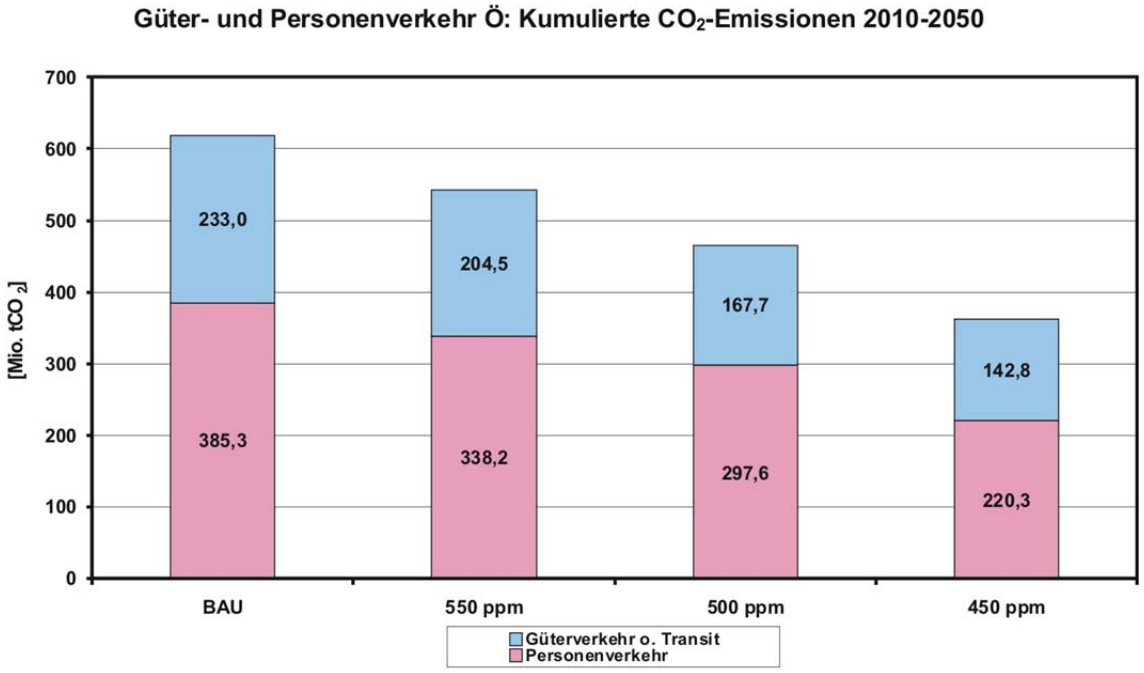


Abbildung 6-32. Kumulierte CO_2-Emissionen im Personen- und Güterverkehr (ohne Transit) – reiner Fahrzeugbetrieb.

6.9 Analyse der Wirkmächtigkeit der Raumplanungs- und Verkehrspolitikmaßnahmen

Um die Wirkmächtigkeit der Raumplanungs- und Verkehrspolitikmaßnahmen gegenüber den technischen Verbesserungen der Flotte abzugrenzen, wurden von uns weitere vier

Sonderszenarien simuliert, in denen die Teilszenarien für die drei Teilbereiche Verkehrspolitik, Flotte und Raumplanung so variiert wurden, dass der Einzeleffekt gegenüber den Grundszenarien sichtbar wird.

Tabelle 6-15. Gegenüberstellung der Sonder- zu den Grundszenarien.

Szenario	Verkehrspolitik	Flotte	Raumplanung
Grundszenarien			
BAU	BAU	BAU	BAU
550 ppm	WENIGAMBI	WENIGAMBI	WENIGAMBI
500 ppm	AMBI	AMBI	AMBI
450 ppm	SEHRAMBI	SEHRAMBI	SEHRAMBI
Sonderszenarien			
Raumplanung 1	BAU	BAU	SEHRAMBI
Raumplanung 2	SEHRAMBI	SEHRAMBI	BAU
Verkehrspolitik 1	SEHRAMBI	BAU	BAU
Verkehrspolitik 2	BAU	SEHRAMBI	SEHRAMBI

6.9.1 Maßnahmenpakete im Bereich der Verkehrspolitik

Wie bereits beschrieben wurden in den drei Grundszenarien 550, 500 und 450 ppm verschiedene Maßnahmen simuliert, die zu drei Zeitpunkten wirksam werden (Abbildung 6-33.). Diese drei Zeitpunkte sind 2015, 2020 und 2030. Zum Zeitpunkt 2015 wurde jeweils eine Maßnahme gesetzt, die als am schnellsten umsetzbar erscheint. Zu den Zeitpunkten 2020 und 2030 setzen dann Maßnahmen ein, die einen vermutlich längeren Vorlauf brauchen oder bewusst steuernd zu diesem Zeitpunkt einsetzen sollen. So z. B. ein Infrastrukturentgelt für fossile Antriebe in 2020 für eine relative Förderung nicht-fossiler Antriebe gefolgt von der Einführung eines Infrastrukturentgeltes für e-Mobilität im Jahr 2030, um diese Antriebe auch an den Kosten teilhaben zu lassen. Die Maßnahmen spielen sich innerhalb der Kompetenzverteilung des Österreichischen Staatsgefüges auf Bundes-, Landes und Gemeindeebene ab, was farblich hervorgehoben ist. Ein farblicher Übergang ist dort dargestellt, wo die Maßnahmenumsetzung mit zwei Gebietskörperschaften umgesetzt wird: Bund und Länder oder Länder und Gemeinden. Die Wirkung der Kombination „Bund und Länder" zeigt sich bei den ÖV-Maßnahmen, da beide durch das ÖPNRV-G in der Finanzierung und Bestellung von Leistungen aktiv sind. Länder und Gemeinden arbeiten bei den Parkgebühren, beim Radverkehr und den Urbanen Sammelgaragen zusammen. Die Maßnahmen zur Erhöhung der Radverkehrsgeschwindigkeit und der Einführung von Sammelgaragen sind baulich. Sie bedürfen daher eines linearen Anwachsens der Wirkung von einem Startlevel (Wert 0) auf das Zielniveau zum Zeitpunkt 2020 oder 2030.

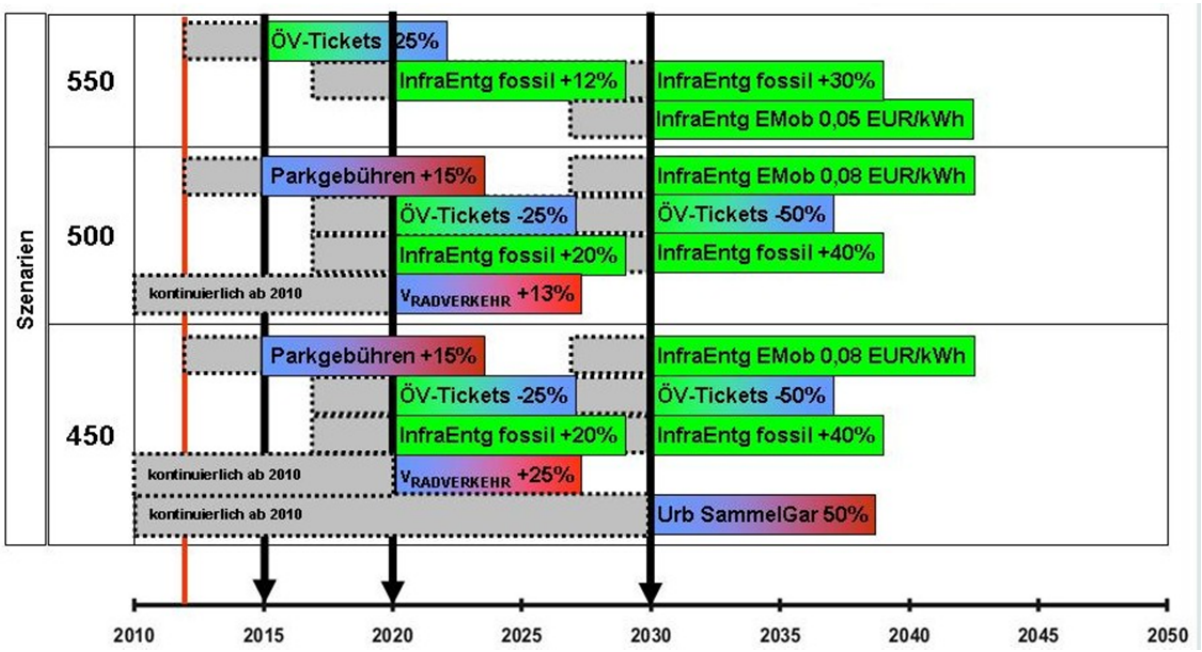


Abbildung 6-33. Zeitleiste der simulierten Maßnahmen nach Szenarien. Rote Linie: 2012, schwarze Pfeile: Zeitpunkte der Maßnahmenwirksamkeit, Grau: angenommene minimale Vorlaufzeit (3 Jahre)bzw. Zeit des kontinuierlichen Wachstums der Maßnahme, Grün: Bundeskompetenz, Blau: Bundesländerkompetenz und Rot: Gemeindekompetenz.

6.9.2 Ergebnisse der Sonderszenarien

In Abbildung 6-34. ist die Wirkung der sehr ambitionierten Maßnahmen der Raumplanung im BAU / BAU / SEHRAMBI-Sonderszenario im Vergleich zum BAU-Szenario gut zu erkennen: ca. 5 % Reduktionspotenzial. Im Vergleich zum 450 ppm-Szenario beträgt das Reduktionspotenzial der Raumplanung (SEHRAMBI / SEHR AMBI / BAU) nur mehr 0,5 %.

Abbildung 6-35. zeigt die Wirkung der sehr ambitionierten Verkehrspolitikmaßnahmen. Im Sonderszenario Verkehrspolitik 1 ergibt sich ein Reduktionspotenzial von ca. 8 %. Das Sonderszenario Verkehrspolitik 2 zeigt gegenüber dem 450 ppm-Szenario ein Reduktionspotenzial der Verkehrspolitik von 1,3 %.

In beiden Vergleichen gilt, dass das 450 ppm-Szenario von einer ihm zugrunde liegenden Flotte von 98 % E-PKW und Plug-in Hybriden und Emissionsfaktoren von 0 t CO_2/MWh_{el} dominiert ist (Abbildung 6-36.). Da hier beinahe die gesamte Flotte und somit beinahe der gesamte Verkehrssektor dekarbonisiert ist, zeigen Maßnahmen der Raumplanung und der Verkehrspolitik im Parameter CO_2-Ausstoß kaum Wirksamkeit, wenn vom MIV zum ÖV oder den Slow Modes verlagert wird.

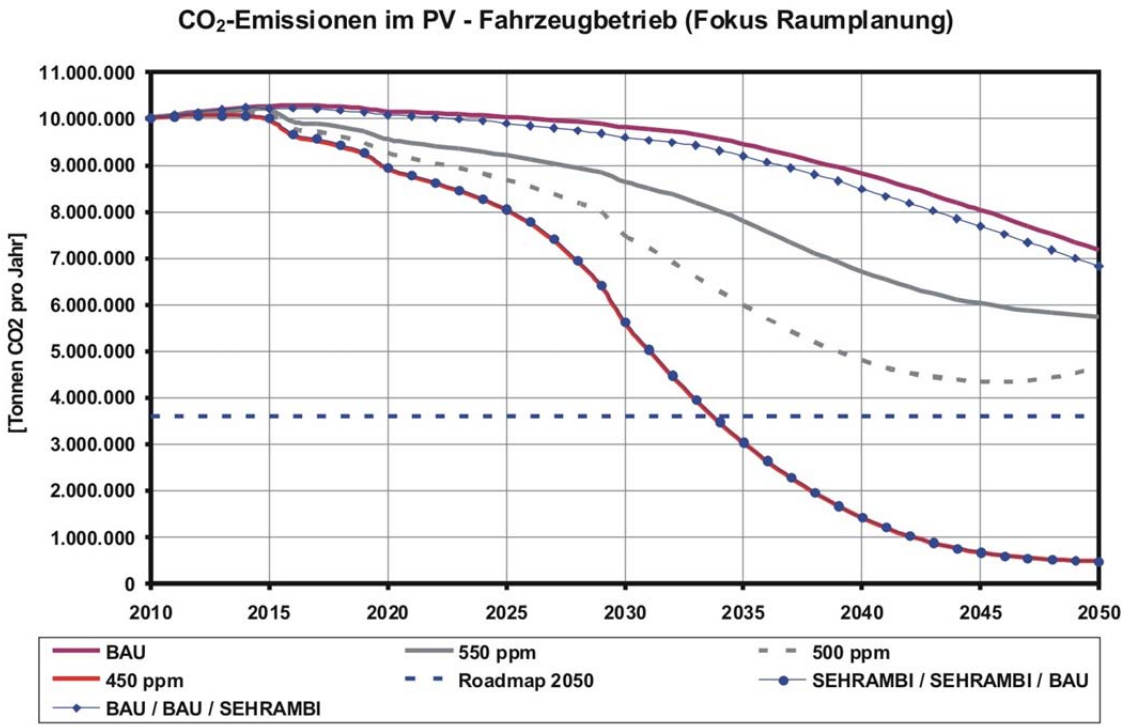


Abbildung 6-34. Wirkung der Raumplanungsmaßnahmen: Vergleich der Grundszenarien aus WP3 mit Sonderszenarien Raumplanung 1 und 2, die unterschiedliche Ambitionierungsgrade der Teilsektoren Verkehrsverhalten / Flotte / Raumplanung beinhalten.

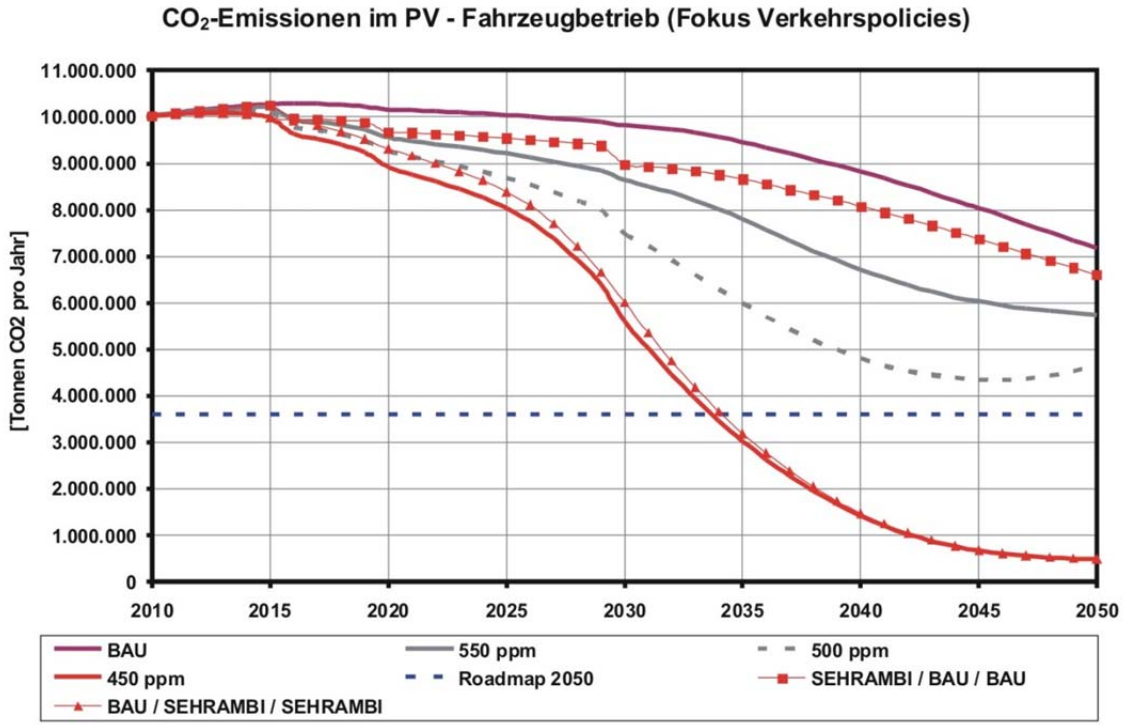


Abbildung 6-35. Wirkung der verkehrsplanerischen Maßnahmen: Vergleich der Standardszenarien aus WP3 mit Sonderszenarien Verkehrspolitik 1 und 2, die unterschiedliche Ambitionierungsgrade der Teilsektoren Verkehrs-verhalten / Flotte / Raumplanung beinhalten.

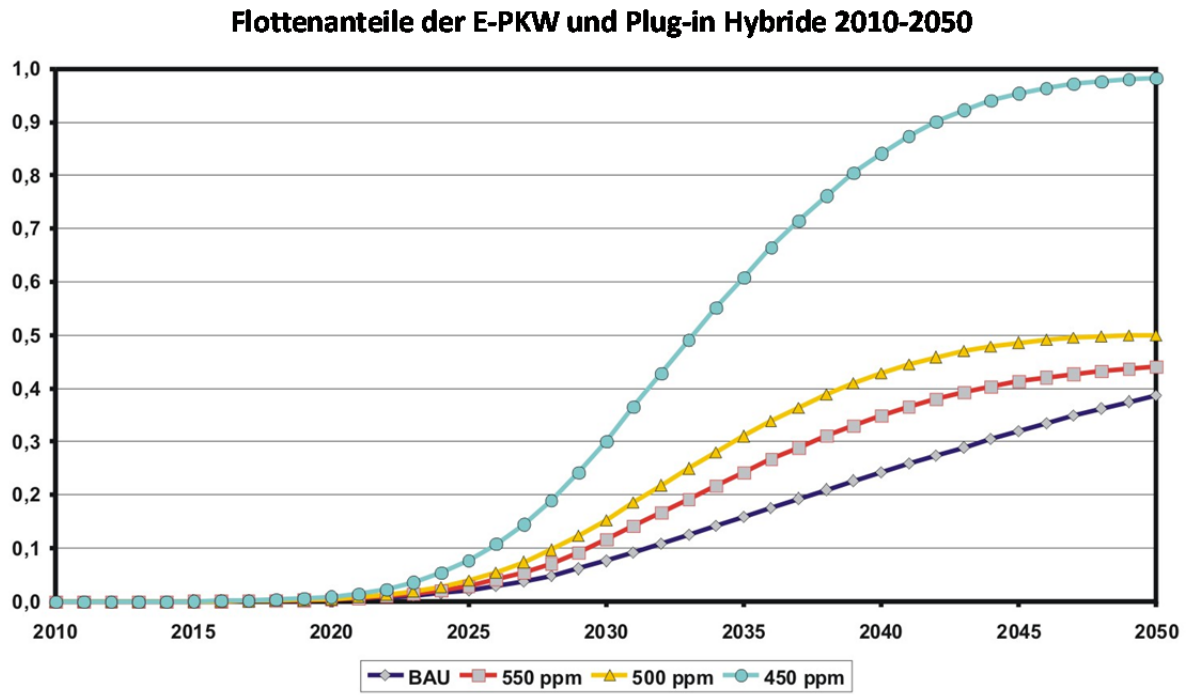


Abbildung 6-36. Anteile von Plug-in-Hybriden und E-PKW an der Flotte nach Szenarien im Zeitraum 2010 bis 2050.

Die Flottendurchdringung von Plug-in-Hybriden und E-PKW im Szenario „sehr ambitioniert" ist im Vergleich mit Studien für den Österreichischen Markt als ambitioniert einzustufen. Mittelfristig sehen andere Studien teilweise ähnliche Marktdurchdringungspotenziale. So ermitteln Sammer et al. (2011) im Projekt „Smart Electric Mobility" für 2025 einen maximalen Anteil von 16 % E-PKW an der Flotte (Leitinger et al., 2011; Sammer, 2011). Frey et al. (2011) ermitteln mittels gekoppeltem Land-use- und Flotten-Modell für das progressivste E-PKW-Förderungsszenario im Jahr 2030 einen Anteil der E-PKW-Wege an den MIV-Wien-Einpendlern von 19,4 % (Frey et al., 2011). Für den Zeitraum um 2050 gibt die Österreichische Energieagentur im Projekt „Visionen 2050" im progressivsten der drei Szenarien der E-PKW-Förderung einen maximalen Flottenanteil von reinen E-PKW von ca. 60 % an (Renner et al., 2010). Dieses wird vom hier dargestellten 450 ppm-Szenario (90 % reine E-PKW, 8 % Plug-in Hybride) deutlich übertroffen.

6.10 Typische Umsetzungsdauern und Zeitvorläufe bei Maßnahmen im Verkehrsbereich

Die Umsetzung von Ideen, die auf breiter Basis wirken sollen, bedarf ihrer Zeit. Dies zeigen die großangelegten Gesetzgebungsverfahren der Europäischen Union. Ca. 4 bis 5 Jahre braucht es, bis das Verfahren für eine EU-Verordnung abgeschlossen ist. Darüber hinaus sind weitere 4 bis 5 Jahre nötig, bis diese EU-Verordnung dann in nationales Recht umgesetzt ist[45].

45 Information Claus Seibt, AIT, e-Mail vom 25.01.2012

Geht es um die Umsetzung von verkehrswirksamen Maßnahmen unterscheiden wir zwei Ebenen:

- juristisch-fiskal
- physisch (= baulich)

Der Zeitvorlauf einer Maßnahme setzt sich zusammen aus der öffentlichen und fachlichen Diskussion der unterschiedlichen Standpunkte, einer politischen Willensbildung bis zur kritischen Masse und der Umsetzung. Die Umsetzung beinhaltet juristische Komponenten (Dauer des Gesetzgebungsverfahrens sowie Veröffentlichungstermin) und umsetzungsbezogene Komponenten (Zeitdauer bis die gesetzlichen Änderungen im Alltag vollzogen sind).

Die Willensbildungs- und Umsetzungszeit ist gerade bei physischen Maßnahmen wegen der Flächigkeit und der großen Anzahl an involvierten Personen (und auch Institutionen) als groß zu veranschlagen. Eine notwendige Kooperation von Gebietskörperschaften beinhaltet zusätzliches Umsetzungs- als auch Verzögerungspotenzial. Bund und Länder sind beide z. B. an der ÖV-Finanzierung und -regulierung beteiligt und müssen über die Verfassung hinausgehende Regelungen über einen gemeinschaftlichen Vertrag gemäß Art. 15a B-VG regeln. Länder und Gemeinden sind über die Stellplatzgesetze und Parkgebühren gemeinsam involviert. Bund und Gemeinden haben eine gemeinsame Schnittstelle über sachprogrammbezogene Direktförderungen, wie z. B. Förderung von Photovoltaikanlagen.

6.10.1 Beispiel: Mauten in Österreich

Eine Illustration des zeitlichen Vorlaufes von verkehrlichen Maßnahmen sind die Mauten für LKW und PKW auf dem hochrangigen österreichischen Straßennetz. Von den ersten Studien über die Einführung der PKW-Vignette bis zur elektronischen Maut für LKW vergingen 15 Jahre (Abbildung 6-37.).

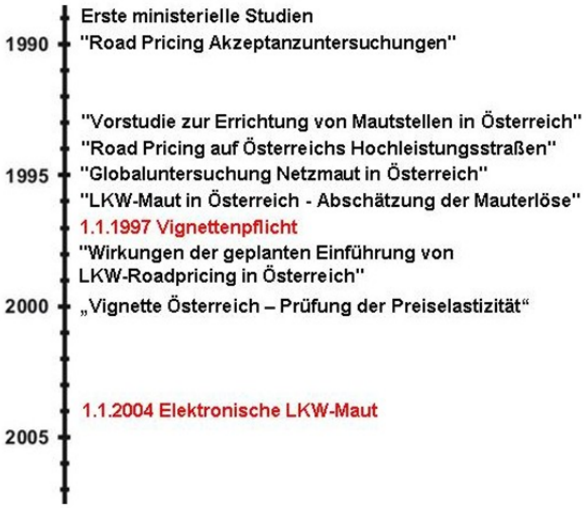


Abbildung 6-37. Zeitleiste der Einführung von PKW-Vignette und LKW-Maut in Österreich.
(Quelle: Estermann et al., 2008)

Die bemauteten Straßen (Autobahnen und Schnellstraßen) in Österreich machen nur 1,9 % der gesamten Straßenlänge aus (Abbildung 6-38.), tragen aber immerhin ca. 35 % des Verkehrsaufwandes in Fahrzeug(Fzg)-km (BMVIT, 2011).

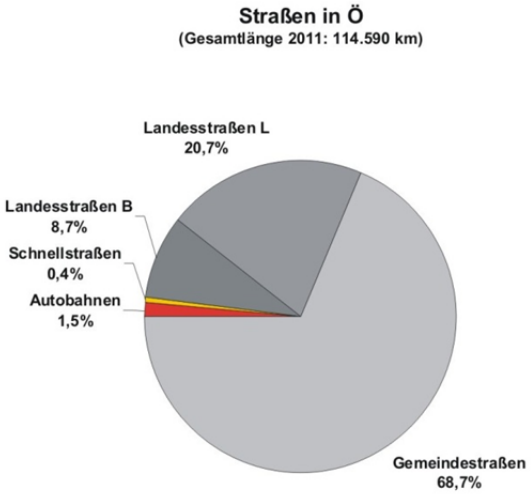


Abbildung 6-38. Anteil der Straßentypen an der Gesamtlänge. (Quelle: BMVIT, 2011)

6.10.2 Beispiel: Kinderradhelmpflicht in Österreich

Ein Beispiel für eine ausgesprochen schnelle Umsetzung einer legistischen Maßnahme ist die Einführung der Radhelmpflicht für Jugendliche unter 14 Jahren im Frühjahr 2011. Diese lässt sich auf ein gutes halbes Jahr Zeitspanne terminisieren. Die die Initiative der Bundesministerin unterstützende Studie des KfV erschien im November 2010. Im Februar ging die Ministerin mit ihren Plänen zur Novellierung der StVO in der Pressestunde an die Öffentlichkeit. Am 28.04.2011 wurde – nach einem stark frequentierten Begutachtungsverfahren, dessen Anregungen aber unberücksichtigt blieben, und einem politischen Tauschhandel mit dem Koalitionspartner – die Radhelmpflicht im Nationalrat beschlossen.

6.10.3 Beispiel: viergleisiger Westbahnausbau Asten – Linz Kleinmünchen

Ein Beispiel des Infrastrukturbaus stellt der viergleisige Ausbau der Westbahn im Abschnitt Asten – Linz Kleinmünchen dar. Auch hier ist eine große Zeitdauer zwischen Beginn der Planungen (liegt zeitlich deutlich nach dem Diskussionsbeginn und der Beschlussfassung) im Ausmaß von 14 Jahren gegeben (Abbildung 6-3.). Dabei ist dieser Abschnitt nur 7,8 km lang.

Abbildung 6-39. Zeitleiste der viergleisigen Ausbaus der Westbahn im Abschnitt Asten – Linz Kleinmünchen.
(Quelle: ÖBB-Infrastruktur AG, 2011)

6.11 Empfehlungen

Da der Nullzeitpunkt des Projektes mit 2010 gewählt wurde, beginnen die kontinuierlichen Maßnahmen bereits mit 2010 zunehmend zu wirken. Die in Abbildung 6-33. rot dargestellte Linie stellt heute (=2012) dar. Gehen wir von einer durchschnittlichen Vorlaufszeit von ca. 3 Jahren aus, so sind für das Setzen erster Maßnahmen im Jahr 2015 schon heute kritische Zeitvorläufe zu beachten. Es ist zwar gemäß den Modellrechnungen eine gewisse, wenn auch geringe Zeitflexibilität vorhanden, diese sollte aber nicht als Polster für Inaktivität oder das Verzögern von Maßnahmen betrachtet werden. Gerade ökonomisch herausfordernde Zeiten wie die 2012 nach wie vor gegenständliche Finanzkrise mit ihrem Konsolidierungsdruck auf öffentliche Haushalte bieten eine Gelegenheit, z. B. das Abgabensystem ökologischer zu gestalten. Soll im Verkehr auf das gesteckte Ziel substanziell hingearbeitet werden, so sind heute Vorbereitungen zu treffen.

Wie auch schon anderswo vorgeschlagen[46], sollte für ein fokussiertes und konzises Vorgehen von der Bundesregierung ein österreichisches **„**Apollo-Programm**“** für Klimaschutz ins Leben gerufen werden. Unter so einem Markenprogramm könnte neben gesteigerter Motivation und Identifikation der Involvierten vor allem eine Reduktion der Vorlaufszeit und konzentrierte Kooperation zwischen den Institutionen und Gebietskörperschaften bewerkstelligt werden. Dabei sollte ein dem Zweck angepasster, neuer Umgang mit Subsidiarität und Föderalismus diskutiert und umgesetzt werden, wo die innerstaatliche Kompetenzaufteilung der Generalklausel im Art. 15 Abs. 1 B-VG als auch der Art. 15a B-VG neu geordnet wird, sodass das Bundesgebiet übergreifend gemeinsame Maßnahmen erarbeitet und auch rechtlich verbindlich umgesetzt werden können.

Wird von einem ambitionierten Flottenszenario (500 ppm) als realpolitisch erreichbarem Szenario ausgegangen, so ist abschließend festzuhalten, dass für die Erreichung der

46 Zum Beispiel im Strategiebericht der Initiative Deutscher Unternehmer für den Klimaschutz: http://www.acs.allianz.com/downloads/zwei_grad_studie_final_strategiebericht.pdf

„Nähe des Reduktionsziels" **Maßnahmen bei der Technologie als auch der Verkehrspolitik und Raumplanung notwendig sind**. Ambitionierte Technologiemaßnahmen allein würden das CO_2-Reduktionspotenzial nicht gänzlich ausschöpfen. Darüber hinaus ist CO_2 nur einer von vielen Parametern der Umweltwirkung und der Lebensqualität. Lärm, Platzverbrauch, Verkehrssicherheit, Ressourcen- und Energieeffizienz und andere Öko-Parameter vor allem städtischer Gebiete werden nicht durch Technologiemaßnahmen, sondern nur durch raumplanerische und verkehrspolitische Maßnahmen verbessert. Maßnahmen der Raumplanung und Verkehrspolitik tragen zu einer positiven Entwicklung bei beidem bei, den CO_2-Emissionen sowie den restlichen Lebensraumparametern. Wichtig bei der Einführung der Maßnahmen ist, dass nach einer logischen Abfolge vorgegangen werden soll, um beste Ergebnisse zu erhalten, damit sich mögliche Effekte nicht womöglich aufheben oder technologische Pfade eingeschlagen werden, die langfristige Systemträgheit nach sich ziehen.

6.12 Conclusio: Politikempfehlungen im Bereich des Verkehr

Aus den Ergebnissen der oben dargestellten Analysen lassen sich die folgenden Empfehlungen an die Politik ableiten, wie die in den drei Grundszenarien vorgeschlagenen Maßnahmen zur Umsetzung gelangen können.

Die zentrale Schlussfolgerung aus Arbeitspaketes 3 (Verkehr) ist, dass nur das sehr ambitionierte Personenverkehrsszenario das Emissions-Reduktionsziel der European Climate Foundation und der EU Roadmap erreicht. Der Personenverkehr (PV) hat daher ein hohes Potenzial, dieses ist beim Güterverkehr (GV) weniger stark ausgeprägt. Das BAU-Szenario im GV beinhaltet ein gegenüber der Geschichte reduziertes Wachstum und einen technologischer Switch, der hauptsächlich in der Antriebstechnologie angesiedelt ist. Beim ambitionierten GV-Szenario ist auf reduzierende Wirksamkeit beim Transportaufwand (tkm) sowohl im Transit als auch im Quell-, Ziel-und Binnenverkehr zu achten. Nur das sehr ambitionierte PV-Szenario führt zusätzliche positive Verhaltensänderungen herbei, wie z. B. eine Reduktion des MIV Modal Splits im Vergleich zum Basisjahr.

In eine langfristige Planung sind die minimal notwendigen und auch realen Zeitvorläufe sowie der Einfluss von Wahlen durch verzögernde oder auch beschleunigende Wirkung – Stichwort „politische Windanfälligkeit" und „freies Spiel der Kräfte" – zu berücksichtigen. Ein groß angelegtes Programm bedarf der Umsetzungsebenen Bund, Länder und Gemeinden und der möglichst effizienten Kombination dieser. Bei der Umsetzung von legistisch-fiskalen und baulichen Maßnahmen ist auf die Unterschiede von Umsetzungswiderstand und Wirkungsmächtigkeit dieser beiden Ebenen zu achten. Für einen im 450 ppm-Szenario stattfindenden, wenn auch prozentuell kleinen Shift vom MIV zum ÖV sind im ÖV die entsprechenden absoluten Kapazitäten vorzubereiten.

7 Gebäude und elektrische Anwendungen

7.1 Einführung

Das Ziel dieses Tasks ist es, auf Basis der sozio-ökonomischen Daten zu den EISERN Referenz- und Stabilisierungsszenarien (siehe die entsprechenden Rahmenbedingungen in den Berichtsteilen zu Arbeitspaket 1 und 2 - Kapitel 2 und 3) und der abgeleiteten Auswirkungen auf Entwicklung des Gebäudebestandes (Arbeitspaketbericht zu Task 3.1, Kapitel 5), einerseits die Effekte auf den Niedertemperaturwärmebedarf des österreichischen Gebäudesektors (Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung) zu identifizieren. Andererseits werden für elektrische (Klein)-Anwendungen Energieeffizienzpotenziale aufgeführt und (normative) Szenarien des Verbrauchs dieser Anwendungen entwickelt. Darauf aufbauend werden für beide Bereiche mögliche bzw. nötige energiepolitische Eingriffe analysiert. Die Aufbringungsseite zur Deckung des Stromverbrauchs in den Gebäuden wird in der Szenarienanalyse in Kapitel 9 detailliert dokumentiert.

7.2 Methodik

Zur Analyse des Niedertemperaturwärmebedarfs und dessen Deckung wurden die Ergebnisse der vorgelagerten Arbeitspakete und Analysen in ein existierendes Modell zur Simulation verschiedener Entwicklungspfade des österreichischen Gebäudebestandes (Modell Invert/EE-Lab)[47] integriert. Im Rahmen der Erstellung normativer Szenarien zum Stromverbrauch in Gebäuden wird auf ein abgeschlossenes Forschungsprojekt zurückgegriffen.[48]

Das zentrale Modul zur Untersuchung des Wärmebedarfs im angewendeten Modell ist ein Nested-Logit Modell mit einem gekoppelten logistischen Wachstumsmodell, im Weiteren auch einfach "Simulationsmodell" genannt. Der integrative Modellansatz vereint im ersten Schritt Daten der österreichischen Wohngebäude, der österreichischen Nicht-Wohngebäude, deren Ausstattung mit Heizsystemen sowie Aspekte des Nutzerverhaltens. Im letzten genannten Bereich finden auch Servicefaktoren bzw. Rebound-Effekte Berücksichtigung. Eine wesentliche Kategorie von Eingangsparametern in das zentrale Simulationsmodell wird durch die Gruppe der "Exogenen Faktoren" repräsentiert. Hier sind jene Parameter zusammengefasst, welche Rahmenbedingungen darstellen, die den Lösungsraum des Simulationsmodells beeinflussen und nicht selbst aus dem Modell heraus generiert werden. Vertreter dieser Parametergruppen sind die Potenziale erneuerbarer Energieträger, die Preise von Technologien oder Energieträgern bzw. auch Lernkurven, welche die zeitliche Entwicklung der ökonomischen und technologischen Parameter bis zum Jahr 2050 beschreiben.

7.2.1 Berechnung von Energiebedarf und Energieeinsatz

Die Berechnung des Heizwärmebedarfes erfolgt, entsprechend der für den Energieausweis relevanten ÖNORM B 8110-5, auf Basis eines quasi-stationären Verfahrens (Monats-Bilanzverfahren). Für die Innenraumtemperaturen, die monatlichen Nutzungsdauern und Luftwechselraten der Gebäude wurden die Normvorgaben gemäß ÖNORM B

47 Müller et al. (2010).

48 Strategien zur Mobilisierung des Stromsparpotenzials in Österreich. Projekt im Rahmen der „Energiesysteme der Zukunft", FFG Nummer: 817646.

8110-5 herangezogen. Selbiges gilt für die Berechnung des Warmwasser-Wärmebedarfes WWWB. Die Verluste des Wärmebereitstellungs- und Wärmeverteilungssystems werden in Anlehnung an die ÖNORM H 8055 ermittelt, wobei hier jedoch gewisse Vereinfachungen im Berechnungsansatz vorgenommen wurden. Der Endenergiebedarf EEB_{Norm} bei dieser Vorgehensweise entspricht einem theoretischen Energiebedarf, der sich durch eine Normbeheizung des Gebäudes ergeben würde. Dieser stimmt aber in der Regel nicht mit den real gemessenen Energieverbräuchen von Gebäuden überein. Um eine Konsistenz mit dem tatsächlichen kumulierten Energieeinsatz EEB_{EB}, wie er in den Energiebilanzen ausgewiesen wird, herbeizuführen, wird für Wohngebäude zusätzlich ein Servicefaktor definiert. Dieser Vektor, methodisch basierend auf Loga et al. (2003), Born et al. (2003) sowie Biermayr (1999), definiert die Gebäude- und Wärmebereitstellungsabhängige Differenz zwischen Norm- und Realbeheizung.

Der normierte, spezifische Endenergiebedarf EEB_{Norm} pro m² Bruttogebäudefläche (BGF) errechnet sich dabei aus:

$$EEB_{Norm} = HWB + WWWB + HTEB \quad \left[\frac{kWh}{m^2 a}\right]$$

mit EEB_{Norm} spez. Endenergiebedarf nach ÖNORM H 5056 (vereinfacht)
HWB spez. Heizwärmebedarf nach ÖNORM B 8110
$WWWB$ spez. Warmwasserwärmebedarf
$HTEB$ spez. Heiztechnik-Energiebedarf

7.2.2 Servicefaktor

Wie erwähnt, entspricht der Endenergieeinsatz, wie er sich bei einer Berechnung nach Norm ergibt, nicht dem real gemessenen Energieeinsatz. Das ist durchaus im Sinne der, dem Gebäudeausweis hinterlegten Idee, das Gebäude nicht aber das Nutzerverhalten abzubilden und damit zu bewerten. Naturgemäß kann das exakte Verhalten aller Nutzer nicht abgebildet werden. Sofern es zu keiner durchschnittlichen statistischen Abweichung kommen würde, hätte dies für die hier betrachtete Fragestellung auch keine Relevanz. Tatsächlich lässt sich aber eine systematische Abweichung zwischen dem berechneten und dem real gemessenen Endenergieeinsatz bestimmen. Das Nutzerverhalten zeigt u.a. eine Abhängigkeit von den folgenden Eigenschaften (Biermayr, 1999):

- Thermische Qualität der Gebäudehülle
- Größe der Wohneinheit
- Zentralisierungsgrad des Heizungssystems

Der Einfluss des Servicegrades spiegelt sich in einer geänderten mittleren Innenraumtemperatur wider. Dazu wird von Loga et al. (2003) eine Berechnungsgrundlage zur Verfügung gestellt, mit welcher der Einfluss des Nutzerverhaltens durch ein Nutzermodell abgebildet werden kann. Demnach weicht die durchschnittliche Innenraumtemperatur von der Raumsolltemperatur von 21 °C („… empfundene (operative) Temperatur von 21 °C (Schwerpunkt des „Behaglichkeitsfeldes")…") durch folgende Faktoren ab:

- zeitlich eingeschränkte Beheizung
- räumlich eingeschränkte Beheizung

- „Nutzungsfaktor" per se

Der Einfluss der thermischen Qualität der Gebäudehülle auf den Servicefaktor lässt sich durch höhere spezifische Heizkosten und einem damit einhergehenden bewussteren Umgang mit dem Thema Heizen erklären. Das bedeutet wiederum, dass Energiepreise wie auch das Standortklima einen ähnlichen Effekt zeigen sollten. Höhere Außentemperaturen führen zu einem niedrigeren Heizenergiebedarf und damit ceteris paribus zu niedrigeren Heizkosten. Diese Variablen werden – mit ähnlicher Wirkung wie die Qualität der thermischen Gebäudehülle – bei der Berechnung des Servicegrades mit aufgenommen. Das Nutzermodell von Loga wird deshalb durch folgende Faktoren erweitert:

- Einfluss des Standortklimas
- Einfluss des Wärmeversorgungssystems (Einzelofen versus Wohnungs-/ Gebäudezentralheizung (Biermayr, 1999))
- Einfluss des verbrauchsabhängigen Energiepreises des eingesetzten Energieträgers.

Abbildung 7-1. fasst die Methode zur Berechnung des Energiebedarfes im Modell zusammen. Eine detaillierte Beschreibung des Nutzermodells findet sich in Müller und Biermayr (2011).

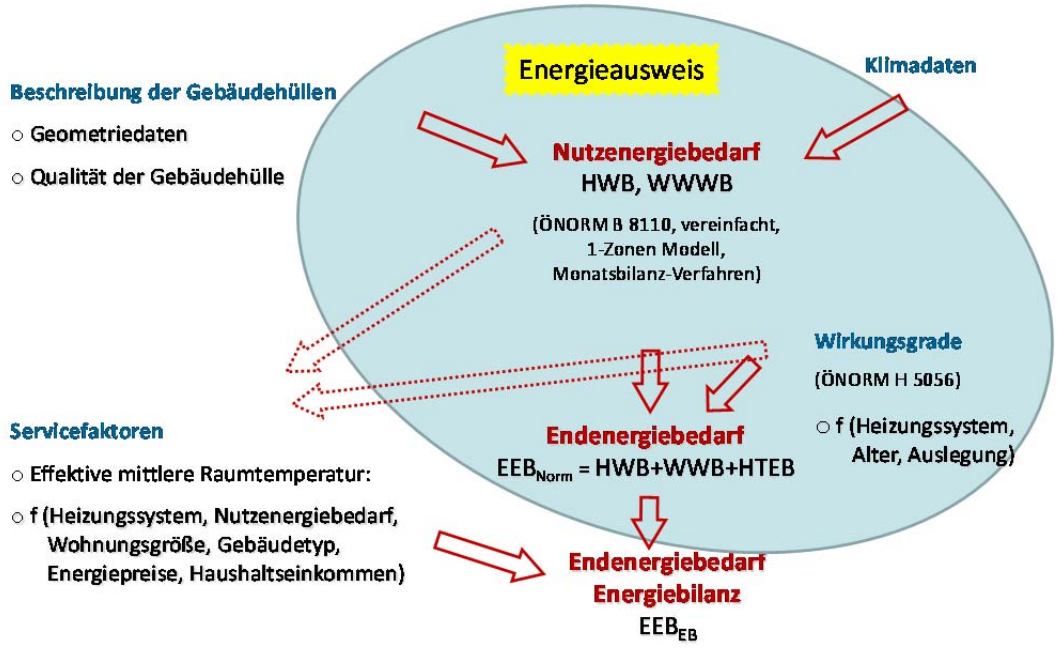


Abbildung 7-1. Berechnung des Energiebedarfes im Simulationsmodell Invert/EE-Lab. (Quelle: Müller et al., 2010)

7.3 Bestimmung des Maßnahmenzeitpunkts im Modell

Bei der zur Anwendung kommenden Methode wird der Zeitpunkt, zu welchem Maßnahmen an Gebäuden durchgeführt werden, durch Alter und die bauteilspezifischen Lebensdauerverteilungen definiert. Von der Gesamtanzahl an Gebäuden eines

Gebäudesegments führt ein Anteil $s_{measure}$ Maßnahmen (Bauteilsanierungen oder Tausch des Wärmebereitstellungssystems) durch:

$$s_{measure} = \frac{\sum_{T=T\,min}^{T\,max} 1 - e^{-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^k}}{\sum_{T=T\,min}^{T\,max} 1 - e^{-\left(\frac{T-1}{\lambda}\right)^k}}$$

λ, k...Lebensdauer und Formfaktor der Weibullverteilung

λ... Charakteristische Lebensdauer (Lebensdauer bei einer Ausfallswahrscheinlichkeit von 63,2%)

Tmin,Tmax...minimales und maximales Alter des Bauteiles im betrachteten Gebäudesegment

Dieser Ansatz wird auch für den Gebäudeabriss angewendet. Hier wurde das oben definierte Modell um einen Term erweitert, der die Verlängerung der Lebensdauer durch durchgeführte Renovierungsmaßnahmen vorsieht.

$$s_{demolition} = \frac{\sum_{T=T\,min}^{T\,max} 1 - e^{-\left(\frac{T}{\lambda_{Gebäude} + \alpha \sum \lambda_{Sanierung}}\right)^k}}{\sum_{T=T\,min}^{T\,max} 1 - e^{-\left(\frac{T-1}{\lambda_{Gebäude} + \alpha \sum \lambda_{Sanierung}}\right)^k}}$$

$\sum \lambda_{Sanierung}$...Durchschnittliche Lebensdauer der Maßnahmen einer vollständigen Gebäudesanierung (Summierung über Sanierungszyklen)

α...Gewichtungsfaktor (0.5)

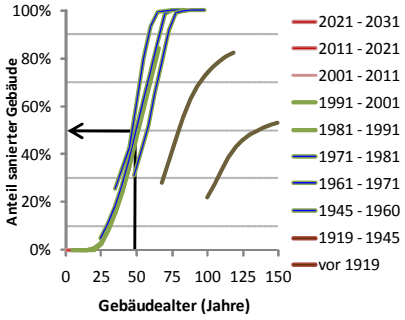
Die Kalibrierung der Lebensdauern erfolgte auf Basis von Würth und Schweitzer (1994) sowie Meyer et al. (1995).

Um den Einfluss einer erhöhten Sanierungsrate abzubilden, werden exogen definierte Vorzieheffekte explizit berücksichtigt. Eine Endogenisierung dieser, etwa durch höhere Energiepreise oder bestimmte Förderschemata stimuliert, wird nicht durchgeführt. Abbildung 7-2. fasst den Ansatz zur Gebäudeteilsanierung bzw. zum Gerätetausch im Simulationsmodell zusammen.

Gebäudesanierung

Lebensdauer von Bauteilen für den Austausch / Ersatz von zentraler Bedeutung

- **Gebäudesanierungen (unter Berücksichtigung zusätzlicher Barrieren):**
  - Wenn Lebensdauer erreicht, dann Instandsetzung: Ersatz oder Erneuerung (mit Wertsteigerung)
  - Kalibrierung durch Statistik Austria GWZ2001: Fassadenerneuerung mit/ohne Wärmedämmung



- **Invert/EE-Lab Entscheidung welches System installiert wird**
  - kostenbasierter Nested-Logit-Ansatz

Abbildung 7-2. Ansatz zur Gebäudeteilsanierung bzw. zum Gerätetausch im Simulationsmodell Invert/EE-Lab.
(Quelle: Müller et al., 2010)

Abbildung 7-3. zeigt schließlich die Logik des Simulationsablaufes im Modell.

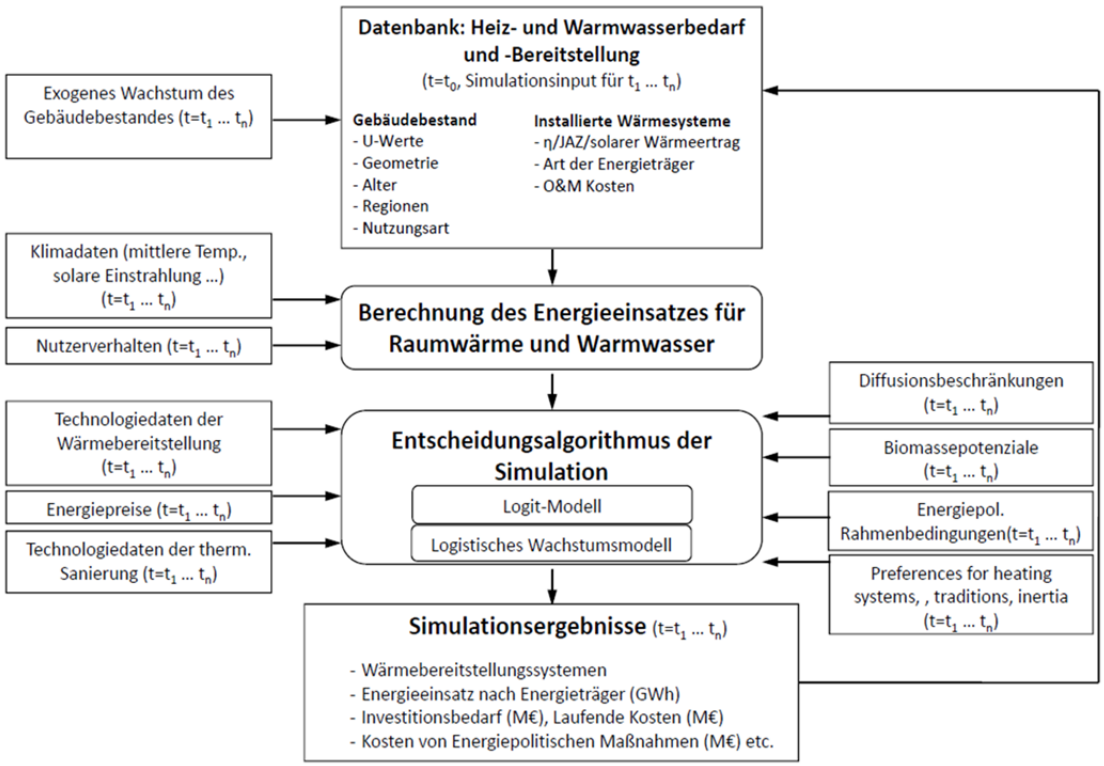


Abbildung 7-3. Modelllogik des Simulationsmodells Invert/EE-LAB.
(Quelle: Müller et al., 2010)

Die Ergebnisse des Simulationsmodells werden als Szenarien dargestellt, die sich durch die Annahme von wesentlichen Szenarienparametern ergeben. Ein Szenario wird als Gesamtbild einer Entwicklung bis zum Jahr 2050 dargestellt, wobei vor allem der Technologiemix (Gebäudehülle und Heizsystem), der eingesetzte Energieträgermix samt entsprechendem Energieverbrauch und der resultierende Treibhausgasausstoß dargestellt werden.

7.4 Wärmebedarf in Gebäuden und dessen Deckung

7.4.1 Exogene Parameter in den Szenarien

Im Rahmen des „EISERN"-Projekts werden vier Szenarien ausführlich untersucht:

- BAU-Szenario (Referenzszenario)
- 550 ppm-Stabilisierungsszenario
- 500 ppm-Stabilisierungsszenario
- 450 ppm-Stabilisierungsszenario

In diesem Kapitel werden die für die Gebäudemodellierung wesentlichen Randbedingungen dieser Szenarien beschrieben und entsprechende exogene Parameter für das Modell quantifiziert. Wesentliche Parameter sind:

- Gebäudebestandsentwicklung
- Primär- und Endenergiepreise auf Endkundenebene
- CO_2-Steuern
- Förderungen

Die im Berichtsteil zu Arbeitspaket 2 (Kapitel 2) dargestellten Ergebnisse für Primärenergieträger und CO_2-Zertifikate sind als Großhandelspreise zu verstehen. Unter Berücksichtigung von Netzentgelten, Steuern und Gebühren (unter der Annahme konstant bleibender Anteile) können die Preise auf Endkundenebene ermittelt werden. Die fossilen Energieträger werden entsprechend ihrem CO_2-Emissionsfaktor direkt mit den Preisen für CO_2 „besteuert". Für Strom erfolgt keine zusätzliche Berücksichtigung des CO_2-Preises, da die CO_2-Zertifikatspreise bereits in die Berechnung des Stromgroßhandelspreises einfließen. Szenarienspezifische Realisationen der Preisparameter werden im folgenden Abschnitt gezeigt.

Die Entwicklung des Wohngebäudebestands ist in Abbildung 7-4. exemplarisch für das 550 ppm-Szenario dargestellt. Im ländlichen Raum steigen die Bruttogebäudeflächen von ca. 260 Mio. m^2 (2010) bis 2050 auf 300 Mio. m^2. Der Großteil der Wohngebäude weist maximal 2 Wohneinheiten auf. Im urbanen Raum steigen die Bruttogebäudeflächen im selben Zeitraum von ca. 140 auf ca. 190 Mio. m^2. Den überwiegenden Anteil machen hier Mehrfamilienwohngebäude aus. Zusätzlich zeigt die Abbildung den zeitlichen Verlauf der, nach Bauperioden aufgeschlüsselten, sanierten Gebäude. 2050 ist noch ein Großteil der bis dato errichteten Gebäude Teil des Bestandes. Die Neubauten („post 2010", in Rot

dargestellt) machen nur einen kleinen Teil der beheizten Flächen (und durch die höhere Effizienz einen noch geringeren Teil des Heizwärmebedarfs) aus. Die beheizten Flächen aller Gebäudetypen (Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude) steigen von ca. 580 Mio. m^2 auf ca. 740 Mio. m^2. Dies entspricht einem Anstieg um 28 % über 40 Jahre.

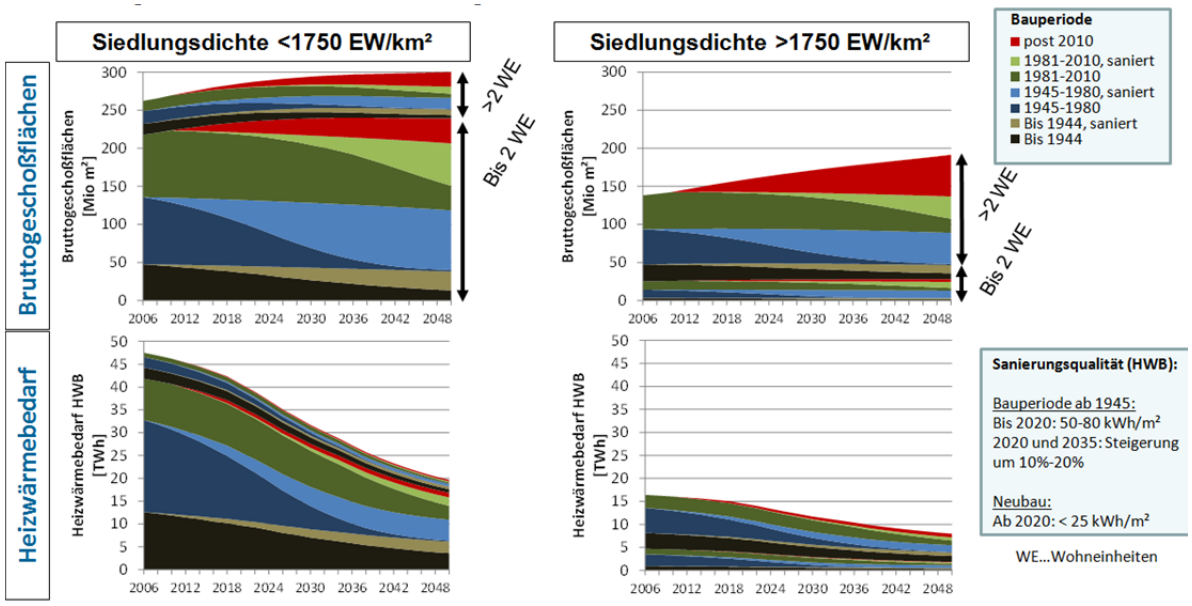


Abbildung 7-4. Entwicklung der Bruttogeschossflächen im 550 ppm-Szenario[49] für den ländlichen (oben links) und urbanen (oben rechts) Raum sowie entsprechendem Heizwärmebedarf (unten).
(Quelle: Task 3.1; Müller et al., 2010; eigene Berechnungen)

7.4.2 Gebäudesimulationen[50]

7.4.2.1 BAU-Szenario (Referenzszenario)

Abbildung 7-5. fasst die Entwicklung der Energiepreise für die „Haupt"-Energieträger grafisch zusammen. Gas-, Kohle-, und Ölpreise entstehen aus den jeweiligen Großhandelspreisen (Arbeitspaket 2, Kapitel 2), konstant bleibenden Anteilen für Netzentgelte, Steuern und Abgaben sowie den zusätzlichen CO_2-Steuern[51] (ebenfalls Arbeitspaket 2). Die Preise für Stückholz, Hackgut und Pellets sowie Fern- und Nahwärme werden an die Preisentwicklung der fossilen Energieträger gekoppelt. Strom wird nicht zusätzlich mit CO_2-Steuern belegt, da bei der Ermittlung der Stromgroßhandelspreise (siehe Kapitel 2) bereits CO_2-Zertifikatspreise berücksichtigt sind. Trotzdem steigen die Strompreise in diesem Szenario unterproportional zu den Preisen der fossilen Energieträger. Dieser Umstand ist bei der Interpretation der Simulationsergebnisse zu berücksichtigen. Bei der Sanierung von Gebäuden wird unterstellt, dass die

49 Im 550 ppm-Szenario sind moderate Raumordnungskonzepte aber ambitionierte Gebäudesanierungsmaßnahmen implementiert

50 Aufgrund der ähnlichen Verläufe des Energiebedarfs für Niedertemperaturanwendungen und des entsprechenden Energieträgermix wird im Hauptteil des Berichts nur auf das Referenz- und das 450 ppm-Szenario eingegangen. Die Entwicklungen des 550 ppm- und 500 ppm-Szenarios sind im Anhang dargestellt.

51 Fossile Energieträger werden entsprechend ihrem CO_2-Emissionsfaktor direkt mit den vorgegebenen CO_2-Preisen „besteuert".

Sanierungstiefe im Bereich der heute beobachteten Sanierungen liegt und sich mit 2020 bzw. 2030 verbessert (siehe Kapitel 7.4.3). Die Förderungen für Heizungssysteme werden auf dem heutigen Niveau belassen.

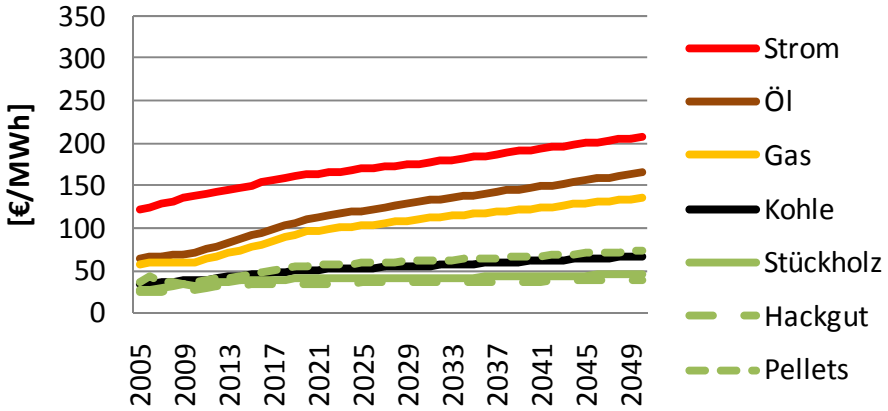


Abbildung 7-5. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO_2-Steuer) im Referenzszenario. (Quelle: Arbeitspaket 2, Müller et al., (2010), eigene Berechnungen)

Abbildung 7-5. zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der Wärme- und Warmwasserbereitstellung zur Deckung der Niedertemperaturwärmenachfrage des Gebäudesektors im Referenzszenario.

Ausgehend von 100 TWh im Jahr 2006 reduziert sich der Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung durch Sanierung des Gebäudebestandes sowie effizienteren Neubau auf 65 TWh. Dies entspricht einer Reduktion um 35 %. Der Anteil von Ölheizungen geht stark zurück. Dies ist konsistent mit historischen Trends. Die mit Erdgas beheizten Flächen steigen zwar, allerdings sinkt der Primärenergiebedarf nach Erdgas durch Sanierungen und die Installation bivalenter Heizsysteme. Kohlebefeuerte Wärmebereitstellungssysteme stellen absolute Auslaufmodelle dar. Stromdirektheizungen gehen stark zurück – dafür erhöht die Wärmepumpe signifikant ihre Marktanteile. Aufgrund der höheren Effizienz der Heizsysteme und der Gebäudehüllen sinkt der Strombedarf des Gebäudesektors für Niedertemperaturanwendungen. Nach Wärmepumpen weisen solarthermisch (mono- und bivalent) betriebene Systeme die höchsten Wachstumsraten auf.

Abbildung 7-7. bestätigt diese qualitativ beschriebenen Entwicklungen graphisch. Fossile Heiz- und Warmwasserbereitstellungssysteme reduzieren ihren Anteil zur Deckung des Gesamtbedarfs von 52 % im Jahr 2010 auf etwa 24 % im Jahr 2050. Im Gegenzug dazu erhöhen solar- und wärmepumpenbetriebene Systeme ihre Anteile stark. Relativ gesehen steigen die Anteile von biogenen und nah- und fernwärmeversorgten Systemen über den Simulationszeitraum, der energetische Anteil strombetriebener Systeme (inkl. Wärmepumpe!) bleibt nahezu konstant.

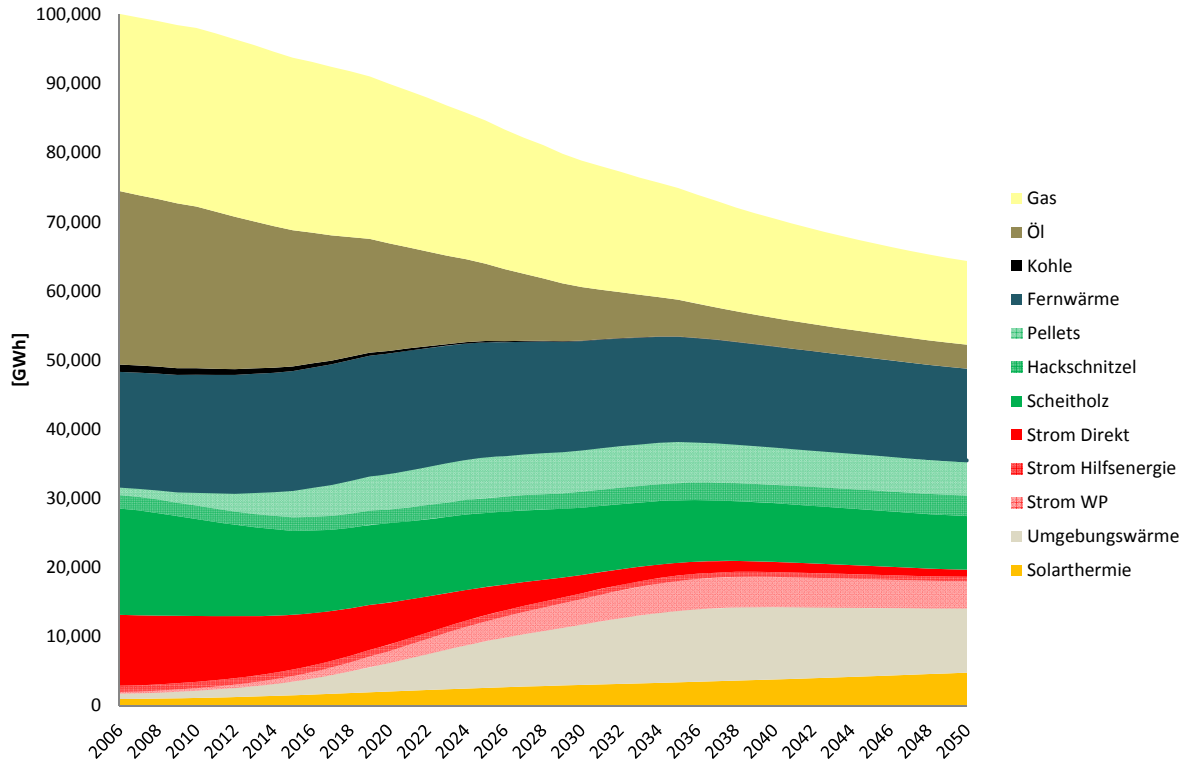


Abbildung 7-6. Energieverbrauch im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im BAU-Szenario.

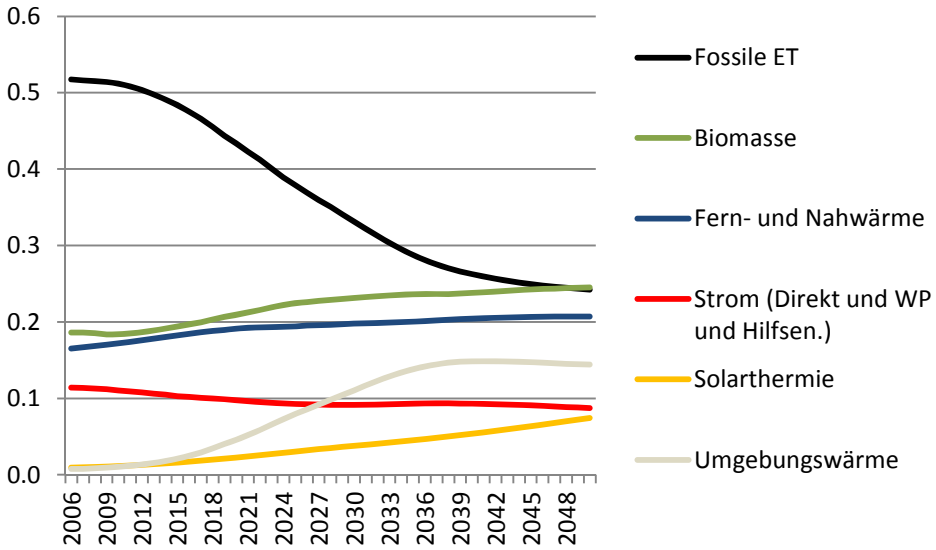


Abbildung 7-7. Relative Anteile unterschiedlicher Energieträger zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs des österreichischen Gebäudesektors im BAU-Szenario.

Abbildung 7-6. zeigt die entsprechende Entwicklung der CO_2-Emissionen. Die dem Gebäudesektor direkt zurechenbaren Emissionen sinken im Vergleich zum Jahr 2006 bis 2050 um 73 %.[52]

52 Gemäß Emissionsinventar sind Fernwärme- und Stromemissionen Teil des Energiesektors. Diese werden im Berichtsteil zu Arbeitsschritt 3.5. (Kapitel 10) explizit berücksichtigt.

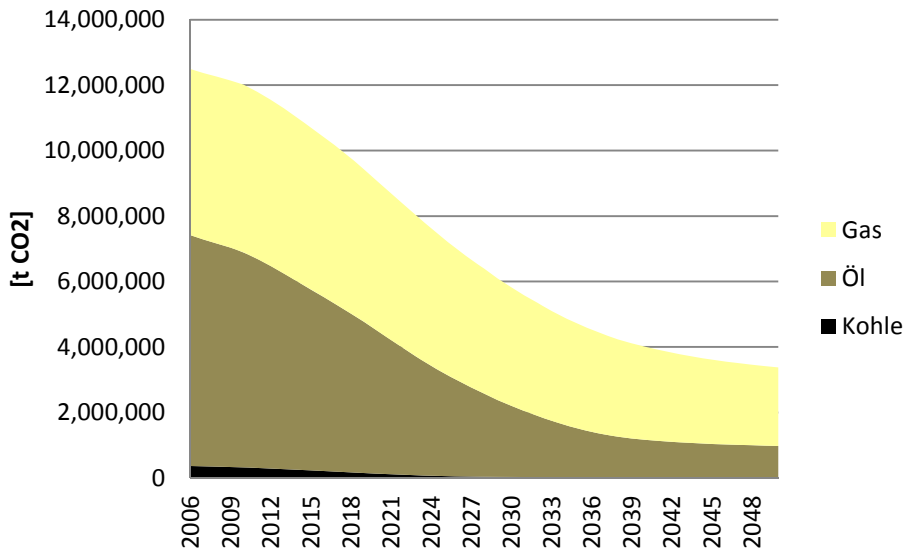


Abbildung 7-8. Entwicklung der direkten CO_2-Emissionen des Gebäudesektors im Referenzszenario.

7.4.2.2 450 ppm-Szenario

In den Stabilisierungsszenarien (550 ppm, 500 ppm und 450 ppm) wird unterstellt, dass bei der Sanierung von Gebäuden mit 2010 eine Sanierungstiefe vorgenommen wird, die im Bereich von k:a Sanierungen liegt (siehe Kapitel 7.4.3) und sich mit 2020 bzw. 2030 verbessert (siehe Kapitel 7.4.3). Weiters wird ab 2010 ein ordnungspolitisches Instrument eingeführt, das im Falle von Einzelmaßnahmen (Fenstertausch etc.), die gleichen thermischen Mindeststandards wie bei Gesamtsanierungen fordert. Die Förderungen für Heizungssysteme werden auf dem heutigen Niveau belassen.

Abbildung 7-9. fasst die Entwicklung der Energiepreise im 450 ppm-Szenario für die „Haupt"-Endenergieträger grafisch zusammen.

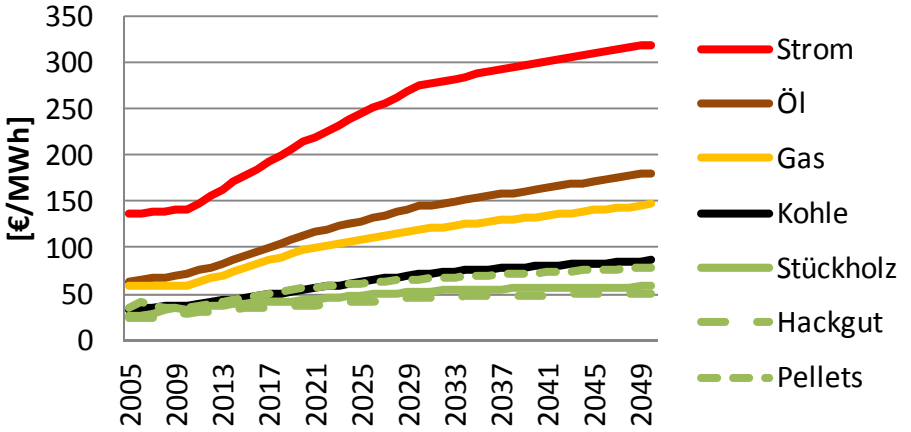


Abbildung 7-9. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO_2-Steuer) im Referenzszenario. (Quelle: Arbeitspaket 2; Müller et al., 2010; eigene Berechnungen)

Abbildung 7-10. zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der Wärme- und Warmwasserbereitstellung zur Deckung der Niedertemperaturwärmenachfrage des Gebäudesektors im 450 ppm-Szenario.

Ausgehend von 100 TWh im Jahr 2006 reduziert sich der Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung durch hochqualitative Sanierung des Gebäudebestandes sowie effizienteren Neubau auf 35 TWh. Dies entspricht einer Reduktion um 65 %. Durch den Fokus auf hochqualitative Sanierung ist der verbleibende Energiebedarf im Jahr 2050 um 11 % geringer als im Referenzszenario.

Die Verfügbarkeit von Wärmespeichern mit hohen Wärmedichten ist die Schlüsseltechnologie für die Realisierung einer monovalenten solarthermischen Wärmeversorgung. Wird im Betrachtungszeitraum ein solcher Speicher zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen am Markt verfügbar, so wird eine sehr rasche Marktdiffusion entsprechender Systeme im energieeffizienten Gebäudesegment einsetzen (Müller et al., 2010).

Im 450 ppm-Szenario steigen die Endkundenstrompreise proportional zu den Preisen fossiler Energieträger. Dadurch verliert die Wärmepumpe relativ zum Referenzszenario Marktanteile – absolut gesehen steigen ihre Marktanteile zwischen 2010 und 2050. Trotz eines Fokus auf hochqualitative Sanierung geht der Energiebedarf der Gebäude auch 2050 nicht auf null zurück. Dies liegt an schwer sanierbaren Gebäuden (z. B. Denkmalschutz) und dem verbleibenden Energiebedarf zur Warmwasserbereitstellung.

Abbildung 7-11. bestätigt diese qualitativ beschriebenen Entwicklungen graphisch. Fossile Heiz- und Warmwasserbereitstellungssysteme reduzieren ihren Anteil zur Deckung des Gesamtbedarfs von 52 % im Jahr 2010 auf 13 % im Jahr 2050. Im Gegenzug dazu erhöhen solarbetriebene Systeme ihre Anteile sehr stark. Auch Wärmepumpensysteme weisen signifikante Wachstumsraten auf. Relativ gesehen bleiben die Anteile von biogenen, strombetriebenen (inkl. Wärmepumpe!) und nah- und fernwärmeversorgten Systemen über den Simulationszeitraum nahezu konstant.

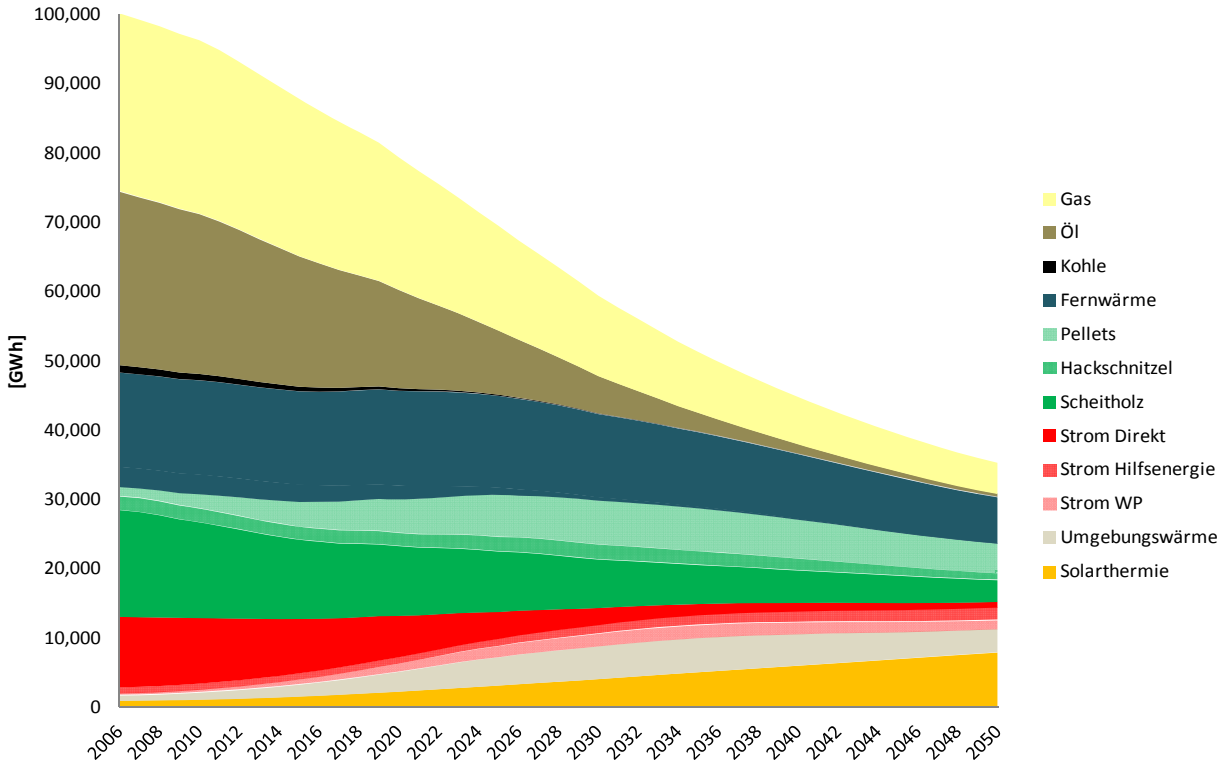


Abbildung 7-10. Energieverbrauch im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im 450 ppm-Szenario.

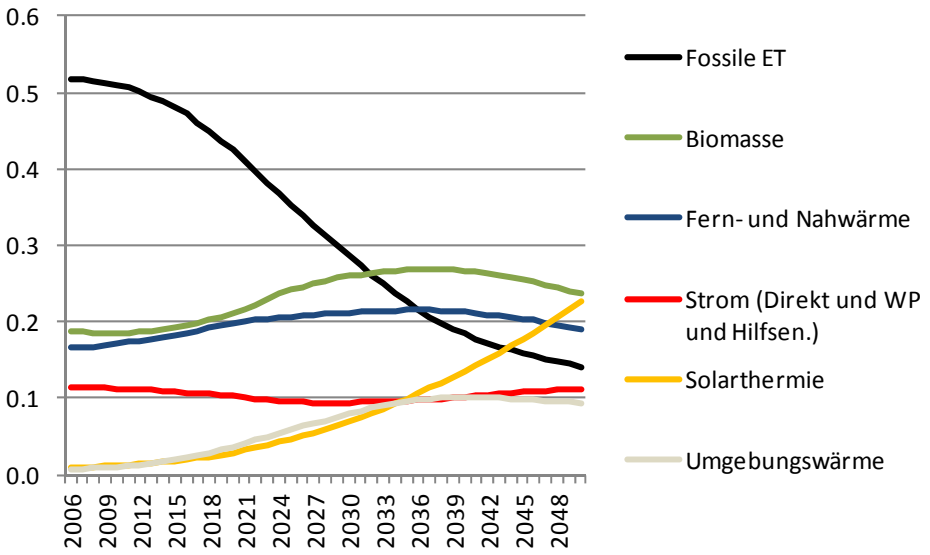


Abbildung 7-11. Relative Anteile unterschiedlicher Energieträger zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs des österreichischen Gebäudesektors im 450 ppm-Szenario.

Abbildung 7-12. zeigt die entsprechende Entwicklung der CO_2-Emissionen. Die dem Gebäudesektor direkt zurechenbaren Emissionen sinken im Vergleich zum Jahr 2006 bis 2050 um 92 %.

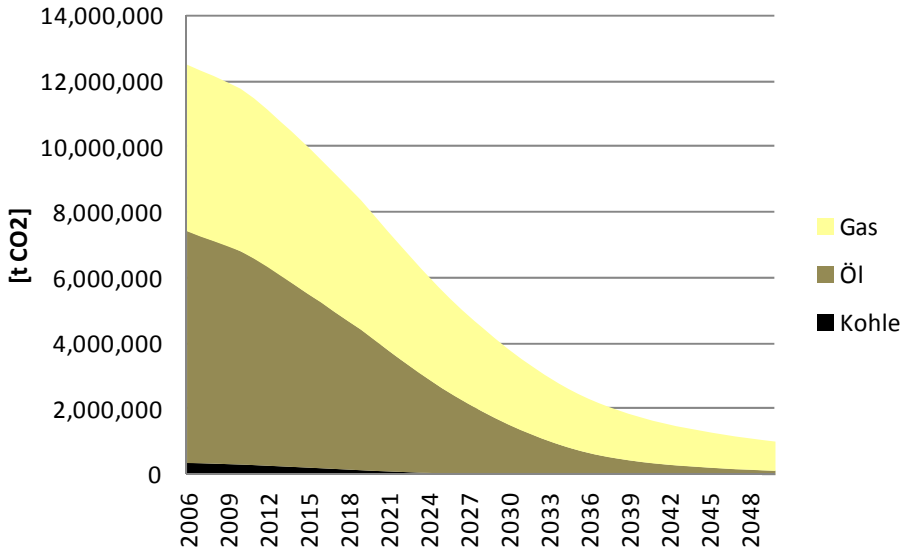


Abbildung 7-12. Entwicklung der direkten CO_2-Emissionen des Gebäudesektors im 450 ppm-Szenario.

7.4.3 Exkurs: Langfristige Effekte von Sanierungsrate und Sanierungsqualität und der Einfluss des Rebound-Effektes

Für eine praktikable Handhabung muss ein übergeordnetes Energieeinsparziel auf Subindikatoren heruntergebrochen werden. Im Bereich des Energieeinsatzes zur Heizwärmebereitstellung in Gebäuden ergeben sich die Energieeinsparungen durch Sanierungen aus:

$\Delta Energie_{Gesamt}$ = Anzahl $Gebäude_{Sanierung}$ x $\Delta Nutzenergie_{Gebäude}$

Daraus ist sofort ersichtlich, dass sich eine bestimmte Energiemenge sowohl durch eine Erhöhung der spezifischen Energieeinsparung pro Gebäude (Qualität der Sanierung) als auch durch eine Erhöhung der Sanierungsrate (Quantität) erzielen lässt. Oft erstrecken sich die Anstrengungen und Zielsetzungen darauf, die Sanierungsrate zu erhöhen. Aufgrund der Trägheit des Gebäudebestands kommt allerdings der Qualität der Sanierung eine zentrale Rolle zu und damit auch den politischen Rahmenbedingungen, um diese in der Praxis der Gebäudesanierung umzusetzen.

Die Fragestellungen dieses Kapitels lauten:

- Welche Rolle kommt der Qualität thermischer Sanierungsmaßnahmen in langfristigen Szenarien des österreichischen Gebäudebestands bis zum Jahr 2050 zu?
- Welche Rolle spielt die Sanierungsrate in langfristigen Szenarien?
- Welche Reduktion des Energiebedarfes zur Raumwärmebereitstellung ist im österreichischen Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 in verschiedenen Szenarien der Sanierungsqualität und der Sanierungsraten sowie entsprechender Rahmenbedingungen erreichbar?

Zur Beantwortung der Fragen werden sechs Szenarien erstellt und miteinander verglichen. Die variierten Variablen sind die Sanierungsraten und die Sanierungsqualitäten. Die Gruppe „Sanierungsrate BAU" führt Maßnahmen entsprechend der Bauteillebensdauern durch, „Sanierungsrate hoch" strebt eine erhöhte Sanierungsrate mit einem Maximum in 2020 von 3 % an. Bezüglich der Sanierungsqualität wurden drei Varianten betrachtet: Standardsanierungen bis 2050, ambitionierte Sanierungen ab 2020 und ambitionierte Sanierungsqualitäten ab 2011. Standardsanierungen entsprechen etwa den heute üblichen Maßnahmen, ambitionierte Sanierungen liegen im Bereich von klima:aktiv Sanierungen (k:a Sanierungen). Unabhängig davon wird sowohl bei Standardsanierungen und ambitionierten Sanierungen mit 2020 und 2030 eine Erhöhung der Sanierungsqualität um durchschnittlich 10-20 % angenommen. Die Klimaänderung entspricht dem IPCC B1-Szenario und ist konsistent mit dem 2°C-Ziel.

7.4.3.1 Ergebnisse

Zumeist wird der Heizenergiebedarf auf Basis der Normberechnung ausgewiesen (siehe Tabelle 7-1). Die tatsächlichen Temperaturen weisen jedoch systematische Abweichungen vom Normwert auf, daher werden die Energieeinsparungen durch Sanierungen, sofern auf Basis des HWBs ermittelt, u. U. massiv überschätzt. Wie aus Abbildung 7-13. ersichtlich wird, kann die Berechnung der Energieeinsparungen auf Basis der Norm-Innenraumtemperatur dazu führen, dass die sich real ergebenden Einsparungen um bis zu 70 % überschätzt werden.

Tabelle 7-1. Charakteristische energetische Kennwerte von österreichischen Wohngebäuden. (Quelle: Amtmann und Groß, 2011)

	Bis 1918	1919-44	1945–59	1960–79	1980–89	1990–99	2000-10
HWB [kWh/m²a]							
EFH	180-300	200-370	160-380	145-280	100-190	80-130	10-100
MFH	130-230	140-270	150-270	100-205	80-140	60-100	10-80
MWB	130-230	140-270	140270	100-205	80-140	60-100	10-80
Nutzfläche nationaler Bestand [Mio.m²]							
EFH u. RH	30,6	14,4	22,9	65,4	33,9	22,2	26,0
MFH	14,1	6,1	7,0	14,7	7,7	7,4	8,0
MWB	16,9	4,3	7,3	28,9	8,3	4,8	5,6

EFH…Einfam.wohngeb., RH…Reihenwohnh., MFH…Mehrfam.wohngeb. (bis 10 Wohneinh.), MWB … Mehrgeschoßwohnb. (10+ WE)

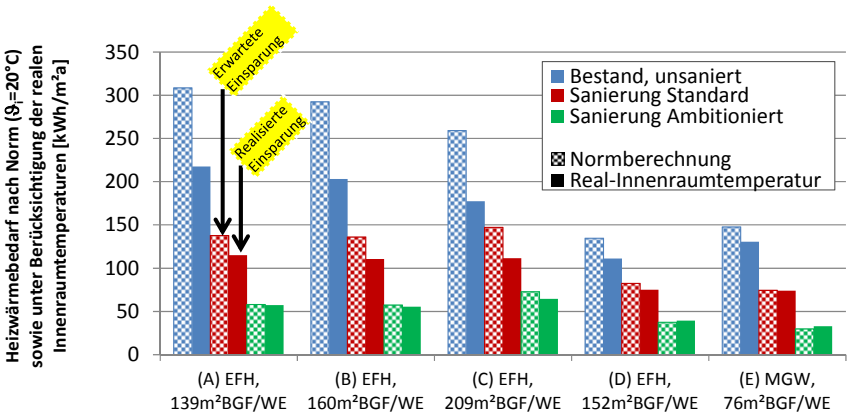


Abbildung 7-13. Vergleich von Heizwärmebedarf mit Norminnenraumtemperatur und Real-Innenraumtemperatur unterschiedlicher Gebäude.

Hinsichtlich der Sanierungsfähigkeit und –würdigkeit stechen besonders Gebäude der Bauperiode 1945 bis 1980 hervor. Einerseits zeichnen sich diese durch einfache Gebäudegeometrien bzw. glatte Fassadenoberflächen aus, andererseits sind Instandsetzungsmaßnahmen an den Gebäudehüllenelementen aufgrund der technischen Lebensdauer vielfach durchzuführen. Zusätzlich sind die energetischen Einsparungspotenziale übermäßig hoch. Gebäude der Bauperiode bis 1944 weisen oft Stuckfassaden auf und gelten daher vielfach als schwer sanierbar[53], die Fassaden der Gebäude der Bauperiode 1980-1990 werden erst in den kommenden 10 bis 30 Jahren ihre technische Bauteillebensdauer erreicht haben. Eine allfällig vorgezogene Sanierung kann deshalb nicht im Rahmen von notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden. Anfallenden Kosten sind daher in einem höheren Ausmaß der thermischen Gebäudesanierung anzurechnen. Ausgehend von einer Analyse der historischen Sanierungsaktivitäten wird der Anteil der derzeit sanierungsfähigen und –würdigen Wohneinheiten (nicht renoviert, Bauperiode 1945-1980 und Gebäude bis 1945 abzüglich des Anteils schwer sanierbarer Wohneinheiten) auf etwa 1,47 Mio. Wohneinheiten (41 % bezogen auf gesamte Hauptwohnsitze) geschätzt. Bei einer durchschnittlichen Sanierungsrate von 2,1 % im Zeitraum 2009-2020 (EnergieStrategie Österreich) würden bis 2020 820 tds. Wohneinheiten saniert werden. Eine darauf folgende, konstante Sanierungsrate von 3 % hätte zur Folge, dass bei allen, derzeit sanierungsfähigen und –würdigen

53 Anteil Wohneinheiten in schwer sanierbaren Gebäuden der Bauperiode bis 1945 (Abschätzung der Autoren): Wohngebäude mit bis zu 10 Wohneinheiten: 37 %, Wohngebäude mit mehr als 10 WE: 44.

Gebäuden bis 2026 eine Gebäuderenovierung durchzuführen wäre und wäre damit langfristig nicht haltbar.

Die Ergebnisse der sechs, zuvor skizzierten Szenarien sind in Abbildung 7-14. dargestellt.

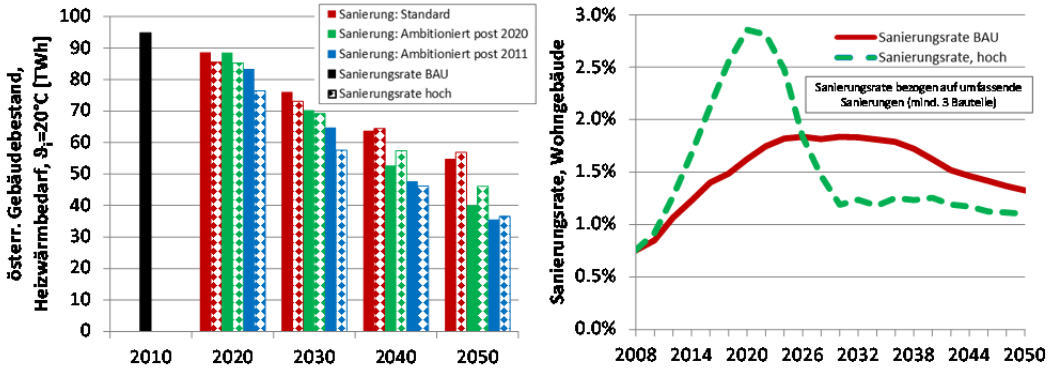


Abbildung 7-14. Entwicklung des Nutzwärmebedarfes in den sechs untersuchten Szenarien (linke Grafik) und korrespondierende Sanierungsraten (rechte Grafik)

Die mit den Szenarien einhergehende Reduktion des Nutzwärmebedarfes zeigt Tabelle 7-2. Aus dem Vergleich der Berechnung mit Norm-Innenraumtemperatur von 20 °C und einer mit effektiven durchschnittlichen Innenraumtemperaturen geht hervor, dass die Einspareffekte ab 2030 um etwa 5 Prozentpunkte unter denen der Normberechnung liegen.

Tabelle 7-2. Reduktion des Nutzwärmebedarfes des österr. Gebäudebestandes.

	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
	Normberechnung ϑ_i=20°C				Effektive Innenraumtemperatur			
SQ: Standard SR: BAU	7 %	20 %	33 %	42 %	4 %	15 %	27 %	37 %
SQ: Standard SR: hoch	10 %	23 %	32 %	40 %	7 %	18 %	27 %	35 %
SQ: Ambitioniert nach 2020 SR: BAU	7 %	26 %	44 %	58 %	4 %	22 %	40 %	54 %
SQ: Ambitioniert nach 2020 SR: hoch	10 %	27 %	39 %	51 %	7 %	23 %	35 %	47 %
SQ: Ambitioniert nach 2011 SR: BAU	12 %	32 %	50 %	63 %	10 %	28 %	45 %	58 %
SQ: Ambitioniert nach 2011 SR: hoch	19 %	39 %	51 %	61 %	16 %	34 %	46 %	57 %

SQ: Sanierungsqualität, SR: Sanierungsrate

7.4.3.2 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass moderate, kurzfristige Ziele hinsichtlich des Heizenergieverbrauches von Gebäuden sowohl durch eine Erhöhung der Sanierungsrate, als auch durch eine Erhöhung der Sanierungsqualität erreichbar sind. Bei sanierungswürdigen und –fähigen Gebäuden handelt es sich jedoch um ein begrenztes Gut. Dieses kann, wenn qualitativ hochwertig saniert und damit sorgsam ausgenutzt, zu einer signifikanten Reduktion des Energieeinsatzes führen. Werden durchgeführte Sanierungen thermisch minderwertig ausgeführt, kommt dies einer Verschwendung eines erschöpflichen Gutes gleich. Daher führen Szenarien mit vorzeitig erhöhten Sanierungsraten, in Kombination mit wenig ambitionierten Sanierungsqualitäten langfristig zu einer geringeren Energie-

einsparung (in den dargestellten Szenarien bis zu 13 %) als solche Szenarien, bei denen zuerst die Sanierungsqualität und erst im Anschluss die Sanierungsrate forciert wird.

Die Analysen ergeben, dass eine, mit langfristigen Klimaschutzzielen kompatible, Entwicklung des Heizwärmebedarfes von Gebäuden nur dann zu erreichen ist, wenn die Sanierungsqualität erhöht wird. Mit Blick auf den Zeitpunkt 2050 wird zudem deutlich, dass der Sanierungsrate keine übermäßig große Rolle zukommt. Vielmehr wird deutlich, dass eine frühzeitig hohe Sanierungsrate langfristig tendenziell zu einem höheren Energiebedarf führt.

7.5 Elektrische Anwendungen im Gebäudesektor

Im Folgenden werden Szenarien der Entwicklung unterschiedlicher nachfrageseitiger Stromtechnologien untersucht, die aus heutiger Sicht langfristig für die Bereitstellung stromspezifischer Dienstleistungen in Gebäuden von Bedeutung sein werden. Dies wird mit der Identifizierung der Hemmnisse für den Einsatz von effizienten Technologien und geeigneter energiepolitischer Instrumente – zur Überwindung dieser Hemmnisse – für eine effektive und kosteneffiziente Umsetzung von Stromsparpotenzialen für diese Technologien kombiniert. Es werden sowohl Grundtechnologien (z. B. Motoren, Netzteile…) und Anwendungstechnologien (kontrollierte Wohnraumbelüftung, Heizungspumpen, Waschmaschinen, Beleuchtung, Computer mit Peripherie, Server, strombasierte Heizung und Kühlung, Industriepumpen…) in den drei Sektoren Industrie, Haushalte und Dienstleistungsbereich berücksichtigt. Diese Sektoren waren im Jahr 2009 für 93 % des österreichischen Stromendenergieverbrauchs verantwortlich. Die Ausführungen fassen wesentliche Erkenntnisse aus Haas et al. (2011) zusammen.

Durch die Addition der Ergebnisse aus den drei Bereichen: Haushalte, Dienstleistungen und Industrie können die möglichen Entwicklungen für die großen nationalen Verbrauchergruppen abgeschätzt werden. Im BAU-Referenz-Szenario steigt der Stromverbrauch der betrachteten Kategorien im Zeitraum 2010-2030 um 22 % (1 % p.a). Diese Entwicklung integriert bereits Effizienzsteigerungen gegenüber dem derzeitigen Gerätebestand um 17 % (Abbildung 7-15.). Der Stromverbrauch von Haushalten und Dienstleistungssektor bleibt annähernd konstant, die Industrie fragt den großen zusätzlichen Bedarf nach (Haas et al., 2011). Gleichzeitig kann man aus dem Zeitraum 2000-2007 auch den stark steigenden residualen Stromverbrauch erkennen, der unmittelbar aufzeigt, dass nicht alle Arten von Stromverbrauch in die Analyse von Haas et al. (2011) mit aufgenommen wurden.

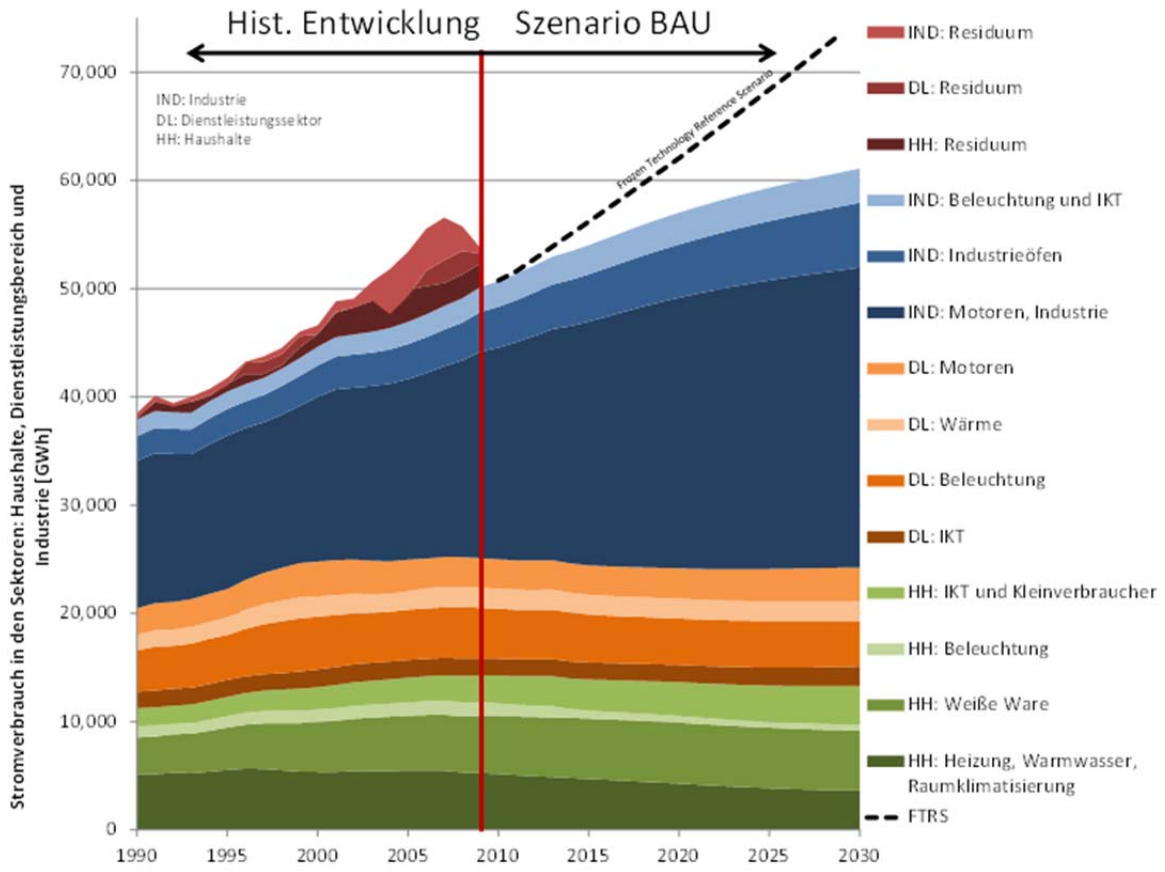


Abbildung 7-15. Strombedarfsentwicklung der Sektoren: Haushalte, Dienstleistungsbereich und Industrie im BAU-Szenario des Projekts PotEta. (Quelle: Haas et al., 2011)

Die gegenüber dem BAU-Szenario möglichen stromspezifischen Energieeinsparungen zeigt Abbildung 7-16. In einer solchen Entwicklung kann der Stromverbrauch der betrachteten Kategorien in 2030 um 7 TWh von 61 TWh auf 54 TWh reduziert werden. Gegenüber dem heutigen Technologiepark entspricht dies einer Steigerung der Energieeffizienz um 30 % (Haas et al., 2011).

Der Vergleich von Abbildung 7-16. mit den gewählten EISERN-Stromverbrauchsszenarien in Arbeitsschritt 3.5 (Bottom-up Simulation der Stromversorgung, Kapitel 9) zeigt, dass die Stabilisierung des Stromverbrauchs durch proaktive Politikmaßnahmen sehr wohl möglich ist. Dies untermauert die Konsistenz der gewählten Annahmen im gegenständlichen Projekt.

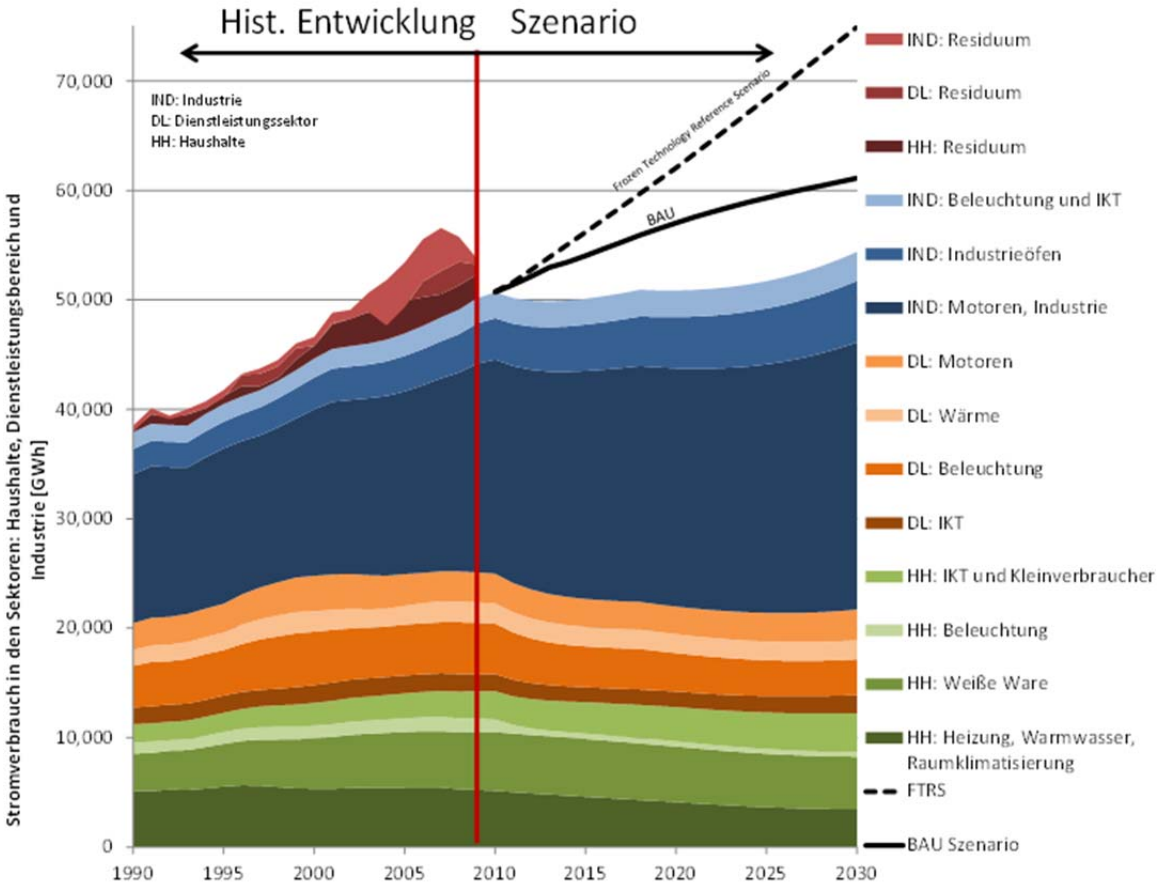


Abbildung 7-16. Strombedarfsentwicklung der Sektoren: Haushalte, Dienstleistungsbereich und Industrie im BEST-Szenario des Projekts PotEta. (Quelle: Haas et al., 2011)

Die Kosten zu denen die zusätzlichen Energieeffizienzsteigerungen zur Verfügung stehen, sind in Abbildung 7-17. dargestellt. Unter dem Gesichtspunkt der Akteurserwartungen, können bis 2020 etwa 4000 GWh kosteneffizient eingespart werden. Zusätzliche Maßnahmen mit Nettokosten von nicht mehr als 50 €/MWh erhöhen das Potenzial auf ca. 5300-5500 GWh. Dabei ist bereits berücksichtigt, dass durch effizientere Technologien Nutzer die Dienstleistung in einem erhöhten Maße nachfragen. In dem hier dargestellten Fall umfasst der Reboundeffekt 1100 GWh und zehrt 20 % der eigentlichen Effizienzmaßnahmen auf. Werden die Wirtschaftlichkeitskriterien einer Gesellschaft zugrunde gelegt, könnten durch unmittelbare Umsetzung von Maßnahmen mit vorzeitigem Gerätetausch unter Berücksichtigung des Restwertes von Geräten etwa 4000 GWh kosteneffizient eingespart werden. Wird ein solcher vorzeitiger Gerätetausch außer Acht gelassen, lassen sich 8000 GWh kosteneffizient einsparen. Davon könnten bis 2020 7000 GWh umgesetzt werden (Haas et al., 2011).

Im 450 ppm-Szenario in EISERN liegt der Verbrauch durch (unterstellte) realisierte Effizienzmaßnahmen 2050 um 16 TWh unter dem Verbrauch im Referenzszenario. Der Vergleich mit Abbildung 7-17. zeigt, dass bis 2030 ca. die Hälfte der angenommenen Effizienzpotenziale realisiert werden könnte.

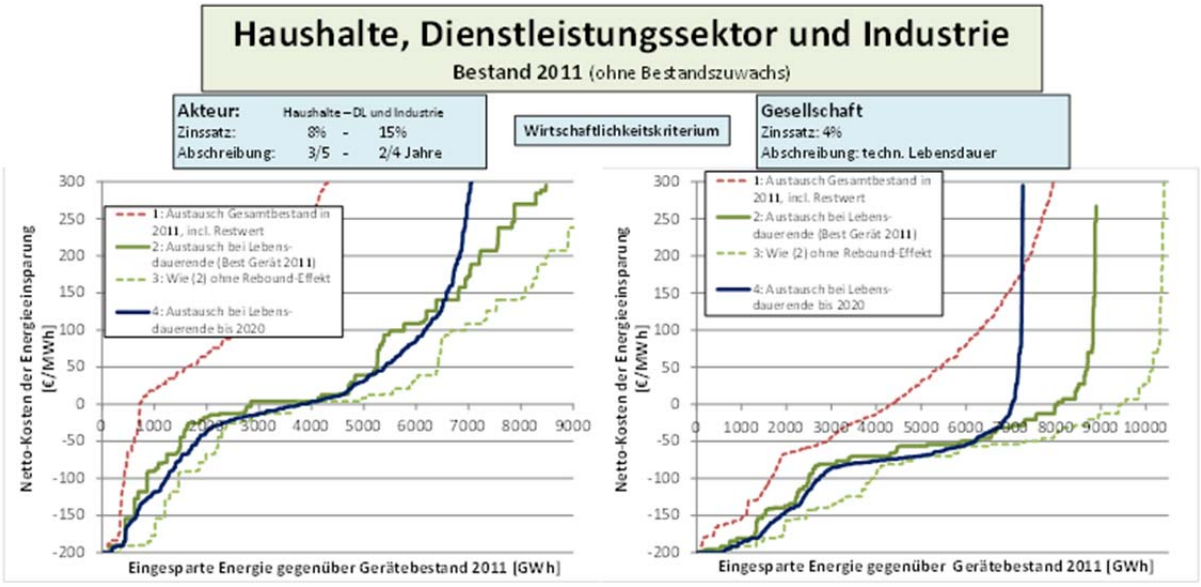


Abbildung 7-17. Grenzkostenkurven der Stromeinsparung für die Sektoren: Haushalte, Dienstleistungen und Industrie.
(Quelle: Haas et al., 2011)

7.5.1 Identifikation der Umsetzungshemmnisse von Stromsparpotenzialen und Strategien zu deren Überwindung

Übereinstimmend wird in den verschiedensten Einsparpotenzialstudien festgestellt, dass Effizienzpotenziale existieren, die zur Einsparung von 20 bis 30 % der Endenergie mit wirtschaftlichem Gewinn führen könnten. Es ist allerdings zu beobachten, dass diese Gewinne nicht oder nur schleppend realisiert werden. Das wirtschaftliche Prinzip der mehr oder weniger automatischen Gewinnrealisierung versagt hier offenbar, es existieren demnach (noch) keine funktionierenden Märkte für Energieeffizienz. Dies hat seine Ursachen in vielfältigen Barrieren und Hemmnissen für die wirtschaftliche Erschließung der Einsparpotenziale. Denn die Komplexität dieser Märkte führt dazu, dass für die Steigerung der Energieeffizienz auf der Nachfrageseite oft eine Vielzahl von Individuen die jeweils „richtige" Entscheidung treffen muss. Gleichzeitig bewirkt eine einzelne technische Energiesparmaßnahme häufig nur geringe Energie- und Kosteneinsparungen für den/die Einzelne/n, obwohl durch die millionenfache „richtige" Entscheidung große Einsparpotenziale erschlossen werden könnten. Die geringe Einsparung im Einzelfall führt zu einem generellen Hemmnis: einer allgemein niedrigen Priorität für Energieeffizienz bei vielen MarktakteurInnen (Haas et al., 2011). Für eine detaillierte Diskussion akteursspezifischer Hemmnisse sei auf Haas et al. (2011), Kap. 2.3., verwiesen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die vielfältigen Hemmnisse die der Energieeffizienz entgegenstehen, nur durch die gezielte Kombination verschiedener Instrumente (Politikpakete) überwunden werden können. Einzelne Politikinstrumente alleine – seien es Vorschriften, Informations- und Beratungsangebote oder Zuschüsse – reichen in der Regel nicht aus. Auch die Internalisierung externer Kosten in die Energiepreise stellt zwar eine notwendige Grundlage dar, ist aber bei weitem nicht hinreichend zur vollständigen Erschließung des Potenzials. Viele Hemmnisse sind nämlich nicht allein mit Hilfe des Preismechanismus zu überwinden – insbesondere dann nicht, wenn die Preisentwicklung kontinuierlich in kleinen Schritten erfolgt. Durch Mindesteffizienzvorschriften wiederum kann auch nur ein Teil der vorhandenen Einsparmöglichkeiten realisiert werden, da

Standards nur den Technikaspekt von Energieeffizienz bei standardisierbaren Produkten oder Komponenten erfassen können, wohingegen durch Systemoptimierung zu erreichende Einsparungen außen vor bleiben. Zudem werden durch Standards generell nur die ineffizientesten Technologien und Praktiken vom Markt ausgeschlossen, nicht aber die effizientesten (BAT) gefördert. Es kommt daher darauf an, die Marktdurchdringung von BAT zu fördern, um die Standards dynamisch zu machen. Somit verspricht letztlich ein Politikpaket bestehend aus einer Vielzahl von Politikinstrumenten den größten Erfolg (Haas et al., 2011).

Hier wird deutlich, dass für eine optimale Förderung der Stromeffizienz zielgerichtete und koordinierte Instrumentenpakete entwickelt werden sollten, die unter dem Dach eines übergeordneten förderlichen Rahmens auf alle Ebenen der Marktkette Einfluss nehmen. Für alle beteiligten Marktakteure müssen deren Hemmnisse gegen energieeffizientes Handeln überwunden und deren Anreize für energieeffizientes Handeln gestärkt werden. Nur dann kann die energieeffizienteste Lösung sich wirklich im Markt durchsetzen und zur Norm werden. Für ein solches Bündel von Politikinstrumenten und Maßnahmen muss in der Regel eine Vielzahl von Akteuren eingebunden werden, die gemeinsam an unterschiedlichen Punkten ansetzen und erst damit die verschiedenen Zielgruppen adäquat erreichen können. Für die wirkungsvolle Implementierung von Politikpaketen für Stromeffizienz in bestimmten Anwendungsfeldern ist ein förderlicher Gesamtrahmen erforderlich, der die Koordination, Finanzierung und Umsetzung der einzelnen Instrumente gewährleistet. Nur mit einem solchen Rahmen kann gewährleistet werden, dass die Ziele, die im Bereich Stromeffizienz gesetzt wurden, auch erreicht werden. Zu diesem Rahmen gehören einerseits übergreifende Instrumente mit förderlicher Wirkung auf das Angebot von Energieeffizienzprogrammen und -dienstleistungen. D.h. es empfiehlt sich, einen Energieeffizienzfonds oder eine Verpflichtung der Energiewirtschaft zu schaffen und mit einem quantifizierten Ziel zum Erreichen bestimmter Stromeinsparungen (z. B. 1 % pro Jahr) zu versehen und das Erreichen der Ziele zeitnah zu evaluieren. Möglich ist auch eine Kombination beider Instrumente, wie in Dänemark und Großbritannien. Hinsichtlich der Koordination und Kontinuität der Implementierung von (einzelnen oder integrierten) Beratungs-, Förder- und sonstigen Programmen zeigen sich solche Instrumente herkömmlichen aus dem Staatshaushalt finanzierten und von staatlichen Einrichtungen umgesetzten einzelnen Programmen potenziell überlegen. Dies belegen empirisch die Einsparungen, die Dänemark und Großbritannien im Vergleich z. B. zu Deutschland erreichen. Zweitens gehören zu diesem Rahmen Energieagenturen auf nationaler und regionaler, ggf. auch kommunaler Ebene, als koordinierender Akteur für die Politikberatung und die Umsetzung. Sie können MarktakteurInnen zusammenbringen und landesweite Informations-, Beratungs- und Weiterbildungsprogramme nahe an den MarktakteurInnen umsetzen. Sie bilden daher die Infrastruktur für Stromeffizienz, ggf. gemeinsam mit verpflichteten Energieunternehmen und jedenfalls gemeinsam mit gezielt weitergebildeten ArchitektInnen, PlanerInnen, HandwerkerInnen und anderen MarktakteurInnen. Schließlich gehört es zu diesem Rahmen, dass die Energiepreise externe Effekte der Energienutzung korrekt abbilden, d.h. durch Instrumente wie Energiesteuer, Emissionshandel und Subventionsreform (Haas et al., 2011).

7.5.2 Sensitivitätsanalyse – Auswirkungen des Klimawandels: Die Nachfrage nach Klimatisierung

Kranzl et al. (2010) ermitteln die Auswirkungen des Klimawandels auf den Klimatisierungsbedarf in drei Klimaszenarien (B1, A1B und A2). Abbildung 7-18. zeigt die Klimasensitivität der Nachfrage nach Klimatisierungsdienstleistungen in diesen Klimaszenarien. Im B1-Szenario steigt die entsprechende Nachfrage von ca. 460 GWh/Jahr im Durchschnitt der Periode 1990-2005 auf ca. 1,3 TWh/Jahr im Jahr 2050. Im A1B-Szenario steigt die Kühlnachfrage auf ca. 5 TWh/Jahr und im A2-Szenario auf ca. 10 TWh/Jahr.

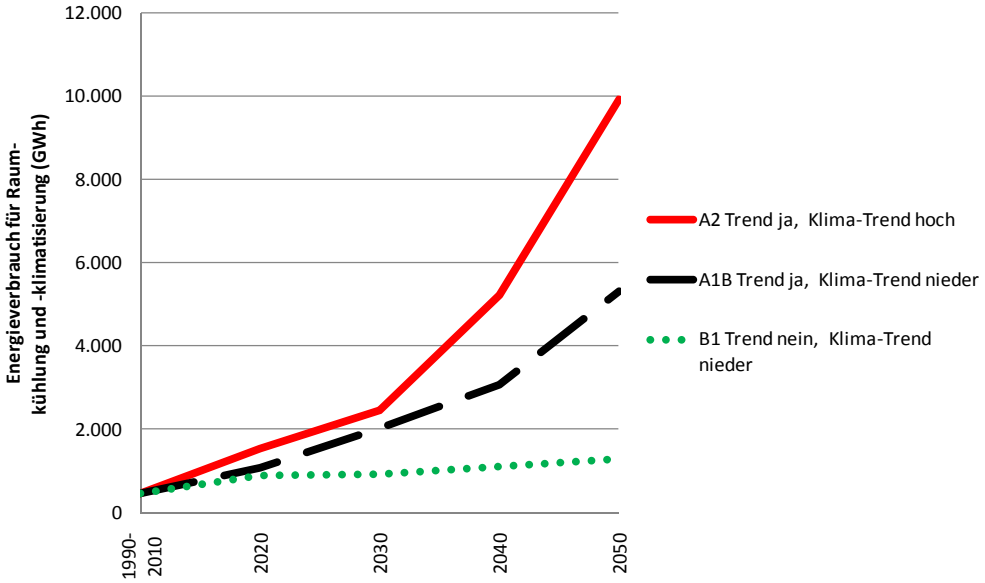


Abbildung 7-18. Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich in den IPCC-Szenarien A1B, A2, B1. Trend ja / Trend nein steht für den nicht-klimasensitiven Trend zur Raumklimatisierung. Klima-Trend hoch / Klima-Trend nieder steht für das Ausmaß des klimasensitiven Trends (Korrelation mit dem Indikator Temperatur-Summen-Hitzetage).
(Quelle: Kranzl et al., 2010)

Die Temperatur steigt im von Kranzl et al. (2010) gewählten Szenario mit der geringsten THG-Konzentration (B1-Szenario) im Vergleich zum vorindustriellen Niveau mit mittlerer Wahrscheinlichkeit um 3 bis 4 ° C. Im Projekt EISERN beträgt die Emissionskonzentration im Stabilisierungsszenario mit der höchsten Konzentration 550 ppm, womit sich die Temperatur in diesem Szenario im Vergleich zum vorindustriellen Niveau mit mittlerer Wahrscheinlichkeit um 2,5 bis 3,5 ° C erhöht. Entsprechend sind die in Abbildung 7-18. dargestellten Auswirkungen des Klimawandels auf die Klimatisierungsnachfrage eine Überschätzung der möglichen Effekte in den EISERN-Szenarien. Nennenswerte zusätzliche Nachfrageeffekte durch Klimatisierung sind daher in Österreich im Fall der globalen Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration auf 450 bis 550 ppm CO_2-eq nicht zu erwarten.

7.6 Schlussfolgerungen zu elektrischen Anwendungen

Obwohl im Bereich strombasierter Energiedienstleistungen in Österreich ein beträchtliches Energieeinsparpotenzial existiert, bedarf es großer Anstrengungen dieses zu heben. Dabei existiert kein singulär anwendbares Instrument, sondern es ist ein – sich über die Zeit änderndes – Portfolio an Maßnahmen zu implementieren. Langfristig können

diese Energiespar- und Energieeffizienzsteigerungspotenziale im Bereich nachfrageseitiger Technologien zur Bereitstellung von strombasierten Energiedienstleistungen nur dann umfassend und nachhaltig mobilisiert werden, wenn die folgenden zentralen Bedingungen erfüllt werden (Haas et al, 2011):

- Ein höheres Strompreisniveau gemessen am verfügbaren Budget (Haushaltseinkommen bzw. Wertschöpfung der Unternehmen): Ein höheres Strompreisniveau kann beispielsweise durch CO_2-Besteuerung oder eine Energiesteuer erreicht werden.

- Eine technologische Effizienzrevolution: Eine technologische Effizienzrevolution ist nur durch eine Kombination von intensiver Forschung und Entwicklung und legistischen Maßnahmen zu realisieren. Darüber hinaus werden diese vor allem auch von einer Abkopplung der Stromverbraucher von der Steckdose begleitet werden, vor allem um den Rebound-Effekt, der eine Steigerung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen dadurch bewirken würde, da diese billiger werden würden, zu reduzieren.

- Übergang vor allem bei Großverbrauchern auf „Contracting": Die professionelle Bereitstellung von Energiedienstleistungen durch entsprechende Unternehmen führt dazu, dass eben die Bereitstellung des gesamten Services kostenminimiert wird und nicht Strom und Technologie separat.

- Ergänzend dazu können Anreiz- und Informations-Systeme dazu beitragen, dass in den nächsten Jahren die schlechtesten Geräte aus dem Bestand eliminiert werden und somit den Übergang auf ein nachhaltiges System beschleunigen.

7.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen zum Energieverbrauch des Gebäudesektors

Die modellbasierten Analysen zeigen, dass die Dekarbonisierung der Bereitstellung des Niedertemperaturwärmebedarfs des österreichischen Gebäudesektors „relativ einfach" bewerkstelligt werden kann. Der Gebäudesektor soll somit auch dekarbonisiert werden. Allerdings sind die Trägheiten des Systems und damit die langen Zeitkonstanten der Dekarbonisierung zu beachten!

Trotz Sanierungen (in den Szenarien ist zusätzlich ein Fokus auf hochqualitative Sanierungen gelegt) geht der Energiebedarf der Gebäude innerhalb der kommenden vier bis fünf Jahrzehnte nicht auf null zurück. So wird z. B. langfristig (2050) der Heizwärmebedarf durch Einfamilienwohngebäude der Bauperiode bis 2000 bestimmt. Die Analysen zeigen somit, dass politische Maßnahmen nur „sekundär" wirken, sofern sie nur auf den Neubau und nicht auch auf den Gesamtbestand Einfluss nehmen.

Technologiespezifisch sind folgende zentrale Entwicklungen erwartbar:

- Heizsysteme basierend auf fossilen Energieträgern stellen szenarioübergreifend Auslaufmodelle dar.

- Wärmepumpensysteme reagieren sensitiv auf die Preisentwicklung von Strom relativ zu anderen Energieträgern.

- Durch Sanierung des Bestandes sinkt die Wärmedichte in Nahwärmenetzen. Dies hat massive Wirtschaftlichkeitsprobleme von Wärmenetzen in Regionen mit geringer Siedlungsdichte zur Folge

Beim Design effektiver Politikmaßnahmen sind die Auswirkungen von Sanierungsvorschriften und Energiepreisniveaus zu berücksichtigen – speziell unter dem Gesichtspunkt langfristiger Systemträgheiten (aufgrund hoher Lebensdauern) und daraus resultierender Lock-In Effekte.

Zusammenfassend ist für die Eckpfeiler einer langfristig wirksamen Klima- und Energiestrategie in Bezug auf zeitliche Dynamiken des Energieverbrauches im Gebäudesektor folgende energiepolitische Priorisierung festzustellen:

Kurzfristige Effekte bzw. Maßnahmen (bis ca. 2020):

Unabhängig vom Szenario ist ein „Lock-In" in bestehende CO_2-Emissionstrends feststellbar. Dieser Lock-In resultiert aus den langen Lebensdauern der Technologiekomponenten. Vorzeitiges Austauschen bestehender Systemkomponenten stellt eine realpolitisch nur schwer durchsetzbare Option dar. Die Emissionen des Sektors im Jahr 2020 sind somit durch heutige Bedingungen und geplante Politikmaßnahmen gänzlich bestimmt – und schwer bis kaum beeinflussbar. Bei strombasierten Energiedienstleistungen ist, um einen langfristigen „Lock-In" in verbrauchssteigernde Strukturen zu vermeiden, bereits kurzfristig ein strukturell wirksamer Energieeffizienzrahmen zu implementieren.

Mittelfristige Effekte bzw. Maßnahmen (ca. 2020-2030)

Für mittelfristige Investitionsentscheidungen spielen die politischen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle. Diese müssen allerdings aufgrund der langen Lebensdauern der Technologie- und Systemkomponenten zukünftige Entwicklungen und Auswirkungen antizipieren. Zwischen 2020 und 2030 ist – Szenario unabhängig – der stärkste Trend der Emissionsreduktion feststellbar. Dies folgt aus der „Sterbelinie" der existierenden Gebäudekomponenten und entsprechender Sanierungen bzw. Ersatz. Wird diese Dynamik nicht durch flankierende energiepolitische Maßnahmen genutzt, um einen Investitionszyklus in erneuerbare Technologien und die Realisierung wirksamer Energieeffizienzmaßnahmen zu erreichen, besteht die Gefahr eines erneuten „Lock-Ins" in langfristig emissionsintensive Strukturen.

Langfristige Effekte bzw. Maßnahmen (nach 2030)

Für die langfristige Evolution des Gebäudesektors ist wiederum der energie- und ordnungspolitische Rahmen entscheidend. Hier sind bereits jetzt entsprechende Aktivitäten zu setzen, um den langfristigen Strukturwandel einzuleiten.

Generelle Effekte bzw. Maßnahmen (2010-2050)

Die Entwicklung des Stromverbrauchs stellt letztlich die entscheidende treibende Kraft für die Evolution des Stromversorgungssystems dar. Entsprechend muss der Fokus der Energiepolitik für strombasierte Energiedienstleistungen im Gebäudebereich kurz-, mittel- und langfristig auf Energieeffizienz gesetzt werden. Die Entwicklung des Energiebedarfs für Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung hängt ebenfalls wesentlich von einem langfristig wirksamen energiepolitischen Rahmen ab. Hier sind Wechselwirkungen

mit anderen Politiken (z. B. Raumplanung und Raumordnung) in der Erstellung des Politikmixes zu berücksichtigen.

Szenarien mit einem energiepolitischen Maßnahmenmix, bestehend aus Investitionszuschüssen für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie, einer CO_2-Steuer, die zur Finanzierung der Anreize herangezogen werden kann und einer moderaten Nutzungsverpflichtung für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie, zeigen im Betrachtungszeitraum bis 2050 sehr gute Entwicklungspfade hinsichtlich des Anteils erneuerbarer Energie im Energiemix (vgl. die Entwicklung im 450 ppm-Szenario und zusätzlich Politikszenarien in Müller et al. (2010)).

Es werden für eine nachhaltige Wärmebereitstellung alle zur Verfügung stehenden Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie benötigt. Eine nachhaltige Wärmebereitstellung basierend auf einer einzelnen Technologie-Strategie ist nicht möglich, da sich die Anforderungen an die Technologien durch die unterschiedlichen Gebäudetypen bis 2050 noch weiter diversifizieren und maßgeschneiderte Lösungen für alle Gebäudetypen erforderlich sein werden. Die technologiespezifischen Stärken der unterschiedlichen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie können dabei den unterschiedlichen Anforderungen durch die verschiedenen Gebäudetypen zugeordnet werden (Müller et al., 2010).

8 Eisen- / Stahl- und Zementindustrie

8.1 Mögliche Pfade zur CO_2-Emissionsreduktion in der Eisen- und Stahlerzeugung

8.1.1 Einleitung

Die EU sieht in ihrem „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO_2-armen Wirtschaft bis 2050" (EU-Kommission, 2011) massive Einsparungen der Treibhausgasemissionen im industriellen Sektor vor. Es sind bis 2030 Einsparungen von 34-40 % und bis 2050 von 83-87 % der CO_2-Emissionen vom Ausgangswert des Jahres 1990 geplant. Im industriellen Sektor wird das Hauptaugenmerk in erster Linie auf reine CO_2-Emissionen gelegt, da sie den größten Anteil der emittierten Treibhausgase ausmachen. Besteht für die Eisen- und Stahlindustrie dieselbe Forderung, dann werden reine Energieeinsparungsmaßnahmen nicht ausreichen. IEA (2009b) gibt für die Stahlindustrie im OECD-Europa ein mögliches Einsparungspotenzial von 2,1 GJ/tRS an, dabei sind die größten Anteile im Bereich der Veredelung, der Hüttengasverwertung und der Installation von Kokstrockenkühlanlagen zu heben. Die am häufigsten für die Eisen- und Stahlerzeugung eingesetzte Produktionsroute ist jene über den Hochofen und den Sauerstoffkonverter mit einem weltweiten Anteil von ca. 67,1 % im Jahr 2008 (worldsteel, 2009). Auch in Österreich wird der Großteil mit einer Menge von 6,87 MtRS für das Jahr 2008 (worldsteel, 2009) über diese Verfahrensroute produziert. Beim Prozess der Eisenerzreduktion in einem konventionellen Hochofen dient Koks aus Steinkohle als Hauptreduktionsmittel. Mit Hilfe von Sauerstoff und Koks wird das eigentlich gasförmige Reduktionsmittel CO erzeugt. Bei diesem Prozess wird nicht das gesamte Kohlenmonoxid umgesetzt, daher fällt eine große Menge an Kuppelgas mit hohem CO-Gehalt an. Der Hochofenprozess führt damit nicht nur zu den größten direkten, sondern auch zu den größten indirekten CO_2-Emissionen eines integrierten Hüttenwerks. Die indirekten Emissionen spielen eine große Rolle und entstammen der Verwertung des Gichtgases in einem Kraftwerk oder dem Einsatz in anderen Aggregaten des Hüttenwerks. Weitere indirekte Emissionen entstehen bei der Koksproduktion, Verwertung des Kokereigases und dem Sinterprozess. Die Abbildung 8-1. zeigt die Entwicklung des Reduktionsmitteleinsatzes für die deutsche Stahlindustrie. Es wird ersichtlich, dass der Reduktionsmittelverbrauch von 1950 bis in die frühen 1990er Jahre durch Optimierungsmaßnahmen, wie dem Einsatz von Reicherzen, Erhöhung der Heißwindtemperatur oder Verbesserung der Koksqualität stetig sank. In den 1980er Jahren erfolgte eine starke Substitution des Kokses durch Kohle und Öl, allerdings konnten bis heute kaum noch Steigerungen hinsichtlich einer Erhöhung der Effizienz des Hochofens erzielt werden. Es ist davon auszugehen, dass der Reduktionsmitteleinsatz bei konventioneller Hochofentechnologie nicht mehr wesentlich zu senken ist.

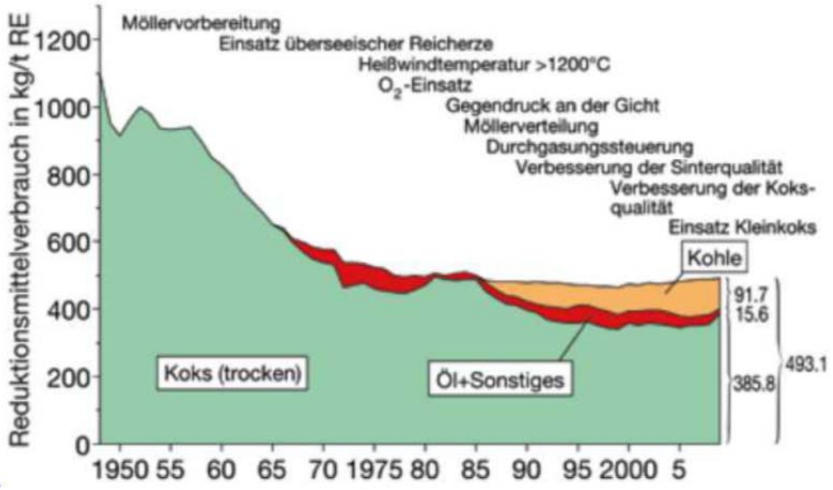


Abbildung 8-1. Reduktionsmitteleinsatz im Jahresvergleich von 1950 bis 2010. (Quelle: Dahlmann et al., 2010)

Viele Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sind in der österreichischen Stahlindustrie bereits umgesetzt, wie z. B. die großflächige Verwertung von Hüttengasen. Es ist daher nicht damit zu rechnen, dass energieeffizienzsteigernde Maßnahmen zu einer wesentlichen CO_2-Ersparnis führen. Die Eisen- und Stahlindustrie muss sich wesentlichen Strukturänderungen unterziehen, um die geforderten Klimaziele zu erreichen. Dieser Beitrag betrachtet die technischen Möglichkeiten, welche in Zukunft zur Verfügung stehen, sowie die Emissionseinsparungen die damit realisierbar wären. Durch eine Bottom-up-Analyse sollen Pfade zur CO_2-Reduktion für die österreichische Eisen- und Stahlindustrie bis ins Jahr 2050 gezeigt werden. Ein wesentlicher Anhaltspunkt für neue CO_2-arme Stahlproduktionsprozesse sind die Erkenntnisse des europäischen ULCOS-Projekts (Ultra Low CO_2 Steelmaking), siehe ULCOS (2012). Für diese Initiative haben sich europäische Hüttenwerksbetreiber und Anlagenbauer zusammengeschlossen um die verschiedensten Technologien zu bewerten und die vielversprechendsten auszuwählen und näher zu erforschen. Die hier gezeigten Analysen stützen sich auf die Erkenntnisse dieses Projekts.

8.1.2 Struktur der österreichischen Stahlindustrie

Der Ausgangspunkt für die Betrachtungen ist die Struktur der österreichischen Stahlindustrie, welche für weitere Analysen als Referenz dient. Es gibt weltweit vier wesentliche, industriell genutzte Stahlproduktionsrouten, siehe Abbildung 8-2. Für eine ausführliche Beschreibung der Prozesse wird auf IPPC (2001a) verwiesen. Es gibt die Primärerzeugungsrouten, wobei Eisenerz zur Stahlproduktion eingesetzt wird und die Sekundärroute, bei der Stahlschrott wieder verwertet wird. Die Primärerzeugung erfolgt entweder über den Hochofen und den O_2-Konverter, über Schmelzreduktionsverfahren und einen O_2-Konverter oder über die Direktreduktion (DRI) und einen Elektrolichtbogenofen (EAF). Beim Hochofen als auch bei der Schmelzreduktion kommt Kohle für die Reduktion zum Einsatz, wobei der Vorteil der Schmelzreduktion gegenüber dem Hochofen der direkte Kohleeinsatz ist. Demgegenüber steht ein erhöhter Kohle- und Energieeinsatz. In IPPC (2001a) wird z. B. für das COREX-Verfahren ein Kohlebedarf von 1000 kg/t_{RE} angegeben, beim Hochofen ist mit einem Reduktionsmittelbedarf von bis ca. 600 kg/t_{RE} Damit wird klar, dass die CO_2-Emissionen bei den Schmelzreduktionsverfahren

höher liegen als beim Hochofen. Bei der Direktreduktion kommt Erdgas zum Einsatz, weshalb auf Grund des hohen Wasserstoffgehalts geringere CO_2-Mengen emittiert werden. Allerdings sind die gegenüber der Hochofenroute erzeugbaren Mengen mit ungefähr max. $1x10^6$ t_{RS}/a wesentlich geringer. Eine optimierte Hochofenroute schafft es ca. die vierfache Rohstahlmenge zu produzieren.

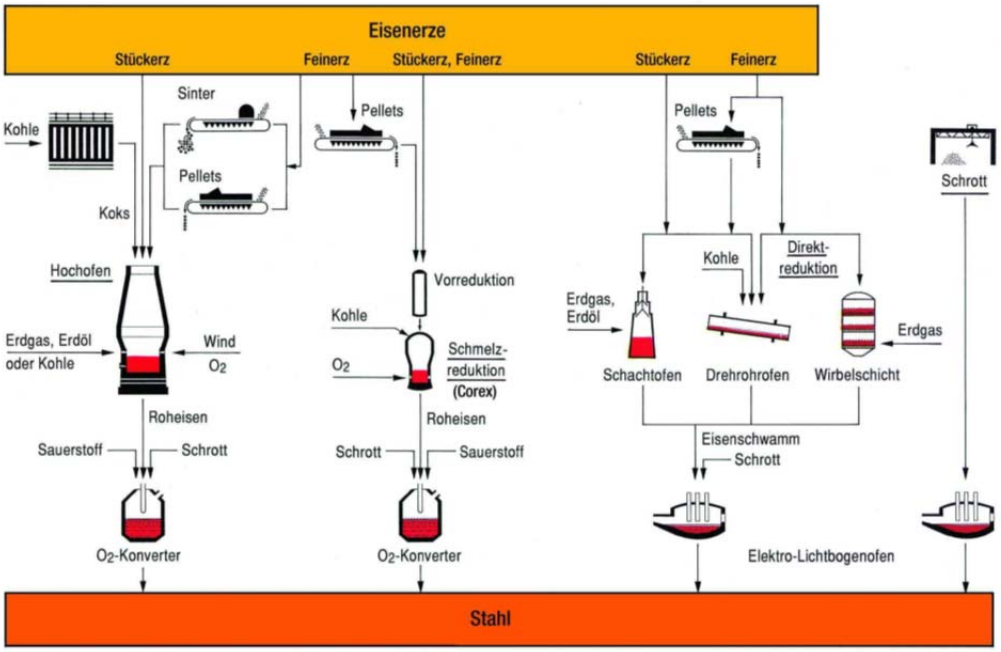


Abbildung 8-2. Industriell genutzte Stahlproduktionsverfahrensrouten weltweit. (Quelle: VDEh, 2012)

Für die Sekundärroute der Stahlerzeugung wird Stahlschrott in einem Elektrolichtbogenofen eingeschmolzen und wiederaufbereitet. Dabei entstehen die geringsten direkten CO_2-Emissionen, da als Hauptenergieträger elektrischer Strom zum Einsatz kommt. Grundsätzlich muss dieser Strom erzeugt werden und hierbei ist entsprechend dem damit verbundenen Kraftwerkspark mit einer zusätzlichen CO_2-Emission zu rechnen. Tabelle 8-1 zeigt die bestmöglichen Endenergieverbräuche der verschiedenen Prozesse, dabei sind alle Verfahrensschritte inklusive eines Strangguss- und Warmwalzprozesses berücksichtigt. Es zeigt sich die Tatsache, dass die Schrottwirtschaft sehr energiesparsam ist und daher zu wesentlich geringeren CO_2-Emmissionen führt. Grund dafür ist, dass relativ wenig Energie und vor allem kein Kohlenstoff für die Eisenerzreduktion aufgewendet werden.

Tabelle 8-1. Endenergieverbrauch verschiedener Stahlerzeugungsrouten. (Quelle: Worrell et al., 2008)

Verfahrensroute	Endenergieeinsatz $^{GJ}/_{tRS}$
Hochofen	16,5
Schmelzreduktion	19,5
Direktreduktion (DRI)	18,6
Elektrolichtbogenofen (EAF)	4,3

Die österreichische Eisen- und Stahlproduktion nutzt zwei Verfahrensrouten die Hochofen und O_2-Konverter-Linie für die Stahlerzeugung aus Eisenerz und Elektrolichtbogenöfen für die Sekundärerzeugung aus Stahlschrott. Die Produktion verteilt sich auf zwei integrierte Hüttenwerke und mehrere Standorte für die Elektrolichtbogenöfen. Repräsentativ wurde für die Analysen auf das Jahr 2008 zurückgegriffen, da in diesem Jahr annähernd eine Vollauslastung der Produktionskapazitäten stattfand. Die folgenden Jahre waren durch die Wirtschaftskrise geprägt und sind somit als nicht aussagekräftig einzustufen. Auf Basis des Jahres 2008 wurden in Österreich laut worldsteel (2009) 7,6 Mio. t_{RS} erzeugt. 90,7 % davon wurden über die Hochofenlinie produziert, wobei die Hütte in Linz einen Anteil von ca. 70 % und die Hütte in Donawitz einen Anteil von ca. 20 % an der Gesamtmenge erzeugt hat. Der durch EAF-Anlagen erzeugte Stahl beträgt 9,3 % der Gesamtmenge und stellt einen sehr kleinen Anteil dar. In sind die absoluten Produktionsdaten der Hütten und der EAF-Anlagen dargestellt, welche sich entsprechend VAD (2011), VAL (2011) und worldsteel (2009) auf die Standorte verteilen lassen. Die Mengen werden hier in Tonnen Rohstahl (t_{RS}) angegeben. Der Rohstahl ist jene Mengeneinheit, die als verwertbarer Anteil aus der Produktion entsteht. Kleine Unstimmigkeiten in den Produktionsmengen ergeben sich durch die Tatsache, dass die Daten von VAD (2011) nicht auf das volle Kalenderjahr 2008, sondern auf ein Geschäftsjahr 2007/08 bezogen sind und in worldsteel (2009) zwei verschiedene Angaben für die österreichische Gesamtproduktionsmenge angeführt werden. Entsprechend VAL (2011) erzeugt das Hüttenwerk in Linz vornehmlich Stahl für die Produktion von Bandmaterial, welches geglüht, verzinkt, beschichtet oder nur warmgewalzt wird. Zusätzlich gibt es eine Grobblechproduktion und in geringen Mengen werden Gussstücke hergestellt. In der Hütte Donawitz erfolgt die Stahlproduktion vorrangig für die Weiterverarbeitung zu Schienen, Rohren und Draht.

Tabelle 8-2. Stahlproduktionsmengen und CO_2-Emissionen in Österreich

Standort	Menge $10^6\ tRS$	spez. CO_2-Emission $^{kg}/_{tRS}$	CO_2-Emission $10^6\ t$	Stromimport TWh
Hütte Linz	5,26[1]	1654	8,7[1]	0,5[1]
Hütte Donawitz	1,61	1824[2]	2,94	0,32[2]
EAF-Anlagen gesamt	0,708[5]	126[3]	0,16[4]	0,41[3 4]
Österreich gesamt	7,578[5]	1557	11,8	1,23

Neben den Produktionsmengen finden sich in Tabelle 8-2 die CO_2-Emissionen. Es handelt sich ausschließlich um direkte am betrachteten Standort entstandene Emissionen. Die indirekten Emissionen, die für die Erzeugung oder den Transport von importierten Energieträgern anfallen, sind dabei nicht berücksichtigt. Für die Hüttenwerke in Linz und in Donawitz stammen die Daten aus den Umweltberichten, siehe VAL (2011) und VAD (2011). Im Gegensatz zum Werk in Linz betreibt die Hütte in Donawitz keine eigene Kokerei und es stellt sich damit eine Ersparnis direkter CO_2-Emissionen ein. Trotzdem zeigt das Werk in Linz einen besseren spezifischen Wert, welcher auf die höhere Produktionsmenge und damit auf einen größeren Hochofen und auf möglicherweise optimiertere Anlagen und Betriebsweisen zurückzuführen ist. Die Emissionen der EAF-Anlagen wurden anhand der ”IPPC Best Reference“-Daten aus IPPC (2001a) abgeschätzt, wobei für die Gesamtemissionen ein Warmwalzprozess zugrunde gelegt wurde und

Veredelungsschritte unberücksichtigt bleiben. Daten für Einzelprozessschritte können nur aus Angaben von IPPC (2001a) abgeleitet werden, dazu sind in Tabelle 8-3 spezifische Emissionen einzelner Prozessschritte eines integrierten Hüttenwerks aufgelistet. Die Emissionswerte für die Veredelung sind über eine Abschätzung der Produktionsmengen für die verschiedenen Erzeugnisse der Hütte Linz und aus den Werten von IPPC (2001b) bestimmt worden. Alle Emissionen, die nicht den einzelnen Anlagen zugeordnet werden können, sind in dieser Tabelle als Kraftwerksanteile angeführt, auch jene, die durch Fackelvorgänge entstehen.

Tabelle 8-3. Anlagenspezifische CO_2-Emissionen eines integrierten Hüttenwerks. (Quelle: IPPC, 2001b)

Anlagen	CO_2-Emission $^{kg}/_{tRS}$
Sinteranlage	222,5[1]
Kokerei	187,5[1]
Hochofen	390[1]
Stahlwerk	75,6[1]
Warmwalzwerk	100,25[1]
Veredelung	65,23[2]
Kraftwerk	612,25[3]/970,42[4]

Es ergeben sich zwei Werte, einer für die Hütte in Linz und einer für die Hütte Donawitz. Als Kraftwerk werden alle Anlagen zur Dampf- und Stromproduktion bezeichnet. In Tabelle 8-2 sind neben den Emissionen auch die elektrischen Stromimporte aufgelistet. Bei der Schrottwirtschaft mittels Elektrolichtbogenöfen wird davon ausgegangen, dass der gesamte elektrische Strom für die Produktion ins Werk importiert werden muss, also keine zum Produktionsstandort zugehörigen Kraftwerke betrieben werden. Die Eisen- und Stahlindustrie trägt mit ca. 11,2x10^6 t CO_2 zur österreichischen Gesamtemission bei. Dieser Wert gilt für das Jahr 2008 und wird für die Aufstellung der Reduktionspfade als Referenz herangezogen. Im Vergleich dazu gibt AEA (2009) einen Wert von 64,1x10^6 t CO_2 für das Jahr 2007 an, der aus Verbrennungsprozessen fossiler Energieträger in Österreich entstanden ist. Davon sind 15,6x10^6 t CO_2 durch die produzierende Industrie verursacht worden. Damit hält die Eisen- und Stahlindustrie unter der Annahme gleichbleibender Emissionen für die Jahre 2007 und 2008 bei ca. 71 % der CO_2-Emissionen der produzierenden Industrie. Der Vergleich der spezifischen CO_2-Emissionen für die Produktionsstandorte integrierter Hütten in Österreich mit Referenzangaben von Dahlmann et al. (2010) mit 1800 kg/t_{RS} oder Birat (2010) mit 1810 kg/t_{Band} zeigen, dass vor allem die Hütte in Linz, welche der österreichische Hauptproduzent ist, energetisch stark optimiert ist. Es werden neue Technologien zum Einsatz kommen müssen, um weitere gewünschte CO_2-Ersparnisse zu bewerkstelligen.

8.1.3 CO_2-arme Produktionstechnologien für die Eisen- und Stahlindustrie

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Technologien, die in Zukunft zur Verfügung stehen könnten, um eine möglichst CO_2-freie Eisen- und Stahlproduktion zu realisieren. Die Forderungen der Europäischen Union ca. 80 % der CO_2-Emissionen bis ins Jahr 2050 vom Ausgangswert des Jahres 1990 einzusparen bedeutet für die Eisen- und Stahlindustrie die Erschließung neuer Technologien, da die konventionelle Hochofenprozessroute mit Kohle als Hauptreduktionsmittel nicht die geforderten Einsparungspotenziale aufweist. Es gibt weltweit Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die sich mit der Erforschung neuer Technologien und Prozessrouten für die Eisenerzreduktion und die Stahlerzeugung beschäftigen. Nach Angaben von worldsteel (2011) sind die wichtigsten Programme das:

- AISI-technology roadmap programme der USA, welches sich mit der Steigerung der Energieeffizienz und der Entwicklung der direkten Elektrolyse von Eisenerz beschäftigt.

- POSCO CO_2 Breakthrough Framework, das unter anderem die Wasserstoffproduktion, die Reduktion von Eisenerz mit Synthesegas oder den kohlenstoffarmen FINEX-Prozess untersucht.

- COURSE50 aus Japan. Dieses Programm beschäftigt sich allgemein mit Technologien zur CO_2-Vermeidung.

- ULCOS-Ultra Low Carbon Dioxide Steelmaking der Europäischen Union.

Das ULCOS-Programm wird als essentieller Wegweiser für eine CO_2-arme Stahlproduktion in Europa und daher auch für Österreich gesehen. Ein Konsortium mit 48 Partnern bestehend aus Stahlwerksbetreibern und Anlagenbauern hat sich dafür 2004 zusammengeschlossen, um „break through"-Technologien zu erforschen, zu entwickeln und zu demonstrieren, die zu wesentlichen CO_2-Einsparungen, ca. 50 % der heute üblichen Hochofenrouten, führen (Birat, 2010). Wesentliches Ziel ist es diese Technologien soweit zu entwickeln, dass sie im industriellen Maßstab einsetzbar sind und eine moderne Hochofenroute ersetzen können, welche ca. 4×10^6 t_{RS} pro Jahr erzeugt. Es wurden 72 Prozessrouten hinsichtlich des Energieeinsatzes, der Emissionsvermeidung und der Wirtschaftlichkeit untersucht, wobei auf Birat et al. (2008a), Birat et al. (2008b) und Birat und Lorrain (2008) verwiesen wird. Entsprechend Birat (2010) werden vier Prozessrouten favorisiert, welche im Folgenden näher erläutert sind. Je nachdem welche Reduktionsmittel eingesetzt werden, ergeben sich verschiedene Prozesstypen für die Eisenproduktion. Zur Auswahl als Reduktionsmittel stehen die bisher eingesetzte Kohle, Biomasse, Wasserstoff oder Elektrizität. Um eine Reduktion der Treibhausgase zu realisieren, muss beim Einsatz von Kohle oder anderen fossilen Energieträgern die sogenannte CCS-Technologie (Carbon Capture and Storage) eingesetzt werden.

Top Gas Recycling Blast Furnace (TGR-BF)

Bei dieser Technologie handelt es sich um eine Weiterentwicklung des konventionellen Hochofens, siehe Abbildung 8-3. Der wesentliche Unterschied besteht in der Rückführung des Gichtgases in den Hochofen. Dazu wird der Überschuss an Kohlenmonoxid, welches

als Reduktionsmittel im Reaktor dient, vom Gichtgas abgetrennt. Es entstehen ein CO_2-reicher und ein CO-reicher Gasstrom. Der CO-reiche Gasstrom wird erwärmt und in den Hochofen zurückgeführt. Der CO_2-reiche Gasstrom kann einer Speicherung zugeführt oder ohne weitere Behandlung an die Umgebung abgegeben werden. Als Reduktionsmittelträger wird ein Teil des Kokses durch Kohlestaub ersetzt, der im Bereich der Windformen eingeblasen wird. Neben diesen Veränderungen wird anstatt des Heißwindes reiner Sauerstoff verwendet.

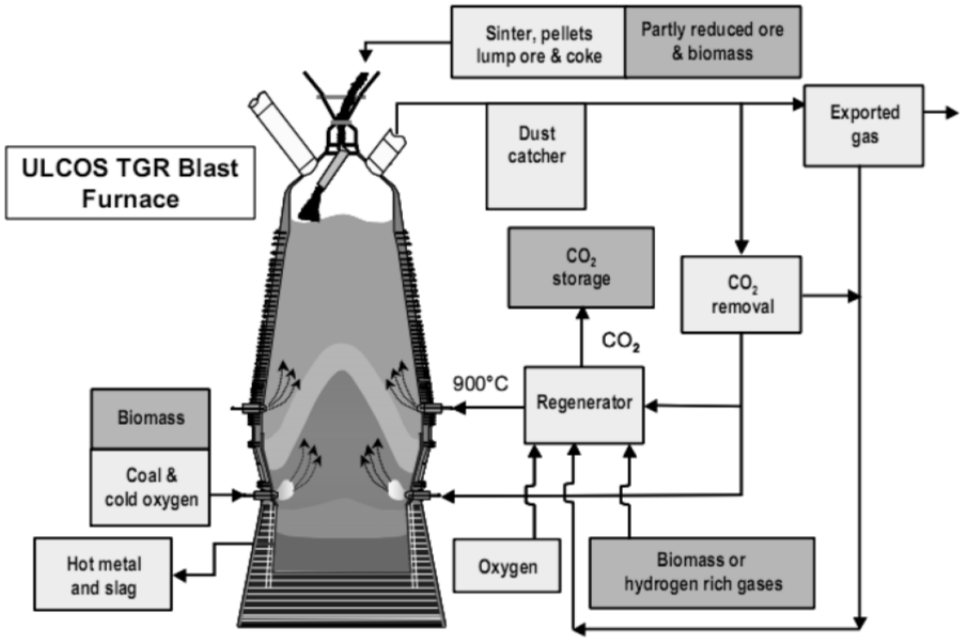


Abbildung 8-3. Hochofen mit Gichtgasrückführung. (Quelle: Birat et al., 2008a)

Danloy et al. (2008) untersuchte dafür vier verschiedene Versionen und bildete Energie- und Massenbilanzen für die neuen Hochofenkonfigurationen. Für die Trennung der Gasströme zeigt sich als wirtschaftlichste Variante eine Vakuum Druckwechseladsorption, die bei vorgesehener CO_2-Speicherung mit einer kryogenen Abscheidung kombiniert ist. Durch die Rückführung von Kohlenmonoxid in den Hochofen ergibt sich nach Danloy et al. (2008) eine Reduktion der CO_2-Emissionen um 25 % ohne und um 60 % mit einer angedachten Speicherung. Die Rückführung des Kohlenmonoxidstroms führt zu niedrigeren Temperaturen im Hochofen und einer Verschiebung des Boudouard-Gleichgewichts, wodurch eine Energieersparnis gegenüber dem herkömmlichen Hochofenprozess entsteht. Im Gegensatz zum konventionellen Hochofen entfällt für ein integriertes Hüttenwerk der Einsatz eines Kraftwerkes zur Hüttengasverwertung, da die verbleibenden Gasmengen, welche einer Weiterverwendung zuzuführen sind, im Verhältnis gering ausfallen und daher eher als Substitution in diversen Öfen zu sehen sind. Damit steigert sich der externe Bedarf an elektrischem Strom des Hüttenwerks. Der partielle Ersatz von Koks durch Kohle führt zu niedrigeren notwendigen Kapazitäten der Kokerei. In Danloy et al. (2008) beträgt der für die energetisch effizienteste Version berechnete Koksbedarf 187 kg/t_{RE} und der Kohlebedarf 180 kg/t_{RE}. Ein Einsatz von Biomasse für die vorgestellte Hochofenkonfiguration ist von Birat et al. (2008a) als mögliche Variante anzusehen. Die Autoren der Studie schlagen dafür den Einsatz von Holzkohle vor, die aus nachhaltig gezüchteten Eukalyptusbäumen tropischer Gebiete

stammt. Es wird als realistisch eingeschätzt, den gesamten eingeblasenen Kohlestaub damit zu substituieren. Die Hochofentechnologie mit Gichtgasrückführung wurde bereits in einem Versuchsreaktor mit einer Kapazität von ca. 1,5 t_{RE}/h demonstriert, siehe Zuo und Hirsch (2008). Der TGR-BF-Prozess ist der bisher am weitesten entwickelte des ULCOS-Programms und soll durch eine weitere Pilot- und eine Demonstrationsanlage die Speicherung von CO_2 und die mögliche Vergrößerung auf eine industriell einsatzbare Größenordnung demonstrieren, siehe Birat (2009) und Birat (2011). Es sind dabei nach Birat (2009) Kapazitäten von 0,7 bis 1,38 x 10^6 t_{RE} pro Jahr angedacht. Ein industriell einsatzfähiges System wird ca. ab dem Jahr 2020 erwartet.

HIsarna

Bei diesem Prozess handelt es sich um ein neu entwickeltes Schmelzreduktionsverfahren. Das ursprüngliche Konzept stammt laut Birat et al. (2008a) von den Firmen CORUS, DCTS und ArcelorMittal und wurde durch eine entsprechende Kooperation mit den Technologien des HIsmelt-Prozesses (Burke und Gull, 2002) kombiniert. Ein Schema des Reaktors ist in Abbildung 8-4. dargestellt. Er besteht aus einem Zyklon in den das Eisenerz und Sauerstoff eingebracht wird, dabei kommt es zur Vorreduktion und zum Einschmelzen des Eisenerzes. Die vollständige Reduktion erfolgt im darunter liegenden Schmelzreaktor in den Sauerstoff und vorgewärmte bzw. teilweise pyrolysierte Kohle eingebracht wird. Bei diesem Prozess erfolgt eine optimale Umsetzung des Reduktionsmittels und es entsteht ein nahezu reiner CO_2-Strom im Ausgang der Anlage, der als direkt speicherungsfähig gilt. Die Technologie lässt sich optimal in Kombination mit einer CO_2-Speicherung betreiben. Die Gaswirtschaft entfällt auch bei dieser Lösung, daher ist kein Kraftwerk im integrierten Hüttenwerk vorgesehen. Es besteht die Möglichkeit zum Einsatz von Biomasse, Erdgas oder Wasserstoff als Ersatz für die Kohle. Bei ausreichender Verfügbarkeit kann die gesamte Steinkohle durch Holzkohle ersetzt werden. Eine erste Versuchsanlage wurde 2011 in Betrieb genommen, siehe Meijer (2011). Großindustriell einsatzfähige Systeme stehen laut Birat (2010) wahrscheinlich erst ab dem Jahr 2030 zur Verfügung.

ULCORED weiterentwickelte Direktreduktion

Der Weg der Direktreduktion in Kombination mit dem Elektrolichtbogenofen (EAF) ist für die Primärstahlerzeugung, verglichen mit den heute angewendeten Routen, jene mit den niedrigsten CO_2-Emissionen. Dies liegt daran, dass der Reduktionsmittelträger Erdgas durch den Hauptbestandteil CH_4 einen großen Anteil an Wasserstoff enthält, welcher neben dem Kohlenmonoxid zur Reduktion dient. Üblicherweise erfolgt in einem Schachtofen die Vorreduktion, bei welcher Eisenschwamm entsteht, der in einem Elektrolichtbogenofen eingeschmolzen wird.

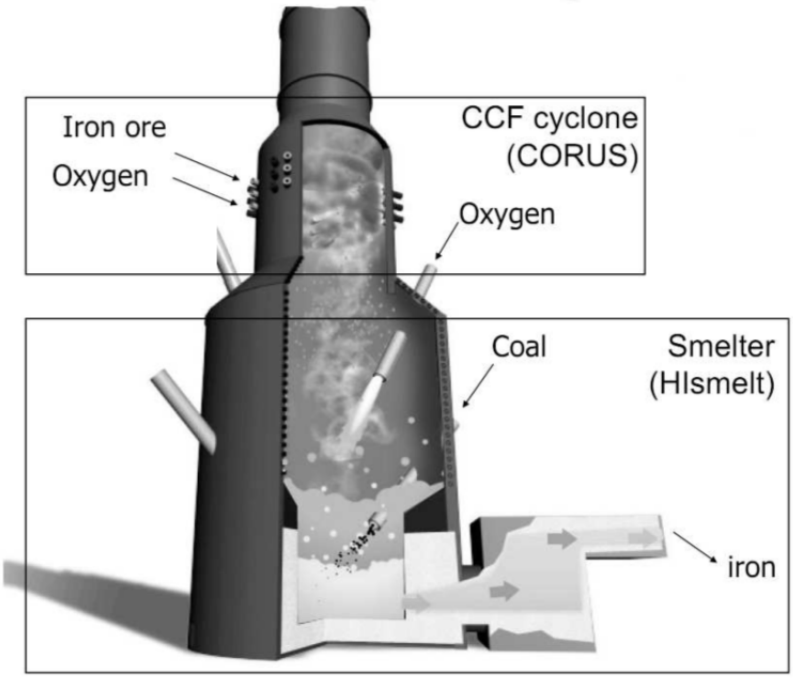


Abbildung 8-4. Schmelzreduktionsverfahren HIsarna, [Birat, 2011]

Die geringe Verbreitung dieses Prozesses liegt vor allem an der geringen Verfügbarkeit von billigem Erdgas. Die weiterentwickelte Direktreduktion sieht nach Birat et al. (2008a) systematische Änderungen für großflächige Energieeinsparungen und eine Möglichkeit für die CO_2-Abscheidung vor. Ein Schema des Prozesses ist in Abbildung 8-5. dargestellt. Typischerweise werden Pellets in den Direktreduktionsreaktor gefördert. Das Erdgas bzw. das Methan wird konditioniert, bevor es in den Reaktor gelangt. Dazu wird ein Teilverbrennungsschritt (POX) mit reinem Sauerstoff durchgeführt. Das Abgas aus dem DRI-Reaktor wird rückgeführt und einem Shiftreaktor zugeführt, in dem das überschüssige CO zu H_2 und CO_2 umgewandelt wird. Danach kann das CO_2 durch eine Vakuum-Druckwechseladsorption oder eine Aminwäsche abgetrennt werden. Es bleibt ein hoch wasserstoffhaltiges Gas übrig, welches einerseits zum Shiftreaktor gefördert und andererseits mit dem Erdgas am Eingang der Anlage vermischt wird. Ein kleiner Teil des wasserstoffhaltigen Gases kann in anderen Aggregaten des Hüttenwerks verwendet werden. Das Gasgemisch aus Erdgas und Wasserstoff wird im DRI-Kühler vorgewärmt und dem POX-Reaktor zugeführt. Dem Direktreduktionsreaktor wird ein Gemisch zugeführt, das im Wesentlichen aus H_2, CO und CO_2 besteht. Die hier vorgestellte Variante zeigt eine Reduktion des Energieeinsatzes von ca. 20 %. Neben dem Einsatz von Erdgas kann auch Synthesegas aus der Kohle- oder Biomassevergasung zum Einsatz kommen. Bei der Kohlevergasung könnte man durch Überproduktion und eine Shiftreaktion genug wasserstoffhaltiges Gas herstellen, um das gesamte Hüttenwerk zu versorgen. Vorteil einer solchen Variante ist, dass nur noch ein CO_2-Emittent im gesamten Werk vorhanden wäre. Es gibt auch noch weitere vorstellbare Varianten, wobei ein ULCORED-Prozess gemeinsam mit einer Hochofenroute betrieben wird. Kokereigas wird z. B. für die Direktreduktion eingesetzt und der Hochofen dient als Schmelzofen oder es wird nicht vollständig reduziertes Eisen im Direktreduktionsreaktor erzeugt, das im Hochofen fertig reduziert wird. Derzeit ist eine Versuchsanlage eines ULCORED-Prozesses in Planung und entsprechend Birat (2010) soll ein industrieller Einsatz bis 2020 möglich sein.

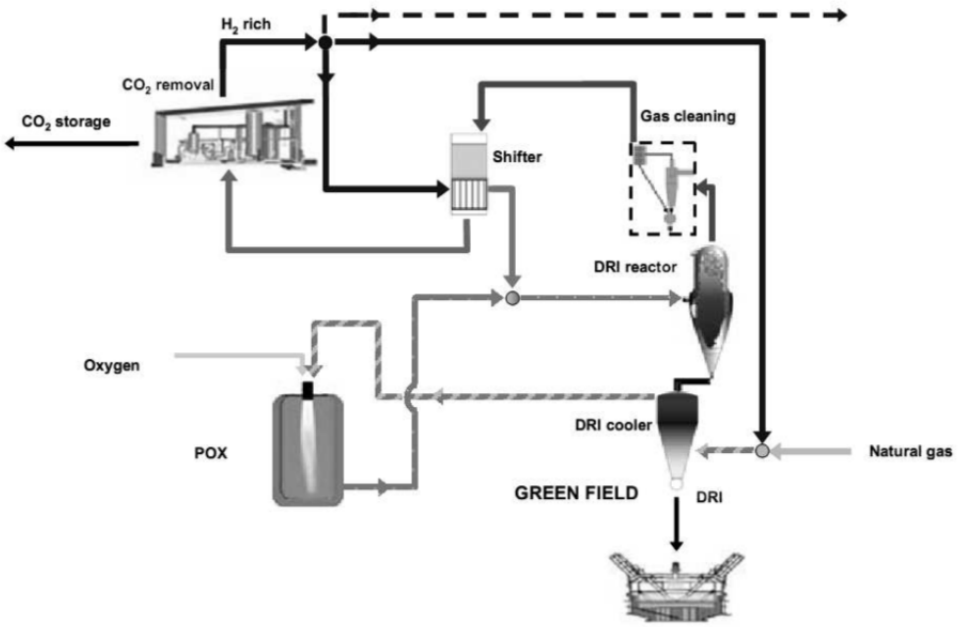


Abbildung 8-5. Schema der weiterentwickelten Direktreduktion. (Quelle: Kop et al., 2008)

Elektrolyse

Das ULCOS-Projekt untersucht zwei Möglichkeiten der direkten Elektrolyse zur Gewinnung von Eisenerz, siehe Birat (2010). Die erste ist ULCOWIN und arbeitet mit einer alkalischen Wasserlösung bei einer Temperatur von ca. 100°C. Dabei lagert sich das Eisenerz als Granulat ab. ULCOLYSIS hingegen arbeitet bei typischen Schmelzpunkten von Eisenmetallen und verwendet eine Oxidschmelze als Elektrolyt. Dieses Verfahren wird auch als Pyroelektrolyse bezeichnet. Beide Technologien haben den Vorteil, dass die standortbezogenen CO_2-Emissionen entfallen, allerdings ist der gesamte Energieaufwand mit elektrischem Strom abzudecken. Eine solche Lösung ist nur bei nahezu kohlenstofffreier Stromproduktion sinnvoll. Derzeit befinden sich diese beiden Technologien noch im Labormaßstab und ein kommerzieller Einsatz ist nicht vor 2040 zu erwarten. Der Einsatz von Elektrolyse zur Gewinnung von Wasserstoff würde nur bei einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft in Frage kommen. Das Problem beim Einsatz von reinem Wasserstoff als Reduktionsmittel besteht in seinem niedrigen Heizwert. Dieser reicht nicht aus, um die Eisenerzreduktion zu bewerkstelligen, daher ist eine zusätzliche Energiezufuhr notwendig. Für spätere, weiterführende Betrachtungen ist die Wasserstoffvariante nicht vorgesehen. Die vorgestellten Prozesse sind nur ein kleiner Auszug aus den bestehenden Möglichkeiten. Diese Technologien werden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und der CO_2-Vermeidung durch das ULCOS-Programm favorisiert, siehe Birat et al. (2008b) und Birat und Lorrain (2008). Dabei wurden die Prozesse auf anfallende Betriebskosten untersucht, siehe Birat und Lorrain (2008). Es zeigte sich, dass der TGR-BF, der ULCORED-Prozess sowie die direkte Elektrolyse von Eisenerz unter heutigen ökonomischen Randbedingungen höhere Betriebskosten haben, als eine vergleichbare konventionelle Hochofenroute. Nur der HIsarna-Prozess zeigt mit CCS gleiche und ohne CCS etwas geringere Betriebskosten. Unter den heute gegebenen Bedingungen sind davon die Kosten für die Energie und das Rohmaterial der größte Anteil. In Birat und Lorrain (2008) wurden weitere Szenarien untersucht, z. B. wie sich die Situation im Jahr 2050 darstellt, mit Abschätzung von Preisentwicklungen für Energie,

Rohmaterial aber auch für Kosten anfallender CO_2-Emissionen. In einem Fall wird eine Randbedingung von 30 €/t CO_2 für Europa und in einem anderen Fall die sehr strenge Randbedingung von 600 €/t CO_2 getroffen, die mit einer weltweiten Halbierung der CO_2-Emissionen vom Ausgangsjahr 1990 einhergeht. Bei der ersten Randbedingung werden die Betriebskosten aller ULCOS-Prozesse auch 2050 größer sein als die der Basishochofenroute. Mit der strengen Randbedingung werden die geringsten Betriebskosten durch die Direktelektrolyse und den ULCORED-Prozess dargestellt, aber auch der TGR-BF und die Schmelzreduktion zeigen im Vergleich zum konventionellen Hochofen geringere Betriebskosten. Es muss angemerkt werden, dass diese Prognosen durchaus großen Unsicherheiten unterliegen, denn die reale Entwicklung der Preise für Rohstoffe, Energie oder CO_2 sind für einen Zeitraum bis 2050 kaum schätzbar. Eine weitere Rolle spielt, dass alle hier beschriebenen Technologien noch nicht im industriellen Einsatz stehen und daher kein Aufschluss über die wahren Instandhaltungskosten bzw. die Fixkosten der Anlagen herrscht. Reine CCS-Technologien, die den heute üblichen Aggregaten nachgeschaltet werden, also sogenannte ”end of pipe"-Lösungen, zeigen laut Birat (2011) im Vergleich mit den ULCOS-Technologien wesentlich höhere CO_2-Vermeidungskosten und werden daher nicht in Betracht gezogen. Neben den Betriebskosten sind für die Hüttenwerksbetreiber die Installationskosten der neuen Technologien von großem Interesse. Allerdings sind die vorgestellten Prozesse noch in der Entwicklungsphase und eine seriöse Abschätzung der Kosten eines industriell einsatzfähigen Systems ist nicht möglich. Als grobe Referenz sind für zwei Technologien Werte erwähnt. Für die zwei geplanten TGR-BF-Anlagen liegen nach Birat (2009) die Investitionskosten bei 260 M€. Die HIsarna-Versuchsanlage wurde mit Errichtungskosten von ca. 25 M€ abgeschätzt. Eine wichtige Feststellung bei Betrachtung der vorgestellten Technologien ist, dass die fossilen Energieträger den Einsatz von CCS-Technologien zur CO_2-Reduktion erfordern. In Zusammenhang mit CCS findet man verschiedene Werte über der Höhe der CO_2-Vermeidungskosten aufgetragen, vgl. Kuramochi et al. (2011) gibt für die Variante des Hochofens mit Gichtgasrückführung und einer Vakuum-Druckwechseladsorption Kosten von 40-50 €/t CO_2 an. IEA (2009b) legt sich bezüglich der für die Daten hinterlegten Technologien nicht fest, gibt aber für CCS bei der Direktreduktion und bei der Schmelzreduktion Kosten von 25-50 USD/t CO_2 an. Für die Hochofenlösung mit CCS gibt IEA, Werte von 40-60 USD/t CO_2 an. Wie von Birat (2011) formuliert, sollten alle Angaben hinsichtlich Investitionskosten und CO_2-Vermeidungskosten sehr kritisch aufgefasst werden. Für genaue Angaben sind die Betriebserfahrungen aus diversen Pilotprojekten sowie die dann gültigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen abzuwarten. Als Schlussfolgerung der Technologiebetrachtung wird noch einmal darauf hingewiesen, dass neben den ULCOS-Prozessen andere nicht erwähnte Prozesse, siehe z. B. IEA (2009b), eine Berechtigung zum Einsatz zur CO_2-Vermeidung haben. Für die Analysen wurde die Konzentration auf die ULCOS-Prozesse für sinnvoll erachtet, da sie in der europäischen Eisen- und Stahlindustrie als richtungsweisend erscheinen. Es handelt sich hierbei grundsätzlich nur um Ersatztechnologien zur Eisenerzreduktion, das bedeutet, dass Emissionen, die durch die Beheizung von Öfen oder den Betrieb anderer Aggregate eines integrierten Hüttenwerks entstehen, bei einer Emissionsberechnung weiterhin berücksichtigt werden müssen.

8.1.4 Szenarien zur CO_2-Reduktion bis in das Jahr 2050

Aus den bisher vorgestellten Technologien werden Szenarien für die österreichische Eisen- und Stahlindustrie gebildet, die CO_2-Reduktionspfade bis in das Jahr 2050 zeigen.

Die Auswahl an eingesetzten Prozessen basiert zu großen Teilen auf dem Abschnitt 4.3. Es werden drei große Szenarien abgebildet:

- S1: Diese Variante sieht keine neuen Technologien für die CO_2-Reduktion in der Eisen- und Stahlindustrie vor.

Zur CO_2-Reduktion erfolgt lediglich die Steigerung der Energieeffizienz durch Installation einer Kokstrockenkühlung (KTK) und ein Anheben der Recyclingrate von Stahl, was den Ausbau der Sekundärstahlerzeugung mit Elektrolichtbogenöfen (EAF) zur Folge hat.

- S2: Einsatz von CO_2-armen Produktionstechniken in Kombination mit CCS-Technologie.

- S3: Einsatz von CO_2-armen Produktionstechniken ohne CCS-Technologie.

Die Technologiewahl für die einzelnen Szenarien erfolgte durch eine subjektive Auswahl, wobei indirekt durch das ULCOS-Programm Analysen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und des CO_2-Einsparungsvermögens einfließen. Die Erstellung der CO_2-Reduktionspfade basiert nicht auf wirtschaftlichen bzw. preisgesteuerten Modellen, sondern betrachtet den Einsatz von modernen Technologien für eine maximale CO_2-Reduktion. Die Szenarien können in einer groben Aussage in wenig ambitioniert (S1) bis sehr ambitioniert und nachhaltig (S3) eingeteilt werden. Die Reduktionspfade wurden aus Kennzahlmodellen entwickelt, die sich hauptsächlich auf Daten von IPPC (2001a), IPPC (2001b), Birat et al. (2008a), Danloy et al. (2008), Birat (2011) und IEA (2009b) stützen. Die für die Szenarien entwickelten CO_2-Emissionen stellen standortbezogene Emissionen dar. Die Bilanzgrenzen werden um die Produktionsstandorte gezogen und indirekte Emissionen aus der Produktion von Stromimporten, aus dem Transport, dem Abbau oder der Umwandlung von Energieträgern außerhalb der Bilanzgrenze wurden nicht dargestellt. Bevor die einzelnen Szenarien aufgestellt werden können, wird eine Prognose benötigt wie sich der Bedarf an Stahl und somit die Produktionsmengen bis in das Jahr 2050 entwickeln. In IEA (2009b) wurden dafür zwei Szenarien entwickelt eines mit einem niedrigen und ein anderes mit einem hohen Bedarf an Stahl. In beiden Fällen hat sich in dieser Annahme das Bruttosozialprodukt weltweit vervierfacht und für den niedrigen Fall hat sich der Stahlbedarf um 85 % und im hohen um 122 % gegenüber der Ausgangslage im Jahr 2006 gesteigert. Entsprechend der Prognose wird sich bis zum Jahr 2050 die weltweite Stahlproduktion auf 2311 Mio. t bzw. 2771 Mio. t steigern. Für Indien, den mittleren Osten, Afrika und Entwicklungsländer in Asien werden die größten Zuwachsraten in der Produktion gesehen, wobei China der Hauptproduzent beleibt. In OECD-Europa wird nach IEA (2009b) sowohl im hohen als auch im niedrigen Bedarfsfall nur mit einem pro Kopfanstieg an Stahl von 17 % gerechnet, der schon im Jahr 2015 erreicht wird und bis 2050 keine Bedarfserhöhung mehr folgt. Für Europa ist zu berücksichtigen, dass ein Bedarfsanstieg nicht einem Produktionsanstieg im selben Ausmaß gleich zu setzen sein muss, da viele Waren in Schwellen- und Entwicklungsländern produziert werden und der Bedarf indirekt abgedeckt wird. Obwohl die österreichische Stahlindustrie von Mitte der 1990er Jahre bis 2008 um 50 % gewachsen ist, scheinen weitere ähnlich große Steigerungen unrealistisch. Diese Erwartung lässt sich dadurch bekräftigen, dass es in Österreich nur zwei integrierte Hüttenwerke gibt, wobei eines für ca. 70 % der österreichischen Gesamtproduktion verantwortlich und die weitere Ausbaufähigkeit standortspezifisch und politisch begrenzt ist. Die folgenden Szenarien werden daher mit einer 10 %-igen Steigerung der Stahl-

produktion bis in das Jahr 2050 vom Ausgangswert des Jahres 2008 angesetzt. Dieser wird als realistisch bezüglich noch vorhandener Kapazitäten der Stahlindustrie angesehen und liegt unter dem für Europa abgeschätzten Bedarf. Die Steigerung erfolgt aus Gründen der Vereinfachung in den hier skizzierten Pfaden stetig und linear. Diese Annahme wird kaum den realen Verhältnissen entsprechen, da die Produktion an wirtschaftliche Faktoren geknüpft ist, welche aber schwer zu prognostizieren sind. Allerdings wird damit gerechnet, dass die Unsicherheiten, welche Technologien zu einer tatsächlichen Umsetzung gelangen, größer einzuschätzen sind.

8.1.4.1 Szenario 1

Das erste Szenario sieht keine neuen CO_2-armen Produktionstechniken vor. Es werden zwei Maßnahmen gesetzt, um eine Reduktion an CO_2 in der Produktion zu erreichen. Die Erste ist die Installation einer Kokstrockenkühlung. In den meisten Hüttenwerken wird der Koks, nachdem er aus der Kokerei gelangt, mit Wasser gelöscht und die Enthalpie bzw. die thermomechanische Exergie des Kokses nicht weiter genutzt. Der Koks weist mit Temperaturen über 1000 °C nach der Verkokung ein großes Energienutzungspotenzial auf, das zur Dampf- und in weiterer Folge zur Stromerzeugung verwendet werden kann. In einer Kokstrockenkühlanlage wird der Koks mit einem Inertgas abgekühlt, welches wiederum in einem Abhitzekessel gekühlt wird und Dampf erzeugt. Diese Systeme sind stark in Japan und klimatisch kalten Ländern wie Finnland oder Russland verbreitet, in denen der Einsatz von Wasser auf Grund sehr niedriger Umgebungstemperaturen Probleme bereitet. Es handelt sich um einen ausgereiften im industriellen Maßstab einsatzfähigen Prozess, der als ”best practice“-Technologie anzusehen ist. Für eine Prozessübersicht wird auf JCOAL (2011) verwiesen. Die Kokstrockenkühlanlage dient im konkreten Fall der Stromproduktion. In IEA (2007) findet sich ein Produktionswert von 0,5 t Dampf/t Koks bei Dampfparametern von 480 °C und 60 bar. Diese Angabe deckt sich gut mit jenen in JCOAL (2011), wobei hier Daten verschiedenster japanischer Anlagen aufgelistet sind. Unter Annahme eines Turbinenwirkungsgrades ergeben sich elektrische Energiemengen von 130-140 kWh/t Koks. Dabei wird von einer Kondensationsdampfturbine für die Energieumwandlung ausgegangen. In einer Standardhochofenroute erzeugt die KTK ca. 25 kWh/t_{RS} elektrische Energie. Ein Einsatz der KTK wird mit dem Jahr 2020 angenommen. Die zweite Maßnahme sieht eine Steigerung der Sekundärstahlerzeugung vor. Daher wird ein Ausbau der EAF-Anlagen für die Produktion von Stahl aus Schrott vorgeschlagen. In Österreich ist dieser Zweig mit einem Produktionsanteil von 9,3 % im Jahr 2008 im Verhältnis zu anderen europäischen Ländern sehr gering, siehe worldsteel (2009). IEA (2009) sieht neben einem Zuwachs der gesamten Stahlproduktion auch eine Steigerung der Stahlrecyclingrate bis 2050. In den letzten 30 Jahren ist der Anteil des wiederverwerteten Stahlschrotts an der Gesamtproduktion geschrumpft, da die große Nachfrage an Rohstahl nur durch die Primärerzeugung ausgeglichen werden konnte. Die Recyclingrate unterliegt einer Begrenzung, die nach IEA (2009b) eine Funktion der vergangenen Stahlproduktion mit einem vom Produkt bestimmten Zeitversatz von 1 bis 100 Jahren ist. Für das Jahr 2050 wird von IEA (2009b) eine Recyclingrate von ca. 55 % der Gesamtproduktion gesehen. Für Österreich wurde daher ein Anteil von 30 % der Gesamtproduktion bis zum Jahr 2050 abgeschätzt, der in EAF-Anlagen produziert wird. Diese Schätzung ist aus heutiger Sicht weiterhin traditionell niedrig einzuschätzen, da der Anteil an EAF-Stahl in den Ländern der EU27 heute bereits 40 % worldsteel (2009) beträgt und der Anteil an direkt reduziertem Eisen, das in EAF-Anlagen weiterverarbeitet

wird, ca. 1 % der Gesamtproduktion ausmacht. In den dargestellten Szenarien ist der EAF-Prozess mit einem Warmwalzprozess gekoppelt.

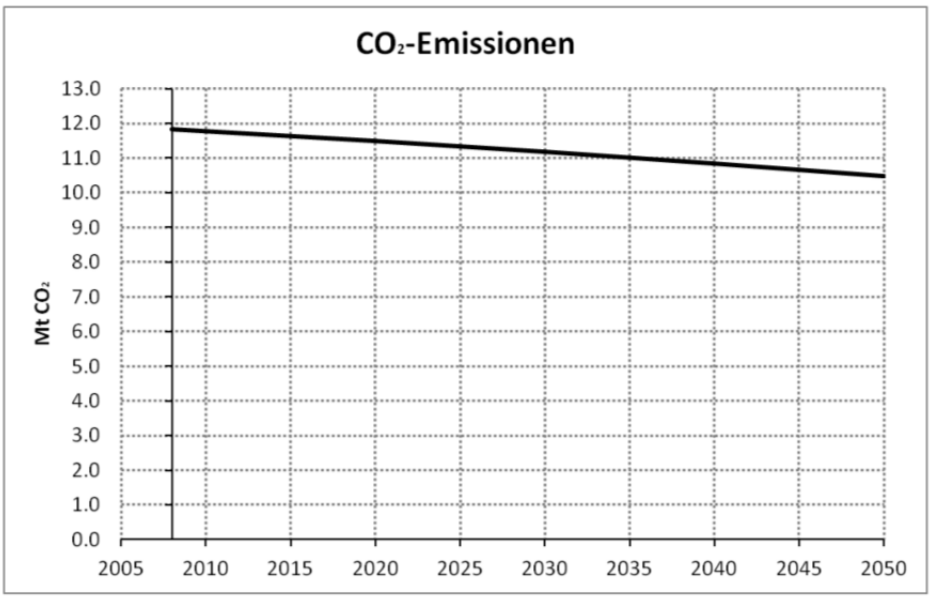


Abbildung 8-6. CO_2-Emissionen Szenario 1

Abbildung 8-6. zeigt den Pfad der CO_2-Emissionen der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie bis zum Jahr 2050. Durch die festgelegten Maßnahmen ergibt sich eine stetige Absenkung des standortbezogenen CO_2-Ausstoßes auf ca. 88 % des Referenzjahres 2008. Die stetige Zunahme an EAF-Stahl ergibt eine kontinuierliche Steigerung des Stromimports, welche 76 % des Wertes von 2008 beträgt, vgl. Abbildung 8-7. Es wird vorausgesetzt, dass der elektrische Strom für die EAF-Anlagen extern zu beziehen ist. Der Einsatz der KTK bewirkt eine Reduktion des Stromimports um ca. 10 % des Referenzwertes von 2008. Es ist festzustellen, dass eine reale CO_2-Reduktion nur zustande kommt, wenn der gesteigerte Stromimport durch eine regenerative bzw. CO_2-arme Stromproduktion ausgeglichen wird. Die Steigerung des EAF-Anteils führt zu einer Verkleinerung der Rohstahlmenge aus der Primärerzeugung, die bis zum Jahr 2050 auf 5,847 Mio. t absinkt. Damit sinkt die Rohstahlerzeugung im Vergleich zum Jahr 2008 um 1 Mio. t, das entspricht ca. 2/3 der Produktion der Hütte Donawitz. Unter diesem Gesichtspunkt scheint es realistisch die Hütte vollständig auf Sekundärerzeugung umzurüsten und die restlichen Mengen auf die größere Hütte zu verlagern.

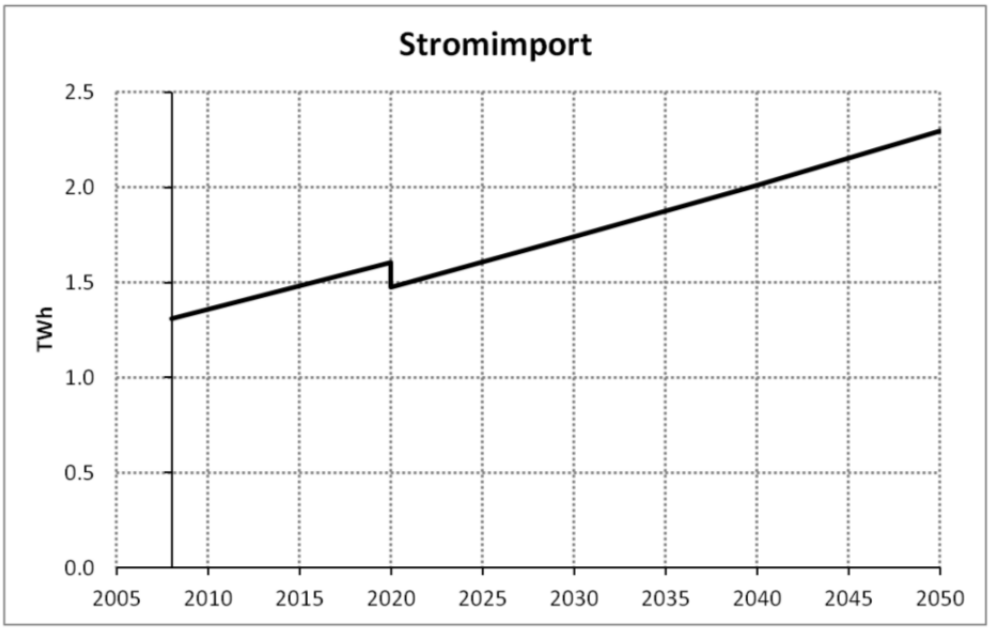


Abbildung 8-7. Stromimport Szenario 1

8.1.4.2 Szenario 2

Im Szenario 2 kommen CO_2-arme Produktionstechniken zum Einsatz. In den hier angestellten Betrachtungen geht es um einen Ersatz des Hochofens im Hüttenwerk. Es wird davon ausgegangen, dass Kohle weiterhin als Hauptreduktionsmittel dient. Deshalb ist die nahe liegendste Lösung der Einsatz des Hochofens mit Gichtgasrückführung (TGR-BF). Diese Lösung kann nach Abschätzungen von Birat et al. (2008a) auch als Retrofit bisheriger Hochöfen umgesetzt werden. In dem hier dargestellten Fall wird der TGR-BF mit einer CCS-Technologie kombiniert. Zur Abtrennung des Kohlendioxids wird eine Vakuum-Druckwechseladsorption mit einer kryogenen Abscheidung verwendet. Die Installation des TGR-BF mit CCS wird mit dem Jahr 2020 prognostiziert, obwohl aus heutiger Sicht noch nicht abzusehen ist, in welchem Ausmaß die Einspeicherung von CO_2 in Österreich möglich sein wird. Die größte Strukturänderung bei Einsatz des TGR-BF ist das Entfallen des Kraftwerks zur Stromerzeugung wegen der wesentlich kleineren Gaswirtschaft. Weiterhin sind eine Sinteranlage, eine Kokerei, ein O_2-Konverter, die Stranggussanlagen, ein Warmwalzwerk und eine Veredelung vorgesehen. Die Kokerei benötigt aber wegen der Verwendung einer Kohlestaubeindüsung im Hochofen geringere Kapazitäten. Als weitere Maßnahme erfolgt der Einsatz der bereits in Szenario 1 vorgestellten Kokstrockenkühlung. Die Berechnung des CO_2-Ausstoßes erfolgt durch ein Kennzahlenmodell, welches auf den Energie- und Stoffbilanzen von Danloy et al. (2008) für die Version vier, sowie auf den Daten von IPPC (2001a) und IPPC (2001b) basiert. Die Daten des Energieverbrauchs für die Abtrennung und Verdichtung zur Speicherung des Kohlendioxids werden Birat (2011) entnommen. Es wird wieder die Erhöhung des EAF-Anteils auf 30 % der Gesamtproduktion angenommen. Eine weitere Reduktion der CO_2-Emissionen wird durch den Einsatz einer weiteren neuen Technologie erreicht und zwar der Schmelzreduktion mit dem HIsarna-Prozess. Dieser wird voraussichtlich im Jahr 2030 großindustriell zur Verfügung stehen. In den hier dargestellten Pfaden wird nicht darauf Rücksicht genommen, dass die Anlagen eine übliche Lebensdauer von 20-30 Jahren haben. Daher erfolgt der Einsatz von HIsarna bereits 10 Jahre nach der Installation des TGR-BF. Diese strukturelle Änderung orientiert sich an den besten

möglichen Technologien, die zur Emissionsreduktion vorhanden sind und nicht an den wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Es wird wieder davon ausgegangen, dass Kohle als Reduktionsmittel dient, daher ist eine Speicherungslösung für das Kohlendioxid vorzusehen. Der Prozess liefert einen nahezu reinen CO_2-Strom, daher muss nur der Energieaufwand für die Verdichtung berücksichtigt werden. Die Struktur des Hüttenwerks wird durch diesen Prozess grundlegend verändert, da eine Sinteranlage, die Kokerei und das Hüttenkraftwerk vollständig entfallen. Die spezifischen Werte für die anfallenden Emissionen müssen für den HIsarna-Prozess aus den Angaben von Birat et al. (2008a) und Birat et al. (2008b) abgeschätzt werden, da es bisher keine veröffentlichten Energie- und Stoffbilanzen für diesen Prozess gibt, aus denen die spezifischen Werte berechnet werden könnten. Allgemein bedient sich das präsentierte Szenario am möglichen Einsatz von CCS-Technologien. Dabei werden der Energieaufwand und die damit verbundenen Emissionen für die Abtrennung und Verdichtung des CO_2-Stroms dem Produktionsstandort angerechnet. Unter welchen politischen Rahmenbedingungen und ab wann die Einspeicherung von CO_2 in Österreich möglich ist, kann durch die dargestellten Ergebnisse nicht beantwortet werden. Ein weiterer Kernpunkt ist das Beibehalten von Kohle als Hauptreduktionsmittelträger. Die in Kapitel 8.1.3 vorgestellte weiterentwickelte Direktreduktion ULCORED wird in die vorgestellten Szenarien nicht eingebunden. Dieser Prozess basiert auf der Verwendung von Erdgas. Für Österreich wird kein Betrieb der weiterentwickelten Direktreduktion mit Erdgas gesehen, da in den meisten europäischen Staaten, verglichen mit den Rohstoffpreisen für Kohle, kein billiges Erdgas zur Verfügung steht, siehe die Einschätzung von Kop et al. (2008). Es erscheint sinnvoller, Erdgas für die Produktion von elektrischem Strom zu verwenden, da in GuD-Kraftwerken sehr hohe Wirkungsgrade zu erreichen sind und der hohe Wasserstoffgehalt im Erdgas eine CO_2-arme Stromproduktion ermöglicht. Ein Betreiben des ULCORED-Prozesses mit Kohle über eine Kohlevergasung wäre theoretisch möglich und würde sich in das Szenario 2 einfügen, allerdings erscheint die Anlagentechnik im Vergleich mit dem HIsarna-Prozess wesentlich komplexer, siehe dazu Kapitel 8.1.3. Beim HIsarna-Prozess entfallen wie erwähnt die Kokerei, die Sinteranlage und eine Anlage für die Abtrennung des CO_2-Stroms. Die meisten Prozessschritte sind in einem Reaktor vereint. Dagegen steht der Einsatz und die Verschaltung eines Kohlevergasers, eines Shift-Reaktors, einer CO_2-Abscheideanlage, eines Kühlreaktors und dem eigentlichen Reaktor zur Reduktion beim ULCORED-Prozess. Aus diesen Gründen spielt der ULCORED-Prozess in weiteren Betrachtungen keine Rolle. Die CO_2-Emissionen in Abbildung 8-8. zeigen im Jahr 2020 und 2030 diskrete Technologieänderungen.

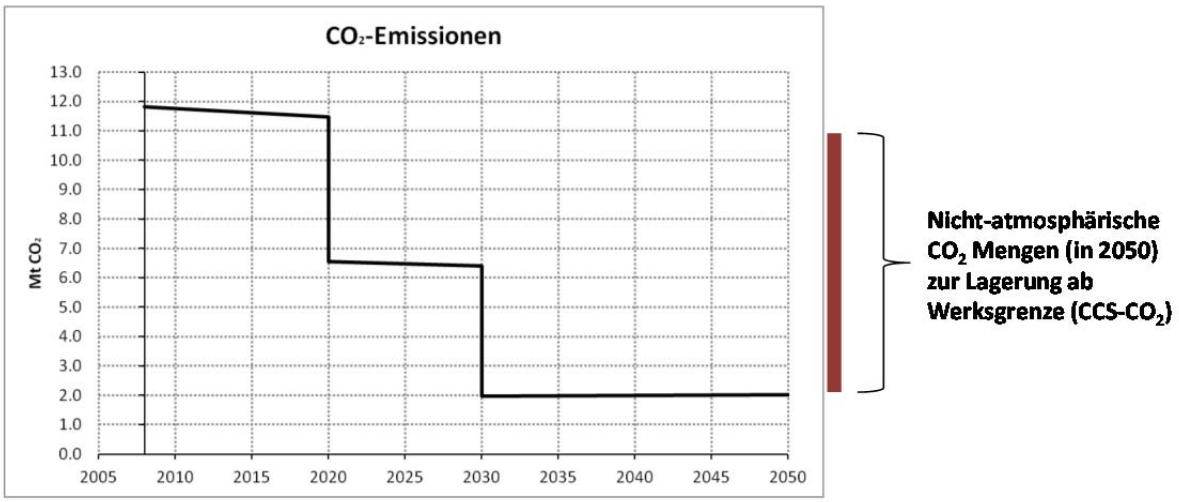


Abbildung 8-8. CO_2-Emissionen Szenario 2

Diese Sprünge sind reine Annahmen, die auf der geringen Anzahl an Hüttenwerken in Österreich basieren. Es sollte daher aus realistischer Sichtweise bei einer Umrüstung zu sehr schnellen Technologiewechseln kommen. Bis zum Jahr 2020 ergibt sich eine Reduktion der CO_2-Emissionen durch die Steigerung des EAF-Stahls. Ab dem Jahr 2020 reduziert sich der CO_2-Ausstoß durch TGR-BF mit Speicherung des Kohlendioxids auf 55 % des Ausgangswertes vom Jahr 2008. In der Zeitspanne von 2020 bis 2030 ist eine kleine Minderung der Emissionen erkennbar, die wieder durch die Erhöhung des EAF-Anteils erklärbar ist.

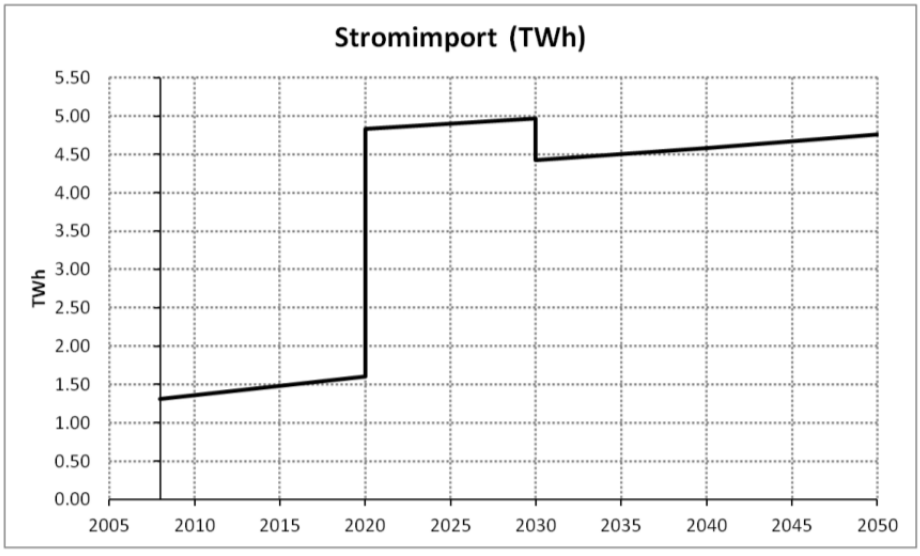


Abbildung 8-9. Stromimport Szenario 2

Durch den Einsatz von HIsarna wird eine Verkleinerung des CO_2-Ausstoßes auf 17 % des Referenzwertes bewerkstelligt. In diesem Szenario wird vorausgesetzt, dass die notwendigen Kapazitäten zur CO_2-Einspeicherung ohne Begrenzung vorhanden sind. Im Bereich von 2030 bis 2050 kommt es zu einem kleinen Anstieg der Emissionen, da die spezifischen Emissionen der EAF-Anlagen in Kombination mit dem Warmwalzprozess etwas höher sind als die der HIsarna-Lösung und eine Verlagerung in Richtung EAF-Produktion bis 2050 stattfindet. Die Abbildung 8-9. zeigt die notwendigen Stromimporte

der Stahl- und Eisenindustrie bis zum Jahr 2050. Durch den Einsatz des TGR-BF mit einer Speicherung des Kohlendioxids steigt die importierte Strommenge ab 2020 erheblich an. Diese Tatsache ist auf den Wegfall des Kraftwerks und den zusätzlichen Energieaufwand für die CO_2-Abscheidung und die erforderliche Luftzerlegung zurückzuführen. Es ist ab 2020 mit dem 3,7-fachen Aufwand an elektrischer Energie zu rechnen, der für die Produktionsstandorte bereitzustellen ist. Der Sprung des Stromimports im Jahr 2020 wird als akzeptabel erachtet und beträgt ca. 5,5 % des österreichischen Gesamtverbrauchs von 2008. Im Jahr 2008 hat der gesamte österreichische Stromverbrauch 58,6 TWh betragen, siehe OEW (2012). Der Energieaufwand für elektrische Energie wurde aus den Daten von IPPC (2001a) und IPPC (2001a) abgeschätzt. Birat (2011) gibt für die Trennung des Kohlenmonoxids und dem Energiebedarf für die Verdichtung des CO_2-Stroms einen Wert von 292 kWh/t CO_2 elektrischen Strombedarf an. Konstatin (2009) schätzt den Energiebedarf für die kryogene Luftzerlegung mit 0,3 kWh/Nm^3 O_2 ab. Mit Einsatz des HIsarna-Prozesses kommt es zu einer Absenkung des Strombedarfs, da einerseits die Sinteranlage und die Kokerei entfallen und andererseits keine Energie für die CO_2-Abtrennung aufgewendet werden muss. Ausgangsdaten für den Stromverbrauch von HIsarna stellen die Referenzdaten von IPPC (2001a) dar, obwohl diese für ein konventionelles Hüttenwerk gültig sind. Zwischen den Technologieänderungen kommt es durch den verstärkten Einsatz von EAF-Anlagen zu einer Steigerung des Strombedarfs. Im Jahr 2050 beträgt der externe Strombedarf 362 % vom Referenzjahr 2008. Die Spitze des Strombedarfs ergibt sich 2030 mit 379 % des Ausgangswertes. Es sei noch einmal darauf verwiesen, dass für eine reale Einsparung an CO_2-Emissionen der elektrische Strom mit einem möglichst kleinen Bedarf an fossilen Energieträgern zu erzeugen ist.

8.1.4.3 Szenario 3

Dieses Szenario konzentriert sich auf Lösungsmöglichkeiten, die ohne den Einsatz der CCS-Technologien auskommen. Es soll der Forderung einer höheren Nachhaltigkeit nachgekommen werden. Der Einsatz von CCS-Technologien führt allgemein zu einem höheren Energieverbrauch und damit auch zu einem erhöhten Einsatz der verwendeten fossilen Energieträger. Diese Aussage ist im Fall der betrachteten Technologien wie TGR-BF oder HIsarna nur begrenzt gültig, da die Eigenheit dieser Prozesse zu einer Verringerung des Reduktionsmittelverbrauchs führt. Trotzdem entsteht in Bezug auf die CO_2-Abtrennung und Speicherung ein zusätzlicher Energiebedarf, der sich in Szenario 2 stark im Stromverbrauch niederschlägt. In Szenario 3 wird die Biomasse als Reduktionsmittel eingeführt. Als die dabei naheliegendste Lösung wird der Einsatz von Holzkohle gesehen. Auch hier wird eine Möglichkeit mit dem ULCORED-Prozess nicht in Betracht gezogen, obwohl technisch statt einer Kohle- eine Biomassevergasung eingesetzt werden könnte. Die Steigerung der Stahlproduktionsrate und des EAF-Anteils gestaltet sich wie in den vorhergegangenen Szenarien. Es wird wie in Szenario 2 der TGR-BF ab 2020 in Kombination mit einer Kokstrockenkühlung installiert. Die Rückführung des Gichtgases in den Hochofen erfordert die Vakuum-Druckwechsel-adsorption zur Trennung eines CO und eines CO_2-reichen Gasstroms. Die weitere Konditionierung des CO_2-Stroms zur Speicherung entfällt. Die Holzkohle substituiert den Anteil an Steinkohle, der durch die Kohleeindüsung in den Hochofen eingebracht wird. Es wird angenommen, dass die chemische Zusammensetzung ähnlich und somit der Kohlenstoffgehalt der Steinkohle und der Holzkohle gleich groß ist. Es wird die gleiche Masse an Holzkohlestaub eingesetzt. Ob diese Annahme tatsächlich zutrifft, ist relativ stark von der verwendeten Steinkohleart abhängig. Ab 2030 wird wieder der HIsarna-

Prozess eingesetzt. Dieser wird ebenfalls mit Holzkohle betrieben, wobei eine 100 %-ige Substitution der Steinkohle vorgesehen ist. Eine Verdichtung zur Speicherung des CO_2-Stroms fällt weg. Ein weiterer Unterschied zum Szenario 2 ist der Einsatz der Pyroelektrolyse ab dem Jahr 2040. Diese Variante ist nur dann als sinnvoll zu erachten, wenn die geforderte Stromproduktion regenerativ bzw. mit sehr geringen CO_2-Emissionen möglich ist. Der Technologiewechsel erfolgt wie im Szenario 2 sprunghaft und ohne Rücksichtnahme auf wirtschaftliche Überlegungen. Abbildung 8-10. zeigt den Emissionspfad bis ins Jahr 2050, wobei nur CO_2-Emissionen berücksichtigt sind, die durch fossile Energieträger zustande kommen.

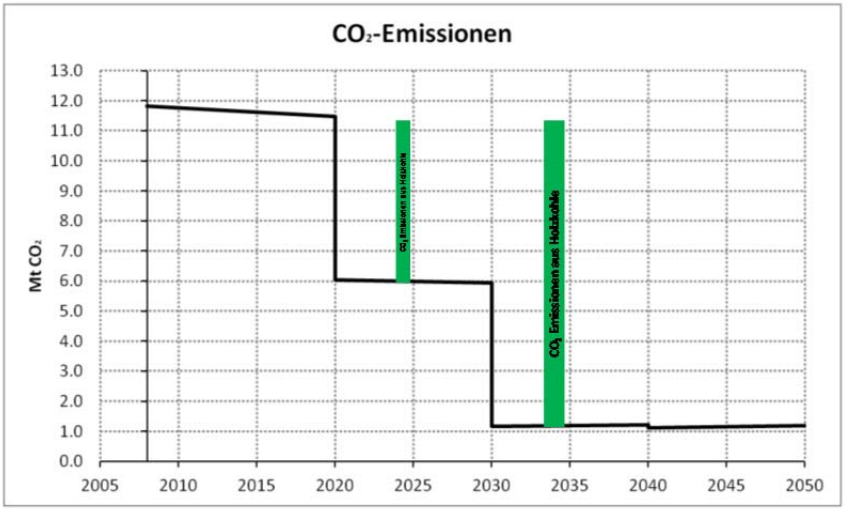


Abbildung 8-10. CO_2-Emissionen Szenario 3

Der TGR-BF mit Holzkohlesubstitution führt im Jahr 2020 zu einer Reduktion auf 51 % des CO_2-Ausstoßes von 2008. Eine weitere Reduktion erfolgt im Jahr 2030 durch die vollständige Substitution mit Biomasse im HIsarna-Reaktor auf ca. 10 % des Referenzwertes. In den Zeitspannen von 2008 bis 2020 und 2020 bis 2030 ergeben sich durch den Einsatz der EAF-Anlagen noch weitere Reduktionen des CO_2-Ausstoßes. Ab dem Jahr 2030 führt die Steigerung des Sekundärstahls wieder zu leicht ansteigenden Emissionen. Grund sind, wie in Szenario 2, die etwas höheren spezifischen Emissionen der Sekundärerzeugungsroute. Die Verwendung der Pyroelektrolyse lässt eine weitere kleine Reduktion der Emissionen auf ca. 9,4 % des Ausgangswertes im Jahr 2040 zu, bis 2050 steigen diese wieder auf ca. 10 % an. Der externe Strombedarf verhält sich bis 2040 ähnlich wie in Szenario 2, siehe Abbildung 8-11.

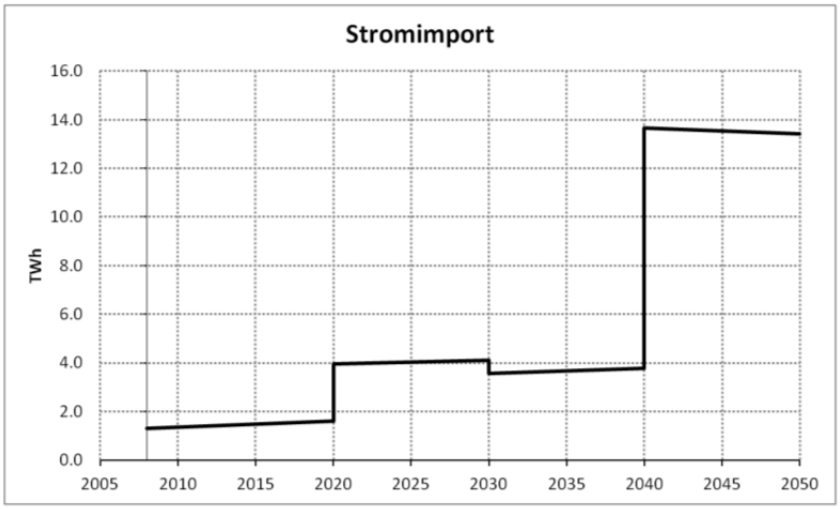


Abbildung 8-11. Stromimport Szenario 3

Der Anstieg des elektrischen Strombedarfs ist für die Varianten TGR-BF und HIsarna durch die Vermeidung der CCS-Technologien etwas vermindert. Trotzdem muss wegen des Fortfalls eines Hüttenkraftwerks der gesamte Strom extern bezogen werden. Der Sprung des Stromimports im Jahr 2020 wird als akzeptabel erachtet, da er ca. 4 % des Gesamtverbrauchs von 2008 ausmacht. Größter Unterschied zum Szenario 2 ist der starke Anstieg des Stromimports im Jahr 2040 durch Einsatz der Pyroelektrolyse zur Erzreduktion, es ergibt sich ein Bedarf von 13,64 TWh. Im Gegensatz zu den Zeitperioden von 2008 bis 2020 und von 2030 bis 2040 führt die Erhöhung des EAF-Anteils in der Zeitperiode von 2040 bis 2050 zu einer Absenkung des Strombedarfs. Im Jahr 2050 beträgt der externe Strombedarf das ca. 10-fache vom Ausgangswert im Jahr 2008. Das bedeutet im Jahr 2040 eine Steigerung des Stromverbrauchs um 17 % des Gesamtverbrauchs vom Jahr 2008. Die Holzkohleverwendung in dem aufgestellten Szenario setzt voraus, dass eine bestimmte Menge an Holz für die Produktion zur Verfügung gestellt werden kann. Durch die bereits aufgestellte Annahme einer ähnlichen Zusammensetzung der Stein- und Holzkohle bleibt die eingesetzte Brennstoffmasse beim TGR-BF gleich. Es werden nach Danloy et al. (2008) und IPPC (2001a) 162 kg Kohle/t_{RS} benötigt. Die Umwandlungsrate von Holz in Holzkohle kann global mit 20 %, bezogen auf die trockene Holzmasse, beziffert werden, siehe Kaltschmitt und Hartmann (2009). Damit benötigt man für den TGR-BF 0,81t Holz/t_{RS} bei Substitution der Kohleeindüsung. Damit ergibt sich im Jahr 2020 der Höchsteinsatz von Biomasse für die TGR-BF-Variante von 5,363 Mio. t Holz trocken. Für den HIsarna-Prozess wird eine CO_2-Menge von 1296 kg/t_{RS} abgeschätzt, die durch den Biomasseeinsatz entsteht. Das entspricht einem Kohlenstoffeinsatz von 353 kg/t_{RS}. Für die Holzkohle wird ein Kohlenstoffgehalt von 0,8 kg pro kg Brennstoff roh veranschlagt. Daraus lässt sich ein Wert von 441 kg Holzkohle/t_{RS} ermitteln. Der HIsarna-Prozess benötigt pro Tonne Rohstahl 2205 kg Holz. Der größte Bedarf an Biomasse wird im Jahr 2030 mit einem Wert von 14 Mio. t Holz trocken erzielt. Im Vergleich dazu schätzt BMLFUW und BMWFJ (2011) die Biomasseentnahme in Österreich im Jahr 2008 mit 14,8 Mio. t Holz ab. Soll die Holzkohle nur aus österreichischer Biomasse bereitgestellt werden, dann muss die Entnahme von Holz in Bezug auf 2008 im Jahr 2020 um ca. 1/3 gesteigert und im Jahr 2030 verdoppelt werden. Die österreichische Holzwirtschaft wird die drastischen Anstiege, welche durch die diskreten Technologieänderungen entstehen, aus realer Sichtweise nicht abdecken. Zusätzlich zeigt Szenario 3 im Jahr 2040 eine vollständige Umstellung auf die

Stromwirtschaft. Dies ist nicht plausibel, da in den Jahrzehnten zuvor ein Umbau der Eisen- und Stahlindustrie in Richtung Biomasse bzw. der Holzwirtschaft erfolgen muss. Es wird nicht damit gerechnet, dass die elektrischen Energieversorger den Sprung von fast 10 TWh im Jahr 2040 ohne massiven Ausbau der Kapazitäten oder erhöhte Stromimporte bewältigen. Um einen besseren Übergang für die an die Stahlindustrie gekoppelten Industrien zu erreichen wird das Szenario 3 adaptiert und ein Alternativszenario aufgestellt. Die eingesetzten Technologien bleiben unverändert. Um weniger drastische Sprünge im Bedarf der Biomasse und des elektrischen Stroms zu realisieren, erfolgt ein kontinuierlich gesteigerter Einsatz der Holzkohle sowie der Pyroelektrolyse. Ab dem Jahr 2020 erfolgt der Einsatz des TGR-BF. Im Gegensatz zu vorheriger Betrachtung wird zuerst der gesamte Prozess mit Kohle betrieben und der Einsatz von Holzkohle kontinuierlich bis zum Jahr 2030 gesteigert, bis der Kohlestaub zu 100 % substituiert ist. Ab dem Jahr 2030 erfolgt die Ablösung durch die HIsarna-Technologie, wobei deren Betrieb bei ca. 45 % Holzkohleeinsatz startet. Im folgenden Jahrzehnt wird der Anteil an Holzkohle bis auf 75 % erhöht. Damit der Strombedarf nicht zu stark im Jahr 2040 anwächst, erfolgt im Zeitraum von 2040 bis 2050 der fortlaufende Ausbau der Pyroelektrolyse, bis der Produktionsanteil an Primärstahl 30 % erreicht. Im gleichen Zeitraum wird beim HIsarna-Prozess der Holzkohleanteil auf 100 % gesteigert, wobei 70 % der Primärstahlproduktion abzudecken sind. Abbildung 8-12. zeigt die CO_2-Emissionen für das alternative Szenario. Der einzige markante Sprung in der Reduktion des CO_2-Ausstoßes erfolgt im Jahr 2020 durch die Inbetriebnahme des TGR-BF. Danach wird durch den kontinuierlichen Brennstoffwechsel eine stetig verlaufende Reduktion des Kohlendioxids herbeigeführt. Abbildung 8-13. zeigt die Stromimporte für das neue Szenario. Im Gegensatz zur vorhergegangenen Betrachtung gibt es im Jahr 2040 keinen plötzlichen Anstieg des Stromverbrauchs, sondern einen gleichmäßig verlaufenden Anstieg bis 2050 durch den Ausbau der Pyroelektrolyse auf 30 % Produktionsanteil. Der größte geforderte Stromimport ergibt sich im Jahr 2050 mit 6,8 TWh, das entspricht ca. 12 % des Referenzverbrauchs für Österreich. Der Verlauf des Biomassebedarfs in Form von Holz ist in Abbildung 8-14. dargestellt. Ab 2020 steigt der Bedarf an Biomasse kontinuierlich bis 2030 durch die steigende Substitution von Kohlestaub im TGR-BF an. Mit dem Einsatz der HIsarna-Technologie bei einer Rate von 45 % Holzkohleanteil stellt sich ein Sprung im Bedarf ein. Dieser fällt mit 1,2 Mt aber geringer aus als die bisher dargestellten. Der größte Bedarf an Holz entsteht im Jahr 2040 mit 10,1 Mt und umgerechnet ca. 2,02 Mt Holzkohle. Dieser Wert entspricht immer noch 68 % der in Österreich im Jahr 2008 entnommenen Menge an forstwirtschaftlicher Biomasse. Dazu muss weiter erwähnt werden, dass für die Produktion von Holzkohle zur Verwendung in der Eisen- und Stahlindustrie mittelschwere bis schwere Laubhölzer einzusetzen sind Kaltschmitt und Hartmann (2009). Es ergibt sich nach einer Umrechnung von BMLFUW (2009) für Hartlaubholz ein Bedarf von 17,3 Mfm (Millionen Festmeter).

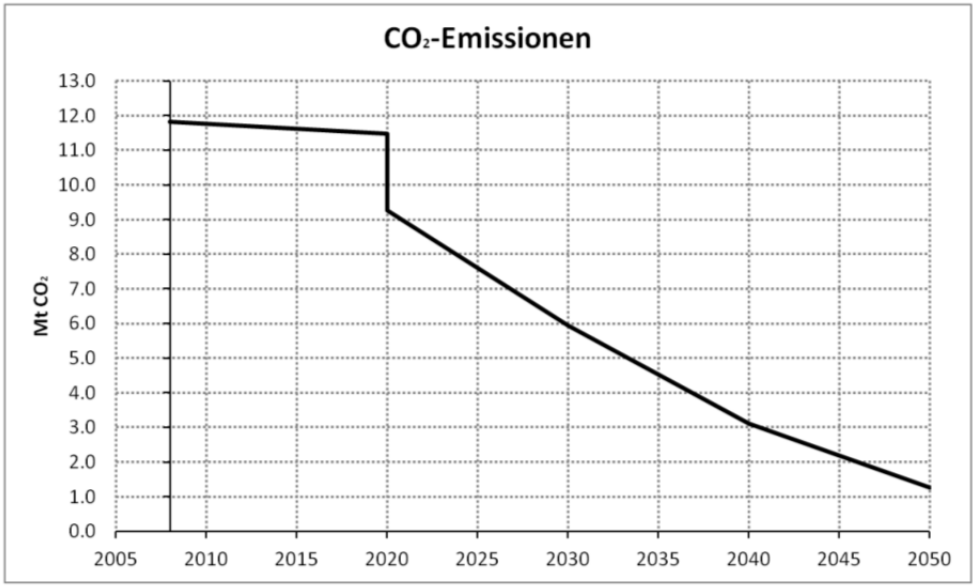


Abbildung 8-12. CO_2-Emissionen Szenario 3a

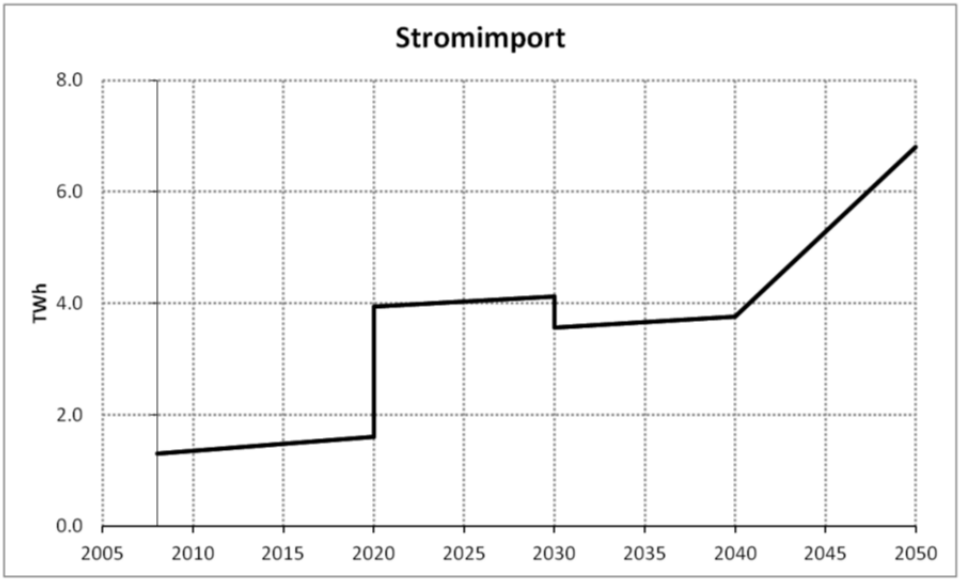


Abbildung 8-13. Stromimport Szenario 3a

Ab 2040 erfolgt ein Rückgang des Bedarfs, da die Pyroelektrolyse einen Teil der Produktion übernimmt. Der große Unterschied zum Szenario 3 ist, dass sich die Holzwirtschaft über längere Zeiträume an diesen Bedarf anpassen kann. Ob die geforderte Steigerung durch österreichische Biomasse erfolgen kann, scheint aus heutiger Sicht eher unrealistisch, da die Arbeiten zum Biomassepotenzial in Österreich wie Kranzl und Haas (2009) bisher nicht mit einem großtechnischen Einsatz von Holzkohle in der Eisen- und Stahlindustrie gerechnet haben. Holz als Rohstoff ist in Österreich in der Papier-, Zellstoff und Plattenindustrie besonders wichtig. Zukünftig soll forstwirtschaftliche Biomasse auch verstärkt zur Bereitstellung von Wärme, Strom und biogenen Treibstoffen dienen. Es ist abzusehen, dass die vom Eisenhüttenwesen geforderte Holzmenge nicht einfach zur Verfügung zu stellen sein wird und ein großer

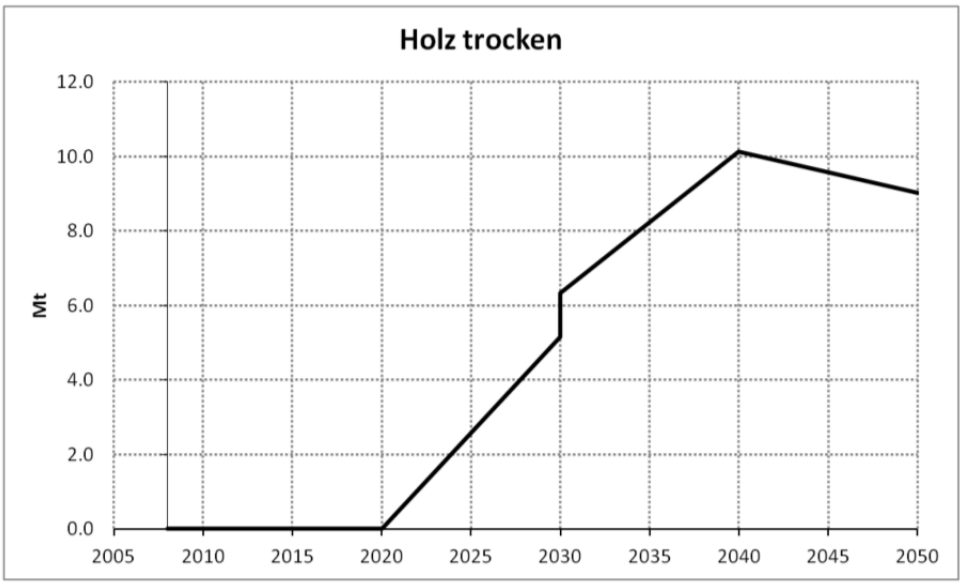
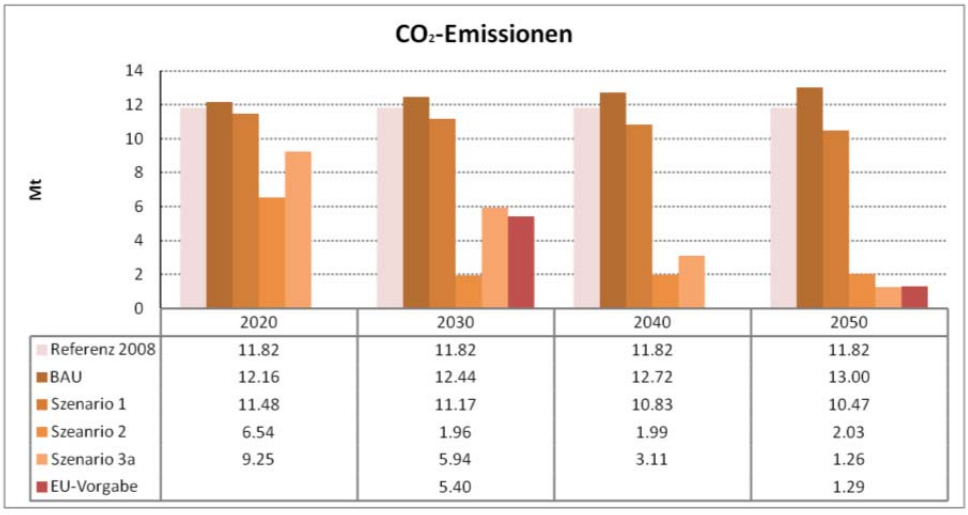


Abbildung 8-14. Biomasseverbrauch Szenario 3a

Ausbau an Holzkohleproduktionsstätten zu erfolgen hätte. Eine Abdeckung ist nur über den in Birat (2010) vorgeschlagenen Import von Biomasse möglich, z. B. durch Holzkohle aus tropischen Regionen. Es ist wichtig, dass die Biomasseproduktion inklusive dem Transport regenerativ verläuft, um die Emissionsvorteile aufrecht zu erhalten. Ob Biomasse unter heute realen Bedingungen aus tropischen Regionen regenerativ bis nach Europa gelangt, muss angezweifelt werden. Die Beschaffung der Biomasse bleibt eine der herausforderndsten Problemstellungen in diesem Szenario.

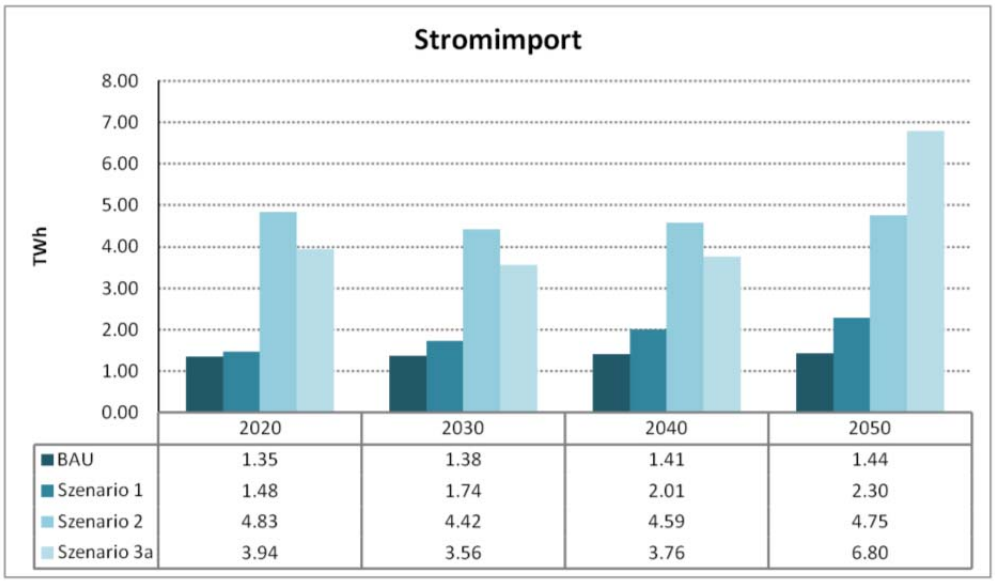
8.1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse



	2020	2030	2040	2050
Referenz 2008	11.82	11.82	11.82	11.82
BAU	12.16	12.44	12.72	13.00
Szenario 1	11.48	11.17	10.83	10.47
Szeanrio 2	6.54	1.96	1.99	2.03
Szenario 3a	9.25	5.94	3.11	1.26
EU-Vorgabe		5.40		1.29

Abbildung 8-15. Vergleich der CO_2-Emissionen für die aufgestellten Szenarien

Die Abbildung 8-15. und Abbildung 8-16. fassen die CO_2-Emissionen und die notwendigen Stromimporte für die verschiedenen Szenarien zusammen. Neben den CO_2-Emissionen finden sich in Abbildung 8-15. auch der Referenzwert von 2008 und die berechnete Reduktionsvorgabe der EU für die Jahre 2030 und 2050.



	2020	2030	2040	2050
BAU	1.35	1.38	1.41	1.44
Szenario 1	1.48	1.74	2.01	2.30
Szenario 2	4.83	4.42	4.59	4.75
Szenario 3a	3.94	3.56	3.76	6.80

Abbildung 8-16. Vergleich der Stromimporte für die aufgestellten Szenarien

Die Vorgabe wurde aus den Produktionsdaten für das Jahr 1990 und einer Annahme für die spezifische Emission der österreichischen Stahlindustrie von 2 t CO_2/t_{RS} gebildet. Im Vergleich mit den heutigen spezifischen Emissionen sind die Energieeffizienzsteigerungen der letzten 20 Jahre berücksichtigt. Es ergibt sich ein Emissionswert von 8,58 Mt CO_2 für das Jahr 1990. Entsprechend den EU-Vorgaben sollen diese bis 2030 um 37 % und bis 2050 um 85 % reduziert werden. Zusätzlich ist auch ein BAU-Szenario (Business-as-usual) eingefügt. Ein BAU-Szenario führt durch die Erhöhung der Stahlproduktion um 10 %, gegenüber dem Jahr 2008, zu einer Erhöhung der Emissionen. Das Szenario 1 ohne CO_2-arme Produktionstechniken kann zu keinem Zeitpunkt die geforderten Reduktionsvorgaben der EU erfüllen. Die größten Einsparungen bis 2020 ergeben sich für das kohlebasierte Szenario 2 mit der CCS-Technologie. Dieses unterschreitet im Jahr 2030 die abgeschätzten EU-Vorgaben um 64 %. Zum Vergleich ist das alternative Szenario 3a aufgetragen, welches im Jahr 2020 um 2,7 Mt und im Jahr 2030 um 4 Mt mehr CO_2 emittiert. Dieses Szenario überschreitet die berechnete EU-Vorgabe um ca. 10 % des geforderten Wertes. Das kohlebasierte Szenario kann bis 2040 und 2050 keine weitere Reduktion herbeiführen. Es zeigt sogar leicht steigende Tendenz, was zu einer Verfehlung des EU-Ziels von 57 % führt. Der stetig steigende Anteil an Biomasse und der Einsatz der Pyroelektrolyse führen zu den niedrigsten CO_2-Emissionen im Jahr 2050 für das Szenario 3a, als auch zur Einhaltung der gestellten Forderungen. Die Stromimporte ergeben ein etwas anderes Bild. Hier hat das BAU-Szenario den geringsten Bedarf an externem Strom. Das Szenario zeigt gegenüber dem BAU eine immer größer werdende Differenz auf Grund der Erhöhung des EAF-Anteils. Den größten externen Bedarf an Strom haben zu allen Zeitpunkten die Szenarien 2 und 3a. Dies erklärt sich einfach durch den Wegfall eines Hüttenkraftwerks. In den Jahren 2020 bis 2040 zeigt der kohlebasierte Fall auf Grund des erhöhten Strombedarfs für die Abtrennung und die Speicherung des Kohlendioxids einen höheren Strombedarf als das biomassebasierte Szenario 3a. Im Jahr 2050 zeigt dann Szenario 3a den höchsten externen Strombedarf durch die erhöhte Anforderung der Pyroelektrolyse. Für alle hier dargestellten alternativen zum BAU-Szenario wird klar, dass ein Teil der Energie zur Stahlproduktion und der damit verbunden Emissionen ausgelagert wird. Diese Tatsache erfordert in allen Fällen eine regenerative oder CO_2-arme Stromerzeugung.

8.1.6 Ausblick

An die Eisen- und Stahlindustrie wird als eine der Schlüsselindustrien die Forderung einer erheblichen Reduktion der CO_2-Emissionen gestellt. Der derzeit am weitesten verbreitete Weg zur Eisenerzreduktion über den Hochofen ist durch eine stetige Weiterentwicklung in den letzten 60 Jahren an seine thermodynamischen Grenzen gestoßen. Es wird nicht erwartet, dass noch weitere große Einsparungen an Reduktionsmitteln erfolgen können. Diese Situation erfordert die Entwicklung neuer und CO_2-freier Produktionstechnologien. Die in dieser Arbeit gezeigten Analysen berufen sich auf die Ergebnisse, die bisher im ULCOS-Projekt gemacht wurden, welches sich mit der Erforschung und Entwicklung solcher Technologien beschäftigt. Mit Hilfe der dort vorgestellten Prozesse wurden mögliche Wege bis in das Jahr 2050 skizziert, wie eine CO_2-Reduktion der österreichischen Stahlindustrie aussehen könnte. Für drei verschiedene Szenarien sind die CO_2-Emissionspfade ermittelt worden. Die Betrachtungen beziehen sich ausschließlich auf standortbezogene Emissionen. Es bleiben also solche unberücksichtigt, die durch den Transport oder die Umwandlung von Energieträgern außerhalb der Hütten entstehen. Die Szenarien können durch ihre Ambition unterschieden werden. Im Szenario 1 erfolgen lediglich die Anhebung der Sekundärstahlerzeugung mit Stahlschrott und die Installation einer KTK. In Szenario 2 kommen die ULCOS-Prozesse Hochofen mit Gichtgasrückführung und die Schmelzreduktion HIsarna zum Einsatz. Dieses Szenario setzt weiterhin auf den Einsatz von Kohle als Reduktionsmittel und muss daher mit CCS-Technologien kombiniert werden. Das dritte Szenario kommt ohne die Speicherung von CO_2 aus, und basiert zu einem überwiegenden Teil auf der Verwendung von Holzkohle und dem Einsatz des Konzepts der direkten Elektrolyse zur Reduktion von Eisenerz. Das dritte Szenario zeigt die größten Schnittstellen mit anderen Wirtschaftszweigen. Deshalb wurde ein alternatives Szenario mit denselben Technologien gebildet, welches geringere realistische Anforderungen an diese Wirtschaftszweige stellt. Grundsätzlich sind die hier angestellten Analysen rein technologische Betrachtungen, die ungeachtet auf wirtschaftliche Rahmenbedingungen einen Weg der maximalen CO_2-Ersparnis zeigen. Dadurch stellen sich je nach abgeschätzter Verfügbarkeit meist diskrete und in geringem Zeitabstand vorgesehene Wechsel der Technologien ein. Für alle Szenarien ist ein Wachstum der österreichischen Stahlproduktion von 10 % des Referenzjahres 2008 vorgesehen. Die österreichische Eisen- und Stahlindustrie erzeugte im Jahr 2008 11,8 Mt CO_2. In S1 erfolgt eine Reduktion auf 10,47 Mt, in S2 auf 2,03 Mt und in S3a auf 1,26 Mt im Jahr 2050. Entsprechend den abgeschätzten Vorgaben der EU kommt es nur im Szenario 3a zur Einhaltung des geforderten Grenzwertes. Alle betrachteten Szenarien zeigen einen erhöhten Bedarf an elektrischem Strom und verlagern Emissionen zu den Stromerzeugern. Daher ist eine regenerative und CO_2-arme Stromproduktion in einer Gesamtemissionsbetrachtung von großer Bedeutung. Das Szenario 1 ist theoretisch sofort umsetzbar, aber es ist auch mit der geringsten Wirkung verbunden. Die größten Herausforderungen ergeben sich für das Szenario 2 im Auffinden geeigneter CO_2-Lagerstätten, welche technisch sinnvoll sind und den rechtlichen Rahmenbedingungen entsprechen. In dem Szenario wurde bisher nur mit einer Verdichtung des CO_2-Stroms gerechnet, um eine Speicherung in geologisch tiefen Erdschichten zu ermöglichen. Es kann auch eine mineralische Speicherung von CO_2 angedacht werden, welche nach Birat (2010) geringe Aussichten in Hinsicht auf die einzuspeichernden Mengen der Stahlindustrie zeigt. Eine geologische Einspeicherung von CO_2 ist in Österreich per Bundesgesetz seit dem 07.12.2011 verboten und nur noch für Forschungszwecke erlaubt, siehe BGB (2011). Unter diesen gegebenen Bedingungen müsste für das Szenario 2 eine

Infrastruktur errichtet werden, um das CO_2 zu Lagerstätten ins Ausland zu fördern. Projekte zum Thema CO_2-Speicherung werden von der Austrian Energy Agency betrieben, z. B. ”CCS-Technologien, technische Anforderungen und gesetzliche Rahmenbedingungen in Österreich“ AEA (2012). Ist eine Speicherung weder im Ausland noch im Inland realisierbar, kann mit dem reinen Betrieb des TGR-BF und Kohleeinsatz die ausgestoßene CO_2-Menge auf 8,5 Mt bis 2050 reduziert werden. Die in Szenario 2 verwendeten Technologien TGR-BF und HIsarna sind derzeit noch nicht im industriellen Maßstab verfügbar. Es befinden sich für beide Anlagentypen Demonstrator- bzw. Pilotanlagen in Betrieb oder im Bau. Der TGR-BF ist dabei das bisher am weitesten entwickelte System und kann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ab 2020 industriell genutzt werden. Die Schätzungen für HIsarna belaufen sich auf das Jahr 2030, was mit einer wesentlich größeren Unsicherheit behaftet ist. Beide Prozesse erfordern noch ein großes Maß an Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Das Szenario 3a ist als das Ambitionierteste zu sehen, da es vollständig auf CCS-Technologien verzichtet und versucht auf regenerativer Biomasse und dem modernen Prozess der direkten Elektrolyse aufzubauen. Die Entwicklung der Elektrolyse zur Eisengewinnung befindet sich momentan noch in der Erprobungsphase im Labormaßstab. Dieser Prozess ist mit den größten Unsicherheiten verbunden, wenn es um die Abschätzung eines Zeitpunkts für die industrielle Umsetzung geht. Er erfordert die größten Forschungsaktivitäten sowie Investitionskosten und ist mit dem höchsten finanziellen Risiko behaftet. Eine weitere Schwierigkeit bei der Umsetzung von Szenario 3a liegt im hohen Biomassebedarf in Form von Holzkohle. Die österreichische Forst- und Holzwirtschaft müsste sich einem großen Wandel unterziehen um die 2 Mt Holzkohle die bis zum Jahr 2040 gefordert sind abzudecken. Dagegen steht die Angabe von Biomasseverband (2012), aus welchem ein Holzkohleeinsatz in Österreich von ca. 17.000 t für das Jahr 2009 ersichtlich ist. In einer ersten Abschätzung wird nicht davon ausgegangen, dass Österreich diese geforderten Mengen auf regenerativem Weg selber abdecken kann, da Biomasse auch in anderen Bereichen für eine nachhaltige Energiewirtschaft z. B. zur Strom- und Wärmeerzeugung bis 2050 eine wichtige Rolle spielen soll. Es gibt derzeit keine Studien, die sich mit den österreichischen Biomassepotenzialen beschäftigen und einen erhöhten Bedarf durch die Eisen- und Stahlindustrie mitberücksichtigen. Es sind weitere Forschungsaktivitäten erforderlich, welche die Einbindung der österreichischen Stahlindustrie in ein Biomasseszenario vorsehen. Die hier gezeigten Ergebnisse verstehen sich als Startpunkt zu solchen Überlegungen. Es können folgende Erkenntnisse getroffen werden. Alle Szenarien bis auf S1 müssen sich noch intensiver Forschung bis zu ihrer möglichen Umsetzung unterziehen, da die technologischen Voraussetzungen der meisten Prozesse für einen industriellen Einsatz zum derzeitigen Zeitpunkt nicht gegeben sind. Eine Reduktion der CO_2-Emissionen wird dabei durch die Abtrennung und Speicherung, die Verschiebung der Emissionen in Richtung Stromwirtschaft und den Einsatz von Biomasse bewerkstelligt. Die dabei größten Probleme entstehen im Zusammenhang mit CO_2-Speichermöglichkeiten und der Versorgung mit regenerativem Strom und nachhaltig erzeugter Biomasse. Neben den für diese Arbeit zugrunde gelegten Prozessen für eine CO_2-freie Stahlproduktion existieren noch weitere, deren Einsatz nicht vollkommen ausgeschlossen werden soll, z. B. ULCORED-Prozess, FINEX etc. Um den Klimavorgaben der Europäischen Union nachzukommen sind weitreichende strukturelle Änderungen der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie notwendig. Dieser Übergang wird nur dann gelingen, wenn die Wirtschaftlichkeit der Umrüstung gegeben ist, also bei einem entsprechend hohen CO_2-Preis für ausgestoßene Emissionen unter der Voraussetzung,

dass der CO_2-Handel weltweit innerhalb gleicher gesetzlicher Rahmenbedingungen stattfindet.

8.2 Mögliche Pfade zur CO_2-Emissionsreduktion in der Zementindustrie:

8.2.1 Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt die Möglichkeiten, um ausgehend von realen Daten eines Zementwerks mögliche Änderungen hinsichtlich Energieeffizienz bzw. Reduktion von CO_2-Emissionen zu bewerten. Für diese Untersuchungen wurde ein Modell eines Zementwerks mit Hilfe eines Prozesssimulationsprogramms erstellt und mit realen Daten kalibriert und validiert. Ausgehend von dem entwickelten Modell des gesamten Zementproduktions-prozesses können nun verfahrenstechnische Änderungen, bauliche Maßnahmen und Abscheidestrategien berechnet und damit nicht nur qualitativ beurteilt werden. Um eine Struktur für die Beurteilung der Modifikationen zu generieren, werden zwei Blöcke gebildet. In dem ersten Block werden Modifikationen zur Steigerung der Energieeffizienz behandelt. Ausgehend von diesen Ergebnissen werden zwei Referenzprozesse ausgewählt. An diesen Referenzprozessen werden dann im zweiten Block verschiedene Maßnahmen zur CO_2-Abscheidung untersucht (vgl. Abbildung 8-17.). In weiterer Folge werden dann die Ergebnisse aus den Rechnungen verwendet, um einen Verlauf der klimarelevanten Kohlendioxidemissionen unter Einbeziehung der aktuellen Literatur zu diesem Thema bis 2050 zu prognostizieren. Zusätzlich werden mögliche Stromimporte, -bzw. -exporte, die von Technologieänderungen herrühren, einbezogen. Dabei sollen die Möglichkeiten für:

- Steigerung der Energieeffizienz bei der Herstellung,
- Abwärmenutzung,
- Substitution von fossilen Brennstoffen,
- Verminderung des Klinker zu Zement-Verhältnisses
- CO_2-Abscheidung (CCS)

zur Verminderung der CO_2-Emissionen betrachtet werden. Es werden drei Szenarien definiert, welche die unterschiedliche Ambition der Verminderung des CO_2-Ausstoßes darstellen. Dadurch sollen die technisch realisierbaren Möglichkeiten der Zementindustrie zum Erreichen von politischen Klimazielen dargestellt werden. Des Weiteren sollen die ausgearbeiteten Szenarien ein Gefühl für die Größenordnung der notwendigen Treibhausgasreduktion anderer Emittenten, wie zum Beispiel des Energiesektors oder des Verkehrssektors, geben.

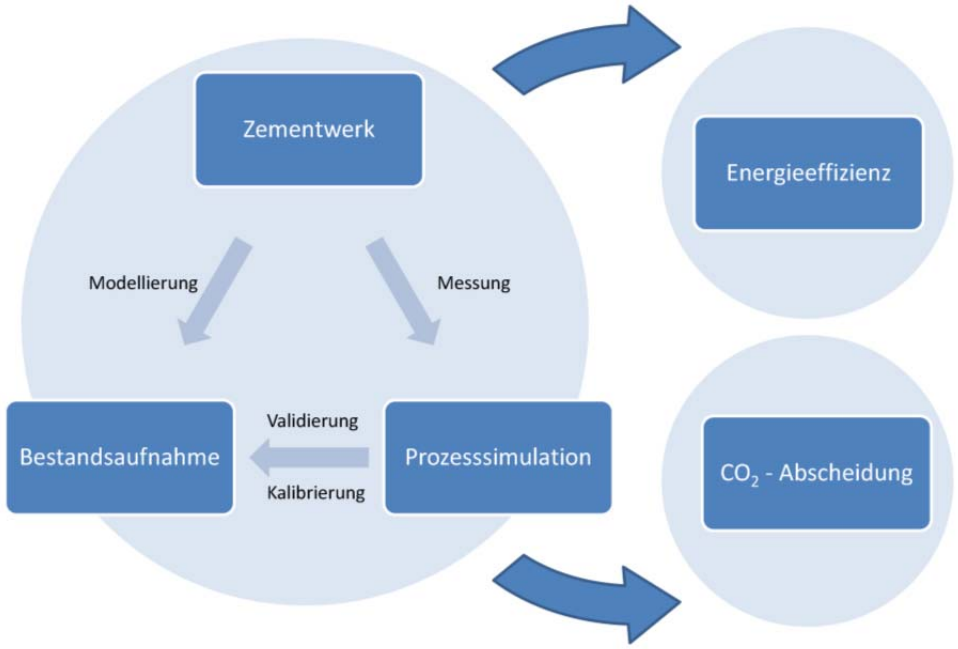


Abbildung 8-17. Übersicht der Arbeitsschritte im Bereich der Zementindustrie

8.2.2 Ausgangslage

Die österreichische Zementindustrie ist an 12 Standorten mit je einem Werk vertreten, wobei neun Zementwerke mit Klinkerproduktion (Klinker ist der Hauptbestandteil von Zement) sowie drei Mahlwerke für Zement und eine Umladestation für Zement betrieben werden (siehe auch Abbildung 8-18.).

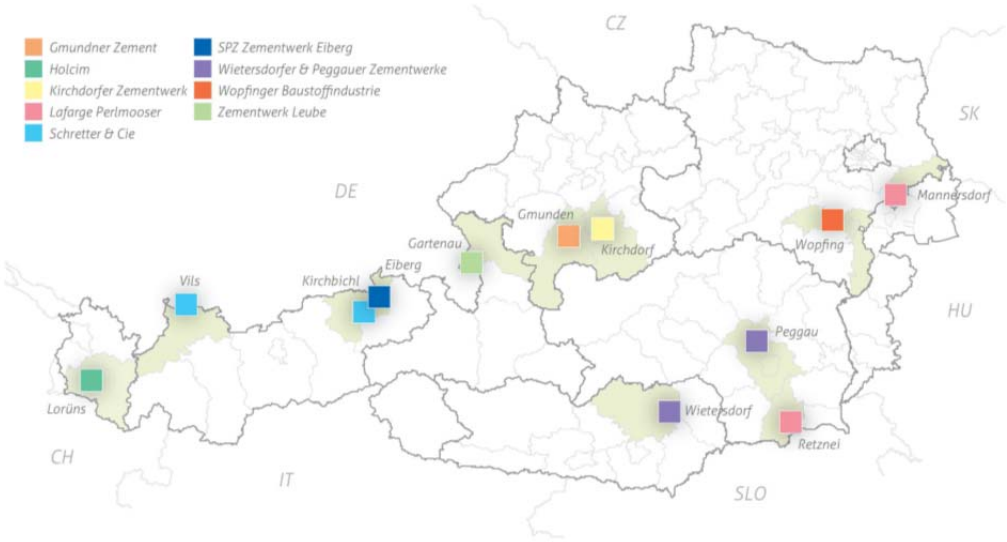


Abbildung 8-18. Österreichische Zementwerkstandorte aus. (Quelle: VÖZ, 2009a)

Ausgewählte Hauptparameter für die Zementproduktion sind in der folgenden Tabelle 8-4 dargestellt (nach VÖZ, 2009b).

Tabelle 8-4. Daten der österreichischen Zementindustrie

Zementproduktion	5,3	$Mio.t_{Zement}/a$	4	$Mio.t_{Klinker}/a$
spez. Energieeinsatz thermisch	2800	kJ/kg_{Zement}	3700	$kJ/kg_{Klinker}$
spez. CO_2 - Emissionen	600	kg_{CO2}/t_{Zement}	800	$kg_{CO2}/t_{Klinker}$

Um ein Gefühl für die Größenordnung von Zementwerken zu erzeugen, sind in Abbildung 8-19. exemplarisch Daten österreichischer und deutscher Zementwerke angeführt (Daten aus Ziehm, 2010; VDZ, 2009 und Baaske et al., 2007). Es zeigt sich beim Vergleich zwischen Österreich und Deutschland, dass ähnliche maximale Baugrößen hinsichtlich der Kapazität vorhanden sind, aber in Deutschland ist die *durchschnittliche* Kapazität doch deutlich größer. Bezüglich des spezifischen Energiebedarfs kann gesagt werden, dass dieser schon sehr nahe am technisch möglichen Optimum liegt. Ausgehend von einer kompletten Bestandsaufnahme (Polysius, 2008) der bestehenden Ofenanlage eines Zementwerkes der Rohrdorfer Gruppe, wird in einem numerischen Prozess-simulationsprogramm ein Referenzmodell erstellt, das den derzeitigen Zustand des Zementwerks abbildet. Bei der Modellierung der gesamten Anlage sollen die chemischen Reaktionen der Klinkerbildung, soweit es für die Energiebilanzen notwendig ist, berücksichtigt werden. Alle Eingabeparameter wie z. B. Brennstoffdaten, Rohmehl-aufgabe, Falschluft, Strahlungsverluste werden gemeinsam mit Komponentendaten z. B. Abscheidegraden, Aufteilungsverhältnissen aus den Daten der Bestandsaufnahme entnommen. Das Ergebnis stellen dann Ausgabedaten wie z. B. Klinkerproduktion oder Abgaseigenschaften dar. Die Kalibrierung des Modells kann mit den Ausgabedaten und mit den Messdaten erfolgen. In Abbildung 8-17. wird diese Vorgehensweise grafisch dargestellt. Ausgehend von dem kalibrierten Referenzmodell, sollen Lastfälle betrachtet werden, die die Energieoptimierung des Zementprozesses beschreiben und Abwärmepotenziale berücksichtigen. Weiters werden die Möglichkeiten der CO_2-Abscheidung energetisch bewertet.

	Österreich			Deutschland		
	klein	mittel	groß	klein	mittel	groß
Standort	Wolpfing	Gmunden	Mannersdorf	Rüderdorf	Höver	Lägerdorf
Kapazität in $t_{Klinker}/a$	240000	512000	1100000	173000	924000	1400000
durchschittliche Kapazität	1450 $t_{Klinker}/d$			2170 $t_{Klinker}/d$		
Energiebedarf	3600 $kJ/kg_{Klinker}$					

Abbildung 8-19. Vergleich der Größenordnung von Zementwerken

8.2.3 Emissionsprognose für die Zementindustrie

Die Ergebnisse der Berechnungen zur Energieeffizienz und CO_2-Abscheidung (Konfiguration 1 bis 10) sollen als Grundlage für die Bestimmung des möglichen Verlaufs der CO_2-Emissionen bis ins Jahr 2050 dienen. Es werden Szenarien erstellt, die ausgehend vom derzeitigen Stand die technischen Lösungen zur CO_2-Einsparung in der Zementindustrie beleuchten.

Einsparpotenziale

Aus beschriebenen verfahrenstechnischen Gegebenheiten in der Zementproduktion ergeben sich folgende Möglichkeiten zur CO_2-Einsparung:

- **Steigerung der Energieeffizienz bei der Herstellung:**
  Durch Modernisierung bzw. Neubau lässt sich laut BREF (2010) der spezifische Energieeinsatz auf 2900 – 3300 MJ/tKlinker reduzieren. Da der spezifische Energieeinsatz mit der Baugröße sinkt, kann für die in Österreich vorhandenen Baugrößen eine Reduktion auf 3300 – 3600 MJ/tKlinker (vgl. Österreich 2008 ca. 3700 MJ/tKlinker (VÖZ, 2009b)) angenommen werden. In den Berechnungen zur Energieeffizienz erreichte das Referenzwerk 2 (Stand der Technik) einen spezifischen Energieeinsatz von 3434 MJ/tKlinker.

- **Abwärmenutzung:**
  Aus der Nutzung aller thermischen Abwärmequellen kann bei der Zementproduktion elektrischer Strom gewonnen werden. Der spezifische Wert dafür ist baugrößenabhängig und liegt bei ca. 20 – 45 kWh/t Klinker (siehe auch Harder, 2011). Das Referenzwerk 2 ist mit einem Wert von 24,9 kWh/t Klinker eher am unteren Ende des angegebenen Bereichs angesiedelt.

- **Substitution von fossilen Brennstoffen:**
  Derzeit arbeitet die österreichische Zementindustrie mit einem sehr hohen Ersatzbrennstoffenergieanteil von >55 % (inkl. fossiler Ersatzbrennstoffe). In internationalen Studien z. B. IEA (2009c) bewirken alle Ersatzbrennstoffe, (jeder Brennstoff, der nicht primär fossiler Brennstoff, wie Kohle, Erdöl oder Erdgas ist), eine CO_2-Einsparung. Diese Definition wird in dieser Arbeit nicht übernommen, nur regenerativer Brennstoff (z. B. Biomasse) liefert eine Einsparung. Der Einsatz von regenerativem Brennstoff ist aber hinsichtlich Verfügbarkeit und verfahrenstechnischen Eigenschaften sehr limitiert und liegt mit derzeit 10 % schon sehr hoch.

- **CO_2 - Abscheidung und Speicherung (CCS):**
  Für einen möglichen Einsatz von CO_2 - Abscheidetechnologien kann Anleihe aus der Elektrizitätswirtschaft genommen werden. Dort befinden sich Anlagen für die CO_2-Abscheidung in der Demonstrationsphase. Für den Zementproduktionsprozess kommt zum einen die Abscheidung am Ende des Prozesses die sogenannte Post Combustion Capture - Methode (PCC) in Frage. Wenn die Abscheidung mit eigenen Ressourcen bewerkstelligt werden soll, kann hier Aufgrund des notwendigen thermischen Aufwands von ca. 20 % Abscheidegrad ausgegangen werden. Zum anderen stellt die Oxyfuel-Verbrennung mit Abscheidegraden von 45-95 % eine weitere Option dar. Diese Technologie bedingt hohen Umrüstungs- und hohen elektrischen Aufwand. Die benötigte elektrische Leistung kann mit eigenen Ressourcen nicht aufgebracht werden und muss dem Werk von außen zugeführt werden (90 kWh/t Klinker).

- **Änderung des Klinker zu Zement-Verhältnisses:**
  Durch eine höhere Beimengung von Zusatzstoffen in den Zement kann der, in der Produktion, energieintensive Klinker eingespart werden. Es wird lt. IEA (2009c)

ein Verhältnis von 71 % angepeilt. Derzeit liegt der Faktor des Zementverhältnisses bei rund 76 %.

8.2.4 Gewählte Szenarien

Nach IEA (2009c) wird von einem Anstieg der Zementproduktion von 1 % pro Jahr in Europa ausgegangen. Dies entspricht in etwa der Tendenz der österreichischen Zementproduktion bis 2007 (VÖZ, 2009b). Diese Steigerung ist mit der Produktionskapazität der derzeitig vorhandenen Standorte erzielbar. Es wird daher mit gleichbleiben 9 Standorten bis 2050 gerechnet. Die angenommenen Zeitpläne für die Umsetzung der Technologien wurden mit IEA (2009b) abgeglichen.

BAU

Das Business-as-usual-Szenario (BAU) zeigt als Vergleich zu den Szenarien mit CO_2-Einsparung die derzeitige Situation extrapoliert über die Zeit.

SZ1 NoCCS

Da die Umsetzung der CO_2-Abscheidung vor allem auch eine Frage der Möglichkeit der Speicherung darstellt, soll dieses Szenario alle Möglichkeiten bis auf CCS ausschöpfen. Mit den dafür notwendigen Verbesserungen stellt dieses Szenario daher ein sehr ambitioniertes Ziel für die Zementindustrie dar. Folgende Einsparungspotenziale werden herangezogen:

- Die Umrüstung und/oder der Neubau von Zementwerken senkt den spezifischen Energieverbrauch auf 3300 MJ/t Klinker. Der Zeitplan sieht vor, dass bis 2020 ein Zementwerk (ZW) verbessert wird, bis 2030 5 ZW, bis 2040 8 ZW und bis 2050 sind alle österreichischen Standorte (9) auf den angegebenen Energieverbrauch optimiert worden.

- Der Anteil an regenerativen Brennstoffen wird bis 2050 von ca. 8 % auf 16 % linear erhöht.

- Das Zement- zu Klinker-Verhältniss senkt sich bis 2050 linear auf 71 %.

- Es wird eine Ausnutzung der Abwärme mit 25kWh/t_{Zement} angestrebt. Der Zeitplan sieht eine Umrüstung von zwei ZW bis 2020, von 6 ZW bis 2030 und von allen 9 ZW bis 2040 vor.

SZ2 LowCCS

Aufbauend auf SZ1 kommt in diesem Szenario zusätzlich die PCC-Technologie zum Einsatz. Es wird aufgrund der leichteren Nachrüstbarkeit die PCC-Technologie angestrebt. Dadurch verringert sich die Bereitstellung an elektrischem Strom. Die Zusatzbezeichnung „LowCCS" bezieht sich auf den geringen Abscheidegrad von PCC.

- Es kommt die PCC-Methode mit einem Abscheidegrad von 20 % zum Einsatz. Nach dem gewählten Zeitplan wird bis 2020 noch kein ZW mit CCS – Technologie ausgestatten sein. Bis 2030 sind zwei ZW umgerüstet, bis 2040 sind 6 ZW mit PCC ausgestattet und bis 2050 wird in allen ZW teilweise CO_2 abgeschieden.

- Bei den auf PCC-Technologie umgerüsteten ZW wird die genutzte Abwärme (25 kWh/t_{Zement}) zur Gänze für die Abscheidung benötigt. Es werden zwar bis 2050 alle ZW mit einem Abhitzekessel ausgestattet, dieser deckt aber den internen Bedarf. Daher ergibt sich durch den Einsatz von CCS die Situation, dass bis 2020 zwei ZW elektrische Energie exportieren, bis 2030 sind es 6 ZW, bis 2040 sinkt die Zahl auf 3 ZW und 2050 werde alle Abhitzekessel intern für PCC benötigt.

SZ3 HighCCS

- In SZ3 wird zusätzlich zu PCC auch das Oxyfuel-Verfahren mit einem Abscheidegrad von 70 % verwendet. Dadurch kommt es zu einem zusätzlichen elektrischen Energiebedarf (−90 kWh/t_{Zement}) der Zementwerke mit Oxyfuel-Verbrennung.

- Es wird eine Kombination aus den CCS-Technologien PCC mit einem Abscheidegrad von 20 % und der Oxyfuel-Technologie mit einem Abscheidegrad von 70 % angestrebt. Bis 2020 ist noch kein ZW mit CCS-Technologie ausgestattet. Bis 2030 haben zwei ZW eine PCC-Anlage, bis 2040 gibt es 6 ZW mit PCC und bis 2050 werden zusätzlich zu den 6 ZW mit PCC noch drei ZW mit Oxyfuel-Feuerung gebaut.

- Die Bilanz der elektrischen Leistung aus der Abwärmenutzung entspricht SZ2 mit dem Unterschied, dass 2050 mit den drei Oxyfuel-Werken der elektrischen Energiebedarf (−90 kWh/t_{Zement}) steigt und somit Strom in das Werk importiert werden muss.

8.2.5 Ergebnisse der Szenarien

Die Ergebnisse der berechneten Modelle für die unterschiedlichen Szenarien sind spezifische Größen (bezogen auf den Klinkermassenstrom) für die CO_2-Emissionen und spezifische Größen für das Angebot oder den Bedarf an elektrischem Strom. Die absoluten Werte errechnen sich aus dem Verlauf der Zementproduktionsmenge und den spezifischen Größen. Mit Maßnahmen zur Energieeffizienz (SZ1) lässt sich der spezifische CO_2-Ausstoß von derzeit 622 kg CO_2/t_{Zement} auf 478,1 kg CO_2/t_{Zement} reduzieren. Dies stellt eine Reduktion um rund 23 % dar. Eine weitere Reduktion ist aufgrund der Tatsache, dass rund 2/3 der CO_2-Emissionen nicht vom Brennstoff sondern vom Produktionsprozess bedingt sind, nicht realistisch. Durch CO_2-Abscheidung lässt sich der Wert des spezifischen CO_2-Ausstoßes im Fall von SZ2 auf 382,4 kg CO_2/t_{Zement} und im Fall von SZ3 auf 242,2 kg CO_2/t_{Zement} reduzieren. Das entspricht einer Reduktion bezogen auf BAU von 38,5 % bei SZ2 und 61 % im Jahr 2050. Der Verlauf der spezifischen CO_2-Emissionen ist in Abbildung 8-20. dargestellt. Bei der Annahme einer Steigerung der Zementproduktion von 1 % pro Jahr ergeben sich aus den spezifischen Ergebnissen der CO_2-Emissionen absolute Werte. Wie in Abbildung 8-21. dargestellt, würde im BAU-Szenario der CO_2-Ausstoß aufgrund der Produktionssteigerung von 3,3 Mio. t auf 4,9 Mio. t zunehmen. Mit Szenario SZ1 lässt sich der CO_2-Ausstoß nur bremsen aber nicht reduzieren. Es ergeben sich 3,75 Mio. t CO_2-Emissionen im Jahr 2050. Erst der Einsatz von CO_2-Abscheidetechnologien lässt den absoluten CO_2-Ausstoß im Fall von SZ2 nahezu konstant bleiben und im Fall von SZ3 erfolgt eine Reduktion auf 1,9 Mio. t. Verglichen mit dem heutigen Niveau beläuft sich das CO_2-Einsparungspotenzial bei steigender Zementproduktion bei den vorgegebenen Randbedingungen um 40 %. Bei der Betrachtung der Veränderung der elektrischen Energie zeigt sich ein nicht unbedeutendes

Abwärmepotenzial, das absolut eine Größenordnung von knapp 140 GWh/a ausmacht. Wie bereits beschrieben benötigt der Einsatz von CCS-Technologien diese Abwärmeressource.

Im Fall von SZ 3 werden zusätzlich 167 GWh/a elektrische Energie benötigt, um das Oxyfuel-Verfahren betreiben zu können. Eine Darstellung der elektrischen Leistung der Szenarien ist in Abbildung 8-22. zu finden.

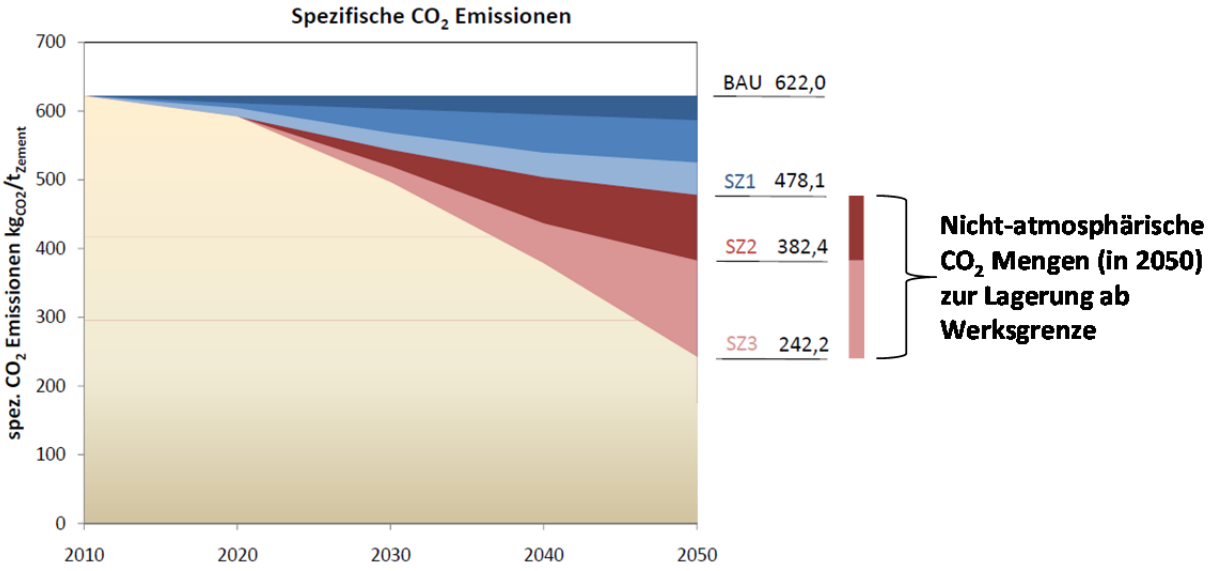


Abbildung 8-20. Darstellung der spez. CO_2-Emissionen

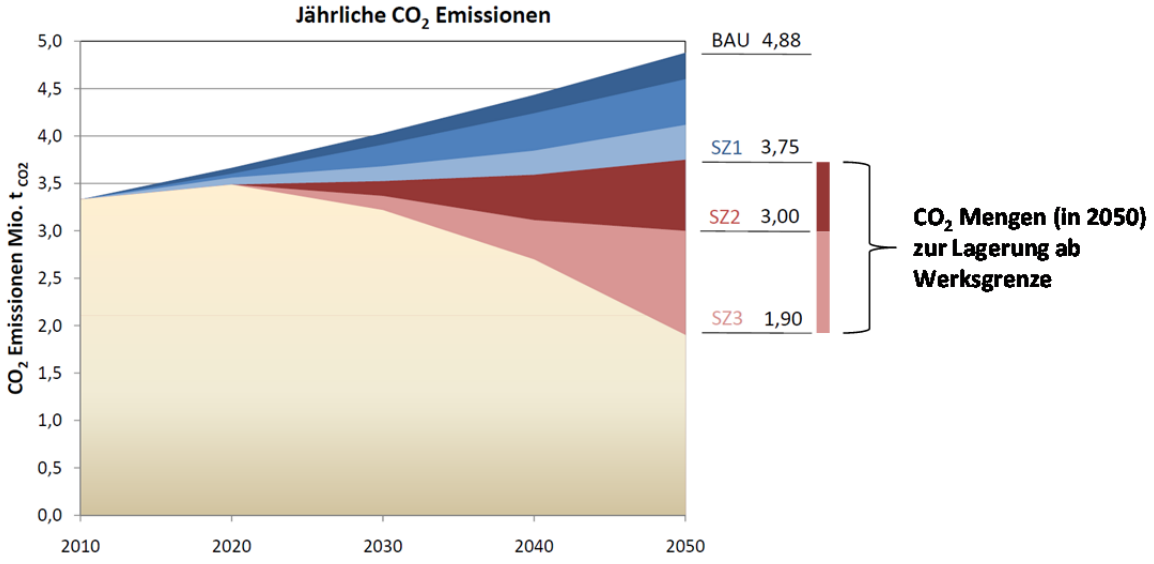


Abbildung 8-21. Darstellung der absoluten, jährlichen CO_2-Emissionen

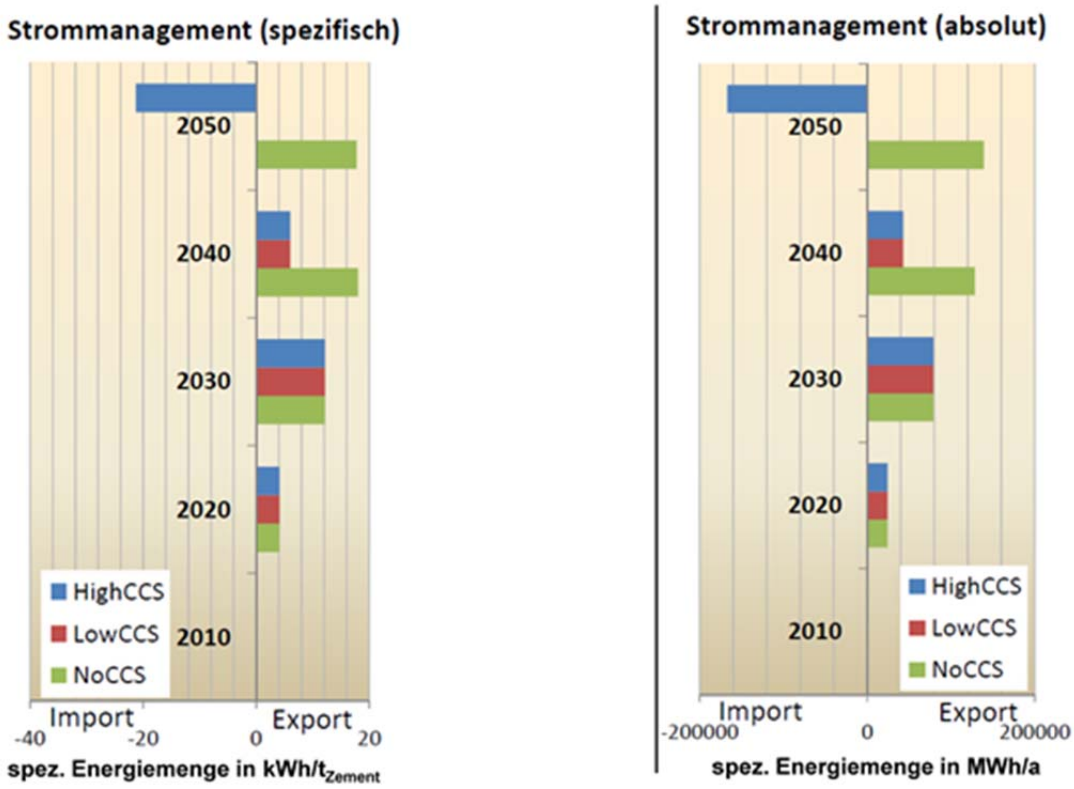


Abbildung 8-22. Darstellung der absoluten, jährlichen CO_2-Emissionen

9 Stromerzeugungssektor

9.1 Einführung und Methodik

Das Ziel dieser Analysen ist es, auf Basis der sozio-ökonomischen Daten zu den Stabilisierungsszenarien (siehe Berichtsteil zu Arbeitspaket 2, Kapitel 3) und der abgeleiteten Auswirkungen auf die zusätzliche Stromnachfrage durch Elektromobilität (Kapitel 6) sowie Veränderungen im industriellen Strombedarf (Kapitel 8) die Effekte auf die österreichische Stromversorgung zu identifizieren. Diese Kopplung ist eine entscheidende – und innovative Erweiterung bestehender Analysen zur langfristigen Entwicklung des österreichischen Stromsektors. Da die zur Anwendung kommenden Bottom-up Modelle (Arbeitspaket 3) jeweils die Entwicklung in einem Sektor (um die spezifischen Besonderheiten entsprechend berücksichtigen zu können) simulieren, müssen entsprechende Schnittstellen zwischen den Sektoren berücksichtigt werden. Somit können Substitutions- und vorgelagerte bzw. Vorleistungseffekte sowie Feedbacks zwischen den Sektoren ausreichend genau berücksichtigt werden. Verbleibende Unsicherheiten in Bezug auf den langen Simulationszeitraum (und auf die Entwicklung wesentlicher exogener Parameter) wurden, wie im Berichtsteil zu Arbeitspaket 1 (Kapitel 2) erläutert, über die Methode der Szenarienrechnung und -variation abgebildet. Darauf aufbauend werden schließlich mögliche bzw. nötige energiepolitische Eingriffe innerhalb des Strom (und gekoppelten Wärme)-erzeugungssektor analysiert.

Zur Analyse der österreichischen Stromversorgung wurden die Ergebnisse der vorgelagerten Arbeitspakete und Tasks in ein existierendes Modell zur Simulation verschiedener Entwicklungspfade des österreichischen Stromversorgungssystems (Modell „*Stromzukunft*") integriert. Dieses Modell wurde in dem Projekt „Langfristige Szenarien der gesellschaftlich optimalen Stromversorgung der Zukunft (*Stromzukunft*)" erstellt, das im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft" durchgeführt wurde.

9.1.1 Methodik

Die in diesem Abschnitt durchgeführten Analysen basieren auf einem Simulationsmodell, das myopische Investitionsentscheidungen in Stromerzeugungstechnologien abbildet.[54] Im Modell erfolgt eine schrittweise Minimierung der Gesamtkosten der Bereitstellung von Elektrizität mittels dynamischer Kosten-Potenzial-Kurven unterschiedlicher Erzeugungstechnologien. Neben den direkten monetären werden auch die externen Kosten des Sektors mittels eines Zertifikatspreises für CO_2-Emissionen in die Optimierung miteinbezogen. Die Investitionsentscheidungen I_t basieren auf einem Vergleich der langfristigen Grenzkosten der unterschiedlichen (neu zu installierenden) Technologieoptionen mit dem exogen vorgegebenen Referenzpreis[55] unter Berücksichtigung zusätzlicher Exportpotenziale[56]:

54 Die modellierten fossil und biogen befeuerten Kraftwerkstechnologien sind Anlagen zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung.

55 Dieser entspricht dem Großhandelsstrompreis.

56 Diese ergeben sich aus den Kapazitäten der grenzüberschreitenden Übertragungsleitungen.

Wenn:

$$c_{j,t} = c_{FIX} + c_{VAR} = \frac{IK \cdot \alpha}{T} + \frac{c_{O\&M}}{T} + \frac{p_{PRIM}}{\eta} + \frac{p_{CO_2} \cdot f_{CO_2}}{\eta} < p_{Referenz,\,t}$$

Dann: $I_{t+1} = I_{j,t+1}$
Sonst: $I_{t+1} = 0$
Nebenbedingung: $Erzeugung_t < Verbrauch_t + Exporte_t$

Mit:

$c_{j,t}$	Langfristige Grenzkosten einer Investitionsalternative
$p_{Referenz,t}$	Strompreis am Spotmarkt
$IK_{i,t}$	Investitionskosten
$\alpha_{i,t}$	Annuitätenfaktor
T	jährliche Volllaststunden
$c_{O\&M}$	Wartungs- und Betriebskosten
η	technischer Wirkungsgrad
p_{PRIM}	Primärenergiekosten
p_{CO2}	CO_2-Zertifikatskosten
f_{CO2}	Emissionsfaktor

Die langfristigen Grenzkosten setzen sich aus den Kapitalkosten, Wartungs- und Betriebskosten, sowie je nach Szenario gewählten Brennstoffkosten und CO_2-Kosten zusammen. Der Referenzpreis entspricht dem Großhandelspreis im relevanten (mittel)-europäischen Strommarkt.

Im Rahmen der Dynamisierung wird sowohl auf den Ansatz des technischen Lernens als auch auf das Konzept der beschränkten Marktdiffusion von neuen Technologien zurückgegriffen. Im Modell werden beide Faktoren mit Hilfe von Kosten-Potenzial-Kurven dargestellt. Kosten-Potenzial-Kurven kombinieren Informationen über die Potenziale einer bestimmten Technologie mit den zugehörigen Kosten des jeweiligen Potenzials. Abbildung 9-1. veranschaulicht die implementierte Methodik anhand des Ausbaus zweier beispielhafter Technologien i und j.[57]

57 Für weitere Details zum Modell siehe Redl et al. (2009).

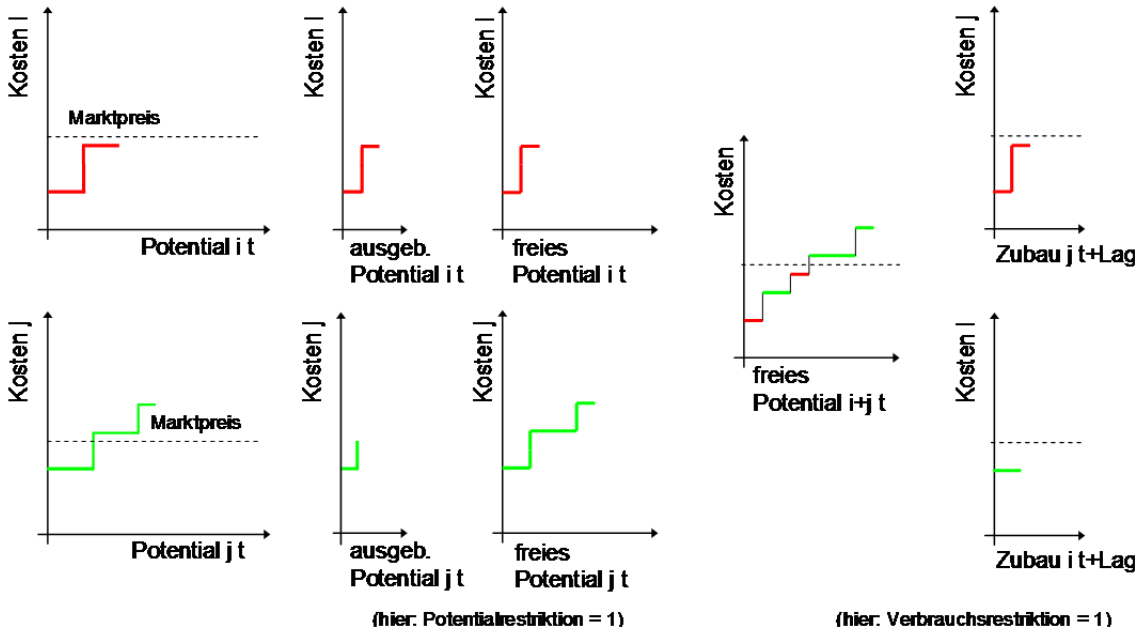


Abbildung 9-1. Ausbau der Technologien i und j im Jahr t im Modell „Stromzukunft".

Die im Modell abgebildeten angebotsseitigen Technologieoptionen umfassen:

- Erdgasbefeuerte Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke (GuD), Steinkohle-Kondensationskraftwerke (SK), Steinkohle-*Integrated Gasification Combined Cycle Coal-Kraftwerke* (IGCC-SK), Steinkohle-*Carbon Capture and Storage*-Kraftwerke (CCS); Erzeugungspotenziale: Anzahl Kraftwerksstandorte, Volllaststunden
- Windkraft (7 Potenzialklassen)
- Fotovoltaik (5kW: Dach- und fassadenintegrierte netzgekoppelte Systeme)
- Biomassekraftwärmekopplungstechnologien (800 kW Open Rankine Cycle, 5 MW_{el} Dampfturbine, 30 MW_{el} Dampfturbine; 4 Rohstoffkategorien/klassen)[58]
- Biogaskraftwärmekopplungstechnologien (300 kW_{el}, 1 MW_{el} – 7 Rohstoffkategorien /klassen)
- Wasserkraft (exogener Ausbau)

9.2 Exogene Parameter in den Szenarien

Im Rahmen des „EISERN"-Projekts werden vier Szenarien ausführlich untersucht:

- BAU-Szenario (Referenzszenario)
- 550 ppm-Stabilisierungsszenario
- 500 ppm-Stabilisierungsszenario
- 450 ppm-Stabilisierungsszenario

58 Die unterstellten primärenergetischen Bioenergie-Potenziale basieren auf Kranzl et. al (2008).

In diesem Kapitel werden die für den Stromsektor wesentlichen Randbedingungen dieser Szenarien beschrieben und entsprechende exogene Parameter für das Strommodell quantifiziert. Zu berücksichtigende Parameter sind:

- Stromverbrauch
- Primärenergiepreise
- CO_2-Preise
- Förderung Erneuerbarer
- Stromgroßhandelspreise

Investitionsentscheidungen in Stromerzeugungstechnologien stellen die entscheidende, im Modell bestimmte, endogene Variablen dar. Die Entwicklung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen, und damit einhergehend die Stromnachfrage, beschränkt den Umfang der Entwicklung der Stromversorgung. Erneuerbarenpolitiken, Primärenergiepreise, CO_2-Zertifikatspreise sowie weitere Energiepolitiken (z. B. Energieeffizienz) und Stromgroßhandelspreise (die wiederum eine Funktion der oben genannten Parameter sind) beeinflussen weiters die Investitionsentscheidungen innerhalb des Modells.

Die Stromnachfrage im BAU- bzw- Referenzszenario basiert auf EC (2010) sowie dessen Fortschreibung nach 2030. Für die Stabilisierungsszenarien (550, 500 und 450 ppm-Szenarien) folgt die Stromnachfrage (zunächst ohne Berücksichtigung von Elektromobilität) dem Pfad des Bruttoinlandsverbrauchs (detailliert beschrieben im Berichtsteil zu Arbeitspaket 2). Die Differenz zwischen Referenzpfad und Stabilisierungspfad impliziert die Realisierung signifikanter Endenergieeffizienzpotenziale, da die Nachfrage im Jahr 2050 (unter Berücksichtigung von Elektromobilität) in den Stabilisierungsszenarien um 17 % unter der Nachfrage des Referenzszenarios liegt. Eine detaillierte Diskussion der Effizienzpotenziale liegt jedoch außerhalb des Rahmens dieser Studie. Für Details sei auf Haas et al. (2011) verwiesen.

Im Rahmen der Szenariensimulationen des Stromsektors werden Ergebnisse vorgelagerter Tasks explizit in der Festlegung des Stromverbrauchs berücksichtigt. Abbildung 9-2. zeigt den zusätzlichen jährlichen Strombedarf für Elektromobilität in den drei Stabilisierungsszenarien. 2050 beträgt dieser im 550 und 500 ppm-Szenario ca. 7 TWh, im 450 ppm-Szenario liegt er bei ca. 12 TWh. Für Details sei auf den Berichtsteil zu Arbeitsschritt 3.3. verwiesen.

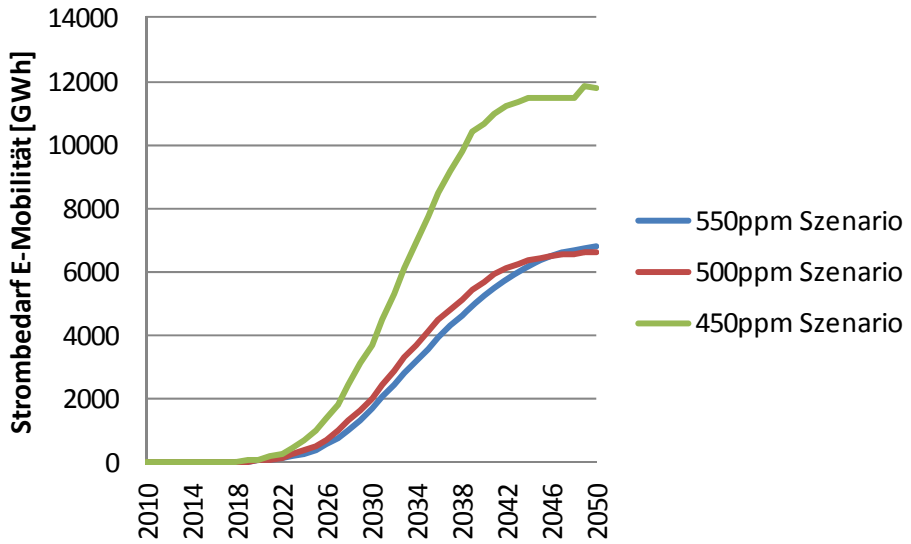


Abbildung 9-2. Stromverbrauch der E-Mobilität in den Stabilisierungsszenarien. (Quelle: Arbeitstask 3.3, Kapitel 6)

Abbildung 9-3. zeigt den zusätzlichen jährlichen Strombedarf zur Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie in den drei Stabilisierungsszenarien. 2050 beträgt dieser im 550 ppm-Szenario ca. 1 TWh, im 500 ppm ca. 2 TWh und im 450 ppm-Szenario ca. 14 TWh. Für Details sei auf den Berichtsteil zu Arbeitsschritt 3.4 (Kapitel 8). verwiesen.

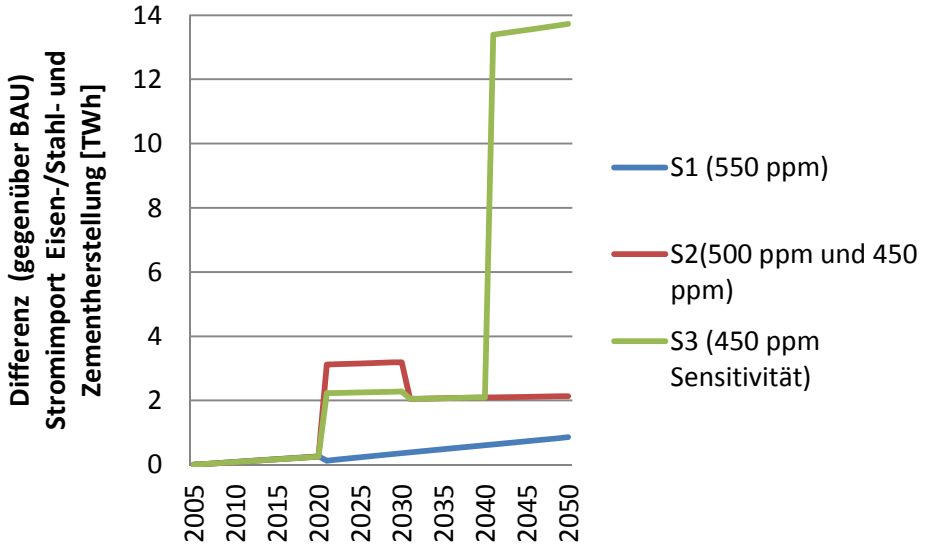


Abbildung 9-3. Zusätzlicher Stromverbrauch der Eisen- und Stahlindustrie in den Stabilisierungsszenarien. (Quelle: Arbeitstask 3.4, Kapitel 8)

Die mit der Dekarbonisierung des Verkehrssektors und der Eisen- und Stahlindustrie verbundenen zusätzlichen Stromverbräuche beeinflussen klarerweise die Dekarbonisierungsmöglichkeiten des Stromsektors. Insbesondere der Einsatz von Pyroelektrolyse zur Erzreduktion in der Eisen- und Stahlindustrie (450 ppm-Szenario Sensitivität ab 2040) führt zu einem sehr starken Anstieg des Stromverbrauches.

9.2.1 Simulationen zum Stromerzeugungsmix[59]

9.2.1.1 BAU-Szenario (Referenzszenario)

Abbildung 9-4. fasst die Entwicklung der exogenen Parameter im Referenzszenario graphisch zusammen. Dieses Szenario wird durch positive Verbrauchswachstumsraten sowie niedrige Primärenergiepreise charakterisiert. Kohlepreise steigen in diesem Szenario auf ca. 11 €/MWh, Gaspreise und CO_2-Preise auf ca. 41 €/MWh bzw. 41 €/t CO_2 im Jahr 2050 an. Als Konsequenz steigen die Stromgroßhandelspreise auf 69 €/MWh an. Die Stromnachfrage weist über den gesamten Simulationszeitraum positive Wachstumsraten auf und erhöht sich auf ca. 92 TWh im Jahr 2050.

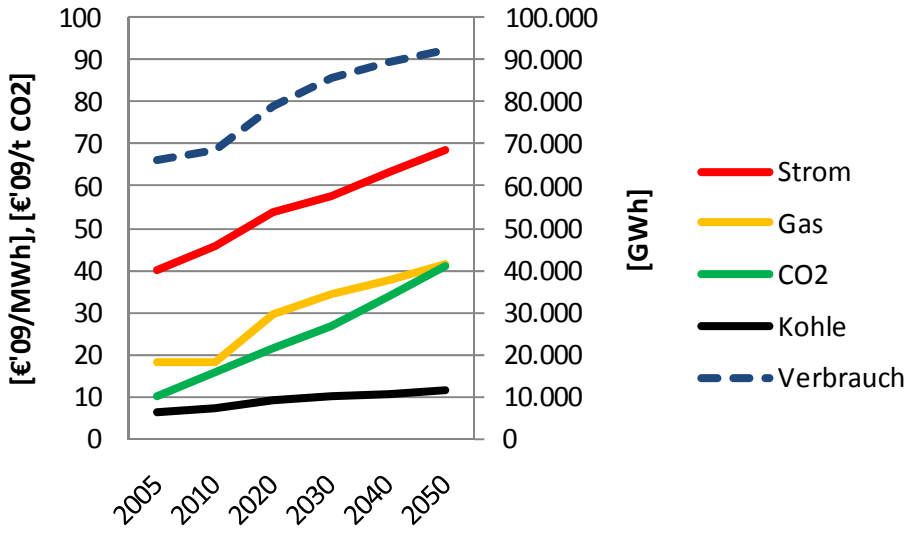


Abbildung 9-4. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Skala – sowie Stromnachfrage – rechte Skala) im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; Arbeitspaket 2; Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen)

Abbildung 9-5. oben zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der österreichischen Stromerzeugung im Referenzszenario.

59 In diesem Bericht wird in allen Szenarien davon ausgegangen, dass die Erzeugung in Wasserkraftwerken durch die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie um 2,1 % sinkt. Die Reduktion wird bis 2015 erreicht. Für Details zur WRRL sei auf Stigler et al. (2005) verwiesen.

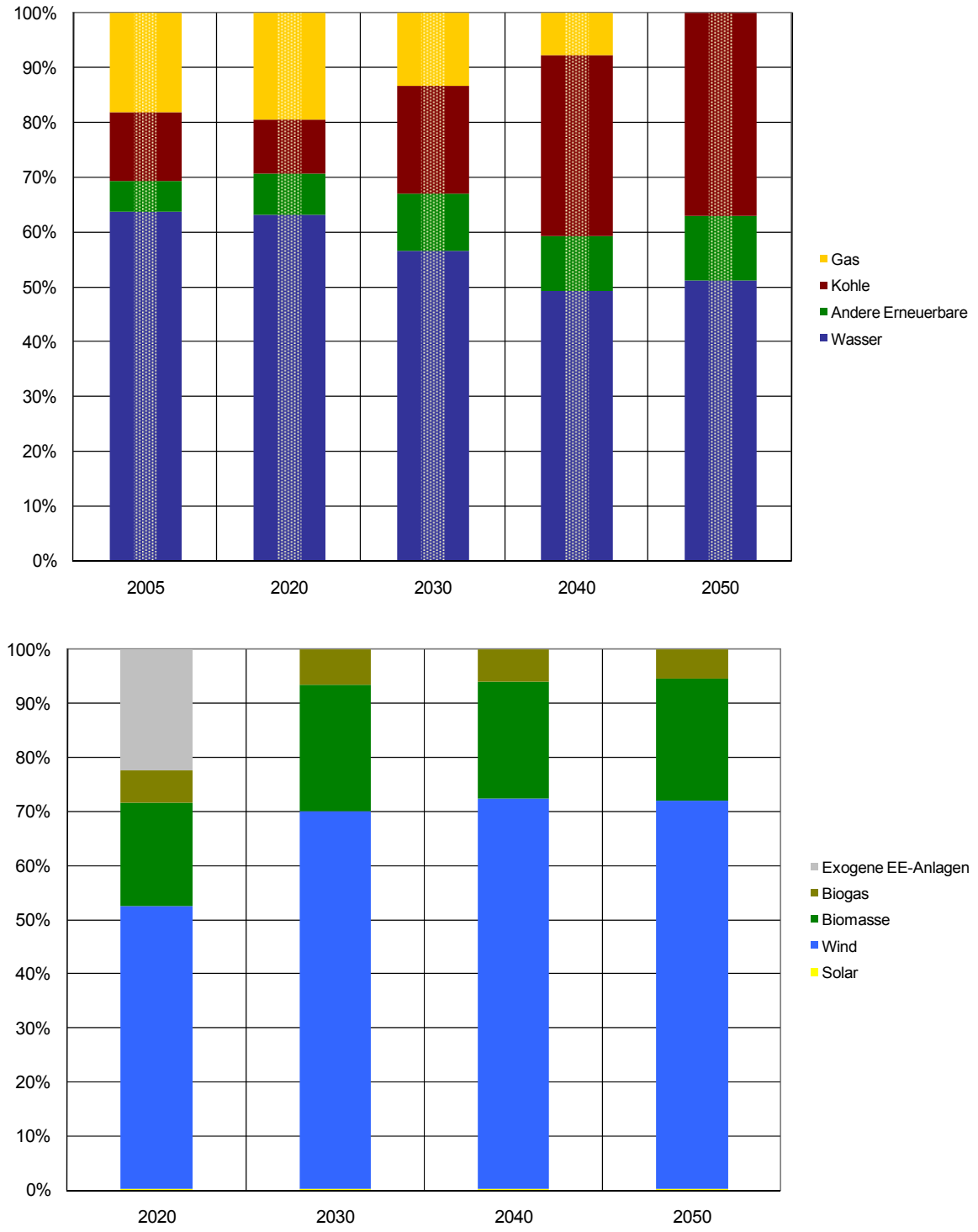


Abbildung 9-5. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im Referenzszenario (oben) sowie Anteil der Primärenergieträger an der RES-E-Erzeugung exkl. Wasserkraft (unten).

Der Anteil der CO_2-freien Erzeugung sinkt im Referenzszenario kontinuierlich von einem Ausgangswert im Jahr 2005 von 69 % ab und erreicht im Jahr 2050 einen Anteil von 63 %. Bis 2050 werden zur Deckung der Nachfrage hauptsächlich steinkohlebefeuerte Kondensationskraftwerke errichtet, da diese Technologie die niedrigsten Erzeugungskosten aufweist. Die CO_2-Preise sind im Referenzszenario zu niedrig um entsprechende Investitionen in erneuerbare Erzeugungstechnologien (im Referenzszenario werden keine

Förderungen für Erneuerbare unterstellt) auszulösen[60] bzw. um Gaskraftwerke anstelle von Kohlekraftwerken zu errichten. Letztere erreichen im Jahr 2050 einen Anteil von ca. 37 % an der Stromerzeugung. Dies ist mit entsprechenden Konsequenzen für die Entwicklung der CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors verbunden; sie steigen bis 2050 im Vergleich zu 2005 um knapp 100 % (siehe Abbildung 9-6.).[61]

Innerhalb der „neuen" Erneuerbaren (d.h. Windkraft, Biomasse, Biogas und Fotovoltaik) erlangt lediglich Windkraft an Bedeutung (Abbildung 9-5. unten). Die Stromerzeugung aus Windkraft steigt bis 2050 auf 8 TWh. Ohne zusätzliche Förderungen steigt der Anteil der neuen Erneuerbaren von 6 % im Jahr 2005 auf 12 % im Jahr 2050. Biomasse- und Biogas-KWK-Technologien, die auf günstige Rohstofffraktionen zugreifen können, tragen 2050 mit 3 TWh zur Stromerzeugung bei.[62,63]

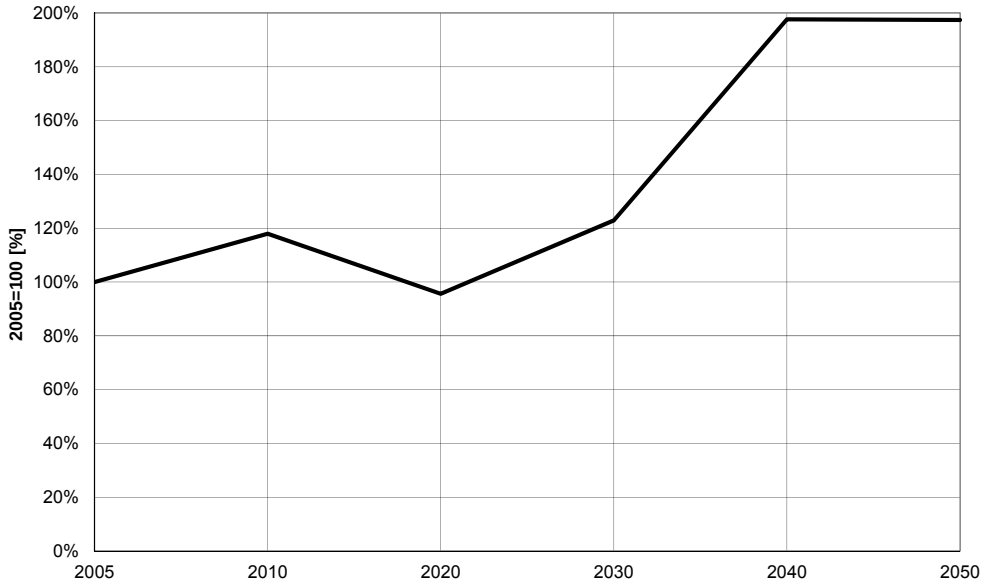


Abbildung 9-6. Entwicklung der CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im Referenzszenario.

9.2.1.2 550 ppm-Stabilisierungsszenario

Abbildung 9-7. fasst die Entwicklung der exogenen Parameter im 550 ppm-Stabilisierungsszenario graphisch zusammen. Dieses Szenario zeichnet sich durch stagnierende bzw. nur leicht steigende Verbrauchswachstumsraten und steigende CO_2-Preise aus. Kohlepreise steigen in diesem Szenario auf 11 €/MWh, Gaspreise auf knapp 42 €/MWh bis zum Jahr 2050. Der CO_2-Zertifikatspreis steigt von 10 €/t CO_2 im Jahr

60 Die einzige Ausnahme stellen Windkraftanlagen dar. Aufgrund des steigenden Strompreises können diese ab ca. 2015 wirtschaftlich errichtet werden.

61 Im Sinne der Konsistenz werden nur die CO_2-Emissionen am Kraftwerksstandort berücksichtigt. Vor- und nachgelagerte Emissionen werden ausgeklammert. Emissionen aus Bioenergie werden klimaneutral angesetzt. Es wird somit eine nachhaltige Nutzung der Biomassepotenziale angenommen. Für weitere Details siehe Kalt und Kranzl (2011).

62 Zu detaillierten Bioenergieszenarien siehe Kalt et al. (2010).

63 2009 betrug die Einspeisung aus geförderten Bioenergieanlagen ca. 2,5 TWh. Jene aus Wind lag bei ca. 2 TWh. Siehe E-Control (2010a).

2005 auf 77 €/t CO_2 im Jahr 2050 an. Als Konsequenz steigen die Stromgroßhandelspreise bis 2050 auf ca. 88 €/MWh. Die Stromnachfrage sinkt in Anlehnung an die Entwicklung des Inlandsenergieverbrauches (siehe AP 2) bis 2020 leicht und steigt dann aufgrund des zusätzlichen Stromverbrauches durch Elektromobilität (Abbildung 9-2.) und der Eisen- und Stahlindustrie (Abbildung 9-3.) auf ca. 77 TWh im Jahr 2050. Der Verbrauch liegt durch (unterstellte) realisierte Effizienzmaßnahmen somit unter dem Verbrauch im Referenzszenario. Da es sich um ein marktgetriebenes Szenario handelt, erfolgt keine Beschränkung des fossilen Technologieportfolios. Kohlebefeuerte Steinkohlekraftwerke mit *Carbon Capture and Storage-Technologien* (CCS) stehen somit potenziell zur Verfügung.

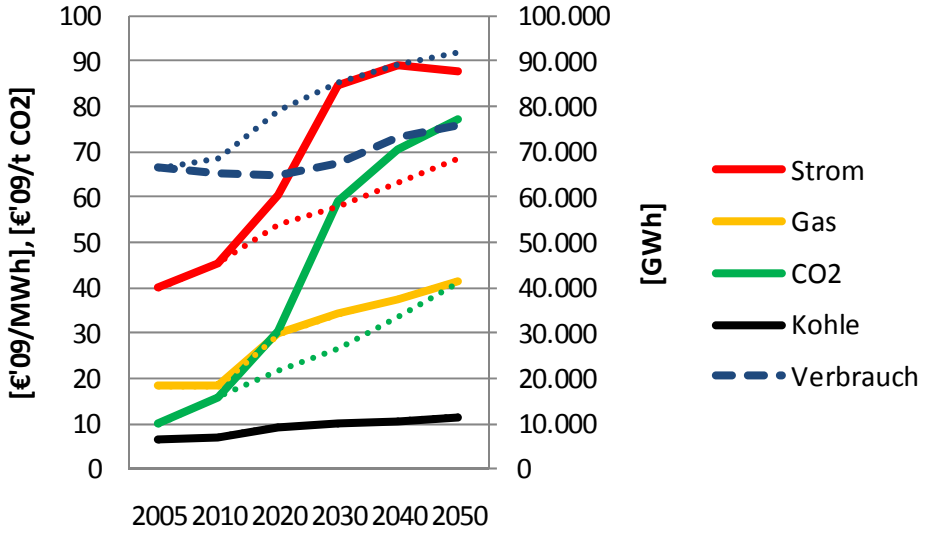


Abbildung 9-7. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Achse – sowie Stromnachfrage – rechte Achse) im 550 ppm-Szenario. Die punktierten Linien zeigen die entsprechenden Entwicklungen im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; Arbeitspaket 2; Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen)

Abbildung 9-8. zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der österreichischen Stromerzeugung im 550 ppm-Stabilisierungsszenario.

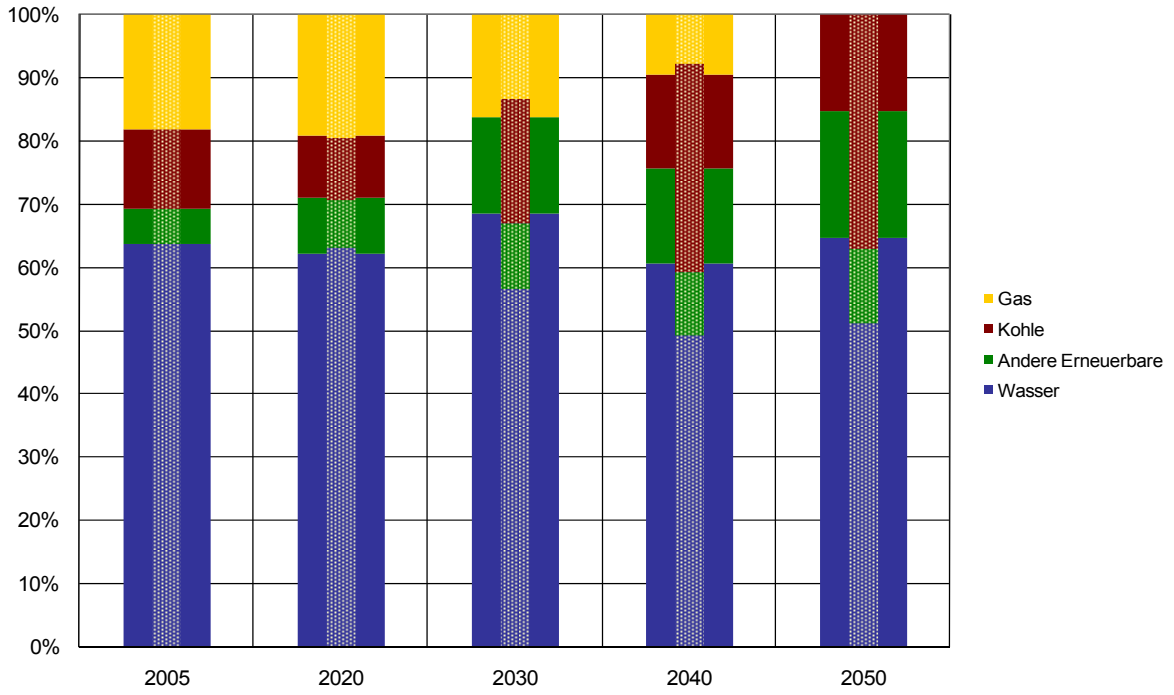


Abbildung 9-8. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 550 ppm-Szenario. Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar.

Aufgrund des relativ hohen Preisniveaus am Stromgroßhandelsmarkt steigt der Anteil der Erneuerbaren an der Stromerzeugung von 69 % im Jahr 2005 auf 85 % im Jahr 2050. Fossile Großkraftwerkstechnologien bleiben im 550 ppm-Szenario ohne energiepolitische Eingriffe (z. B. zusätzliche Förderungen für Erneuerbare abseits von CO_2-Preispolitiken) dennoch signifikant vertreten. Die Neubauten im Simulationszeitraum stellen kohlebefeuerte IGCC-Anlagen sowie Steinkohlekraftwerke mit CCS dar. Wegen des herrschenden Gas-Kohle-CO_2-Preis-Verhältnisses werden keine Investitionen in Gaskraftwerke getätigt. Dies hat gekoppelt mit dem leicht steigenden Stromverbrauch zur Folge, dass die CO_2-Emissionen zwischen 2030 und 2040 wieder leicht ansteigen. Ab 2040 sinken die Emissionen aufgrund der Außerbetriebnahme alter Anlagen. Im Jahr 2050 liegen die CO_2-Emissionen (ohne Berücksichtigung des unterirdischen Speicherbedarfes) um 54 % unter den Emissionen des Jahres 2005 (siehe Abbildung 9-9.).[64]

Im Zeitraum zwischen 2035 und 2040 geht eine CCS-Anlage in Betrieb. Über die Lebensdauer dieser Anlagen müssen in Summe 79 Mt CO_2 abgetrennt und gespeichert werden. Laut VEÖ (2008b) liegt das theoretische Maximalpotenzial für unterirdische CO_2-Speicherung in Österreich bei ca. 500 Mt. Bei konservativer Annahme (50 % des theoretischen Potenzials nutzbar) ergibt dies eine wirtschaftlich/technisch nutzbare Speicherkapazität von 250 Mt. Das im 550 ppm-Szenario installierte CCS-Kraftwerk würde – theoretisch (siehe Fußnote 11) – dieses Speicherpotenzial zu 31 % ausschöpfen.

64 Von den Gesamtemissionen werden 79 Mt CO_2 unterirdisch gespeichert. Dies entspricht dem 6fachen Emissionsvolumen des fossilen Kraftwerksparks des Jahres 2005.

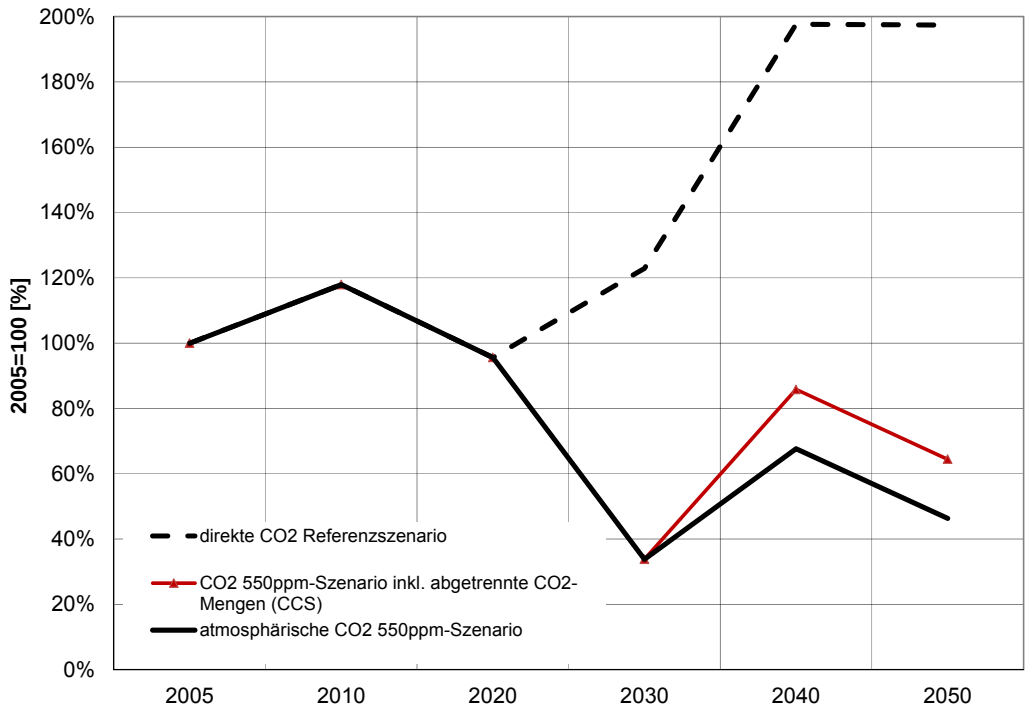


Abbildung 9-9. Entwicklung der atmosphärischen CO_2 -Emissionen des Kraftwerkssektors im 550 ppm-Szenario (schwarze Linie). Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario. Die rote Linie stellt die jährlichen CO_2-Emissionen inklusive der durch CCS zur Speicherung abgetrennten CO_2-Mengen dar.[65]

Die „neuen" Erneuerbaren (d.h. Windkraft, Biomasse, Biogas und Fotovoltaik) erhöhen im 550 ppm-Szenario – ohne Vorliegen von spezifischen Förderpolitiken wie z. B. Einspeisetarife – ihren Anteil an der Stromerzeugung von 6 % im Jahr 2005 auf 20 % im Jahr 2050 (siehe Abbildung 9-10.) aufgrund der steigenden CO_2-Zertifikatspreise. Bis 2020 steigt der Anteil der Windkraft stark an. Im Jahr 2050 liefert die Wasserkrafterzeugung 48 TWh, Windkraft ca. 8 TWh, Biomasse 5 TWh und Biogas 1 TWh.

65 Es sei hier auf das beschlossene Moratorium zur unterirdischen CO_2 –Speicherung in Österreich hingewiesen. Dies impliziert den Export des abgetrennten CO_2.

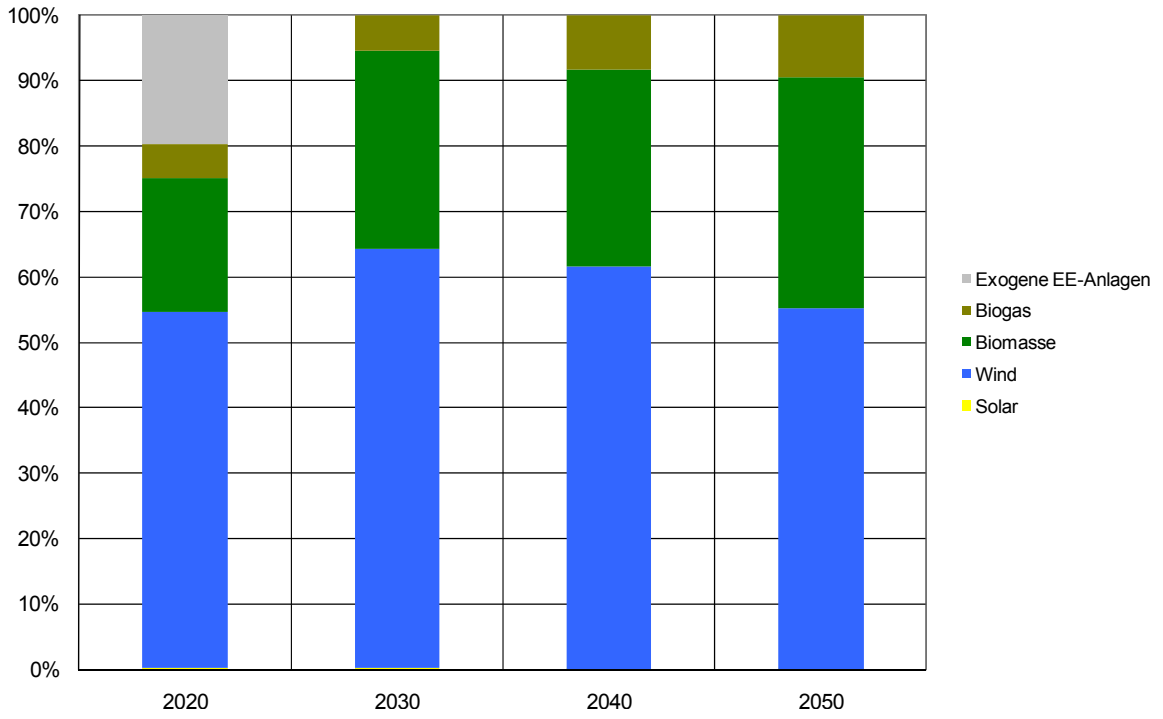


Abbildung 9-10. Anteil der Primärenergieträger an der erneuerbaren Stromproduktion in Österreich von 2020 bis 2050 (exkl. Wasserkraft) im 550 ppm-Szenario.

9.2.1.3 500 ppm-Stabilisierungsszenario

Abbildung 9-11. fasst die Entwicklung der exogenen Parameter im 500-Szenario graphisch zusammen. Dieses Szenario zeichnet sich durch stagnierende Verbrauchswachstumsraten bis 2020, danach steigenden Strombedarf (hauptsächlich aufgrund zusätzlicher Nachfrage durch E-Mobilität und der Eisen- und Stahlindustrie (siehe Abbildung 9-2. und Abbildung 9-3.) und stärker steigenden CO_2-Preisen aus. Kohlepreise steigen in diesem Szenario auf 11 €/MWh, Gaspreise steigen auf knapp 42 €/MWh bis zum Jahr 2050. Der CO_2-Zertifikatspreis steigt von 10 €/t CO_2 im Jahr 2005 auf 89 €/t CO_2 im Jahr 2050 an. Als Konsequenz steigen die Stromgroßhandelspreise bis 2050 auf ca. 103 €/MWh. Die Stromnachfrage steigt bis zum Jahr 2050 auf ca. 78 TWh.

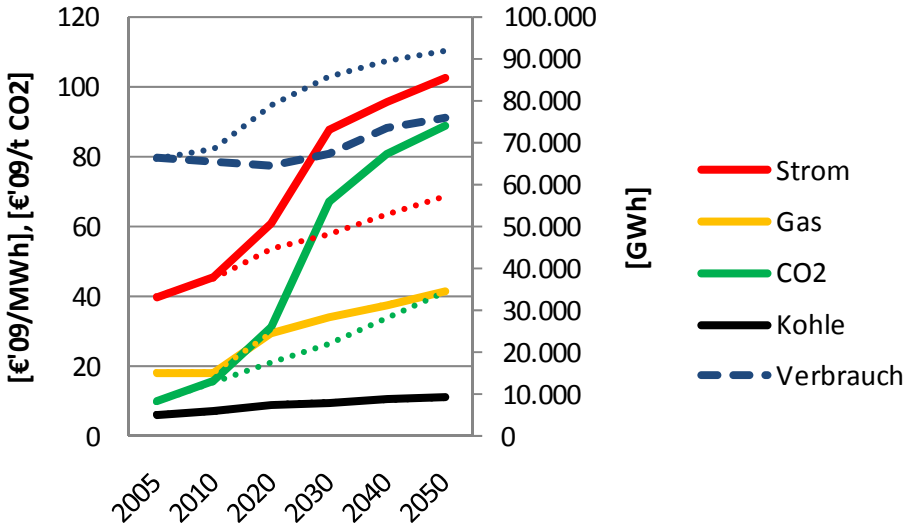


Abbildung 9-11. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Skala – sowie Stromnachfrage – rechte Skala) im 500 ppm-Szenario. Die punktierten Linien zeigen die entsprechenden Entwicklungen im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; Arbeitspaket 2; Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen)

Abbildung 9-12. zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der österreichischen Stromerzeugung im 500 ppm-Szenario.

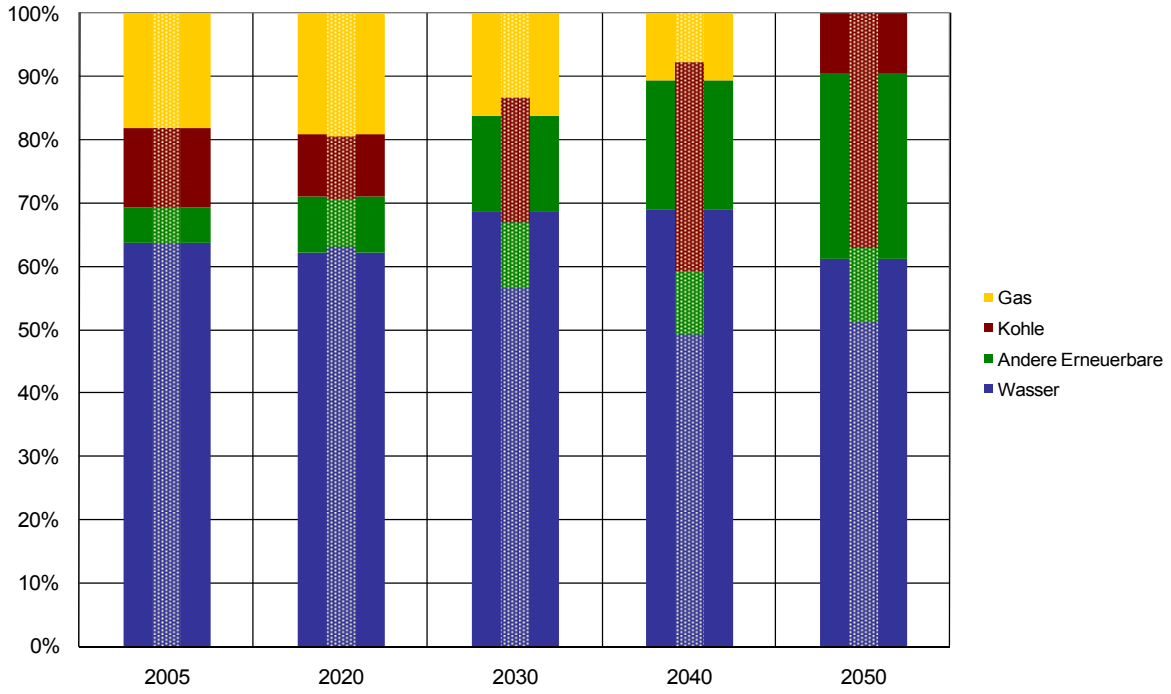


Abbildung 9-12. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 500 ppm-Szenario. Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar.

Der Anteil der CO_2-freien Erzeugung steigt im 500 ppm-Szenario kontinuierlich von einem Ausgangswert im Jahr 2005 von 69 % an und erreicht im Jahr 2050 einen Anteil von 90 %. Die CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors sinken von 2005 bis 2050 um

76 % (siehe Abbildung 9-13.).[66] Eine kohlebefeuerte CCS-Anlage geht 2045 in Betrieb. Über die Lebensdauer dieser Anlagen müssen in Summe 79 Mt CO_2 abgetrennt und gespeichert werden (für eine Diskussion der Speicherpotenziale siehe die Ausführungen im 550 ppm-Szenario).

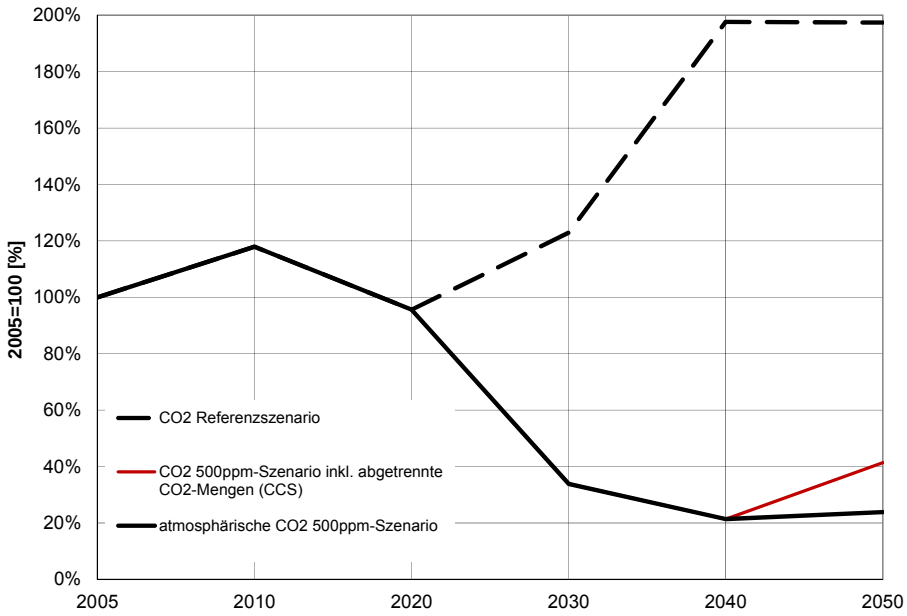


Abbildung 9-13. Entwicklung der atmosphärischen CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im 550 ppm-Szenario (schwarze Linie). Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario. Die rote Linie stellt die jährlichen CO_2-Emissionen inklusive der durch CCS zur Speicherung abgetrennten CO_2-Mengen dar.

Die „neuen" Erneuerbaren (d.h. Windkraft, Biomasse, Biogas und Fotovoltaik) erhöhen ohne zusätzliche Förderungen ihren Anteil an der Stromerzeugung von 6 % im Jahr 2005 auf 29 % im Jahr 2050 (siehe Abbildung 9-14.). Grund dafür sind die hohen Stromgroßhandelspreise. Bis 2020 steigt der Anteil der Windkraft stark an. Im Jahr 2050 liefert die Wasserkrafterzeugung 48 TWh, Windkraft 8 TWh. Die Stromerzeugung aus Bioenergieanlagen (feste und flüssige Biomasse sowie Biogas) beläuft sich auf 8 TWh. Aufgrund steigender Stromgroßhandelspreise und angenommener Lerneffekte wird die Stromerzeugung aus PV ab ca. 2040 wirtschaftlich. 2050 stammen bereits 5 TWh der nationalen Stromerzeugung aus PV-Anlagen.

66 Die Emissionen der CCS–Anlage sind nicht Teil der Emissionstrajektorie.

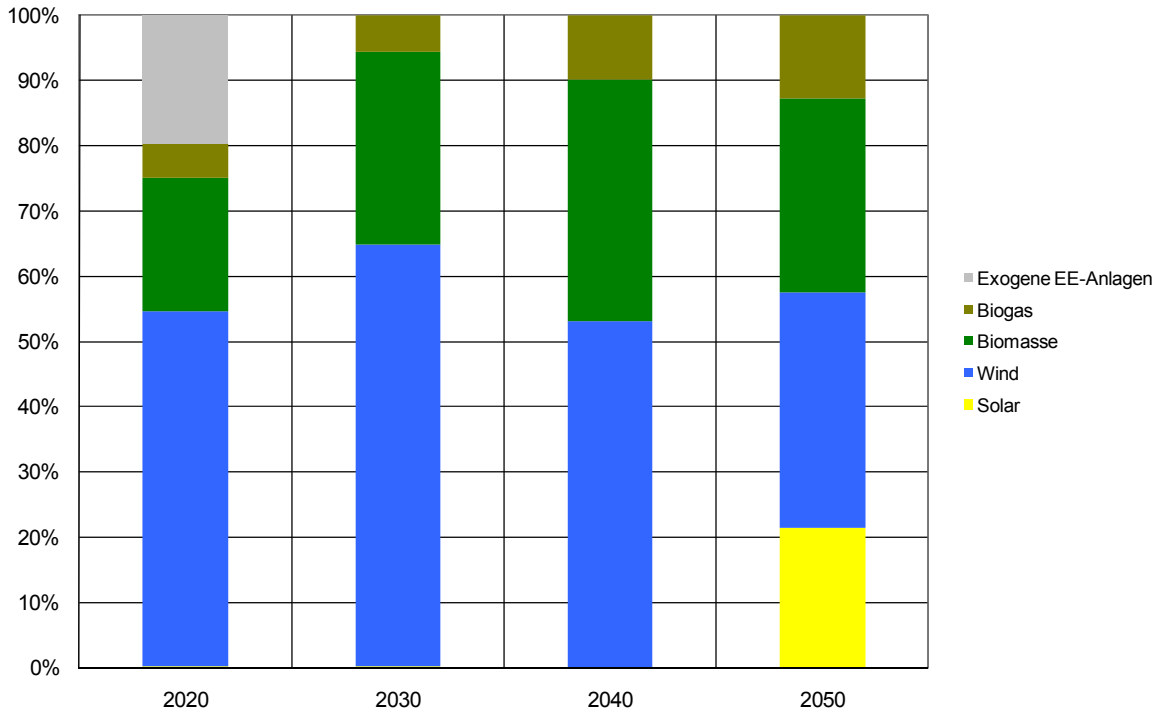


Abbildung 9-14. Anteil der Primärenergieträger an der erneuerbaren Stromproduktion in Österreich von 2020 bis 2050 (exkl. Wasserkraft) im 500 ppm-Szenario.

9.2.1.4 450 ppm-Stabilisierungsszenario

Abbildung 9-15. fasst die Entwicklung der exogenen Parameter im 450 ppm-Szenario (S1) graphisch zusammen. Dieses Szenario zeichnet sich durch stark steigende CO_2-Preise aus. Kohlepreise steigen in diesem Szenario auf 11 €/MWh, Gaspreise steigen auf knapp 42 €/MWh bis zum Jahr 2050. Der CO_2-Zertifikatspreis steigt von 10 €/t CO_2 im Jahr 2005 auf 97 €/t CO_2 im Jahr 2050 an. Als Konsequenz steigen die Stromgroßhandelspreise bis 2050 auf ca. 105 €/MWh (sie erhöhen sich zwischen 2010 und 2050 um 126 %). Die Stromnachfrage sinkt in Anlehnung an die Entwicklung des Inlandsenergieverbrauches (siehe Berichtsteil zu Arbeitspaket 2) bis 2020 leicht und steigt dann aufgrund des zusätzlichen Stromverbrauches durch Elektromobilität auf ca. 78 TWh im Jahr 2050.[67] Der Verbrauch liegt durch (unterstellte) realisierte Effizienzmaßnahmen somit um 16 TWh unter dem Verbrauch im Referenzszenario.

Abbildung 9-15. berücksichtigt allerdings noch nicht die in Abbildung 9-3. dargestellte zusätzliche Stromnachfrage der Eisen- und Stahlindustrie im entsprechenden ambitioniertesten Industrieszenario (siehe die detaillierte Beschreibung im Berichtsteil zu Task 3.4.). Die Effekte dieser zusätzlichen Nachfrage werden weiter unten beschrieben. Stattdessen berücksichtigt die angegebene Stromnachfrage von 78 TWh zunächst die in Abbildung 9-3. dargestellte zusätzliche Nachfrage im Szenario S2 („mittleres" Szenario der Eisen- und Stahlindustrie).

67 Der Stromverbrauch für Elektrofahrzeuge beträgt im 450 ppm-Szenario im Jahr 2050 12 TWh. Für Details sei auf den Berichtsteil zu Arbeitspaket 3.3 verwiesen. Obwohl im 450 ppm-Szenario die Realisierung der höchsten Effizienzpotenziale unterstellt wird, ist der Stromverbrauch aufgrund der verstärkten Durchdringung von Elektromobilität höher als in den 550 ppm- und 500 ppm-Stabilisierungsszenarien.

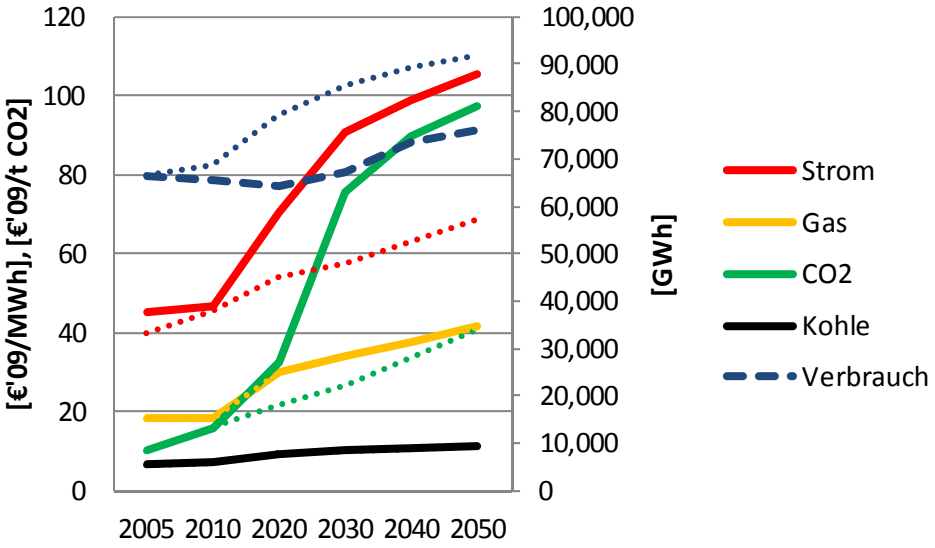


Abbildung 9-15. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Skala – sowie Stromnachfrage – rechte Skala) im 450 ppm-Szenario. Die punktierten Linien zeigen die entsprechenden Entwicklungen im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; WP2, Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen)

Abbildung 9-16. zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der österreichischen Stromerzeugung im 450 ppm-Szenario (S1).

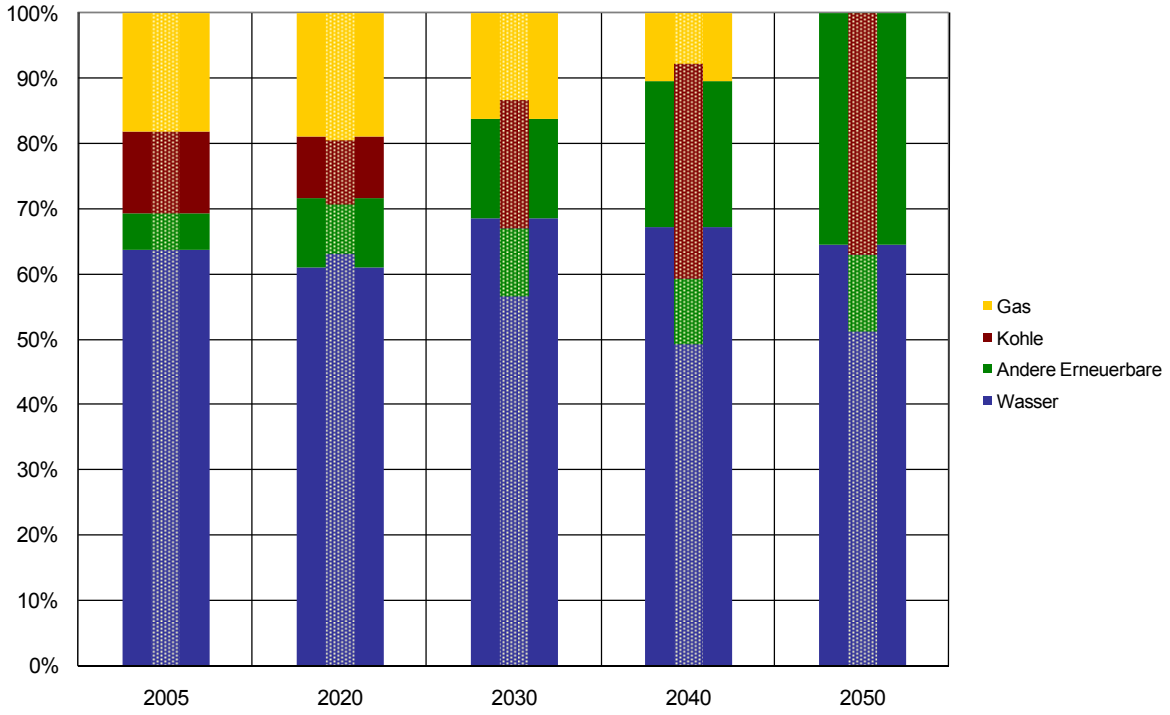


Abbildung 9-16. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 450 ppm-Szenario (S1). Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar.

Der Anteil der CO_2-freien Erzeugung steigt im 450 ppm-Szenario kontinuierlich von einem Ausgangswert im Jahr 2005 von 69 % an und erreicht ab dem Jahr 2045 einen

Anteil von 100 %. Die CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors sinken bis 2050 somit kontinuierlich auf 0 (siehe Abbildung 9-17.).

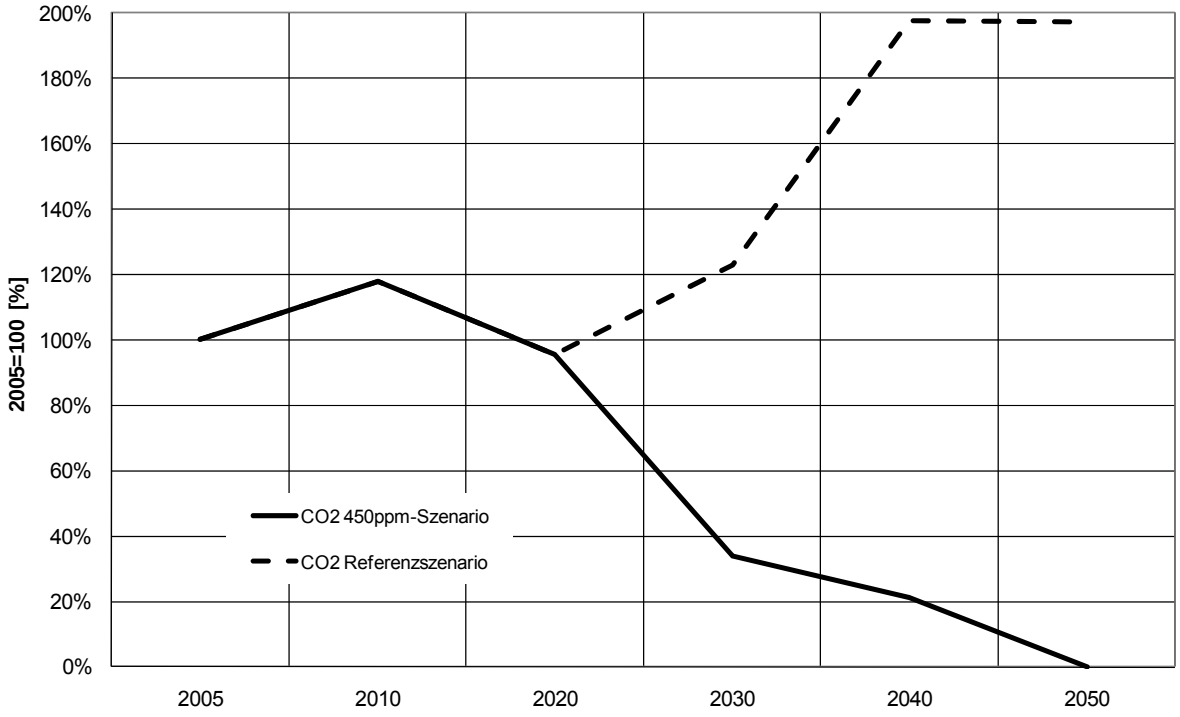


Abbildung 9-17. Entwicklung der CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im 450 ppm-Szenario (schwarze Linie). Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario.

Die „neuen" Erneuerbaren (d.h. Windkraft, Biomasse, Biogas und Fotovoltaik) erhöhen ihren Anteil an der Stromerzeugung von 6 % im Jahr 2005 auf 36 % im Jahr 2050 (siehe Abbildung 9-16.). Bis 2020 steigt der Anteil der Windkraft stark an. Ab 2030 verzeichnet vor allem die Stromerzeugung aus Fotovoltaik- sowie Biogasanlagen positive Wachstumsraten (siehe Abbildung 9-18.). Im Jahr 2050 liefert die Wasserkrafterzeugung 48 TWh, Windkraft ca. 8,3 TWh, Fotovoltaik 9 TWh und Bioenergie (Feste, flüssige und gasförmige Biomasse) ca. 9 TWh.

Die Entwicklung der Bioenergieverstromung ist als ambitioniertes Szenario mit Fokus auf Strom- bzw. gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung zu interpretieren. Nutzungskonkurrenzen werden im Rahmen dieses Projekts nicht näher analysiert. Für Details sei auf Kranzl et al. (2008) und Kalt et al. (2010) verwiesen.

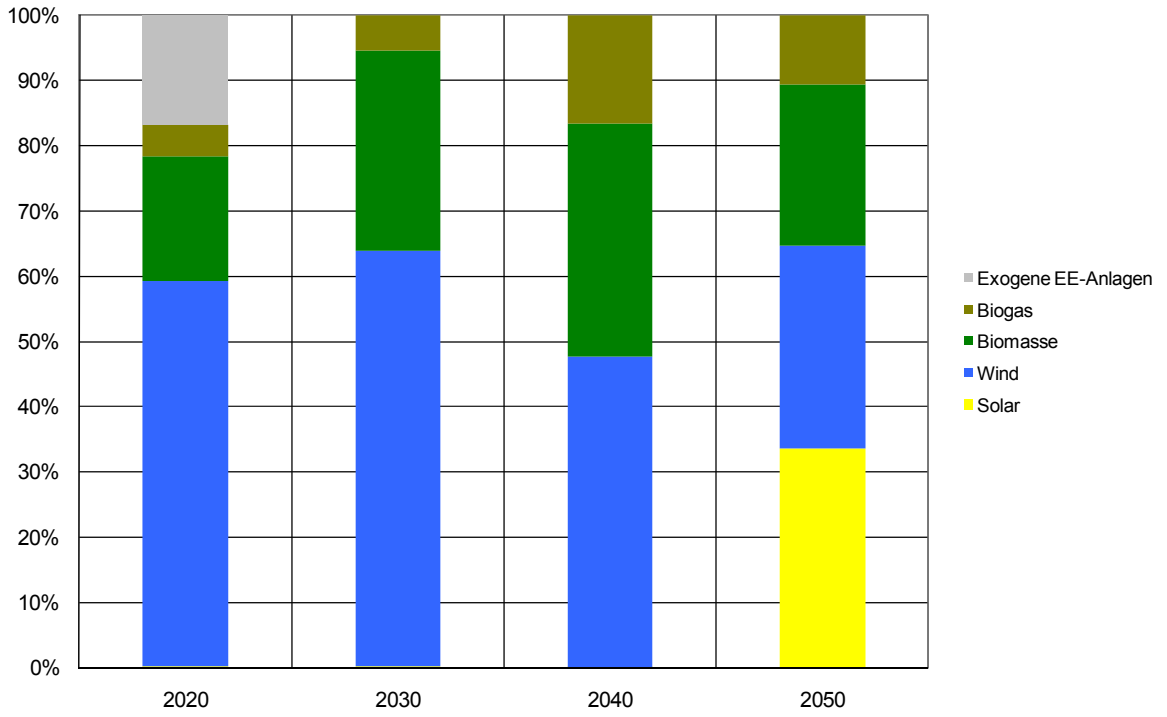


Abbildung 9-18. Anteil der Primärenergieträger an der erneuerbaren Stromproduktion in Österreich von 2020 bis 2050 (exkl. Wasserkraft) im 500 ppm-Szenario.

Im Jahr 2050 beträgt die installierte Leistung von Windkraftanlagen 3,6 GW, die von netzgekoppelten PV-Anlagen 8,9 GW. In Summe sind somit 12,5 GW an „volatiler" Erzeugung an das Stromnetz angeschlossen.[68] Aufgrund des hohen Anteils an Pumpspeicherkraftwerken lässt diese Größenordnung allerdings keine Probleme in Hinblick auf die Systemstabilität erwarten. In der jüngsten Lastprognose der ENTSO-E (2011) steigt die Spitzenlast in Österreich bis 2025 auf 12,5 GW. Dieser Wert kann für das 450 ppm-Szenario aber als Überschätzung der tatsächlichen Spitzenlast interpretiert werden, da die implementierten Effizienzmaßnahmen den Stromverbrauch relativ zum BAU-Szenario reduzieren. Entsprechend reduziert sich durch diese Effizienzmaßnahmen auch die Spitzenlast.

Im vorgestellten Szenario unterscheidet sich die Struktur des Stromversorgungssystems im Jahr 2050 fundamental vom Status quo. Dieser Systemwechsel kann nur unter entsprechenden energiepolitischen Begleitmaßnahmen stattfinden. Neben den erwähnten Energieeffizienzpolitiken muss eine entsprechende Regulierung im Netzbereich etabliert sein, um Investitionsanreize sowohl im Übertragungsnetz (hohe Windeinspeisung, hohe Pumpspeicherkapazitäten) als auch im Verteilnetz (signifikanter Anteil verteilter Einspeisung in PV- und Bioenergieanlagen) zu gewährleisten. Für aktive Verteilnetze sind entsprechende Netzmanagementmethoden Voraussetzung. Ein wesentliches Resultat des 450 ppm-Szenarios in Bezug auf die Energieinfrastruktur ist, dass auch im Jahr 2050 Übertragungs- und Verteilnetze wesentliche Systembestandteile darstellen. Eine Entwicklung hin zum „No-Grid" ist nicht abzusehen.[69] Weiters wird in diesem Szenario das Vorhandensein innovativer und intelligenter Strommanagementsysteme beim

68 2009 betrug dieser Wert ca. 1 GW (E-Control, 2010b).

69 Unter „No-Grid" ist eine semi-autarke Energieinfrastruktur zu verstehen, die in einem kleinräumigen Gebiet Angebot und Nachfrage ausgleicht.

Endkunden unterstellt. Dies impliziert entsprechende Geschäftsmodelle für Elektromobilität und aktives Teilnehmen der Verbrauchsseite zum Ausgleich des Stromangebots und der Nachfrage.

Effekte der erhöhten Stromnachfrage der Eisen- und Stahlindustrie im Industrieszenario S3

Wie im Berichtsteil zu Arbeitsschritt 3.4 bereits dargelegt, ist die Dekarbonisierung des Industriesektors mit großen Herausforderungen verknüpft.[70] Mit fortschreitender Dekarbonisierung speziell des Eisen- und Stahlsektors folgt eine zusätzliche Herausforderung: Stark steigender Strombedarf des Sektors. Die entsprechenden Konsequenzen für den Stromsektor ergeben sich wie folgt.

Der Strombedarf steigt bis zum Jahr 2050 auf ca. 90 TWh. Durch das Erreichen der dynamischen Ausbaupotenzialrestriktionen der Erneuerbaren sinkt der Anteil der regenerativen Stromerzeugung gegenüber dem 450 ppm-Stabilisierungsszenario S1 im Jahr 2050 auf 88 % ab.

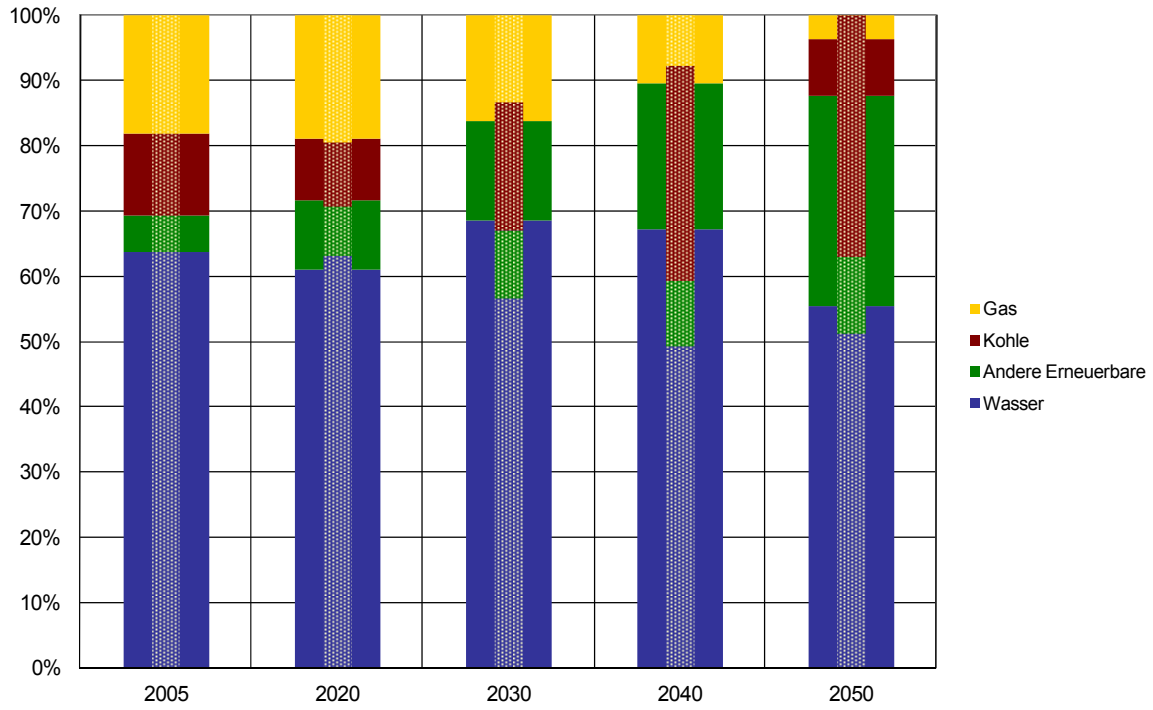


Abbildung 9-19. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 450 ppm-Szenario unter Berücksichtigung des zusätzlichen Strombedarfs der Eisen- und Stahlindustrie im ambitioniertesten Industrieszenario S3. Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar.

Die CO_2-Emissionen des Stromsektors sinken von 2005 bis 2050 somit um 68 %.

70 Als Stichworte seien hier internationale Wettbewerbsfähigkeit, CCS, Biomasseeinsatz genannt.

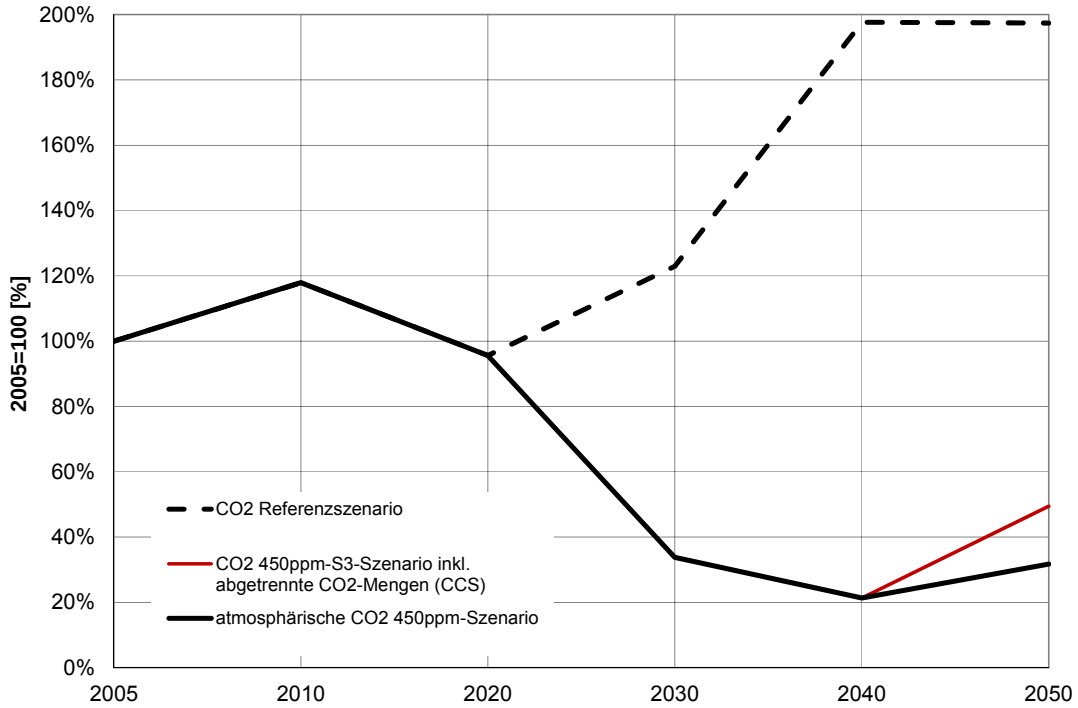


Abbildung 9-20. Entwicklung der CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im 450 ppm-Szenario (schwarze Linie) unter Berücksichtigung des zusätzlichen Strombedarfs der Eisen- und Stahlindustrie im ambitioniertesten Industrieszenario S3. Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario. Die rote Linie stellt die jährlichen CO_2-Emissionen inklusive der durch CCS zur Speicherung abgetrennten CO_2-Mengen dar.

Für die abschließende Beurteilung ist somit ein Vergleich der gesamten kumulierten Emissionen der Szenarienkombination Strom 450 / Industrie S2 mit Strom 450 / Industrie S3 durchzuführen.

Zwischen 2010 und 2050 emittieren der Stromsektor und die Eisen- und Stahlindustrie im kombinierten Szenario 450/S2 506 Mt CO_2. Im kombinierten Szenario 450/S3 beträgt die kumulierte Emissionsmenge 502 Mt CO_2. Der Unterschied beträgt weniger als 1 %. Dieser Unterschied ist zu gering um eine eindeutige Empfehlung abgeben zu können. Die vorgestellte Szenarienadaption zeigt allerdings deutlich die intersektoralen Wechselwirkungen. Eine eindeutige Priorität sollte nichtsdestotrotz auf die vollständige Dekarbonisierung des Stromsektors gelegt werden. Ein Vergleich der Emissionstrends zwischen Strom- und Industriesektor zeigt die größeren Herausforderungen der Dekarbonisierung im Industriebereich. Die damit verbundenen Unsicherheiten des Ausmaßes der THG-Emissionsreduktion im Industriebereich sollten durch einen Fokus auf das Erreichen der Dekarbonisierung des Stromsektors sowie der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung im Gebäudesektor zumindest teilweise abgefedert werden.

Im in Abbildung 9-20. dargestellten Szenario gelingt die vollständige Dekarbonisierung des Stromsektors nicht. Dies ist einerseits auf die zusätzliche Stromnachfrage der Eisen- und Stahlindustrie zurückzuführen (über die Herausforderungen der Implementierung der entsprechenden Emissionsreduktionsmaßnahmen im Industriesektor sei auf den Berichtsteil zu Arbeitsschritt 3.4. verwiesen), andererseits dürften die in der Realität zur Verfügung stehenden Potenziale der Erneuerbaren – speziell der Windenergie – wohl deutlich höher sein als im Simulationsmodell abgebildet, da die für Österreich

verwendeten Windkarten nicht mehr dem neuesten Technologiestand entsprechen. Das bedeutet, dass der Beitrag der Windkraft zur Deckung der Stromnachfrage im Jahr 2050 unterschätzt wird. In der Realität könnten somit – energetisch betrachtet – zusätzliche Stromverbräuche der Industrie aufgrund implementierter Emissionsreduktionsmaßnahmen abgefangen werden, was einen stärkeren Emissionsreduktionsrückgang, als der in Abbildung 9-20. dargestellte, zur Folge hätte. Auch hat im dargestellten Szenario die (gebäude- und fassadenintegrierte) Fotovoltaik mit einer jährlichen Produktion im Jahr 2050 von ca. 10 TWh ihre angenommene Potenzialrestriktion von 18 TWh noch nicht erreicht.

9.2.1.5 Zusammenfassung der Szenarienanalyse

Die in den Szenarien abgebildeten Investitionsentscheidungen führen zu einer schrittweisen Minimierung der Gesamtkosten der Bereitstellung von Elektrizität. Die zentrale energetische Größe innerhalb der Modellierung stellt der jährliche Stromverbrauch dar. Der Beitrag unterschiedlicher Erzeugungstechnologien (z. B. Biogasanlagen) zur Bereitstellung von Ausgleichsenergie wird im Modell nicht betrachtet.

Nachdem im vorigen Kapitel die Entwicklung der modellierten Technologien innerhalb der einzelnen Szenarien detailliert analysiert wurde, soll nun eine vergleichende Darstellung erfolgen, um auf die Bandbreiten und Charakteristika der Szenarien – und damit die Robustheit der Technologien – fokussieren zu können. Dazu wird die Stromerzeugung aus den erneuerbaren Technologien Biomasse, Biogas, PV und Windkraft für die Jahre 2025 und 2050 verglichen.[71]

Für das Jahr 2025 ergeben sich in Bezug auf die Produktion in PV-Anlagen nur (relativ) geringe Unterschiede gegenüber dem jetzigen Stand. Im Gegensatz dazu verzeichnen Windkraftanlagen in allen Szenarien einen starken Ausbau – im Schnitt werden 2025 ca. 5,2 TWh elektrische Energie aus Windkraft gewonnen, wobei die Bandbreite zwischen den Szenarien ca. 1 TWh beträgt. Die Robustheit dieser Technologie erweist sich somit als sehr hoch. Die in der Realität zur Verfügung stehenden Potenziale dürften wohl deutlich höher sein als im Modell abgebildet, da die für Österreich verfügbaren Windkarten nicht mehr dem neuesten Technologiestand entsprechen. In Bezug auf Windkraft stellen die Modellergebnisse somit eine Unterschätzung der tatsächlich erwartbaren Durchdringung dar. Biomassekraftwerke liefern im Mittel 2 TWh, Biogasanlagen 500 GWh (siehe Abbildung 9-21. oben).

71 Da aus den Szenarien Empfehlungen für die künftige Prioritätensetzung im Bereich nachhaltiger Energietechnologien im Stromsektor in Österreich abgeleitet werden, erfolgt in diesem Kapitel ein Vergleich der erneuerbaren Stromerzeugung. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft wird in den Analysen exogen vorgegeben und unterscheidet sich daher zwischen den Szenarien nicht.

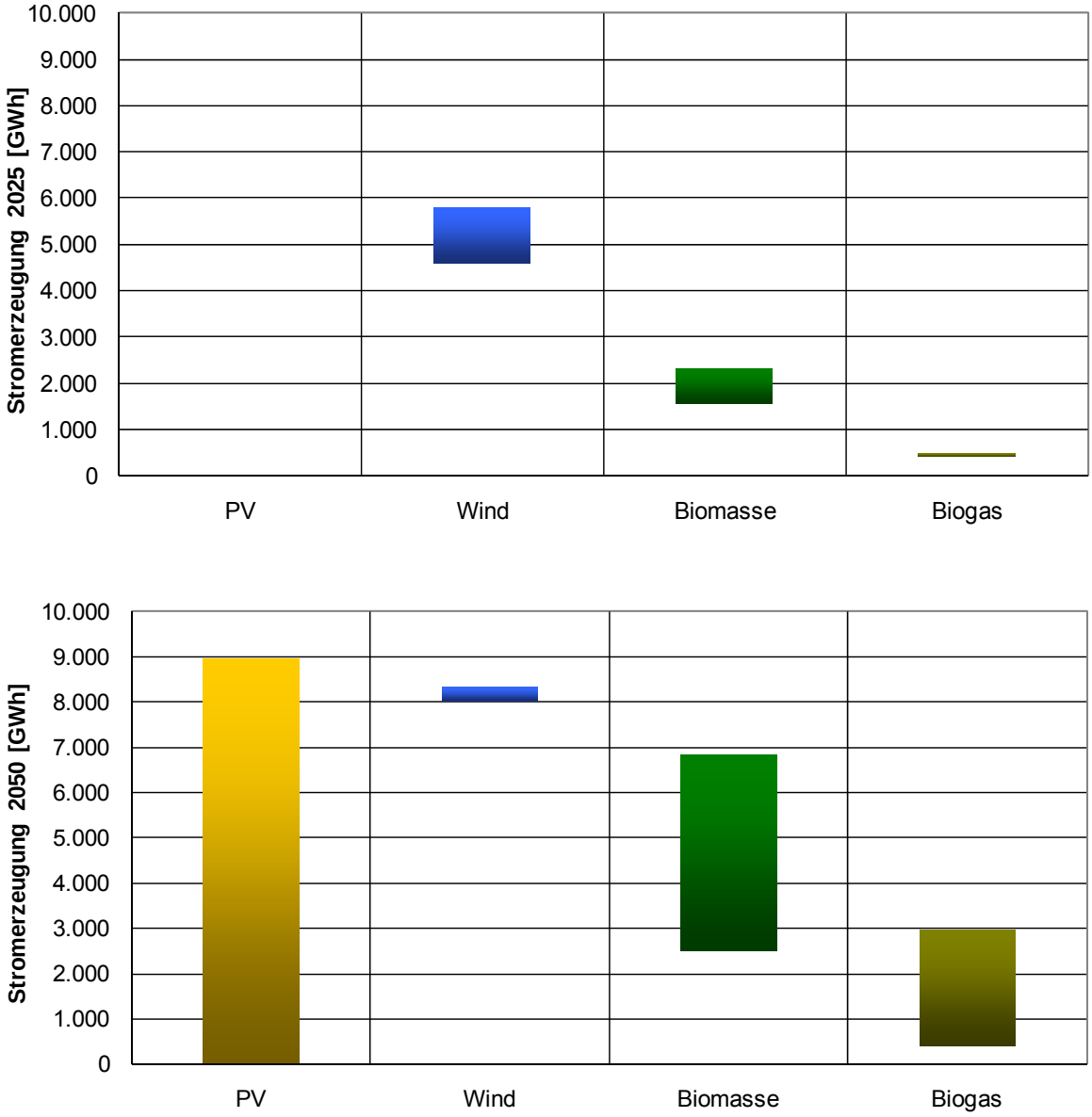


Abbildung 9-21. Bandbreite der jährlichen Stromproduktionsmengen der modellierten erneuerbaren Technologien in den Szenarien im Jahr 2025 (oben) und 2050 (unten). (Quelle: eigene Berechnungen)

Für das Jahr 2050 zeigt sich speziell bei PV ein signifikanter Ausbau. In einigen Szenarien stellt PV nach Wasserkraft die wichtigste Form der erneuerbaren Stromerzeugung dar. Ein sehr hohes Stromgroßhandelspreisniveau (> 100 €/MWh) ist notwendig um an die Obergrenze des Ausbaus zu gelangen. Haas et al. (2008) geben für dach- und fassadenintegrierte PV-Systeme ein Erzeugungspotenzial von 18,4 TWh in guter Ertragslage an. Dieses Potenzial wird im 450 ppm-Szenario im Jahr 2050 knapp zur Hälfte ausgeschöpft. Windenergie weist wiederum eine sehr geringe Schwankungsbreite auf – im Mittel liegt sie bei 8,2 TWh – wobei sie sich generell über den Simulationszeitraum betrachtet nahe oder an der Potenzialgrenze bewegt. Wiederum stellen die Simulationsergebnisse der Windkrafterzeugung eher eine Unterschätzung der tatsächlich erwartbaren Durchdringung dar. Aufgrund der über die Zeit steigenden fossilen Primärenergiepreise nimmt der Anteil der biogenen Stromerzeugung bis zum Jahr 2050 zu. Die Bandbreite der biogen befeuerten Kraftwerke zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ist relativ hoch. Dies gilt speziell für Anlagen, deren Primärenergieinput

eine große preisliche Spanne aufweist und damit sehr sensitiv auf unterschiedliche Realisationen der exogenen Parameter reagiert. In Summe ergibt sich für Biomasseanlagen ein Spielraum zwischen 3 TWh und 7 TWh. Für Stromerzeugung aus Biogas beträgt die Spanne 500 GWh bis 3 TWh (siehe Abbildung 9-21. unten). Die obere Schranke kann unter hohen Referenzpreisen erreicht werden, sofern im Bereich der implementierten Politiken im Bioenergiebereich ein starker Fokus auf gekoppelte Strom-Wärme-Erzeugung gelegt wird.[72] Aufgrund der gezogenen Modellgrenzen kommt es vor allem in Niedrigpreisszenarien aufgrund der Nutzungskonkurrenz mit der reinen Wärmeerzeugung tendenziell zu einer Überschätzung der Stromerzeugung aus Bioenergie-KWK-Anlagen.[73]

9.2.1.6 Sensitivitätsanalyse – Auswirkungen des Klimawandels

Stromerzeugungspotenziale

Kranzl et al. (2010) ermitteln die Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromerzeugungspotenziale mit einem Fokus auf Wasserkraft- und Bioenergieerzeugung in drei Klimaszenarien (B1, A1B und A2). Abbildung 9-22. zeigt die Klimasensitivität der Wasserkrafterzeugung in diesen Klimaszenarien. Im Mittel reduziert sich die Stromproduktion im B1-Szenario um 0,07 % p.a., im A2-Szenario um 0,14 % p.a. sowie im A1B-Szenario um 0,31 % p.a. im Vergleich zum „EISERN"-Referenzszenario (bei gleichen Ausbaugraden). Im Jahr 2050 nimmt die Stromproduktion um 1,1 TWh (B1), 2,3 TWh (A2) sowie 4,8 TWh (A1B) im Vergleich zum Referenzfall (keine Klimasensitivität) ab.

72 Vergleiche dazu auch die Heat-and-Power Szenarien in Kranzl et al. (2008).

73 Für Details zu Nutzungskonkurrenz siehe Kranzl et al. (2008).

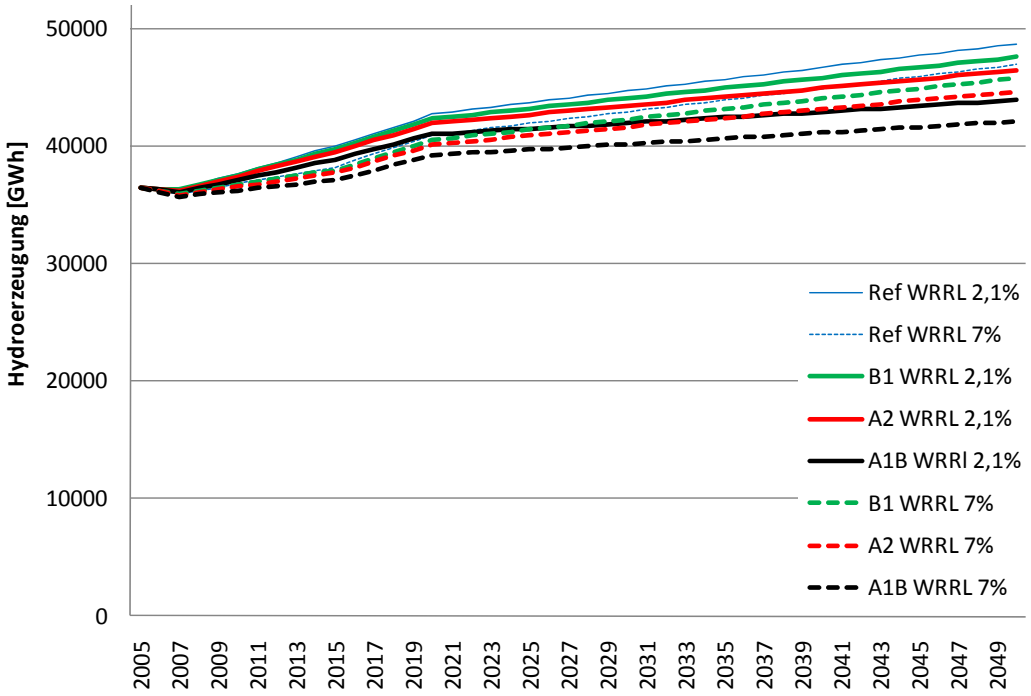


Abbildung 9-22. Entwicklung der durchschnittlichen jährlichen Wasserkrafterzeugung in den Klimaszenarien (B1, A1B, A2) im Vergleich zum EISERN-Referenzszenario (keine Klimasensitivität der Wasserkrafterzeugung). Die strichlierten Linien stellen die Entwicklung der Erzeugung bei einer „strikten" Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie dar (7 % Erzeugungsverluste).
(Quelle: Kranzl et al., 2010; eigene Berechnungen)

Die genannten Zahlenwerte gelten für eine „moderate" Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie, bei der sich die jährliche Erzeugung aus Wasserkraftwerken um 2,1 % reduziert. Stigler (2005) gibt als Obergrenze der möglichen Verluste 7 % an. In diesem Fall sinkt die Erzeugung im Jahr 2050 in den Szenarien um ca. 2 TWh im Vergleich zum 2,1 % WRRL-Szenario.

Im Jahresgang ergibt sich in allen drei Klimaszenarien eine leichte Verflachung der Produktion (siehe Abbildung 9-23.), da der Anteil der Wintererzeugung steigt und der Anteil der Sommererzeugung fällt. Für die Angebotskurve im Elektrizitätsmarkt bedeutet dies eine Reduktion der saisonalen Unterschiede. Ceteris paribus verflacht sich somit auch die unterjährige Preiskurve am Strommarkt. Im Winterhalbjahr (Oktober bis März) erhöht sich die durchschnittliche Erzeugung in den Szenarien von 2005 auf 2050 um ca. 5 TWh.

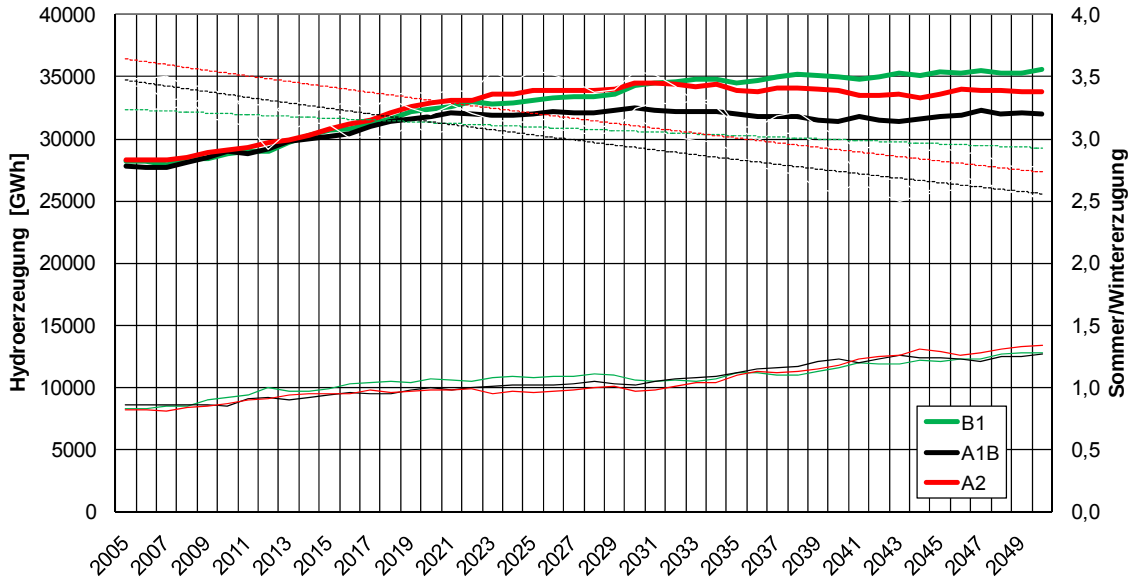


Abbildung 9-23. Entwicklung der durchschnittlichen Wasserkrafterzeugung im Sommer (dicke Linien) und im Winter (dünne Linien) in den Klimaszenarien (B1, A1B, A2). Die strichlierten Linien stellen die Entwicklung des Verhältnisses von Sommer- zu Winterproduktion dar (rechte Skala).
(Quelle: Kranzl et al., 2010; eigene Berechnungen)

Aufbauend auf Kranzl et al. (2010) zeigt die folgende Abbildung die Entwicklung der Stromerzeugung aus Bioenergieanlagen in den drei Klimaszenarien B1, A1B und A2. Es werden jeweils ein klimasensitiver und eine nicht-klimasensitiver Verlauf unterschieden.

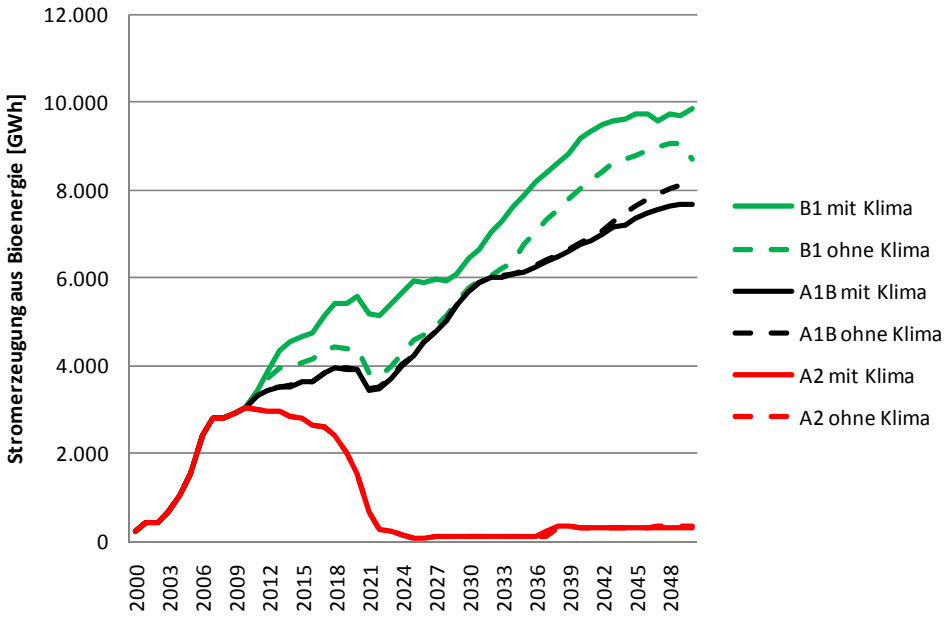


Abbildung 9-24. Entwicklung der Stromerzeugung aus Bioenergieanlagen in den Klimaszenarien (B1, A1B, A2). Die strichlierten Linien stellen die entsprechende Erzeugung ohne Berücksichtigung des Klimawandels dar.
(Quelle: Kranzl et al., 2010; eigene Berechnungen)

Die in Kranzl et al. (2010) untersuchten Szenarien berücksichtigen Baseline-Entwicklungen innerhalb der B1, A1B und A2-Storylines der IPCC (IPCC, 2000). Bei den Szenarien handelt es sich, im Unterschied zum gegenständlichen Projekt, nicht um

Stabilisierungsszenarien. So erreicht die globale THG-Emissionskonzentration im IPCC B1-Szenario im Jahr 2100 ca. 790 ppm. Entsprechend erhöht sich die Temperatur in diesem Szenario im Vergleich zum vorindustriellen Niveau mit mittlerer Wahrscheinlichkeit um 3 bis 4 °C.

Im Projekt EISERN beträgt die Emissionskonzentration im Stabilisierungsszenario mit der höchsten Konzentration 550 ppm. Im Unterschied zum B1-Szenario erhöht sich die Temperatur in diesem Szenario im Vergleich zum vorindustriellen Niveau mit mittlerer Wahrscheinlichkeit um 2,5 bis 3,5 °C. Im EISERN-Szenario mit der niedrigsten Konzentration an Treibhausgasen (450 ppm-Szenario) erhöht sich die Temperatur im Vergleich zum vorindustriellen Niveau mit mittlerer Wahrscheinlichkeit um 1,8 bis 2,5 °C. Entsprechend sind die in den obigen Abbildungen (Abbildung 9-23. und Abbildung 9-24.) dargestellten Auswirkungen des Klimawandels auf die Stromerzeugungspotenziale eine Überschätzung der möglichen Effekte in den EISERN-Stabilisierungsszenarien. Nennenswerte Potenzialrestriktionen der österreichischen Wasserkraft- und Bioenergieerzeugung sind daher im Fall der globalen Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration auf 450 bis 550 ppm CO_2-eq nicht zu erwarten.

9.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen Stromerzeugung

Zur Erreichung künftiger Klimaziele ist die Dekarbonisierung des Stromsektors entscheidend. Das lässt sich nur erreichen, wenn der Energieeffizienz eine prominente Rolle zugemessen wird. Ohne entsprechende Maßnahmen könnte der Stromverbrauch bis zum Jahr 2050 auf über 90 TWh ansteigen.[74] Dieser zusätzliche Energieverbrauch stellt eine große Herausforderung an die vollständige Umstellung des Energiesystems auf erneuerbare Energieträger dar. Durch nachfrageseitige Energieeffizienzmaßnahmen kann der Stromverbrauch stark reduziert werden (von 92 TWh im Referenzfall auf 76 TWh im 450 ppm-Szenario im Jahr 2050). Die relevanten Technologien beinhalten beispielsweise im Haushaltsbereich effiziente Beleuchtung, Reduktion des Strombedarfs für Raumwärme und Warmwasser sowie effiziente Haushaltstechnologien. Im Industriesektor bieten effiziente Beleuchtung, Reduktion des Strombedarfs für Kühlung, Klimatisierung und Belüftung, effiziente Motoren, Raumwärme und Warmwasser, sowie Druckluft und angepasste Sensoriken und Steuerungen signifikante Reduktionspotenziale. Im Tertiärsektor kann durch effiziente Beleuchtung, Reduktion des Strombedarfs für Kühlung, Informations- und Kommunikationstechnologien, Belüftung und Klimatisierung, effiziente Motoren für Belüftung und Klimatisierung, sowie Raumwärme und Warmwasser entsprechend elektrische Energie eingespart werden (Redl et al., 2009). Die genannten Potenziale können nur durch einen breiten Mix an Instrumenten und Politiken gehoben werden (z. B. Höchstverbrauchsstandards, Reduktionsverpflichtungen für Energieversorgungsunternehmen, Förderungen, Umweltsteuern (Internalisierung externer Kosten, Informationsoffensiven, Vorbildfunktion der öffentlichen Hand etc.).

Die Analysen zeigen, dass hohe CO_2-Preissignale innerhalb der abgebildeten Preisobergrenzen (Anstieg auf ca. 100 €'09/t CO_2 bis 2050) gekoppelt mit steigenden Kohle- und Gaspreisen zu einer vollständigen Dekarbonisierung führen können. Dies betont die Rolle der Energie- und Ordnungspolitik zur Erreichung der Internalisierung der externen Klimakosten fossiler Energieträger.

74 2010 betrug der Inlandsstromverbrauch (inkl. Verbrauch für Pumpspeicherung) ca. 64 TWh.

Der Anteil von Erneuerbaren (mit Ausnahme der Windenergie) reagiert in allen Szenarien äußerst sensitiv auf den entsprechenden preislichen Referenzrahmen. Dies unterstreicht die herausragende Rolle der Energiepolitik, insbesondere in Zeiten niedriger Energiepreise, zur Erreichung langfristiger Ziele. Dies zeigt sich sehr gut am Beispiel der photovoltaischen Stromerzeugung, die ohne zusätzliche Förderpolitiken erst ab 2040 nennenswerte Beiträge zur Stromerzeugung leisten kann. Soll der Anteil dieser Technologie bereits 2020 signifikant zur Deckung der Stromnachfrage (und damit zur Emissionsreduktion) beitragen, müssen entsprechende Förderungen (Einspeisetarife) implementiert werden (und bleiben).

Ein österreichisches regeneratives Stromsystem ist aufgrund ausgeprägterer Dezentralität und volatilerer Erzeugung mit Herausforderungen an das Systemdesign, das Systemmanagement und die Systemstabilität verbunden.[75] Die Integration regionaler (Ausgleichsenergie-)Märkte, in denen sich geografisch unterschiedliche Windcharakteristika ausgleichen können, sowie ein entsprechender regulatorischer Rahmen, der eine bessere (lastflussbasierte) Netznutzung sowie Anreize zum Netzausbau und einen diskriminierungsfreien Anlageneinsatz und dessen Steuerung im Fall starker Leistungsungleichgewichte ermöglicht, sind notwendig um diese Herausforderungen bewältigen zu können. Bezüglich der Lastabdeckung ist zu beachten, dass der Kapazitätsbeitrag der fluktuierend ins Netz einspeisenden Technologien, im Vergleich zu fossilen und biogen befeuerten Kraftwerken, geringer ist. Vorteilhaft für Österreich stellt sich das hohe Speicherpotenzial von volatiler Stromerzeugung in Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken dar. Für gewisse Lastfälle (z. B. windarme Winterabend-Spitze), kann die Lastabdeckung allerdings ein Problem darstellen. Die Flexibilisierung der Nachfrage ist – neben flexiblen Erzeugungstechnologien sowie der Integration von neuen Speichertechnologien – für das regenerative System von Vorteil.

Das regenerative System des Jahres 2050 unterscheidet sich vom Status quo fundamental. Dieser Systemwechsel kann nur unter entsprechenden politischen Begleitmaßnahmen stattfinden. Neben den erwähnten Förder- und Energieeffizienzpolitiken muss eine Regulierung im Netzbereich etabliert sein, die Investitionsanreize und entsprechende Managementmethoden sowohl im Übertragungsnetz als auch im Verteilnetz ermöglicht. Auch im regenerativen System stellen somit Übertragungs- und Verteilnetze wesentliche Bestandteile der Infrastruktur dar. Eine Entwicklung hin zu dezentralen Insellösungen wird nicht stattfinden.

Aufgrund der günstigen Erzeugungskosten sollte dem Ausbau der Windenergie kurz- bis mittelfristig eine hohe Priorität in der Energiepolitik eingeräumt werden. Der Ausbau hat Aus-wirkungen auf die Netzsituation, die über die Regulierung der Stromnetze zu berücksichtigen sind (siehe oben).

Für den langfristig signifikanten Beitrag Erneuerbarer ist eine Verlagerung des energiepolitischen Fokus auf die photovoltaische Stromerzeugung notwendig, die nach der Wasserkraft das höchste Erzeugungspotenzial aufweist. Im Fall der Bioenergieverstromung ist die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung Voraussetzung für die Ressourcenschonung. Entscheidend für die Nutzung der gekoppelten Strom- und Wärme-

75 Im Sinne von E-Control (2005) umfasst dezentrale Erzeugung Anlagen die an das Mittel- und Niederspannungsnetz (kleiner gleich 30 kV) angeschlossen sind.

erzeugung aus Bioenergie ist eine entsprechende Wärmeabnahme, die durch geeignete Standortwahl gewährleistet werden kann.

Zusammenfassend ist für die Eckpfeiler eine langfristig wirksamen Klima- und Energiestrategie in Bezug auf zeitliche Dynamiken des Stromsystems sowie der energiepolitischen Priorisierung festzustellen:

Kurzfristige Effekte bzw. Maßnahmen (bis ca. 2020):

Unabhängig vom Szenario ist bis ca. 2015 ein „Lock-In" in bestehende CO_2-Emissionstrends feststellbar – die Emissionen steigen also. Dieser Lock-In resultiert aus den Emissionen bestehender fossiler Kraftwerke und entsprechender Neubauprojekte. Hier spielen die langen Lebensdauern zentraler Kraftwerkstechnologien (typischerweise 40 Jahre) eine entscheidende Rolle. Vorzeitiges Abschalten bestehender Technologien stellt keine realpolitische Option dar.

Leichte Emissionsreduktionen zwischen 2015 und 2020 (wiederum Szenario unabhängig) resultieren aus der „Sterbelinie" des bestehenden Kraftwerksparks und aus höheren Wirkungsgraden aktueller fossil befeuerter Neubauprojekte (hauptsächlich gasbefeuert).

Die Emissionen des Stromsektors im Jahr 2020 sind somit durch heutige Bedingungen und geplante Neubauprojekte gänzlich bestimmt – und schwer bis kaum beeinflussbar. Um einen langfristigen „Lock-In" in emissionsintensivere Strukturen zu vermeiden, sind außerdem bereits kurzfristig strukturell wirksame Energieeffizienzmaßnahmen zu implementieren.

Windkraft stellt eine robuste (Szenario unabhängige) erneuerbare Technologie dar. Kurzfristig ist diese Technologie somit zu priorisieren.

Mittelfristige Effekte bzw. Maßnahmen (ca. 2020-2030):

Für mittelfristige Investitionsentscheidungen spielen die politischen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle. Diese müssen allerdings aufgrund der langen Vorlaufzeiten von Infrastrukturprojekten schon kurzfristig gesetzt werden! Zwischen 2020 und 2030 ist – Szenario unabhängig – der stärkste Trend der Emissionsreduktion feststellbar. Dies folgt aus der „Sterbelinie" des existierenden Kraftwerkparks. Aktuell existierende fossil befeuerte Kraftwerke gehen großteils bis 2030 außer Betrieb.

Wird diese Dynamik nicht durch flankierende energiepolitische Maßnahmen genutzt um einen Investitionszyklus in erneuerbare Technologien und die Realisierung wirksamer Energieeffizienzmaßnahmen zu erreichen, besteht die Gefahr eines erneuten „Lock-Ins" in fossile Technologien (siehe z. B. die Entwicklungen im BAU Referenzszenario bzw. teilweise auch im 550 ppm-Szenario).

Wichtig ist hier zunächst die Gewährleistung einer robusten CO_2-Preisentwicklung. Bis 2020 sollte der Preis innerhalb des EU-ETS (bzw. eine entsprechende CO_2-Steuer in den Endverbrauchssektoren) auf 30 €/t CO_2 ansteigen. Bis 2030 sollte der Preis auf mind. 60 €/t CO_2 steigen, um entsprechende Investitionsanreize in emissionsarme bzw. -freie Technologien zu bieten. Diese Preistrajektorie muss für alle beteiligten Marktteilnehmer gut absehbar sein! Letztlich macht dieses Preisniveau macht Investitionen in kohlebefeuerte Technologien unwirtschaftlich.

Langfristige Effekte bzw. Maßnahmen (nach 2030):

Für die langfristige Evolution des Stromsystems ist wiederum die Sicherheit in Bezug auf politische Rahmenbedingungen entscheidend. Hier sind bereits jetzt entsprechende Aktivitäten zu setzen um langfristig speziell Preissicherheit im CO_2-Zertifikatemarkt zu erreichen. Bis 2050 sollte der CO_2-Preis auf mind. 80 €/t CO_2 steigen (mit einer Obergrenze von ca. 100 €/t CO_2 – dieses Niveau garantiert die langfristige Dekarbonisierung des Stromsektors). Bei diesem Preisniveau stellt Fotovoltaik (PV) eine robuste (szenariounabhängige) erneuerbare Technologie dar. Langfristig ist diese Technologie somit zu priorisieren. Um einen langfristig signifikanten Beitrag dieser Technologie zu erreichen sind allerdings frühzeitig wirksame Förderpolitiken notwendig.

Generelle Effekte bzw. Maßnahmen (2010-2050):

Die Entwicklung des Stromverbrauchs stellt letztlich die entscheidende treibende Kraft für die Evolution des Stromsektors dar. Entsprechend muss der Fokus der Energiepolitik kurz-, mittel- und langfristig auf Energieeffizienz gesetzt werden. So reagiert der Anteil Erneuerbarer am Strommix sowohl sehr sensibel auf das Niveau des Verbrauchs – aber auch der CO_2-Preise. Auch für Erneuerbare ist somit ein langfristiger energiepolitischer Rahmen entscheidend. Die Bedeutung der Energieeffizienz ist umso entscheidender, da Elektrizität zukünftig für eine Vielzahl neuer Energiedienstleistungen verwendet werden wird. Wechselwirkungen mit anderen Sektoren (Elektromobilität, Industrie) sind somit in der Erstellung des Politikmixes zu berücksichtigen.

Die simulierten Entwicklungen des österreichischen Stromversorgungssystems ergeben sich aus einer schrittweisen Minimierung der Gesamtkosten der Stromerzeugung. Die Technologiedurchdringung bzw. die Entwicklung des Erzeugungsmix ist somit immer eine „optimale", bzw. (im ökonomische Sinne) effiziente.[76] Ein Hauptaugenmerk wurde auf die Internalisierung der externen CO_2-Kosten gelegt. Spezielle technologiespezifische preisliche Förderpolitiken wurden somit nicht explizit berücksichtigt.

Für die angeführten Schlussfolgerungen gilt, dass die Entwicklung der Nachfrage den zentralen Parameter darstellt, der die (R-)Evolution des Stromversorgungssystems entsprechend vorantreiben kann. Dies ist ein über alle Modellannahmen und Szenarien gültiges Ergebnis. Es gilt zu beachten, dass die Strukturen des Elektrizitätssystems aufgrund langer Vorlaufzeiten (z. B. langjährige Planungs- Errichtungszeiten von neuen Übertragungsleitungen) und von Lock-in Effekten (z. B. hohe Lebensdauer fossiler Kraftwerke), träge reagieren. Rechtzeitiges Agieren ist somit angezeigt.

76 Unter Berücksichtigung der Modellgrenzen

10 Gegenüberstellung von explorativen und normativen Emissionsszenarien

10.1 Einführung und Methodik

Das Ziel dieses finalen Arbeitsschrittes ist es, wesentliche Eckpfeiler einer möglichen langfristigen Emissionsreduktions- und Energiestrategie auf Basis der vorangegangenen Modellierungen abzuleiten. Dazu werden zunächst die explorativ, Bottom-up modellierten möglichen sektoralen Emissionspfade (aus Arbeitspaket 3) den normativen, Top-down vorgegebenen Pfaden (aus Arbeitspaket 2) gegenübergestellt. Danach folgen allgemeine Schlussfolgerungen in Bezug auf die Bewertung eines integrierten, Sektor übergreifenden Politikmaßnahmenbündels.

10.2 Notwendige versus mögliche Emissionspfade

Abbildung 10-1. zeigt den historischen Verlauf der THG-Emissionen in Österreich sowie die entsprechenden sektoralen Anteile an den Gesamtemissionen. Zwischen 1990 und 2010 sind die gesamten THG-Emissionen um 8,2 % gestiegen (UBA, 2012).[77]

In den vergangenen 20 Jahren weist der Verkehrssektor die größten Wachstumsraten auf. Entsprechend ist der Anteil der verkehrsbedingten Emissionen von 18 % im Jahr 1990 auf 27 % im Jahr 2010 gestiegen. Die Anteile von Industrie und Energieaufbringung sind annähernd konstant geblieben – die Emissionen dieser Sektoren sind in absoluten Zahlen somit leicht gestiegen. Die Bereiche Raumwärme, Land- und Abfallwirtschaft weisen sinkende Emissionen – und damit sinkende sektorale Emissionsanteile – auf.

Dem realisierten Verlauf der THG-Emissionen wird in Abbildung 10-2. der in den EISERN Szenarien abgeleitete zukünftige (notwendige) Verlauf der THG-Emissionen gegenübergestellt.[78] Im Vergleich zum Emissionsniveau des Jahres 1990 (2010) müssen im 550 ppm-Stabilisierungsszenario die THG-Emissionen bis 2050 um 68 % (70 %) sinken, im 500 ppm-Szenario um 74 % (76 %) und im 450 ppm-Szenario um 80 % (82 %).

77 Das Kyoto-Ziel Österreichs ist in der Periode 2008-2012 eine durchschnittliche Reduktion der THG-Gase im Vergleich zum Jahr 1990 um 13 %.

78 Für Details zur Entwicklung der Top-down ermittelten Emissionsverläufe sei auf die Berichtsteile zu Arbeitspaket 1 und 2 verwiesen.

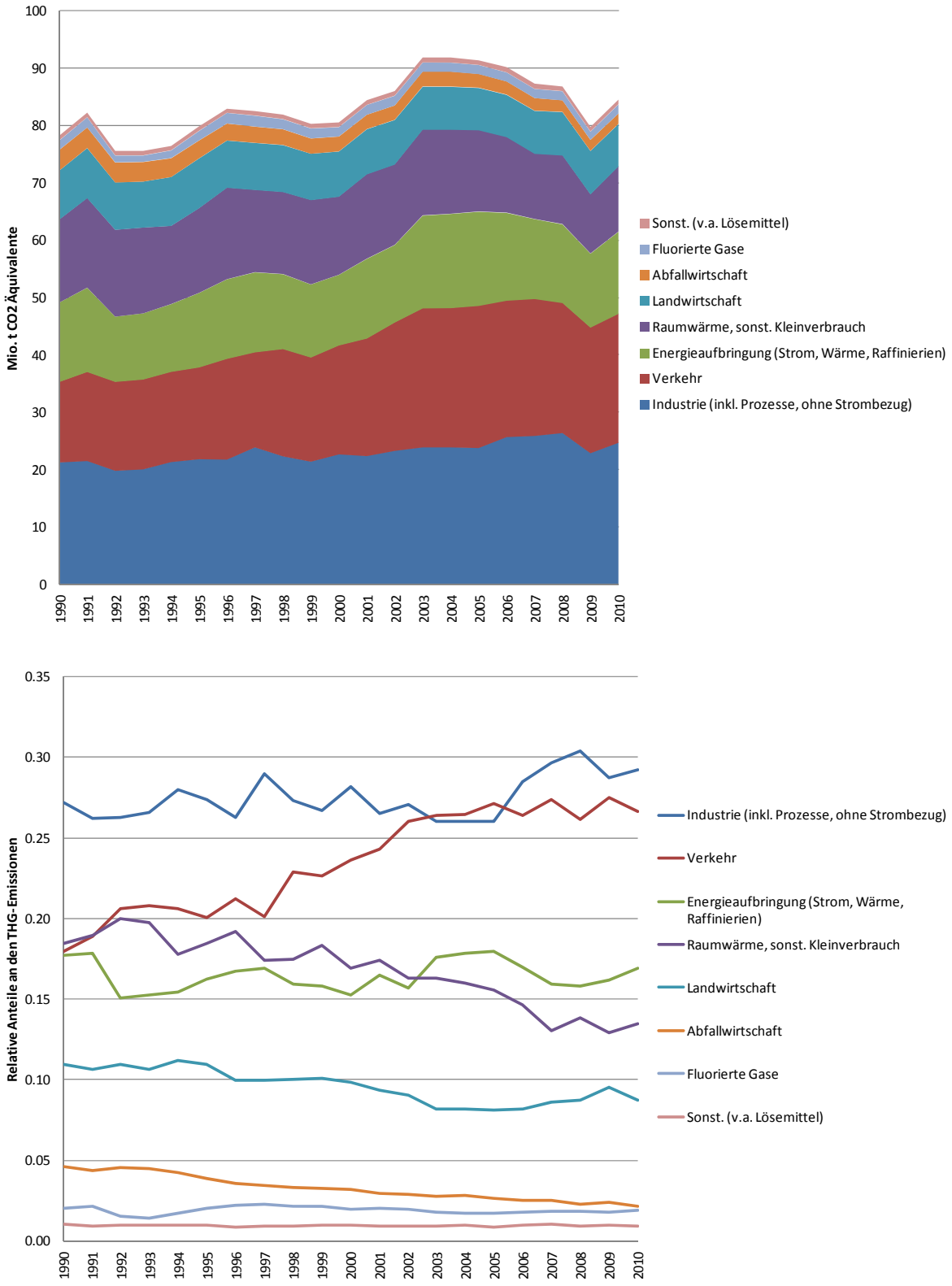


Abbildung 10-1. Treibhausgasemissionen in Österreich von 1990-2010 (oben) und sektorale Anteile (unten).
(Quelle: UBA, 2012; eigene Berechnungen)

Wie sehen nun die möglichen sektoralen Beiträge zur Erreichung dieser Emissionsreduktionsziele aus? Zunächst ist festzuhalten, dass von den im Jahr 2010 in Österreich emittierten 84,6 Mt CO_2-eq in der gegenständlichen Studie im Rahmen der Bottom-up Modellierung 55 Mt abgebildet werden. Dies entspricht 65 %. Die verbleibenden 35 %

wurden hauptsächlich in den Sektoren Land- und Abfallwirtschaft, im nichtabgebildeten (hauptsächlich Auslands-) Teil des Verkehrssektors[79] emittiert bzw. beinhalten nicht-energetische Nicht-CO_2-Emissionen (wie z. B. N_2O, CH_4 und fluorierte Gase). Auf mögliche qualitative Entwicklungen dieses „Residuums" soll später noch eingegangen werden. Zunächst wird die Annahme unterstellt, dass dieses Residuum seine Emissionsziele gemäß den Top-down Vorgaben erreicht.

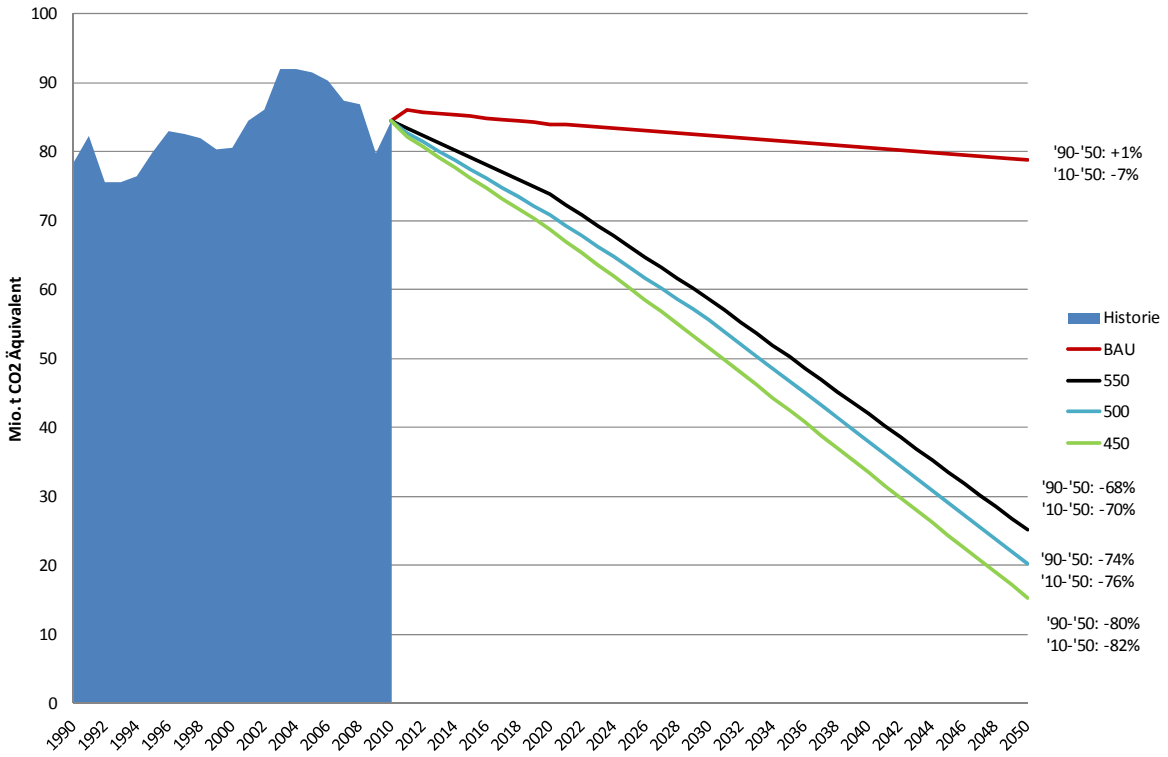


Abbildung 10-2. Verlauf der tatsächlichen THG-Emissionen in Österreich von 1990-2010 sowie Top-down abgeleitete Emissionen für das EISERN Business-as-usual-Referenzszenario und die EISERN Stabilisierungsszenarien.
(Quelle: UBA, 2012; Arbeitspaket 2 – Kapitel 3)

Werden die Bottom-up modellierten sektoralen Emissionsverläufe summiert und den Top-down Verläufen gegenübergestellt, ergibt sich die in Abbildung 10-3. dargestellte Situation.

79 Der modellierte Teil des Verkehrssektors setzt sich beim Personenverkehr aus der Summe von PKW Inland, Bahn und Bus, sowie Mopeds und Motorräder zusammen. Der straßengebundene Güterverkehr setzt sich zusammen aus inländischen leichten Nutzfahrzeugen, schweren Nutzfahrzeugen exklusive Busse und Schiffsverkehr.

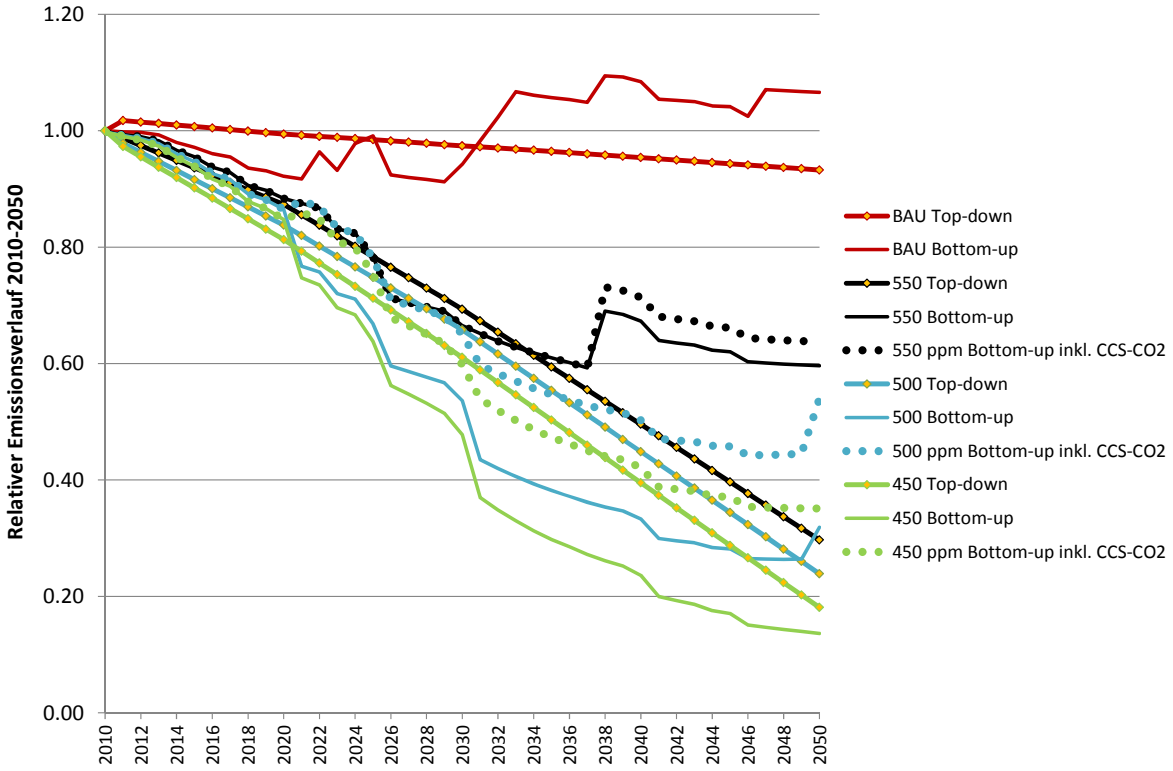


Abbildung 10-3. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN Szenarien.

BAU-*Szenario*

Im *BAU-Szenario* *(Referenzszenario)* ergeben sich in den Bottom-up modellierten Sektoren im langfristigen Mittel nahezu konstante THG-Emissionen. Die Top-down vorgegebene Emissionstrajektorie kann im Wesentlichen erreicht werden. Allerdings ergibt sich zwischen 2030 und 2035 ein Sprung der Emissionstrajektorie. Dies ist durch Investitionen in Kohlekraftwerke im Stromsektor bedingt. Langfristig weist auch die Zementindustrie – und in einem geringeren Ausmaß auch die Eisen- und Stahlindustrie – steigende Emissionsverläufe auf. Die Bewertung der kumulierten Emissionen im Zeitraum 2010-2050 zeigt, dass die modellierten Sektoren die Vorgabe aus der Top-down Analyse im Wesentlichen erfüllen (ca. 2330 Mt CO_2). Abbildung 10-4. zeigt die entsprechenden relativen sektoralen und aggregierten Emissionsverläufe.

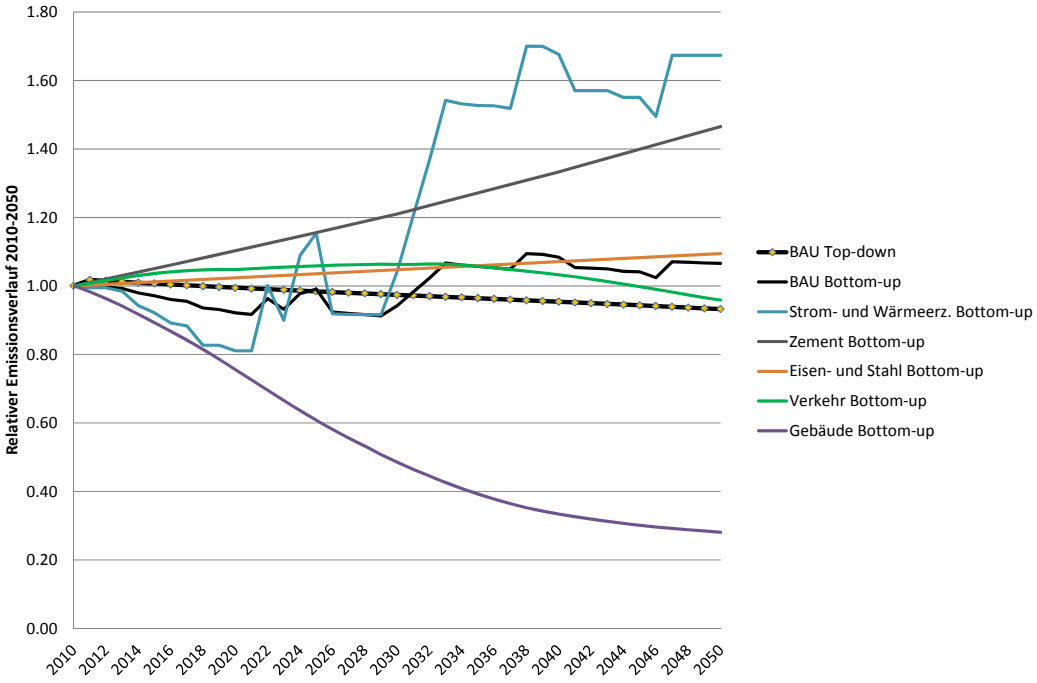


Abbildung 10-4. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im Referenzszenario.

550 ppm-Stabilisierungsszenario

Im *550 ppm-Stabilisierungsszenario* ergibt sich in den Bottom-up modellierten Sektoren im langfristigen Mittel ein Trend zur Emissionsreduktion der bis ca. 2035 der Top-down vorgegebenen Emissionstrajektorie folgt. Danach folgt die Bottom-up Trajektorie nicht mehr der Top-down Vorgabe – die Emissionsreduktion verflacht sich. Dies ergibt sich in erster Linie durch Investitionen fossile Kraftwerke. Die kumulierten Emissionen im Zeitraum 2010-2050 liegen um 10 % über der Vorgabe aus der Top-down Analyse (1730 Mt CO_2). Zusätzlich werden im Basisszenario kumuliert 30 Mt CO_2 abgetrennt und müssen gespeichert werden (Abbildung 10-5., rot punktierte Linie). Im unbeschränkten Modell erfolgen um ca. 2035 Investitionen in Kohlekraftwerke im Stromsektor. Langfristig weist auch die Zementindustrie steigende Emissionsverläufe auf. Die Sektoren Eisen- und Stahlindustrie sowie Verkehr haben zwar leicht sinkende Emissionsverläufe auf, die Trends liegen aber über dem Trend in der Top-down Vorgabe. Diese beiden Sektoren tragen somit auch zur Zielverfehlung bei. Alleine der Gebäudesektor kann durch stark sinkende Emissionen im Bereich der Wärmeversorgung die sektoralen Ziele übererfüllen. Der Stromsektor kann der Vorgabe in der Trendanalyse folgen – allerdings erfolgt, wie erwähnt, ca. 2035 ein Sprung in der Emissionstrajektorie. Abbildung 10-5. zeigt die entsprechenden relativen sektoralen und aggregierten Emissionsverläufe. In 2050 liegen die Emissionsreduktionen in diesem Bottom-up Szenario bei 40 % gegenüber den Emissionen 2010 (35 % wenn die zur Speicherung abgetrennten Emissionen (CCS-CO_2) ebenfalls berücksichtigt werden). Für ein konsistentes 3°C-Zielszenario werden Einsparungen von etwa 70 % gefordert, dieses Ziel wird damit klar verfehlt.

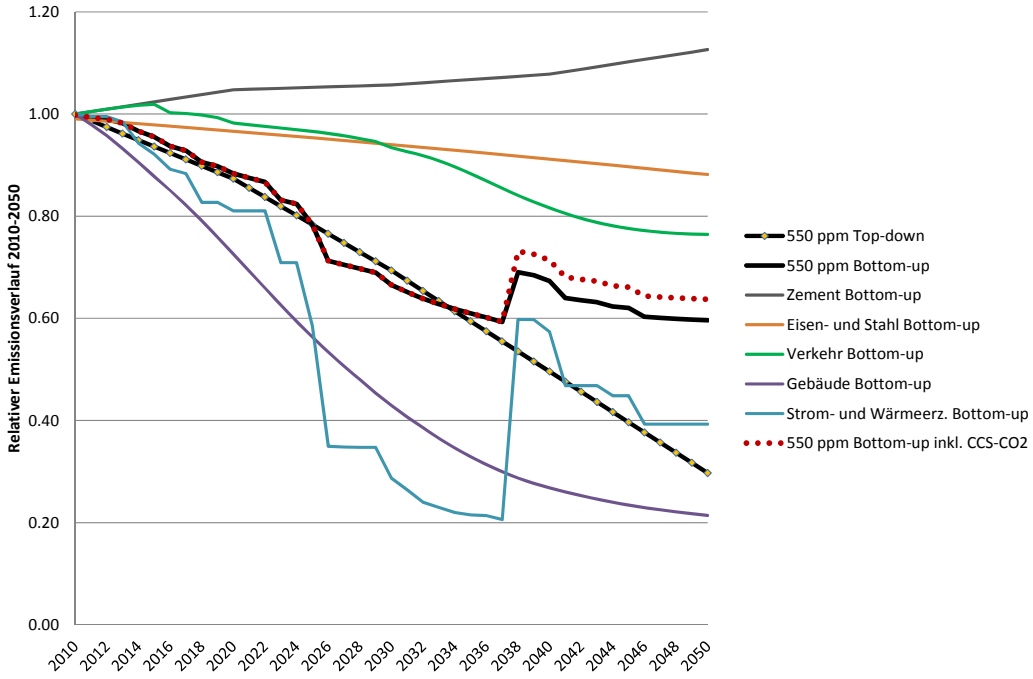


Abbildung 10-5. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im 550 ppm-Stabilisierungsszenario.

Eine Sensitivitätsanalyse zur zentralen Strom- und Wärmeerzeugung zeigt die Abbildung 10-6. Werden die neu errichteten Kohlekraftwerke durch Gaskraftwerke ersetzt (blau strichliertes Szenarien) lassen sich nach 2035/2040 jährlich etwa 1,8 Mt/a atmosphärische CO_2-Emissionen (4,1 Mt CO_2/a inklusive CCS-CO_2) reduzieren. Wird der Stromsektor bis 2050 vollständig dekarbonisiert, bei sonst gleichbleibender Struktur, ergeben sich weitere jährliche Einsparungen von 4,1 Mt CO_2 (grün strich-punktiertes Szenario). Damit werden im betrachteten Zeitraum Emissionsreduktionen von 50 % (gegenüber dem Niveau von 2010) erzielt werden. Das vorgegebene Ziel lässt sich damit dennoch nicht erreichen.

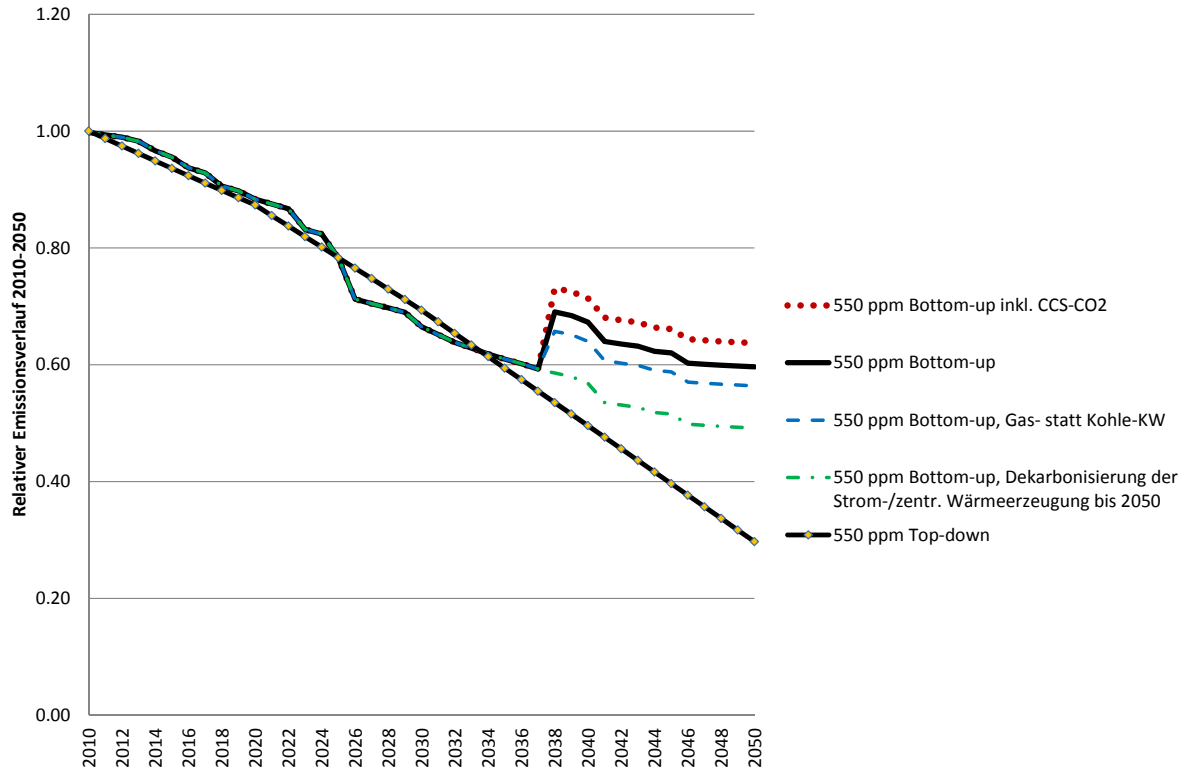


Abbildung 10-6. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im 550 ppm-Stabilisierungsszenario: Sensitivitätsanalysen zum Strom-/Wärmesektor

500 ppm-Stabilisierungsszenario

Im *500 ppm-Stabilisierungsszenario* ergibt sich in den Bottom-up modellierten Sektoren im langfristigen Mittel ein Trend zur Emissionsreduktion der die Top-down vorgegebenen Emissionstrajektorie übererfüllt. Die kumulierten Emissionen der modellierten Sektoren im Zeitraum 2010-2050 liegen um 8 % unter der Vorgabe aus der Top-down Analyse. Allerdings wird ab ca. 2045 im Stromsektor in Kohlekraftwerke (IGCC und IGCC CCS) investiert. Dies bedingt einen Sprung in der Emissionstrajektorie – der permanent ist, da die Lebensdauer der Erzeugungstechnologien ca. 40 Jahre beträgt. Die Sektoren Zementindustrie sowie Verkehr weisen zwar leicht sinkende Emissionsverläufe auf, die Trends liegen aber über dem Trend in der Top-down Vorgabe. Der Gebäudesektor kann durch stark sinkende Emissionen im Bereich der Wärmeversorgung die sektoralen Ziele übererfüllen. Der Stromsektor kann die Vorgabe in der Trendanalyse übererfüllen – allerdings erfolgt, wie erwähnt, ca. 2045 ein Sprung in der Emissionstrajektorie. Abbildung 10-7. zeigt die entsprechenden relativen sektoralen und aggregierten Emissionsverläufe.

Zieht man zur Berechnung der Emissionstrajektorie ausschließlich die atmosphärischen CO_2-Emissionen heran, können die Top-down vorgegebenen Emissionsreduktionen erzielt werden. Wie in der Abbildung dargestellt, werden aber in diesem Szenario große CO_2-Mengen abgetrennt und müssen in möglichen Lagerstätten gespeichert werden. Werden diese hinzugerechnet, werden im Bottom-up Emissionsreduktion bis 2050 von etwa 50-55 % gegenüber dem Niveau von 2010 erzielt.

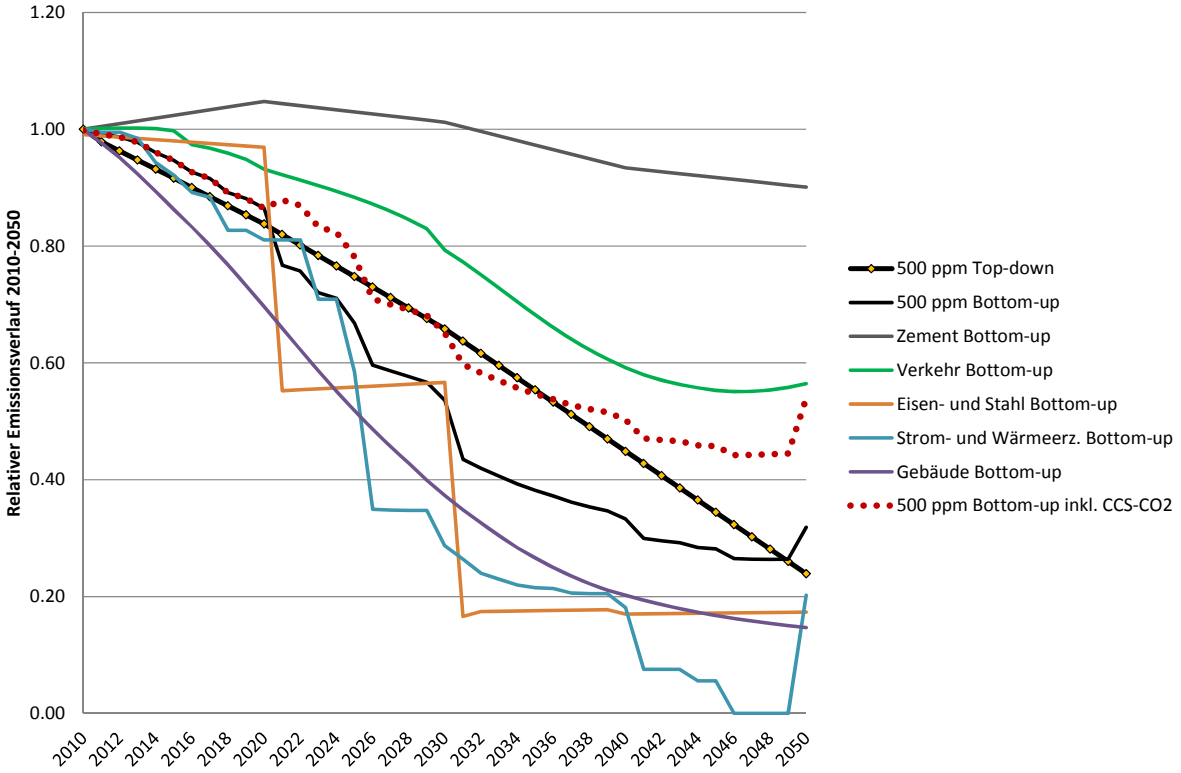


Abbildung 10-7. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im 500 ppm-Stabilisierungsszenario.

450 ppm-Stabilisierungsszenario

Im *450 ppm-Stabilisierungsszenario*[80] ergibt sich in den Bottom-up modellierten Sektoren im langfristigen Mittel ein Trend zur Emissionsreduktion der die Top-down vorgegebenen Emissionstrajektorie übererfüllt. Die kumulierten Emissionen der modellierten Sektoren im Zeitraum 2010-2050 liegen um ca. 15 % unter der Vorgabe aus der Top-down Analyse. Unter Berücksichtigung der CCS-CO_2 Emissionen liegt dieser Kennwert bei 3% über den normativen Vorgaben.

Ein Vergleich der Emissionstrends zwischen Strom- und Industriesektor zeigt die größeren Herausforderungen der Dekarbonisierung im Industriebereich. Die damit verbundenen Unsicherheiten des Ausmaßes der THG-Emissionsreduktion im Industriebereich sollten durch einen Fokus auf das Erreichen der Dekarbonisierung des Stromsektors sowie der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung im Gebäudesektor zumindest teilweise abgefedert werden.

Der modellierte Teil des Verkehrssektors weist einen sinkenden Emissionsverlauf auf, der im Wesentlichen der Top-down Vorgabe folgt. Der Gebäudesektor kann durch stark sinkende Emissionen im Bereich der Wärmeversorgung die sektoralen Ziele sogar übererfüllen. Lediglich die Zementindustrie erfüllt die sektorale Zielvorgabe nicht. Ab 2030 ist der Trend der Emissionsreduktion zwar der Top-down Vorgabe folgend, aufgrund zunächst steigender und bis 2030 nur leicht sinkender Emissionen, liegt der Sektor doch

80 Das Szenario unterstellt die Realisierung des S2–Szenarios in der Eisen– und Stahlindustrie.

deutlich über der Zieltrajektorie. Abbildung 10-8. zeigt die entsprechenden relativen sektoralen und aggregierten Emissionsverläufe.

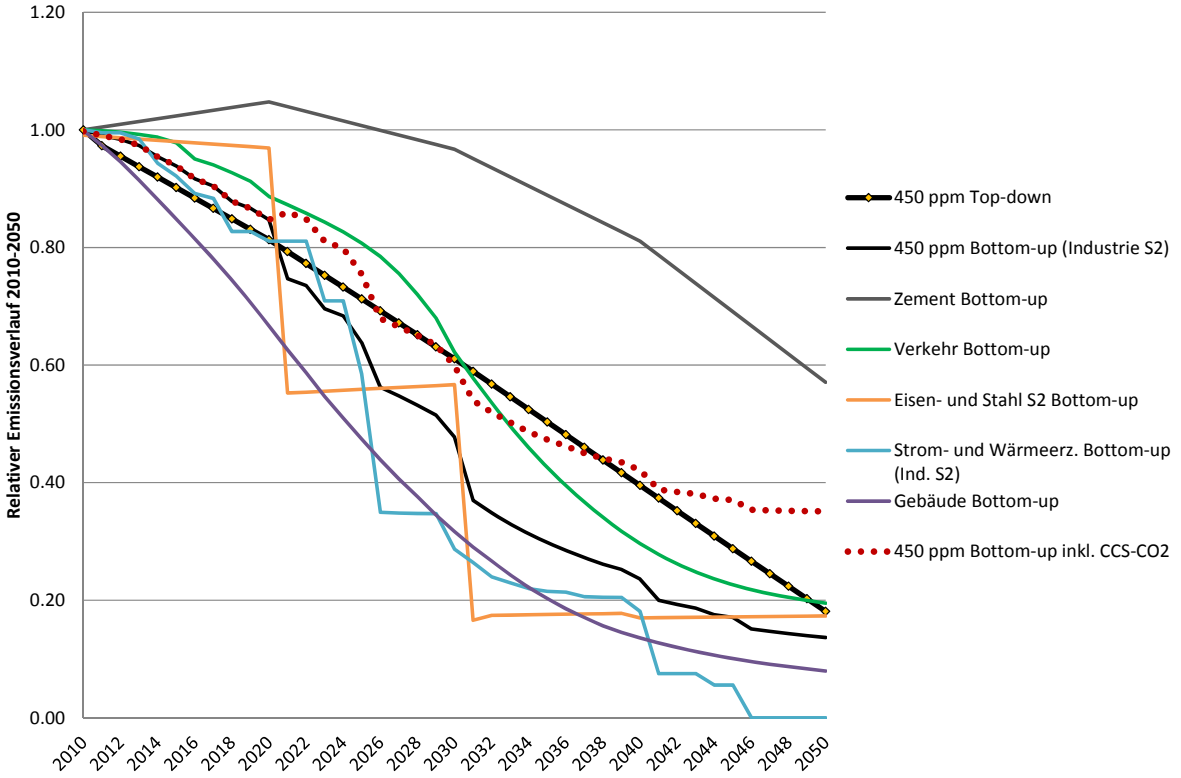


Abbildung 10-8. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im 450 ppm-Stabilisierungsszenario.

Die in die Atmosphäre emittierten CO_2-Mengen im Jahr 2050 liegen bei etwa 15% der Emissionen des Jahres 2010 und übererfüllen damit die zu erreichenden Top-down Szenarien. Aber auch dieses Szenario unterstellt erhebliche CCS-CO_2 Emissionen im Bereich der betrachteten Industriesektoren. Nimmt man diese in die CO_2-Bilanz mit auf, ergeben sich im Bottom-up Szenario Emissionsreduktionen von etwa 65 % bezogen auf das Niveau von 2010.

10.3 Szenarien zu Nicht-CO_2-Treibhausgas-Emissionen

In den durchgeführten sektoralen Bottom-up Modellierungen lag der Fokus auf energie- bzw. prozessbedingte CO_2-Emissionen, die der Nutzung fossiler Energieträger geschuldet sind. Von den im Jahr 2010 in Österreich entstandenen Treibhausgasemissionen von 84,6 Mt CO_2-eq waren 72,3 Mt CO_2-Emissionen (85,5 %) (UBA, 2012). Von diesen 72,3 Mt wurden in den Bottom-up Modellen für das Jahr 2010 55 Mt CO_2 abgebildet. Dies entspricht 76 % der Gesamt-CO_2-Emissionsmenge. Innerhalb der modellierten Sektoren wurden von den CO_2-Emissionen im Bereich der Industrie 62 % abgedeckt, im Verkehrssektor 65 %, in der Energieaufbringung ca. 77 % und im Gebäudesektor 100 %.[81]

81 Alle Anteile beziehen sich auf 2010. Bezieht man die Bottom-up abgebildeten Emissionen auf die gesamten THG-Emissionen (CO_2-eq), entspricht dies 65 % der Gesamtemissionsmenge. Innerhalb der

Der größte sektorale Emittent von Nicht-CO_2 THG-Emissionen[82] ist die Landwirtschaft mit CH_4 und N_2O Emissionen im Ausmaß von 7,4 Mt CO_2-eq im Jahr 2010.[83] In den oben dargestellten (Bottom-up und Top-down) Emissionstrends wurde unterstellt, dass die nicht abgebildeten Sektoren ähnliche Trends der Emissionsreduktion aufweisen, damit in Summe das Gesamtziel erreicht wird. Das „Residuum" erreicht somit per Definition seine Emissionsziele. Um eine Gesamtbilanz ziehen zu können, müssten alle Sektoren in die Bottom-up Analyse einbezogen werden. Klarerweise würde dies den Umfang der vorliegenden Studie sprengen. Nichtsdestotrotz wird im Folgenden eine kurze Zusammenfassung bestehender Studien zu Nicht-CO_2-Emissionen gegeben.

UBA (2011) erstellt im Rahmen des EU Monitoring Mechanisms bis 2030 einerseits Emissionsszenarien „with existing measures" (WEM – beinhaltet implementierte Maßnahmen), andererseits Szenarien „with additional measures" (WAM – beinhaltet implementierte und geplante Maßnahmen). Abbildung 10-9. zeigt die entsprechenden Emissionsverläufe für Nicht-CO_2-THG-Emissionen. Im WAM Szenario sinken die Emissionen von 2010 bis 2030 um 19 %. Würde dieser Trend fortgeschrieben könnten die Emissionsziele im EISERN 550 ppm-Stabilisierungszenario nicht erreicht werden. Dieses verlangt bis 2030 eine Reduktion um 31 %.[84] Ab 2020 kann der sich verstärkende Trend in der vergleichend dargestellten 550 ppm Top-down Vorgabe nicht von den implementierten und geplanten Maßnahmen im Bereich der Nicht-CO_2-Emissionen erfüllt werden.

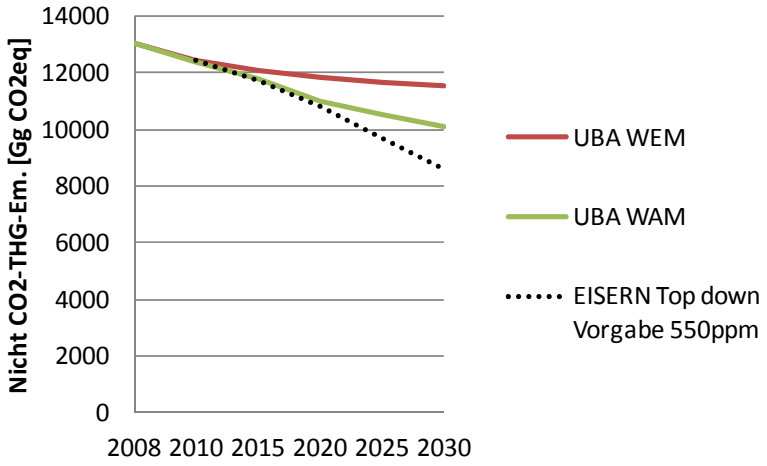


Abbildung 10-9. Gegenüberstellung der Szenarien für Nicht-CO_2-Treibhausgas-Emissionen in UBA (2011) mit der Top-down Vorgabe im EISERN 550 ppm-Stabilisierungsszenario.
(Quelle: UBA, 2011; eigene Berechnungen)

modellierten Sektoren wurden im Bereich der Industrie 60 % abgedeckt, im Verkehrssektor 64 %, in der Energieaufbringung ca. 75 % und im Gebäudesektor 100 %.

82 Bei den nach UNFCCC Methodologie relevanten („Kyoto-Emissionen") THGs handelt es sich neben CO_2 um CH_4, N_2O, HFCs, PFCs und SF_6.

83 Ca. 60 % der Nicht-CO_2-THG-Emissionen stammen aus der Landwirtschaft, gefolgt von jeweils 15 % aus der Abfallwirtschaft und aus industriellen Prozessen und 10 % aus der Energieerzeugung.

84 Weitere Szenarien können Winiwarter et al. (2009) entnommen werden.

10.4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Wie bereits erwähnt erstellt UBA (2011) im Rahmen des EU Monitoring Mechanisms bis 2030 einerseits Emissionsszenarien „with existing measures" (WEM – beinhaltet implementierte Maßnahmen), andererseits Szenarien „with additional measures" (WAM – beinhaltet implementierte und geplante Maßnahmen). Abbildung 10-10. zeigt die entsprechenden Emissionsverläufe für CO_2-Emissionen. Im WEM Szenario steigen die Emissionen von 2010 bis 2030 um 9 % - im WAM Szenario sinken die Emissionen im selben Zeitraum um 7 %. Würde dieser Trend fortgeschrieben könnten die Emissionsziele im EISERN 550 ppm-Stabilisierungszenario nicht erreicht werden. Dieses verlangt bis 2030 eine Reduktion um 31 %. Ab 2015 kann der sich verstärkende Trend zur Reduktion in der vergleichend dargestellten 550 ppm Top-down Vorgabe nicht mehr von den implementierten und geplanten Maßnahmen im Bereich der CO_2-Emissionen erfüllt werden.

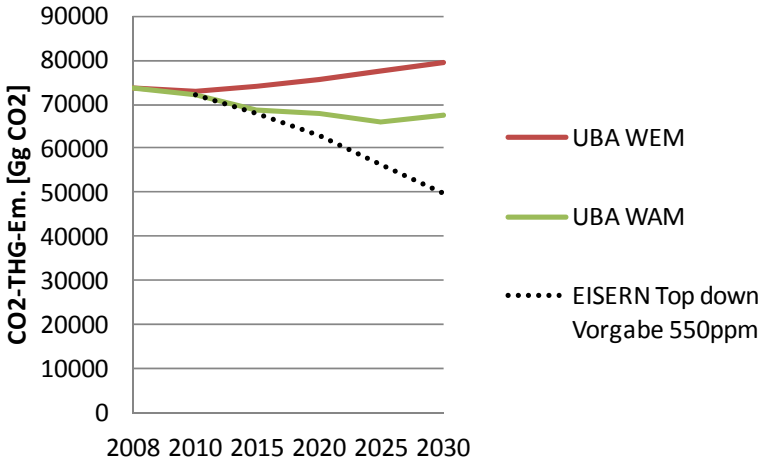


Abbildung 10-10. Gegenüberstellung der Szenarien für CO_2-Emissionen in UBA (2011) mit der Top-down Vorgabe im EISERN 550 ppm-Stabilisierungsszenario. (Quelle: UBA, 2011; Arbeitspaket 2 – Kapitel 3)

Ein ähnlich drastisches Bild zeigt Abbildung 10-11. Die aktuell implementierten bzw. geplanten Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion und daraus resultierende Emissionstrends (entnommen UBA, 2011) stehen im krassen Gegensatz zu den Anforderungen, die eine langfristige Klimaschutzstrategie bedingen würde.

Die in den EISERN-Szenarien unterstellten Politikmaßnahmen führen zu signifikanten Emissionsreduktionen – ebenfalls in Abbildung 10-11. dargestellt. Allerdings können diese Reduktionen nur durch eine strikte Implementierung und Umsetzung eines entsprechenden energie- und ordnungspolitischen Rahmens entstehen. Die wichtigsten gemeinsamen Eckpfeiler einer integrierten langfristigen Klima- und Emissionsreduktionsstrategie sind:

- Jetzt Maßnahmen setzen: Aktuelle Maßnahmen reichen nicht aus mittelfristige Ziele zu erreichen. Langfristig wirksame Maßnahmen zeichnen sich durch lange Vorlauf- und Implementierungszeiten aus. Langfristige Ziele benötigen somit schon jetzt einzuleitende Maßnahmen.

- Einen langfristig stabilen und vorhersehbaren Rahmen garantieren. Seitens Großinvestoren wird das Politikrisiko als größtes Hemmnis zur Investition in emissionsarme Technologien gesehen (ECF, 2011). Nur durch klare Verpflichtungen (bspw. langfristige Preissicherheit im CO_2-Zertifikatemarkt) werden Investitionen in kapitalintensive Technologien ausgelöst.

- Zwischenziele ergeben sich aus dem Backcasting des „End"-Zustands. Wird der Zusammenhang von Zwischen- und Endzielen nicht entsprechend berücksichtigt kann es zu Missverhältnissen zwischen aktuell verpflichtend formulierten Zielen und angekündigten „Wunsch"-Zielen kommen. Dies bedingt über die Zeit steigende Emissionsreduktionen.

- Stimmiges Gesamtkonzept. Intersektorale Wechselwirkungen müssen ausreichend berücksichtigt werden.

Die durchgeführten Analysen zeigen, dass alle Wirtschaftssektoren signifikante Emissionsreduktionen realisieren müssen, um langfristige Klimaziele zu erreichen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass kein Sektor „geschont" werden kann. Allerdings sind Wechselwirkungen zwischen sektoralen Maßnahmen zu berücksichtigen – sowie legistische, technische und ökonomische Restriktionen, die Investitionen in emissionsarme bzw. emissionsfreie Technologien behindern.

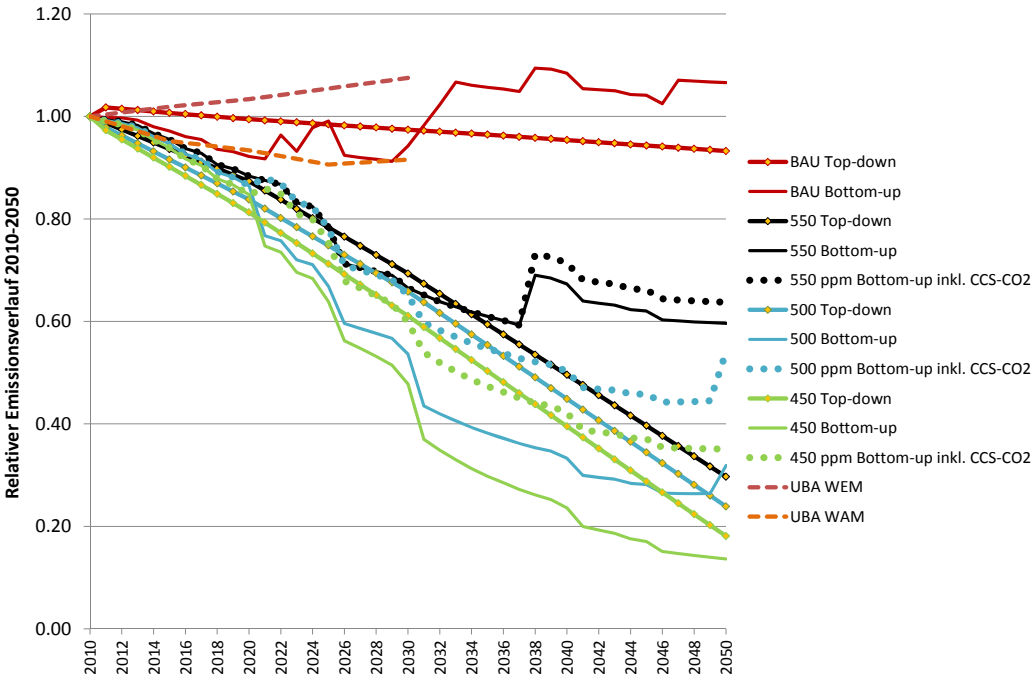


Abbildung 10-11. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN Szenarien sowie aktuelle Emissionstrends lt. UBA (2011). (Quelle: UBA, 2011; Arbeitspaket 2 und 3 - Kapitel 3 bis 10)

Ein Vergleich der historischen Entwicklung mit langfristigen (ambitionierten bzw. notwendigen) Zielen der Energiepolitik zeigt die massiven Schwierigkeiten bzw. Hindernisse die einer „nachhaltigen" (hier vereinfacht repräsentiert durch CO_2-Neutralität) Transformation des Energiesystems entgegenstehen. An erster Stelle ist die drastische Steigerung der Endenergieeffizienz zu nennen, die eine notwendige Bedingung

für nachhaltige Szenarien darstellt. Voraussetzung dafür sind strikte energiepolitische Rahmenbedingungen. Dieser Rahmen muss auch mit entsprechenden preispolitischen Entwicklungen verbunden sein. So wird im Jahr 2050 die Emission von CO_2 im 450 ppm-Szenario mit 100 €/Tonne bepreist – mit entsprechenden (linearen) Wachstumspfaden von derzeit ca. 10 €/Tonne. Die hier durchgeführten Analysen zeigen die Notwendigkeit der vollständigen Dekarbonisierung des Gebäude- und Stromerzeugungssektors zur Erreichung nationaler Ziele.

Langfristig muss zur Realisierung nachhaltiger Energieszenarien nicht nur eine relative sondern eine absolute Entkopplung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum gelingen. Angesichts der derzeit beobachtbaren Dynamiken des Energiesystems und von sozio- und techno-ökonomischen Parametern, der herrschenden Zeitkonstanten (aufgrund der Trägheit des Energiesystems und seiner Komponenten) ist dies eine gewaltige Herausforderung. Sie kann nur gemeistert werden, wenn bereits heute die entsprechenden Weichenstellungen gesetzt werden.

11 Schlussfolgerungen und Handlungsoptionen

Auf wissenschaftlicher Ebene stehen die massiven Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das weltweite Klima und der damit einhergehende anthropogenen Klimawandel außer Frage. Die Vertreter der Staaten der Weltgemeinschaft sind sich dessen bewusst und erkennen im Abschlussdokument des Kopenhagener Klimagipfels die Verantwortlichkeit zur Limitierung des anthropogenen Temperaturanstiegs auf 2 °C an. Auch der Europäische Rat hat das 2°C-Ziel als Größe für die Staaten der Europäischen Union bekräftigt. Die Ergebnisse der Klimaforschung legen nahe, dass zur Erreichung des 2°C-Zieles eine Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration auf etwa 450 ppm CO_2-eq notwendig ist. Für eine Begrenzung des Temperaturanstieges auf 3 °C ist eine Stabilisierung der Treibhausgase auf 550 ppm CO_2-eq notwendig.

Die damit einhergehenden erforderlichen **Emissionsreduktionen in Industrienationen** sind beträchtlich. Um ein **2°C-Ziel** zu erreichen, müssen die EU-27 Staaten ihre Treibhausgas-Emissionen bis **2050 um etwa 85 % gegenüber dem Niveau von 1990 reduzieren**. Ein **3°C-Ziel** erfordert für diese Staaten noch immer eine **Reduktion der Emissionen in der Höhe von 75 % bis 2050**. Ein Richtwert für ein österreichisches Ziel wurde in Arbeitspaket 3 erarbeitet; die Ergebnisse sind in Kapitel 3 zusammengefasst. Auf Basis dieser Analyse, können wir schlussfolgern, dass ein Klimaschutz-kompatibles Emissionsreduktionsziel für Österreich bis 2050 im Bereich von etwa 68 % bis 80 % gegenüber dem Niveau von 1990 liegen muss. Aufgrund des starken Anstieges der österreichischen Emission im Zeitraum 1990 – 2005, bedeuten diese Anforderungen eine **Reduktion der österreichischen Treibhausgasemissionen innerhalb der kommenden 40 Jahre um etwa 73-83 %** gegenüber dem Emissionsniveau von 2005. Die durchgeführten Bottom-up Analysen zeigen, dass diese Emissionsreduktionen bei ambitionierten Rahmenbedingungen, wenn konsequent auf Reduktion der Treibhausgas-emissionen geachtet wird, erzielbar sind.

Aus diesen normativen Herausforderungen ergibt sich die Notwendigkeit, Energie- und Emissions-relevante Investitionen, auf ihre langfristigen Auswirkungen zu untersuchen. Eine Fokussierung auf kurzfristige Ziele bis 2020 ist nicht ausreichend, da die Ausgestaltung mancher Maßnahmen dazu führen kann, dass zwar kurzfristige Ziele (leichter) erreicht werden, aber dadurch die langfristigen Handlungsoptionen verringert werden.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von langfristigen Investitionsentscheidungen spielen zukünftige Energie- und CO_2-Preise eine wichtige Rolle. Deren Entwicklungen lassen sich naturgemäß nicht vorhersagen. Richtwerte für CO_2-Emissionspreise, aus heutigem Wissen, liegen für 2-3 °C Zielerreichungspfade bei 60-80 €/t CO_2 in 2030, diese steigen bis 2050 auf 80-100 €/t CO_2 (IPCC, 2005).

Aus der Gegenüberstellung von Bottom-up errechneten, sektorspezifischen Emissions-vermeidungspotenzialen und den Top-down ermittelten Emissionsreduktionsnotwendig-keiten zeigt sich, dass in allen Bereichen ein konsequentes Reduzieren von Treibhausgasen erforderlich ist. Die in diesem Bericht dargestellten Reduktionspotenziale (in den Stabilisierungsszenarien) führen zu einer Verminderung der atmosphärischen[85]

85 Nicht zur Speicherung abgetrennte CO_2-Emissionen

Emissionen bis 2050 von 40-85% bezogen auf den Stand von 2010. Werden die abgetrennten, zur Speicherung vorgesehenen CO_2-Emissionen in die Bilanz ebenfalls mit aufgenommen, ergibt sich eine schlechtere Bilanz (siehe Abbildung unten). Die erreichten Emissionsreduktionen liegen bei etwa 35-55 % und erfüllen damit selbst im ambitioniertestem Fall Vorgaben eines 3°C-Zieles (550 ppm-Szenario) nicht ganz. Dabei sei nochmals in Erinnerung gerufen, dass ein solches 55 %CO2-Reduktionsszenario bereits die (praktisch) vollständige Dekarbonisierung der Sektoren: Niedertemperatur-Wärmebereitstellung, Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie Personenverkehr unterstellt.

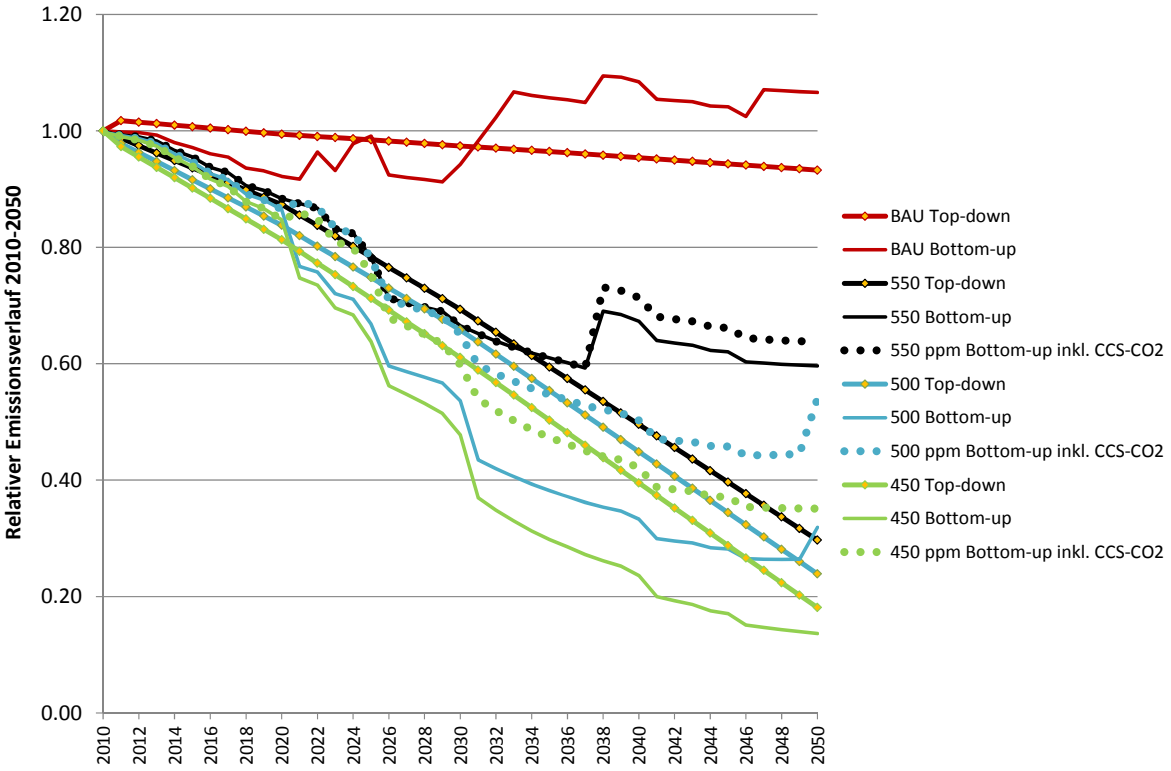


Abbildung 11-1. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN-Szenarien.

Die **Raumordnung** hat allen voran eine wesentliche Rolle hinsichtlich gebotener Lebensqualität, Erhaltungs- und Erschließungskosten von Infrastruktur und Energieverbrauch. Um diese Indikatoren in eine positive Richtung zu verändern, ist eine **gezielte Verdichtung anstatt eines Siedlungsbreis höherer Dichte** von zentraler Bedeutung. Ziel ist eine kleinräumig differenzierte Dichteentwicklung, die dazu beiträgt, räumlich standortgebundene Angebote (Nahversorgung, soziale Infrastruktur, ÖV-Haltestellen) schneller und einfacher zu erreichen, sowie leitungsgebundene Infrastruktur effizient einsetzen zu können.

Eine ergänzende **Durchgrünung** der Siedlungsstrukturen mittels (halb)öffentlicher Grünräume führt nicht nur zur besseren Erreichbarkeit von Naherholungsgebieten, sondern verbessert auch die kleinklimatischen Bedingungen, ein Aspekt der insbesondere hinsichtlich des Klimawandels eine zunehmende Bedeutung einnimmt. Ein guter **funktionaler Mix in den Ortskernen** erlaubt die effiziente Versorgung der

Bevölkerung, und ist ein wichtiger Beitrag zu Lebensqualität insbesondere für nicht-motorisierte Bevölkerungsgruppen (alte Menschen, Schüler etc.).

Die durchgeführten Analysen zum **Verkehrssektor** zeigen, dass im **Personenverkehr ein großes Potenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen** vorhanden ist. Ein möglicher, langfristiger **technologischer Wandel hin zu Elektro**-, eventuell auch H_2- **Fahrzeugen**, bietet bei gleichzeitiger THG-emissionsarmer Strom- (bzw. H_2-) Erzeugung einen nahezu emissionslosen Personenverkehr. Struktur- und verhaltensändernde Maßnahmen können zu einer substanziellen Reduktion des für Mobilität aufgewendeten Energieeinsatzes beitragen. Die **Reduktionsmöglichkeiten im Güterverkehr** sind, aus heutiger Sicht, deutlich **eingeschränkter**. Aus heutiger Sicht kann nicht erwartet werden, dass elektrochemische Speicher innerhalb des betrachteten Zeithorizonts die im Güterverkehr geforderten Energiedichten zur Verfügung stellen können. Die Verwendung von Agrotreibstoffen ist aufgrund von Potenzialrestriktionen nur bedingt möglich. Gleichzeitig hängen die, über den gesamten Produktlebenszyklus gerechneten, eingesparten Treibhausgasemissionen stark von der technologischen Entwicklung von zukünftigen Agrotreibstoffen ab. Nur eine **deutliche Verschiebung des Gütertransports auf die Schiene** hätte einen sehr großen Einfluss auf die THG Emissionen. Ambitionierte Raumordnungsprogramme, die sich auf eine gezielte Verdichtung konzentrieren, können nicht nur das Quell- und Zielverkehrsaufkommen bzw. deren Wege reduzieren, sondern wirken sich auch positiv auf die Bündelung der Umschlagsknotenpunkte aus und erhöhen dadurch die Attraktivität von schienengebundenem Gütertransport.

Die Einflussmöglichkeiten der Raumordnung sind ein wichtiges Werkzeug, weil sie auch Implikationen abseits der CO_2-Emissionen und des unmittelbaren Verkehrs selber hervorrufen. Beispielsweise kann eine Verdichtung der Stadtstrukturen nicht nur positive Einwirkungen auf die Verkehrsmittelwahl und die Wegeweiten haben, sondern auch auf die Art und Weise der Nahversorgung. Wenn man rein die CO_2-Emissionen betrachtet, ist der Einfluss der Raumplanung allerdings geringer als jener von Verkehrspolitik oder jener der Substitution der Antriebstechnologien.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Analysen zeigen, dass sich der **Gebäudebereich verhältnismäßig einfach dekarbonisieren lässt**. Verglichen mit dem bestehenden Gebäudebestand benötigen neue Gebäude nur noch einen Bruchteil des Energiebedarfes für Raumwärme. Die thermische Sanierung des bestehenden Gebäudebestandes verringert dessen Energiebedarf erheblich. Darüber hinaus stehen kostengünstige Ersatzenergieträger und entsprechende Umwandlungssysteme für fossile Brennstoffe zur Verfügung. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen aber auch, dass eine, mit langfristigen Klimaschutzzielen kompatible, Entwicklung des Heizwärmebedarfes von Gebäuden nur dann zu erreichen ist, wenn die Sanierungsqualität erhöht wird. Dies muss umso mehr beachtet werden, als dass es sich beim **Bestand an sanierungsfähigen und sanierungswürdigen Gebäuden um ein beschränktes Gut handelt**, mit welchem sorgfältig umzugehen ist. Mit Blick auf 2050 schneiden Szenarien mit einer frühzeitig erhöhten Sanierungsrate (bei gleichzeitig niedrigen Sanierungsstandard) schlechter ab. Das bedeutet, der mit einer **Erhöhung der Anforderungen an die thermische Sanierungsqualität einhergehende (kurzfristige) Einbruch der Sanierungsrate**, bzw. Anstieg der durchschnittlichen Bauteilkomponenten **wird in längerfristigen Szenarien überkompensiert.** Aus diesem Grund wird es als sinnvoll

erachtet, auch für den Fall von wärmebedarfsrelevanten Einzelbauteilinstandsetzungen strenge Anforderungen an die thermische Qualität zu stellen. Des Weiteren wird empfohlen, bei Verdichtungsprojekten (Ausbauten und Aufstockungen) erhöhte Anforderungen an die thermische Qualität des Gesamtgebäudes zu definieren. Die thermische Sanierung von Gebäuden geht in der Regel mit einer Änderung der sichtbaren Gebäudehülle und damit des Stadtbildes einher. Es wird empfohlen, die Auswirkungen auf das Stadtbild und deren Reduktion genauer zu untersuchen. Insbesondere erscheint es sinnvoll, eine Klassifizierung von Stuckfassadentypen (Geometrie etc.) zu entwickeln, anhand derer die Maßnahmen zur Reduktion negativer Änderungen des Erscheinungsbildes durch eine thermische Sanierung aufgezeigt und katalogisiert werden können und damit eine kostengünstige Umsetzung dieser Maßnahmen ermöglicht wird (z. B. Vorfertigung von Fassadenelementen mit ähnlicher Geometrie).

Auf der Wärmebereitstellungsseite lassen sich aus heutigem Stand des Wissens keine eindeutigen technologischen Gewinner festmachen. Es wird erwartet, dass auch zukünftig ein breiter Mix aus erneuerbaren Endenergieträgern eingesetzt wird. Wärmenetze werden als die Technologien gesehen, die urbanen Gebieten eine emissionsneutrale Energieversorgung ermöglichen. Hier gilt es einen koordinierten Ausbau bzw. Verdichtung von Wärmenetzen, jeweils mit Hinblick auf den zukünftigen Rückgang des Wärmebedarfes, zu fördern. **Niedertemperatur-Wärmeverteilungssysteme stellen eine Grundvoraussetzung für den effizienten Einsatz von solarthermischen Systemen und Wärmepumpen sowie Fernwärmenetzen mit niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen dar.** Im Neubau mit geringen Zusatzkosten verbunden, ist ein nachträglicher Einbau nur unter größtem Aufwand möglich und verhindert daher langfristig eine umfassende Einbindung von solarer Wärme und Umgebungswärme in der Wärmebereitstellung. Hier wird empfohlen, verpflichtende Richtwerte für maximale Vorlauftemperaturen im Bereich des Gebäudeneubaus zu diskutieren.

Die Analysen zur **Eisen- und Stahlerzeugung** zeigen, dass technisch die Möglichkeiten zur drastischen **Reduktion der atmosphärischen CO_2-Emissionen** bestehen. Die aus dem ULCOS-Programm abgeleiteten Lösungsvorschläge erfordern allerdings **mittelfristig den Einsatz von CCS-Methoden**[86], um die von der EU geforderten Konvergenzkriterien in Bezug auf die Treibhausgasreduktion annähernd zu erreichen. Der Übergang zu **alternativen Erzreduktionsmitteln (Biomasse) oder Verfahren (Elektrolyse)** bedeutet entweder einen **starken Anstieg des Biomassebedarfs**, welcher aus inländischen Ressourcen nicht gedeckt werden kann oder eine **starke Zunahme des Elektrizitätskonsums**, dessen Abdeckung aus regenerativer Erzeugung fraglich ist. Weiters besteht langfristig und alternativ die Möglichkeit den Recyclingstahlanteil in Europa stark zu erhöhen, um auf diese Weise die CO_2-Emission aus der Roheisenherstellung zu verringern.

In der **Zementproduktion** ist die Situation in Österreich so, dass der **Brennstoffbedarf nur mehr geringfügig gesenkt werden kann**. Durch Maßnahmen der Abwärmenutzung kann der Produktionsprozess energetisch effizienter (Elektrizitätserzeugung) gestaltet werden. Für eine **Reduktion der atmosphärischen CO_2-Emissionen sind auch hier CCS-Maßnahmen erforderlich.** In **Abhängigkeit vom CO_2-Abscheide-**

86 CO_2–Abtrennung und Speicherung

grad werden dadurch **Zementwerke** trotz künftiger Elektrizitätsproduktion und Effizienzmaßnahmen zum **Stromimporteur**.

Aus den oben dargestellten Schlussfolgerungen geht hervor, dass sich nicht in allen Sektoren die Treibhausgasemissionen durch, aus heutiger Sicht, verhältnismäßig einfache Maßnahmen massiv reduzieren lassen. Für eine fundamentale Emissionsreduktion im Bereich des Güterverkehrs sind noch Technologiesprünge im Bereich der Speicherung von Treibhausgas neutralen Energieträgern, bzw. in den Lebenszyklusemissionen von biogenen Kraftstoffen notwendig. Selbiges ergibt sich für die untersuchten Industriesektoren Eisen-/Stahlerzeugung und der Zementherstellung, sofern der Gesamtprozess, inklusive der zur Lagerung abgetrennten CO_2-Emissionen, betrachtet wird. Diese Sektoren werden daher, aus Emissionsreduktionssichtweise, zunehmend unter Druck geraten und sofern vorhanden, erhöhte Konkurrenz durch, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, emissionsärmere Konkurrenzprodukte erfahren. Dies gilt insbesondere für die österreichische Eisen- und Stahlindustrie, die sich auf hochtechnologische Stahlsorten für den Fahrzeugbau spezialisiert hat; ein Bereich in dem hochfeste Verbundwerkstoffe mittelfristig eine starke Konkurrenz darstellen können.

Dementsprechend stellt eine möglichst vollständige Dekarbonisierung des Stromsektors eine Grundvoraussetzung für einen mit globalem Klimaschutz konsistenten Pfad dar. Die Entwicklung des Stromverbrauchs ist letztendlich die entscheidende treibende Kraft für die Evolution des Stromsektors. Wegen der begrenzten Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger, reagiert der **Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung sehr sensibel auf das Niveau des Verbrauches. Entsprechend muss der Fokus der Energiepolitik kurz-, mittel- und langfristig auf Energieeffizienz gesetzt werden.**

Wie auch für andere Bereiche gilt, dass sich der Bestand an Kraftwerken wegen der langen Lebensdauern nur sehr langsam ändern kann. Um einen langfristigen „Lock-In" in emissionsintensive Strukturen zu vermeiden, sind daher bereits kurzfristig strukturell wirksame Energieeffizienzmaßnahmen und Maßnahmen zur Hemmung besonders emissionsintensiver Technologien zu implementieren. So sind, aus Sicht der normativen Emissionsszenarien, kohlebefeuerte Kraftwerke in keinem der hier betrachteten Stabilisierungsszenarien mit den normativen Emissionstrajektorien konsistent. Der Neubau und Betrieb solcher Kraftwerke würde daher langfristig die Position Österreichs schwächen. Auf Basis der **Sterbelinie des bestehenden Kraftwerksparks** wird für den Zeitraum zwischen **2020 bis 2030 ein Investitionszyklus in neue Kraftwerke** erwartet. Wird diese Dynamik nicht durch flankierende energiepolitische Maßnahmen genutzt, um Investitionen in erneuerbare Technologien und die Realisierung wirksamer Energieeffizienzmaßnahmen zu erreichen, besteht die **Gefahr eines erneuten „Lock-Ins" in fossile Technologien** (siehe z. B. die Entwicklungen im BAU-Szenario). Das bedeutet, dass **innerhalb der kommenden 10-15 Jahre eine Infrastruktur zu forcieren ist, die den damit einhergehenden Auswirkungen gewachsen ist.** Insbesondere wichtig ist der zeitliche und überregionale Ausgleich der zunehmend fluktuierenden Stromerzeugung.

Der ressourcenschonende Umgang mit Biomasse wurde einmal mehr eindrucksvoll verdeutlicht. Alleine die Eisen- und Stahlerzeugungsindustrie könnte im Grunde den größten Teil des [87] österreichischen Holzeinschlags als Ersatzreduktionsmittel aufnehmen.

Aus heutiger Sicht stellt **CCS mit Speicherung des abgetrennten CO_2 in Lagerstätten innerhalb Österreichs eine äußerst begrenzte Übergangstechnologie** dar. Abschätzungen der theoretischen Maximal-CO_2 Lagerstätten in Österreich (VEÖ, 2008b) belaufen sich auf 500 Mt kumuliert. **Unter der Prämisse, dass dieses Potenzial zu etwa 50 % ausgeschöpft werden kann, entsprechen diese Lagerkapazitäten etwa den Emissionen von drei Kohlekraftwerksblöcken über einen Zeitraum von etwa 35 Jahren.** Diese Option (CCS) kann über einen langfristigen Zeitraum (über 2050 hinaus) eine notwendige CO_2 Senke darstellen. So sehen beispielsweise zahlreiche IPCC Stabilisierungsszenarien negative Emissionen – u.a. durch Nutzung von Biomasse mit integriertem CCS – in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts vor. **Eine Möglichkeit zu Kompensation unterlassener kurzfristiger Emissionsreduktionsanforderungen sollte CCS nicht sein und kann dies aufgrund der begrenzten Lagerkapazitäten innerhalb von Österreich nicht bieten.**

87 Der Biomasseeinsatz im S3 Industrie–Szenario (siehe Abschnitt 8.1.4.3), in welchem Biomasse als Ersatzreduktionsmittel genommen wird, belauft sich auf 10 Mio. Tonnen Biomasse im Jahr 2040. Dem steht ein österreichischer Holzeinschlag von 18,7 Mio. Erntefestmeter (2011) gegenüber

12 Ausblick

Die vorliegende Arbeit stellt eine Untersuchung der Möglichkeiten zur Emissionsreduktion in entscheidenden Sektoren bis zum Ende der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts dar. Dabei wurden die Sektoren Kleinverbraucher (Gebäude und elektr. Anwendungen), Verkehr, Raumordnung, Stromversorgung und die Schlüsselindustriezweige Eisen- und Stahlherstellung sowie Zementerzeugung betrachtet.

Eine wesentliche Erkenntnis aus dem Projekt ist, dass für Klimaschutz konsistente Emissionspfade die Stromerzeugung sowie die Raumwärmebereitstellung sowie wesentliche Teile des Personenverkehrs auf ein nahezu emissionsfreies System umzustellen sind, da diese Sektoren andere Bereiche überkompensieren müssen. Für den Bereich der Stromversorgung wirft dies einmal mehr die Frage nach einem ausgeglichenen Leistungsmanagement, die dafür notwendigen Speichermöglichkeiten und Übertragungskapazitäten auf.

Weiters zeigten die Untersuchungen, dass in der Eisen- und Stahlindustrie sehr große prozessbedingte CO_2-Emissionen anfallen. Da ein Reduktionsmedium zur Roheisenherstellung benötigt wird, könnte hier eine geschlossene CO_2-Kreiswirtschaft Abhilfe schaffen.

Der Vergleich der Bottom-up Reduktionspotenziale mit den normativen Top-down Vorgaben zeigt, dass die hier aufgezeigten Maßnahmen nicht ausreichen (unter Berücksichtigung von CCS-CO_2) um klimaschutzkonsistente Pfade einzuschlagen. D. h. die hier nicht betrachteten Nicht-CO_2-Emissionen umfassend auf deren Reduktionspotenziale zu analysieren. Hier spielen insbesondere THG-Emissionssenke eine wichtige Rolle und sollten daher auf deren Ausbaupotenziale untersucht werden.

13 Literaturverzeichnis

AEA (2009): Energy Efficiency Policies and Measures in Austria / Austrian Energy Agency; Forschungsbericht.

AEA (2012): CCS-Technologien technische Anforderungen und gesetzliche Rahmenbedingungen in Österreich. http://www.energyagency.at/, Austrian Energy Agency.

Amtmann, M. und Groß M. (2011): Eine Typologie österreichischer Wohngebäude, Projektbericht im Rahmen des TABULA Projektes, Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency, Wien. online verfügbar unter: http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/pdf/Gebaeude/Tabula_broschure.pdf

Anderl M. und Freudenschuß A. et al. (2008): Austria's National Inventory Report 2011. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Wien, Umweltbundesamt.

Baaske et al. (2007): Österreichische Zementstandorte, plenum GmbH STUDIA Schlierbach.

Bednar-Friedl B., Schinko T., Steininger K.W. (2012): The relevance of process emissions for carbon leakage: A comparison of unilateral climate policy options with and without border carbon adjustment, revised submission (minor revisions) with Energy Economics (forthcoming) online first: http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.038

Beilmann R. und Jankhöfer S. (Polysius) (2008): Interne Studie - Bestandsaufnahme an der DOPOLOfenanlage der Gmunder Zementwerke - vertraulich, Polysius, 2008.

Bernstein L., Bosch P., Canziani O., Chen Z., Christ R., Davidson O., Hare W., Huq S., Karoly D., Kattsov V., others (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2007.

Biomasseverband (2012): Bioenergie 2020-die Prognosen Potenziale im Detail. http://www.biomasseverband.at Österreichsicher Biomasseverband, 2012.

Birat J.-P., Borlee J., Korthas B., Stel J. van der (2008a): ULCOS program: a progress report in the spring of 2008. Scanmet III 3rd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking, Lulea Sweden, 8-11 Juni, 2008.

Birat J.-P., Lorrain J.-P., Lassat Y. de (2008b): The CO2 Tool: CO2 Emissions & Energy Consumption of Existing & Breakthrough Steelmaking Routes. Proceedings of the 4th Ulcos seminar, 1-2 October, 2008.

Birat J.-P. und Lorrain, J.-P. (2008): The Cost Tool: Operating and Capital Costs of Existing and Breakthrough Routes in a Future Studies Framework. Proceedings of the 4th Ulcos seminar, 1-2 October, 2008.

Birat J.-P. (2009): ULCOS II has been shaping up. http://cordis.europa.eu ESTEP Steering Committee 5. March, 2009.

Birat J.-P. (2010): Steel sectoral report contribution to the UNIDO roadmap on CCS fifth draft. UNIDO Global Technology Roadmap for CCS in Industry. Sectoral Experts Meeting; Amsterdam 24.09.2010.

Birat J.-P. (2011): Update on the ULCOS-Programe. http://www.resourcecentre.etuc.org/Climate-Change-86.html Presentation for how will the employment and labor markets develop in the context of a low carbon economy. Final Synthesis Seminar Brüssel 1-2 March, 2011.

BMLFUW (2009): Empfohlene Umrechnungsfaktoren für Energieholzsortimente bei Holz- bzw. Energiebilanzrechnungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2009.

BMLFUW, BMWFJ (2011): Ressourcennutzung in Österreich Bericht 2011. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend Österreich, 2011.

BMVIT (2011): Statistik Straße & Verkehr; BMVIT - Gruppe Straße (IV/ST1); Wien; http://www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/autostrasse/statistik/index.html.

Böhringer C. und Lang A. (2012): Der europäische Emissionszertifikatshandel: Bestands-aufnahme und Perspektiven, Wirtschaftsdienst, 92. Jahrgang, Sonderausgabe 2012, 12-16.

Böhringer, C., Rutherford T., Balistreri E.(2012): The Role of Border Carbon Adjustment in Unilateral Climate Policy, Insights From An EMF Model Comparison, Energy Economics (forthcoming).

BREF, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (2010): BREF Documents - Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries, 2010.

Brezina T. und Emberger G. (2008): Blumige Zukunft für das Autofahren?, Internationales Verkehrswesen 60 (9/2008): 328-333.

Burke P.D., Gull S. (2002): HIsmelt-The Alternative Ironmaking Technology. Smelting Reduction for Ironmaking Bhubaneswar, 18-19 Dezember, 2002.

Copenhagen Accord (2009): Draft decision -/CP.15. CONFERENCE OF THE PARTIES, Fifteenth session, Copenhagen.

Cosijns L., D'haeseleer W. (eds.) (2007): EUSUSTEL: European Sustainable Electricity; Comprehensive Analysis of Future European Demand and Generation of European Electricity and its Security of Supply, Final Technical Report.

Dahlmann P., Endmann G., Kerkhoff H.J., Lüngen H.B. (2010): Wege zur Effizienzsteigerung in der Stahlindustrie Faktensammlung. Stahlinstitut VDEh Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2010.

Djapic P., Ramsay C., Pudjianto D., Strbac G., Mutale J., Jenkins N., Allan R. (2007): Taking an active Approach, IEEE power & energy magazine 1540-7977/07.

Danloy G., Stel J. van der, Schmöle P. (2008): Heat and mass balances in the ULCOS Blast Furnace. Proceedings of the 4th Ulcos seminar, 1-2 October, 2008.

EC (2009): RICHTLINIE 2009/29/EG DES €OPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten, Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/63, Brüssel.

EC (2010): European Energy and Transport Trends to 2030 – Update 2009, European Communities, Luxembourg.

ECF (2011): Roadmap 2050. Financing for a zero-carbon power sector in Europe. A financial sector's view on the decarbonisation of the European power sector.

E-Control (2005): Studie „Dezentrale Erzeugung in Österreich", Wien.

E-Control (2010a): Evaluierung der Ökostromentwicklung und Ökostrompotenziale, Energie-Control GmbH, Wien.

E-Control (2010b): E-Control GmbH, Zahlen, Daten, Fakten, http://www.e-control.at/portal/page/portal/ECONTROL_HOME/STROM/ZAHLENDATENFAKTEN.

European Climate Foundation.

den Elzen M.G.J., Gijsen A., Lucas P.L. (2007): Exploring European countries' emission reduction targets, abatement costs and measures needed under the 2007 EU reduction objectives, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.

ENTSOE (2010): Indicative values for Net Transfer Capacities (NTC) in Europe.

ENTSO-E (2011): System Adequacy Forecast 2010 – 2025, Brussels.

Estermann G., Fürdös A., Herry M., Sedlacek N. (2008): Entwicklung der Maut in Österreich - Analyse, Bewertung und Übertragbarkeit der Erfahrungen; Wien; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

EU-Kommission (2011): Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO_2-armen Wirtschaft bis 2050. Europäische Kommission KOM(2011) 112 endgültig, 2011.

European Climate Foundation (2010): Roadmap 2050 – a practical Guide to a prosperous, low-carbon Europe; http://www.roadmap2050.eu/

European Commission (2011): Energy Roadmap 2050: Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee of the regions; Europäischer Rat (2009): PRESIDENCY CONCLUSIONS. BRUSSELS €OPEAN COUNCIL 29/30 OCTOBER 2009. 15265/1/09 REV 1, Brüssel.
http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_en.pdf

Europäischer Rat (2011): European Council 4 February 2011 CONCLUSIONS. EUCO 2/1/11 REV 1, Brüssel.

Eurostat (2010): http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/

Frey H., Mayerthaler A., Pfaffenbichler, P.C. (2011): Stadtauto E-Mobil - Chancen und Risiken für Wien; in: Zukal, H. (Hg.); Beiträge zu einer ökologisch und sozial verträglichen Verkehrsplanung; Wien; TU Wien, Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik; 1/2011: 61-132.

Haas R., Kranzl L., Müller A., Corradini R., Zotz M., Frankl P., Menichetti E., 2008. Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Marktchancen verschiedener Technologielinien im Energiebereich. Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der „Energiesysteme der Zukunft".

Haas R., Hummel M., Müller A., Redl C., Sagbauer N., Suna D., Barthel C., Thomas S., Bogner T. (2011): Strategie zur Mobilisierung des Stromsparpotenzials in Österreich. Endbericht, FFG Nr. 817646.

Harder J. (2011): Trends in power generation from waste heat in cement plants, Zement Kalk Gips, Volume 5, 2011.

Herry M. und Russ M., et al. (2002): Verkehr in Zahlen - Österreich - Ausgabe 2002. Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Herry, M., N. Sedlacek, et al. (2007): Verkehr in Zahlen - Österreich - Ausgabe 2007. Wien, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

IEA (2002): Security of supply in electricity markets. Evidence and Policy Isues, Paris.

IEA (2007): Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions. International Energy Agency, 2007.

IEA (2009a): World Energy Outlook 2009. International Energy Agency, Paris.

IEA (2009b): Energy Technology Transitions for Industry / International EnergyAgency, Forschungsbericht, 2009.

IEA (2009c): Cement Techology Roadmap, 2009.

IEA (2010): World Energy Outlook 2010. International Energy Agency, Paris.

IPCC (2000): Nakicenovic, N., Swart, R. (Eds.). Emissions Scenarios, Cambridge University Press.

IPPC (2001a): Reference document on best available technique for the production of iron and steel / European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Seville, 2001. – BAT. – 538 S.

IPPC (2001b): Reference document on best available techniques in the ferrous metals processing / European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Seville, 2001. – BAT. – 538 S.

Jacob D., Göttel H., Kotlarski S., Lorenz P., Sieck K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg.

JCOAL (2011): Coke Dry Quenching Technology (CDQ) Iron Making and General Industry Technologies. http://www.jcoal.or.jp JCOAL Japan Coal Energy Center, 2011.

Kalt G., Kranzl L., Adensam H., Zawichowski M., Stürmer B., Schmid E. (2010): Strategien für eine nachhaltige Aktivierung landwirtschaftlicher Bioenergie-Potenziale. Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der "Energie der Zukunft".

Kalt G. und Kranzl L. (2011): Assessing the economic efficiency of bioenergy technologies in climate mitigation and fossil fuel replacement in Austria using a techno-economic approach. Applied Energy, in press.

Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. (Hrsg.) (2009): Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren 2. Auflage. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009.

Kettner C., Köppl A., Schleicher S.P. (2009): Effort sharing for EU 2020 targets based on contraction and convergence criteria, Wien: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.

Kop K., Hallin M., Burström E. (2008): ULCORED SP12 concept for minimized CO2 emission. Proceedings of the 4th Ulcos seminar, 1-2 October, 2008.

Kranzl L., Kalt G., Haas R. (2008): Strategien zur optimalen Erschließung der Biomasse-Potenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen, Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der "Energiesysteme der Zukunft", 2008.

Kranzl L., Kalt G., Haas R. (2009): Strategien zur optimalen Erschließung der Biomasse in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasen. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Berichte aus Energie- und Umweltforschung 44, 2009.

Kranzl L., Haas R., Kalt G., Müller A., Nakicenovic N., Redl C., Formayer H., Haas P., Lexer M.J., Seidl R., Schörghuber S., Nachtnebel H.P., Stanzl P. (2010): Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel, Bericht im Rahmen des Programms Energie der Zukunft.

Krutzler T., Böhmer S., Gössl M., Lichtblau G., Schindler I., Storch A., Stranner G., Wiesenberger H., Zechmeister A. (2011): Energiewirtschaftliche Inputdaten und Szenarien als Grundlage für die Klimastrategie 2020 und den Monitoring Mechanism 2011. Synthesebericht 2011. Umweltbundesamt Report Band 0333, Wien, 2011. ISBN: 978-3-99004-135-2

Kuramochi T., Ramirez A., Turkenburg W., Faaij A. (2011): Techno-economic assessment and comparison of CO2 capture technologies for industrial processes: preliminary results for the iron and steel sector. Energy Procedia 4, S. 1981-1988, 2011.

Leitinger C., Litzlbauer M., Schuster A., Brauner G., Simic D., Hiller G., Bäuml T., Stark J., Link C., Raich U., Sammer, G. (2011): SMART-ELECTRIC-MOBILITY - Speichereinsatz für regenerative elektrische Mobilität und Netzstabilität; Klima- und Energiefonds; Wien; http://www.ea.tuwien.ac.at/fileadmin/t/ea/projekte/E-Mobility/SEM-821886_PublizierbarerEndbericht_final_120131.pdf.

Liebmann L., Steininger K. (2012): Vorgaben für österreichische Emissionspfade in der langen Frist, Teilbericht zu Arbeitspaket 2, EISERN - Energy Investment Strategies And Long Term Emission Reduction Needs, FFG Forschungsprojekt Nr. 825570

Mayerthaler A. und Haller R. et al. (2009): A Land-Use/Transport interaction model for Austria. The 27th International Conference of The System Dynamics Society, Albuquerque, USA.

Meyer et al. (1995): Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten: Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern.

Müller A., Biermayr P., Kranzl L., Haas R., Altenburger F., Bergmann I., Friedl G., Haslinger W., Heimrath R., Ohnmacht R., Weiss W. (2010): Heizen 2050. Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050. Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 814008.

Nakicenovic N., Haas R., Kletzan D., Köppl A., Schleicher S.P., Thenius G. (2007): Assessment of Austrian contribution toward EU 2020 Target Sharing: Determining reduction targets for 2020 based on potentials for energy efficiency and renewables, Wien: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.

OEW (2012): Bilanz der elektrischen Energie 1970-2008. http://oesterreichsenergie.at Oesterreichs E-Wirtschaft.

ÖBB-Infrastruktur AG (2011): Ausbau der viergleisigen Westbahn: Asten – Linz Kleinmünchen; Linz; ÖBB.

Panos K. (2009): Praxisbuch Energiewirtschaft Energieumwandlung, -transport und -beschaffung im liberalisierten Markt 2. Auflage. Springer Berlin Heidelberg New York.

Pöyry, 2008. Wasserkraftpotenzialstudie Österreich, Endbericht. Studie erstellt von Pöyry Energy GmbH im Auftrag des VEÖ.

Redl C., Müller A., Haas R. (2009): Langfristige Szenarien der österreichischen Stromversorgung, 6. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2009.

Renner S., Baumann M., Jamek A., Lang B., Pfaffenbichler, P.C. (2010): Endbericht Visionen 2050 - Identifikation von existierenden und möglichen zukünftigen Treibern des Stromverbrauchs und von strukturellen Veränderungen bei der Stromnachfrage in Österreich bis 2050; Austrian Energy Agency; Wien; http://www.energyagency.at/fileadmin/aea/pdf/energiewirtschaft/Visionen_2050_Executive_Summary.pdf.

Riahi K., Grübler A., Nakicenovic N. (2007): Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. Technological Forecasting and Social Change 74, 887-935.

Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates. Amtsblatt

der Europäischen Union, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:275:0032:0046:de:PDF

Sammer G. (2011): Entwickungstendenz der Mobilität und ihre Konsequenzen; Paradigmenwechsel im Verkehrswesen; Wien; ÖVG;

Sijm J.P.M., Berk M.M., den Elzen M.G.J., van den Wijngaart R.A. (2007): Options for post-2012 EU burden sharing and EU ETS allocation, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.

Statistik Austria (2011): Siedlungseinheiten 2011.

Statistik Austria/Österreichische Raumordnungskonferenz (2010): Kleinräumige Bevölkerungsprognose für Österreich 2010-2030 mit Ausblick bis 2050 („ÖROK-Prognosen") 2009.

Statistik Austria (2011): Statistisches Jahrbuch Österreichs 2011. Wien, Statistik Austria.

Stern N. (2006): STERN REVIEW: The Economics of Climate Change. Cambridge University Press. ISBN 0-521-70080-9.

Stigler H., Huber C., Wulz C., Todem C. (2005): Energiewirtschaftliche und ökonomische Bewertung potenzieller Auswirkungen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie auf die Wasserkraft. Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation, Technischen Universität Graz.

SUME; Schremmer C., Mollay U., Neugebauer W., Novak S., Beiglböck S., Bory B, Panwinkler T., Schmitt P., Dubois A., Galera-Lindblom P. (2009): Urban development and urban metabolism – A spatial approach, SUME-Working Paper 1.1, Vienna

UBA (2011): GHG Projections and Assessment of Policies and Measures in Austria. Reporting under Decision 280/2004/EC. REP-0331, Wien.

UBA (2012): AUSTRIA'S ANNUAL GREENHOUSE GAS INVENTORY 1990–2010. Submission under Decision 280/2004/EC. REP-0361, Wien, Umweltbundesamt GmbH.

UK government (2009): The UK Low Carbon Transition Plan - National strategy for climate and energy; http://www.decc.gov.uk/publications/basket.aspx?FilePath=White+Papers%2fUK+Low+Carbon+Transition+Plan+WP09%2f1_20090724153238_e_%40%40_lowcarbontransitionplan.pdf&filetype=4#basket

ULCOS (2012): ULCOS Ultra Low CO_2 Steelmaking. www.ulcos.org, 2012.

UNFCCC (1992): United Nations Framework Convention on Climate Change, in Kraft getreten am 21.3.1994, New York: United Nations Headquarters, http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf.

VAD; Steinberger S. (Hrsg.) (2011): Auftrag Zukunft. Lösungen für Morgen. Umwelterklärung 2008. voestalpine Stahl Donawitz GmbH u. Co KG, www.voestalpine.com/stahldonawitz.

VAL; Sigmund H. (Hrsg.) (2011): Umwelterklärung 2010, Maßnahmen, Entwicklungen, Ergebnisse. Standorte: Linz, Steyrling. voestalpine Stahl GmbH http://www.voestalpine.com/group/de/presse/publikationen/.

VCÖ (2007): Mobilität und Verkehr im demographischen Wandel. Wien, Verkehrsclub Österreich.

VEÖ (2008): Initiative Wasserkraft – Masterplan zum Ausbau des Wasserkraftpotenzials, Wien.

VEÖ (2008b): Technische Überbrückung, VEÖ Journal 02/2008.

Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie (2009a): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie.

Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2009b): Nachhaltigkeitsbericht 2008/2009.

Winiwarter, W., Amon, B., Fröhlich, M., Gebetsroither, E., Müller, A., Nakicenovic, N., Ramusch, M., Sporer, M. (2009): reclip:tom. Research for climate protection: technological options for mitigation. Endbericht zu Projekt Nr. 1.S2.00007.0.0. AIT-F&PD-Report.

worldsteel (2009): Steel Statistical Yearbook 2009 /World Steel Association, Forschungsbericht.

worldsteel (2011): Breaking through the technology barriers. Fact Sheet Breakthrough Technologies. worldsteel association; www.worldsteel.org.

Worrell E., Price L., Neelis M., Galitsky C., Nan Z. (2008): World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL-62806 Rev. 2.

Wüsth H., Schweizer M. (1994): Basisdaten und Perspektiven zur Entwicklung des Gebäudeparks 1990-2030, Bundesamt für Energie, Bern, Publikationsnummer 194773.

WWF (2009): Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken; Endbericht des WWF: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf

Ziehm M. (2010): Modellierung und Konzeptstudie eines Zementwerks mit Abtrennung von CO2, Diplomarbeit IET, TU Wien.

Zuo G., Hirsch A. (2008): The Trial of the Top Gas Recycling Blast Furnace at LKAB's EBF and scale up. Proceedings of the 4th Ulcos seminar, 1-2 October, 2008.

14 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 2-1. Beobachtete Änderungen der globalen Oberflächendurchschnittstemperatur (oberes Panel), des globalen durchschnittlichen Meeresspiegels (mittleres Panel), und der Schneebedeckung auf der Nordhalbkugel (März-April, unteres Panel). (Quelle: IPCC, 2007) 5
Abbildung 2-2. Entwicklung der jährlichen globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen von 1970-2004 (links) sowie Aufteilung der Emissionen des Jahres 2004 nach Treibhausgasen und Sektoren. (Quelle: IPCC, 2007) 6
Abbildung 2-3. Beitrag von anthropogenen und natürlichen Aktivitäten zum Strahlungsantrieb und resultierender anthropogener Nettoeffekt. (Quelle: IPCC, 2007) 6
Abbildung 2-4. Vergleich von beobachteten und simulierten Temperaturänderungen unter Berücksichtigung natürlicher Strahlungseffekte (blau) und natürlicher und anthropogener Effekte (rosa). Das blaue Band ist das 90 % Wahrscheinlichkeitsintervall aus 19 Simulationen von fünf Klimamodellen. Das rosa Band ist das 90 % Wahrscheinlichkeitsintervall aus 58 Simulationen von 14 Klimamodellen. (Quelle: IPCC, 2007) 7
Abbildung 2-5. Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen in unterschiedlichen Szenarien und entsprechende Temperaturänderungen im Vergleich zum Durchschnitt 1980-1999 (oben rechts) in den SRES-Szenarien. Die Tabelle gibt neben den wahrscheinlichen Temperaturbereichen (66 %) auch Abschätzungen zum Meeresspiegelanstieg wieder. (Quelle: IPCC, 2007) 8
Abbildung 2-6. Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100 (oben) und Entwicklung der Jahresniederschlagssumme (relativ zu 1961-1990) in Österreich nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100 (unten). (Quelle: Kranzl et al., 2010) 9
Abbildung 2-7. Änderung der Jahresmitteltemperatur in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach dem A1B-Szenario des RCM REMO-UBA für die Periode 2071-2100 (oben) und Änderung der Jahresniederschlagssumme in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach dem A1B-Szenario des RCM REMO-UBA für die Periode 2071-2100 (unten). (Quelle: Kranzl et. al, 2010; Umweltbundesamt, 2007) 10
Abbildung 2-8. Ausgewählte Beispiele geplanter Adaptionsmaßnahmen. (Quelle: IPCC, 2007)..... 11
Abbildung 2-9. Globales ökonomisches Treibhausgasemissionsreduktionspotenzial bis 2030 und Zuwächse gegenüber 2000 (oben) sowie sektorale Aufteilung des Potenzials aus Bottom-up Studien. Potenziale nichttechnischer Natur (Verhaltensänderungen etc.) sind in den dargestellten Potenzialen nicht enthalten. (Quelle: IPCC, 2007) 12
Abbildung 2-10. Ausgewählte Beispiele existierender und bis 2030 marktreifer sektoraler Vermeidungsmaßnahmen. (Quelle: IPCC, 2007)..... 13

Abbildung 2-11. Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen in Stabilisierungsszenarien und entsprechende Temperaturanstiege im Vergleich zum vorindustriellen Niveau. (Quelle: IPCC, 2007)..... 15
Abbildung 2-12. Kumulierte Emissionsreduktionen in einem 650 ppm und einem 490-540 ppm CO_2-eq Stabilisierungsszenario. Die Ergebnisse werden für vier verschiedene globale Simulations- bzw. Optimierungsmodelle dargestellt. Die Reduktionen beziehen sich auf kumulierte Baseline-Emissionen von 6000 bis 7000 Gt CO_2-eq (2000-2100). (Quelle: IPCC, 2007) 16
Abbildung 2-13. Globaler Primärenergiebedarf bis 2030 im Referenzszenario der IEA. (Quelle: IEA, 2009a) 17
Abbildung 2-14. CO_2-Vermeidungsmaßnahmen und Auswirkungen auf die globalen energiebedingten CO_2-Emissionen im 450 ppm-Szenario. (Quelle: IEA, 2009a) 17
Abbildung 2-15. Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens einer gewissen Klimaerwärmung für eine gegebene Konzentration an Treibhausgasen (CO_2-eq) für ein gegebenes Klimamodell und variierter Klimasensitivität. Die schwarzen Linien stellen die in EISERN analysierten Konzentrationen dar: 450, 500 und 550 ppm CO_2-eq. (Quelle: IPCC, 2007). 19
Abbildung 2-16. Verlauf der THG-Emissionen (exkl. LULUCF) in der EU-27 in den EISERN-Szenarien. (Quelle: eigene Berechnungen) 20
Abbildung 2-17. Projektionen des Bruttoinlandsverbrauchs in der EU-27 bis 2050 für die EISERN-Szenarien. (Quelle: IEA, 2010; eigene Berechnungen) 21
Abbildung 2-18. Preise auf globalen Primärenergiemärkten für Steinkohle, Rohöl und Erdgas. (Quelle: IEA, 2010; eigene Berechnungen) 22
Abbildung 2-19. Verlauf der CO_2-Preise in der EU-27 in den EISERN-Szenarien. (Quelle: IEA, 2010; eigene Berechnungen)) 22
Abbildung 3-1. Die Entwicklung der THG Emissionen relativ zum Niveau von 1990 für ausgewählte Regionen und Staaten der EU. Eurostat Daten von 1990 bis 2008; danach eigene Berechnungen. (Quelle: Eurostat, 2010; eigene Berechnungen) 25
Abbildung 3-2. Die Entwicklung der THG Emissionen pro Kopf für ausgewählte Regionen und Staaten der EU. Eurostat Daten von 1990 bis 2008; danach eigene Berechnungen. (Quelle: Eurostat, 2010; eigene Berechnungen) 26
Abbildung 3-3. EISERN THG Reduktionspfade für das 550, 500 und 450 ppm-Szenario für Österreich. (Quelle: Eurostat, 2010; eigene Berechnungen) 27
Abbildung 4-1. Sektorale Reduktionspfade bis 2050 28
Abbildung 4-2. Reduktionspfade im Verkehrssektor (Straßenverkehr und Luftfahrt) 32
Abbildung 4-3. Reduktion der Gebäudeemissionen in verschiedenen Szenarien 33
Abbildung 4-4. Energiepreisszenarien..... 35
Abbildung 4-5. CO_2-Preisszenarien..... 35
Abbildung 4-6. Reduktionsziele für einzelne Sektoren 37
Abbildung 4-7. Komponentenzerlegung für die gesamte Emissionsentwicklung im Referenz-, und Innovationsszenario, 2005 - 2050 39
Abbildung 4-8. Endenergieverbrauch im Sektor Industrie im Innovationsszenario nach Verwendungszwecken und Energieträgern in PJ, Index direkte CO2 Emissionen 2005 - 2050 40
Abbildung 4-9. Ein möglicher UK Reduktionspfad bis 2050 42

Abbildung 4-10. Stromanteil in den aktuellen Trendszenarien und in den Dekarbonisierungsszenarien 46
Abbildung 5-1. Anteil der Bevölkerung in Siedlungseinheiten 2010 52
Abbildung 5-2. Anteil der Bevölkerung außerhalb der Siedlungseinheiten 2010 53
Abbildung 5-3. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten 2010 54
Abbildung 5-4. Bevölkerungsprognose bis 2050. (Quelle: ÖROK-Bevölkerungsprognose 2009, 2010) 55
Abbildung 5-5. Szenariendefinition Siedlungsentwicklung 57
Abbildung 5-6. Durchschnittlicher Anteil der EinwohnerInnen innerhalb der Siedlungseinheiten 65
Abbildung 5-7. Reduzierte Zersiedelung – Szenario ‚ambitioniert' versus BAU 2050 66
Abbildung 5-8. Reduzierte Zersiedelung – Szenario ‚sehr ambitioniert' versus BAU 2050 66
Abbildung 5-9. Entwicklung der durchschnittlichen Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten je Szenario 67
Abbildung 5-10. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten – Veränderung Szenario BAU (wenig ambitioniert) 2050 im Verhältnis zum Bestand 2010 (in %) ... 68
Abbildung 5-11. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten – Veränderung Szenario ambitioniert 2050 im Verhältnis zum Bestand 2010 (in %) 68
Abbildung 5-12. Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten – Veränderung Szenario sehr ambitioniert 2050 im Verhältnis zum Bestand 2010 (in %) 69
Abbildung 6-1. Die drei Submodelle von MARS-Austria und deren Verknüpfungen..... 73
Abbildung 6-2. Input-Output-Diagramm des Parameterflusses zwischen den Siedlungs-, PKW-Flotten- und Verhaltensszenarien. 74
Abbildung 6-3. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im Basisjahr 2010. 76
Abbildung 6-4. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im BAU Szenario im Jahr 2050. 76
Abbildung 6-5. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im 500 ppm-Szenario im Jahr 2050. 77
Abbildung 6-6. Die Bezirke Österreichs mit ihrem Regionstyp im 450 ppm-Szenario im Jahr 2050. 77
Abbildung 6-7. Die Wirkungen der Variablen von ÖIR und EEG auf die Modellvariablen in MARS-Austria. 79
Abbildung 6-8. Die Flottenentwicklung im BAU Szenario. 83
Abbildung 6-9. Die Flottenentwicklung im 550 ppm-Szenario 84
Abbildung 6-10. Kraftstoff- und Strompreisentwicklung im 550 ppm-Szenario. 85
Abbildung 6-11. Die Flottenentwicklung im 500 ppm-Szenario. 86
Abbildung 6-12. Die Kraftstoff- und Strompreisentwicklung im 500 ppm-Szenario. 87
Abbildung 6-13. Die Flottenentwicklung im 450 ppm-Szenario. 88
Abbildung 6-14. Die Kraftstoff- und Strompreisentwicklung im 450 ppm-Szenario. 89
Abbildung 6-15. CO_2 Emissionen im Personenverkehr – Fahrzeugbetrieb. 90
Abbildung 6-16. Modal Split der Jahre 1995, 2010 und 2025 für die Szenarien. 92
Abbildung 6-17. Modal Split der Jahre 1995, 2010 und2050 für die Szenarien. 92
Abbildung 6-18. Anteil der Anteile Zeit und Kosten an den Generalized Costs für Schienenverkehrsmittel auf ausgewählten Relationen im Jahr 2010. 93
Abbildung 6-19. Anteil der Anteile Zeit und Kosten an den Generalized Costs für das Verkehrsmittel Bus auf ausgewählten Relationen im Jahr 2010..... 93
Abbildung 6-20. Anteil der Anteile Zeit und Kosten an den Generalized Costs für das Verkehrsmittel PKW auf ausgewählten Relationen im Jahr 2010. 94

Abbildung 6-21. Zeitreihe des Güterverkehrsaufwandes von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009. (Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008) 95
Abbildung 6-22. Zeitreihe des Güterverkehrsanteiles von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009. (Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008) 95
Abbildung 6-23. Zeitreihe der CO2-Emissionen aus dem Güterverkehr von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009. (Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008) 96
Abbildung 6-24. Berechnungsformel für die CO_2-Emissionen des Güterverkehrs. 97
Abbildung 6-25. Index der Entwicklung des Güterverkehrsaufwandes, der Bevölkerung und des österreichischen GDP samt Prognosewerten bis 2050. Basisjahr = 2000. (Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008; Statistik Austria, 2011; Worldbank Group, 2010) 98
Abbildung 6-26. Aufwandsbezogener Modal Split im Jahr 2050 für das BAU Szenario. 100
Abbildung 6-27. Aufwandsbezogener Modal Split im Jahr 2050 für das 450 ppm-Szenario. 100
Abbildung 6-28. Spezifische CO_2-Emissionen des Österreichischen Güterverkehrs bezogen auf den Tonnenkilometer 101
Abbildung 6-29. CO_2-Emissionen des Güterverkehrs im Überblick: Basisjahr 2010 und die vier Szenarien im Jahr 2050 (mit Transit). 103
Abbildung 6-30. CO_2 Emissionen im Güterverkehr – Fahrzeugbetrieb. 104
Abbildung 6-31. CO_2-Emissionen im Personen- und Güterverkehr (ohne Transit) – reiner Fahrzeugbetrieb. 105
Abbildung 6-32. Kumulierte CO_2-Emissionen im Personen- und Güterverkehr (ohne Transit) – reiner Fahrzeugbetrieb.....105
Abbildung 6-33. Zeitleiste der simulierten Maßnahmen nach Szenarien. Rote Linie: 2012, schwarze Pfeile: Zeitpunkte der Maßnahmenwirksamkeit, Grau: angenommene minimale Vorlaufzeit (3 Jahre)bzw. Zeit des kontinuierlichen Wachstums der Maßnahme, Grün: Bundeskompetenz, Blau: Bundesländerkompetenz und Rot: Gemeindekompetenz. 107
Abbildung 6-34. Wirkung der Raumplanungsmaßnahmen: Vergleich der Grundszenarien aus WP3 mit Sonderszenarien Raumplanung 1 und 2, die unterschiedliche Ambitionierungsgrade der Teilsektoren Verkehrsverhalten/Flotte/Raumplanung beinhalten.....108
Abbildung 6-35. Wirkung der verkehrsplanerischen Maßnahmen: Vergleich der Standardszenarien aus WP3 mit Sonderszenarien Verkehrspolitik 1 und 2, die unterschiedliche Ambitionierungsgrade der Teilsektoren Verkehrsverhalten/Flotte/Raumplanung beinhalten.....108
Abbildung 6-36. Anteile von Plug-in-Hybriden und E-PKW an der Flotte nach Szenarien im Zeitraum 2010 bis 2050. 109
Abbildung 6-37. Zeitleiste der Einführung von PKW-Vignette und LKW-Maut in Österreich. (Quelle: Estermann et al., 2008) 110
Abbildung 6-38. Anteil der Straßentypen an der Gesamtlänge. (Quelle: BMVIT, 2011) 111
Abbildung 6-39. Zeitleiste der viergleisigen Ausbaus der Westbahn im Abschnitt Asten – Linz Kleinmünchen. (Quelle: ÖBB-Infrastruktur AG, 2011) 112
Abbildung 7-1. Berechnung des Energiebedarfes im Simulationsmodell Invert/EE-Lab. (Quelle: Müller et al., 2010) 116

Abbildung 7-2. Ansatz zur Gebäudeteilsanierung bzw. zum Gerätetausch im Simulationsmodell Invert/EE-Lab. (Quelle: Müller et al., 2010) 118
Abbildung 7-3. Modelllogik des Simulationsmodells Invert/EE-LAB. (Quelle: Müller et al., 2010) 118
Abbildung 7-4. Entwicklung der Bruttogeschossflächen im 550 ppm-Szenario für den ländlichen (oben links) und urbanen (oben rechts) Raum sowie entsprechendem Heizwärmebedarf (unten). (Quelle: Task 3.1; Müller et al., 2010; eigene Berechnungen) 120
Abbildung 7-5. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO_2-Steuer) im Referenzszenario. (Quelle: Arbeitspaket 2, Müller et al., (2010), eigene Berechnungen).....121
Abbildung 7-6. Energieverbrauch im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im BAU-Szenario. 122
Abbildung 7-7. Relative Anteile unterschiedlicher Energieträger zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs des österreichischen Gebäudesektors im BAU-Szenario. 122
Abbildung 7-8. Entwicklung der direkten CO_2-Emissionen des Gebäudesektors im Referenzszenario. 123
Abbildung 7-9. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO_2-Steuer) im Referenzszenario. (Quelle: Arbeitspaket 2; Müller et al., 2010; eigene Berechnungen).....123
Abbildung 7-10. Energieverbrauch im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im 450 ppm-Szenario.....124
Abbildung 7-11. Relative Anteile unterschiedlicher Energieträger zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs des österreichischen Gebäudesektors im 450 ppm-Szenario.....125
Abbildung 7-12. Entwicklung der direkten CO_2-Emissionen des Gebäudesektors im 450 ppm-Szenario. 125
Abbildung 7-13. Vergleich von Heizwärmebedarf mit Norminnenraumtemperatur und Real-Innenraumtemperatur unterschiedlicher Gebäude. 127
Abbildung 7-14. Entwicklung des Nutzwärmebedarfes in den sechs untersuchten Szenarien (linke Grafik) und korrespondierende Sanierungsraten (rechte Grafik) 128
Abbildung 7-15. Strombedarfsentwicklung der Sektoren: Haushalte, Dienstleistungsbereich und Industrie im BAU-Szenario des Projekts PotEta. (Quelle: Haas et al., 2011).....130
Abbildung 7-16. Strombedarfsentwicklung der Sektoren: Haushalte, Dienstleistungsbereich und Industrie im BEST-Szenario des Projekts PotEta. (Quelle: Haas et al., 2011).....131
Abbildung 7-17. Grenzkostenkurven der Stromeinsparung für die Sektoren: Haushalte, Dienstleistungen und Industrie. (Quelle: Haas et al., 2011) ..132
Abbildung 7-18. Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich in den IPCC-Szenarien A1B, A2, B1. Trend ja / Trend nein steht für den nicht-klimasensitiven Trend zur Raumklimatisierung. Klima-Trend hoch / Klima-Trend nieder steht für das Ausmaß des klimasensitiven Trends (Korrelation mit dem Indikator Temperatur-Summen-Hitzetage). (Quelle: Kranzl et al., 2010) 134
Abbildung 8-1. Reduktionsmitteleinsatz im Jahresvergleich von 1950 bis 2010. (Quelle: Dahlmann et al., 2010) 139
Abbildung 8-2. Industriell genutzte Stahlproduktionsverfahrensrouten weltweit. (Quelle: VDEh, 2012).....140
Abbildung 8-3. Hochofen mit Gichtgasrückführung. (Quelle: Birat et al., 2008a).....144
Abbildung 8-4. Schmelzreduktionsverfahren HIsarna, [Birat, 2011] 146

Abbildung 8-5. Schema der weiterentwickelten Direktreduktion. (Quelle: Kop et al., 2008) 147
Abbildung 8-6. CO_2-Emissionen Szenario 1 151
Abbildung 8-7. Stromimport Szenario 1 152
Abbildung 8-8. CO_2-Emissionen Szenario 2 154
Abbildung 8-9. Stromimport Szenario 2 154
Abbildung 8-10. CO_2-Emissionen Szenario 3 156
Abbildung 8-11. Stromimport Szenario 3 157
Abbildung 8-12. CO_2-Emissionen Szenario 3a 159
Abbildung 8-13. Stromimport Szenario 3a 159
Abbildung 8-14. Biomasseverbrauch Szenario 3a 160
Abbildung 8-15. Vergleich der CO_2-Emissionen für die aufgestellten Szenarien 160
Abbildung 8-16. Vergleich der Stromimporte für die aufgestellten Szenarien 161
Abbildung 8-17. Übersicht der Arbeitsschritte im Bereich der Zementindustrie 165
Abbildung 8-18. Österreichische Zementwerkstandorte aus. (Quelle: VÖZ, 2009a) 165
Abbildung 8-19. Vergleich der Größenordnung von Zementwerken 166
Abbildung 8-20. Darstellung der spez. CO_2-Emissionen 170
Abbildung 8-21. Darstellung der absoluten, jährlichen CO_2-Emissionen 170
Abbildung 8-22. Darstellung der absoluten, jährlichen CO_2-Emissionen 171
Abbildung 9-1. Ausbau der Technologien i und j im Jahr t im Modell „Stromzukunft". ..174
Abbildung 9-2. Stromverbrauch der E-Mobilität in den Stabilisierungsszenarien. (Quelle: Arbeitstask 3.3, Kapitel 6) 176
Abbildung 9-3. Zusätzlicher Stromverbrauch der Eisen- und Stahlindustrie in den Stabilisierungsszenarien. (Quelle: Arbeitstask 3.4, Kapitel 8) 176
Abbildung 9-4. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Skala – sowie Stromnachfrage – rechte Skala) im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; Arbeitspaket 2; Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen) ...177
Abbildung 9-5. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im Referenzszenario (oben) sowie Anteil der Primärenergieträger an der RES-E-Erzeugung exkl. Wasserkraft (unten). 178
Abbildung 9-6. Entwicklung der CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im Referenzszenario. 179
Abbildung 9-7. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Achse – sowie Stromnachfrage – rechte Achse) im 550 ppm-Szenario. Die punktierten Linien zeigen die entsprechenden Entwicklungen im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; Arbeitspaket 2; Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen) 180
Abbildung 9-8. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 550 ppm-Szenario. Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar. 181
Abbildung 9-9. Entwicklung der atmosphärischen CO_2 -Emissionen des Kraftwerkssektors im 550 ppm-Szenario (schwarze Linie). Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario. Die rote Linie stellt die jährlichen CO_2-Emissionen inklusive der durch CCS zur Speicherung abgetrennten CO_2-Mengen dar. 182
Abbildung 9-10. Anteil der Primärenergieträger an der erneuerbaren Stromproduktion in Österreich von 2020 bis 2050 (exkl. Wasserkraft) im 550 ppm-Szenario. 183

Abbildung 9-11. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Skala – sowie Stromnachfrage – rechte Skala) im 500 ppm-Szenario. Die punktierten Linien zeigen die entsprechenden Entwicklungen im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; Arbeitspaket 2; Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen) 184
Abbildung 9-12. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 500 ppm-Szenario. Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar. 184
Abbildung 9-13. Entwicklung der atmosphärischen CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im 550 ppm-Szenario (schwarze Linie). Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario. Die rote Linie stellt die jährlichen CO_2-Emissionen inklusive der durch CCS zur Speicherung abgetrennten CO_2-Mengen dar. 185
Abbildung 9-14. Anteil der Primärenergieträger an der erneuerbaren Stromproduktion in Österreich von 2020 bis 2050 (exkl. Wasserkraft) im 500 ppm-Szenario.....186
Abbildung 9-15. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO_2-, und Strompreise – linke Skala – sowie Stromnachfrage – rechte Skala) im 450 ppm-Szenario. Die punktierten Linien zeigen die entsprechenden Entwicklungen im Referenzszenario. (Quelle: EC, 2010 adaptiert; IEA, 2010; WP2, Cosijns und D'haeseleer, 2007; eigene Berechnungen) 187
Abbildung 9-16. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 450 ppm-Szenario (S1). Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar. 187
Abbildung 9-17. Entwicklung der CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im 450 ppm-Szenario (schwarze Linie). Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario. 188
Abbildung 9-18. Anteil der Primärenergieträger an der erneuerbaren Stromproduktion in Österreich von 2020 bis 2050 (exkl. Wasserkraft) im 500 ppm-Szenario.....189
Abbildung 9-19. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 450 ppm-Szenario unter Berücksichtigung des zusätzlichen Strombedarfs der Eisen- und Stahlindustrie im ambitioniertesten Industrieszenario S3. Die schattierten Säulen stellen die Anteile im Referenzszenario dar. 190
Abbildung 9-20. Entwicklung der CO_2-Emissionen des Kraftwerkssektors im 450 ppm-Szenario (schwarze Linie) unter Berücksichtigung des zusätzlichen Strombedarfs der Eisen- und Stahlindustrie im ambitioniertesten Industrieszenario S3. Die strichlierte Linie stellt die Emissionen im Referenzszenario. Die rote Linie stellt die jährlichen CO_2-Emissionen inklusive der durch CCS zur Speicherung abgetrennten CO_2-Mengen dar. 191
Abbildung 9-21. Bandbreite der jährlichen Stromproduktionsmengen der modellierten erneuerbaren Technologien in den Szenarien im Jahr 2025 (oben) und 2050 (unten). (Quelle: eigene Berechnungen).....193
Abbildung 9-22. Entwicklung der durchschnittlichen jährlichen Wasserkrafterzeugung in den Klimaszenarien (B1, A1B, A2) im Vergleich zum EISERN-Referenzszenario (keine Klimasensitivität der Wasserkrafterzeugung). Die strichlierten Linien stellen die Entwicklung der Erzeugung bei einer „strikten" Umsetzung der

Wasserrahmenrichtlinie dar (7 % Erzeugungsverluste). (Quelle: Kranzl et al., 2010; eigene Berechnungen).....195
Abbildung 9-23. Entwicklung der durchschnittlichen Wasserkrafterzeugung im Sommer (dicke Linien) und im Winter (dünne Linien) in den Klimaszenarien (B1, A1B, A2). Die strichlierten Linien stellen die Entwicklung des Verhältnisses von Sommer- zu Winterproduktion dar (rechte Skala). (Quelle: Kranzl et al., 2010; eigene Berechnungen).....196
Abbildung 9-24. Entwicklung der Stromerzeugung aus Bioenergieanlagen in den Klimaszenarien (B1, A1B, A2). Die strichlierten Linien stellen die entsprechende Erzeugung ohne Berücksichtigung des Klimawandels dar. (Quelle: Kranzl et al., 2010; eigene Berechnungen).....196
Abbildung 10-1. Treibhausgasemissionen in Österreich von 1990-2010 (oben) und sektorale Anteile (unten). (Quelle: UBA, 2012; eigene Berechnungen) ...202
Abbildung 10-2. Verlauf der tatsächlichen THG-Emissionen in Österreich von 1990-2010 sowie Top-down abgeleitete Emissionen für das EISERN Business-as-usual-Referenzszenario und die EISERN Stabilisierungsszenarien. (Quelle: UBA, 2012; Arbeitspaket 2 – Kapitel 3) 203
Abbildung 10-3. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN Szenarien. 204
Abbildung 10-4. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im Referenzszenario.....205
Abbildung 10-5. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im 550 ppm-Stabilisierungsszenario. 206
Abbildung 10-6. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im 550 ppm-Stabilisierungsszenario: Sensitivitätsanalysen zum Strom-/Wärmesektor.....207
Abbildung 10-7. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im 500 ppm-Stabilisierungsszenario. 208
Abbildung 10-8. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im 450 ppm-Stabilisierungsszenario. 209
Abbildung 10-9. Gegenüberstellung der Szenarien für Nicht-CO_2-Treibhausgas-Emissionen in UBA (2011) mit der Top-down Vorgabe im EISERN 550 ppm-Stabilisierungsszenario. (Quelle: UBA, 2011; eigene Berechnungen) 210
Abbildung 10-10. Gegenüberstellung der Szenarien für CO_2-Emissionen in UBA (2011) mit der Top-down Vorgabe im EISERN 550 ppm-Stabilisierungsszenario. (Quelle: UBA, 2011; Arbeitspaket 2 – Kapitel 3) 211
Abbildung 10-11. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN Szenarien sowie aktuelle Emissionstrends lt. UBA (2011). (Quelle: UBA, 2011; Arbeitspaket 2 und 3 - Kapitel 3 bis 10).....212
Abbildung 11-1. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN-Szenarien.....215
Abbildung A-1. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO2-Steuer) im 550 ppm-Szenario. Quelle: Arbeitspaket 2, Müller et al., (2010), eigene Berechnungen 246

Abbildung A-2. Energieverbrauchs im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im 550 ppm-Szenario.....246
Abbildung A-3. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO2-Steuer) im 500 ppm-Szenario. Quelle: Arbeitspaket 2, Müller et al., (2010), eigene Berechnungen 247
Abbildung A-4. Energieverbrauchs im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im 500 ppm-Szenario.....247

A. Anhang

A.1 Anhang Aktueller Diskurs im Bereich der Klimawandelforschung und die Auswirkungen auf ein 2°C-Erwärmungsziel

Im Rahmen der Literaturrecherche von Arbeitspaket 1 wurde eine Vielzahl an Studien zu langfristigen Emissionsszenarien gesichtet. Für den Hauptteil des Berichts wurde hauptsächlich auf IPCC (2007) eingegangen, da dieses Dokument als der aktuelle wissenschaftliche Konsens bezeichnet werden kann. Die folgende Liste führt weitere gesichtete (Detail-)Studien auf.

Bernard, A., Vielle, M., 2009. Assessment of European Union transition scenarios with a special focus on the issue of carbon leakage. Energy Economics 31, S274-S284.

Blanford, G.J., Richels, R.G., Rutherford, T.F., 2009. Feasible climate targets: The roles of economic growth, coalition development and expectations. Energy Economics 31, S82-S93.

Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., Hare, W., Huq, S., Karoly, D., Kattsov, V., others, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2007.

Bosetti, V., Carraro, C., Tavoni, M., 2009. Climate change mitigation strategies in fast-growing countries: The benefits of early action. Energy Economics 31, S144-S151.

Böhringer, C., Löschel, L., Moslener, U., Rutherford, T.F., EU climate policy up to 2020: An economic impact assessment. Energy Economics 31, S295-S305.

Calvin, K., Edmonds, J., Bond-Lamberty, B., Clarke, L., Kim, S.H., Kyle, P., Smith, S.J., Thomson, A., Wise, M., 2009. 2.6: Limiting climate change to 450 ppm CO2 equivalent in the 21st century. Energy Economics 31, S107-S120.

Calvin, K., Patel, P., Fawcett, A., Clarke, L., Fisher-Vanden, K., Edmonds, J., Kim, S.H., Sands, R., Wise, M., 2009. The distribution and magnitude of emissions mitigation costs in climate stabilization under less than perfect international cooperation: SGM results. Energy Economics 31, S187-S197.

Copenhagen Accord, 2009. Draft decision -/CP.15. CONFERENCE OF THE PARTIES, Fifteenth session, Copenhagen.

EC, 2009. RICHTLINIE 2009/29/EG DES €OPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten, Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/63, Brüssel.

Europäischer Rat, 2009. PRESIDENCY CONCLUSIONS. BRUSSELS €OPEAN COUNCIL 29/30 OCTOBER 2009. 15265/1/09 REV 1, Brüssel.

Europäischer Rat, 2011. European Council 4 February 2011 CONCLUSIONS. EUCO 2/1/11 REV 1, Brüssel.

Eurostat, 2010. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/

Gurney, A., Ahammad, H., Ford, M., 2009. The economics of greenhouse gas mitigation: Insights from illustrative global abatement scenarios modelling. Energy Economics 31, S174-S186.

Grübler, A., Nakicenovic, N., Riahi, K., Wagner, F., Fischer, G., Keppo, I., Obersteiner, M., O'Neill, B., Rao, S., Tubiello, F., 2007. Integrated assessment of uncertainties

in greenhouse gas emissions and their mitigation: Introduction and overview. Technological Forecasting and Social Change 74(7), 873-886.

Grübler, A., O'Neill, B., Riahi, K., Chirkov, A. Grübler, B. O'Neill, K. Riahi, V. Chirkov, A. Goujon, P. Kolp, I. Prommer, S. Scherbov, E. Slentoe., Goujon, A., Kolp, P., Prommer, I., Scherbov, S., Slentoe, E., 2007. Regional, national, and spatially explicit scenarios of demographic and economic change based on SRES. Technological Forecasting and Social Change 74(7), 980-1029.

IEA, 2009. World Energy Outlook 2009. International Energy Agency, Paris.

IEA, 2010. World Energy Outlook 2010. International Energy Agency, Paris.

IIASA, 2009. International Institute for Applied System Analysis GGI Scenario Database Ver 2.0. Available at: http://www.iiasa.ac.at/Research/GGI/DB/

Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P., Sieck, K. 2008. Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg.

Keppo, I., O'Neill, B.C., Riahi, K., 2007. Probabilistic temperature change projections and energy system implications of greenhouse gas emission scenarios. Technological Forecasting and Social Change 74(7), 936-961.

Keppo, I., Rao, S., 2007. International climate regimes: Effects of delayed participation. Technological Forecasting and Social Change 74(7), 962-979.

Kranzl, L., Haas, R., Kalt, G., Müller, A., Nakicenovic, N., Redl, C., Formayer, H., Haas, P., Lexer, M.J., Seidl, R., Schörghuber, S., Nachtnebel, H.P., Stanzl, P., 2010. Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel, Bericht im Rahmen des Programms Energie der Zukunft.

Krey, V., Riahi, K., 2009. Implications of delayed participation and technology failure for the feasibility, costs, and likelihood of staying below temperature targets—Greenhouse gas mitigation scenarios for the 21st century. Energy Economics 31, S94-S106.

Rao, S., Riahi, K., Stehfest, E., van Vuuren, D.P., Cho, C., den Elzen, M.G.J., Isaac, M., van Vliet, J., 2008. IMAGE and MESSAGE Scenarios Limiting GHG Concentration to Low Levels, IIASA Interim Report IR-08-020, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Riahi, K., Nakicenovic, N., (eds) 2007. Greenhouse Gases - Integrated Assessment, Technological Forecasting and Social Change, Special Issue, 74(7): 873-1108, (ISSN 0040-1625).

Riahi, K., Grübler, A., Nakicenovic, N., 2007. Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. Technological Forecasting and Social Change 74, 887-935.

Russ, P., van Ierland, T., 2009. Insights on different participation schemes to meet climate goals. Energy Economics 31, S163-S172.

Stern, N., 2006. STERN REVIEW: The Economics of Climate Change. Cambridge University Press. ISBN 0-521-70080-9.

Tol, R.S.J., 2009. The feasibility of low concentration targets: An application of FUND. Energy Economics 31, S121-S130.

van Vliet, J., den Elzen, M.G.J., van Vuuren, D.P., 2009. Meeting radiative forcing targets under delayed participation, Energy Economics 31, S152-S162.

A.2 Anhang Siedlungsentwicklung bis 2050 unter Berücksichtigung von bestehender Siedlungsstruktur und regionaler Bevölkerungsprognose

Tabelle A-1. Bevölkerung in Siedlungseinheiten 2010 und in Szenarien 2050

Bundesland	Bestand 2010	*Szenario ‚BAU' 2050*	*Szenario ‚ambitioniert' 2050*	*Szenario ‚sehr ambitioniert' 2050*
Burgenland	227.648	266.085	270.196	271.464
Kärnten	386.410	386.170	395.697	403.503
Niederösterreich	1.218.585	1.510.285	1.556.437	1.561.206
Oberösterreich	984.087	1.085.350	1.123.839	1.130.687
Salzburg	422.512	453.618	464.826	468.427
Steiermark	824.012	876.815	910.984	923.855
Tirol	586.357	658.084	670.176	672.600
Vorarlberg	340.389	388.716	391.355	392.172
Wien	1.692.076	2.043.674	2.045.368	2.045.368
Österreich insg.	**6.682.076**	**7.668.798**	**7.828.877**	**7.869.282**
Österreich insg. ohne Wien	4.990.000	5.625.124	5.783.509	5.823.914
Österreich insg. in % von BAU 2050	-	*100,0*	*102,1*	*102,6*
Österreich insg. ohne Wien in % von BAU 2050	-	*100,0*	*102,8*	*103,5*

Tabelle A-2. Bevölkerungsdichte (EinwohnerInnen/km²) in Siedlungseinheiten 2010 und in Szenarien 2050

Bundesland	Bestand 2010	*Szenario ‚BAU' 2050*	*Szenario ‚ambitioniert' 2050*	*Szenario ‚sehr ambitioniert' 2050*
Burgenland	992	996	1.031	1.152
Kärnten	1.205	1.146	1.170	1.245
Niederösterreich	1.286	1.289	1.340	1.581
Oberösterreich	1.389	1.372	1.401	1.558
Salzburg	1.744	1.709	1.744	1.898
Steiermark	1.272	1.201	1.236	1.390
Tirol	1.752	1.735	1.776	1.963
Vorarlberg	1.725	1.725	1.773	1.944
Wien	4.078	3.946	4.108	4.751
Österreich insg.	**1.653**	**1.637**	**1.679**	**1.892**
Österreich insg. ohne Wien	1.375	1.350	1.388	1.562
Österreich insg. in % von BAU 2050	**-**	*100,0*	*102,5*	*115,6*
Österreich insg. ohne Wien in % von BAU 2050	-	*100,0*	*102,8*	*115,7*

Tabelle A-3. Anteil der Bevölkerung in Siedlungseinheiten an der Gesamtbevölkerung 2010 und in Szenarien 2050

Bundesland	Bestand 2010	*Szenario ‚BAU' 2050*	*Szenario ‚ambitioniert' 2050*	*Szenario ‚sehr ambitioniert' 2050*
Burgenland	80,2	82,2	83,5	83,9
Kärnten	69,1	69,8	71,6	73,0
Niederösterreich	75,8	77,9	80,3	80,5
Oberösterreich	69,7	70,3	72,8	73,2
Salzburg	79,7	79,8	81,7	82,4
Steiermark	68,2	69,0	71,6	72,7
Tirol	83,0	83,4	85,0	85,3
Vorarlberg	92,3	92,6	93,2	93,4
Wien	99,6	99,6	99,7	99,7
Österreich insg.	**79,8**	**81,1**	**82,8**	**83,2**
Österreich insg. ohne Wien	74,7	75,9	78,1	78,6

A.3 Anhang Verkehr: Input für Szenarien

Die folgenden Tabellen (Tabelle A-4 – A-18) weisen die den einzelnen Szenarien und dem Basisjahr zugrundeliegenden Parameter detailliert aus.

Basisjahr 2010

Tabelle A-4. GVA für das Basisjahr 2010 [Mio. tkm].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	4.209	13.890.	165.	37	**18.301**
Quell-/Ziel-V	8.426	10.757	3.812	1.287	**24.283**
Transit-V	5.166	10.704	11.536	1.291	**28.698**
Summe	**17.801**	**35.352**	**15.514**	**2.615**	**71.281**

Tabelle A-5. Anteil Technologie Antrieb je V-Träger [%] für das Basisjahr 2010.

Straße	
LKW Diesel	100 %
LKW Agrodiesel	0%
LKW Hybrid	0%
LKW Brennstoffzelle	0%
LKW Elektro	0%
Schiene	
Eisenbahn Elektro	95%
Eisenbahn Diesel	5%
Eisenbahn Agrodiesel	0%
Schiff	
Schiff Diesel	100 %
Schiff Agrodiesel	0%
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	100 %

Tabelle A-6. Spezifische CO_2-Emission je Technologie [kg CO_2/tkm] für das Basisjahr 2010.

Straße	
LKW Diesel	0,119
LKW Agrodiesel	0,000
LKW Hybrid	0,110
LKW Brennstoffzelle	0,070
LKW Elektro	0,065
Schiene	
Eisenbahn Elektro	0,007
Eisenbahn Diesel	0,040
Eisenbahn Agrodiesel	0,000
Schiff	
Schiff Diesel	0,028
Schiff Agrodiesel	0,000
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	0,010

BAU

Tabelle A-7. GVA im BAU Szenario für das Jahr 2050 [Mio. tkm].

Destination	**Schiene**	**Straße**	**Rohrleitung**	**Schifffahrt**	**Summe**
Binnen-V	6.500	25.000	200	50	**31.750**
Quell-/Ziel-V	13.000.	15.000	5.000	1.600	**34.600**
Transit-V	8.000	20.000	15.000	1.600	**44.600**
Summe	**27.500.**	**60.000**	**20.200**	**3.250**	**110.950**

Tabelle A-8. Anteil Technologie Antrieb je V-Träger [%] für das BAU Szenario 2050.

Straße	
LKW Diesel	87%
LKW Agrodiesel	1%
LKW Hybrid	10%
LKW Brennstoffzelle	1%
LKW Elektro	1%
Schiene	
Eisenbahn Elektro	95%
Eisenbahn Diesel	5%
Eisenbahn Agrodiesel	0%
Schiff	
Schiff Diesel	100%
Schiff Agrodiesel	0%
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	100%

Tabelle A-9. Spezifische CO_2-Emission je Technologie [kg CO_2/tkm] für das BAU Szenario 2050.

Straße	
LKW Diesel	0,119
LKW Agrodiesel	0,000
LKW Hybrid	0,110
LKW Brennstoffzelle	0,070
LKW Elektro	0,065
Schiene	
Eisenbahn Elektro	0,007
Eisenbahn Diesel	0,040
Eisenbahn Agrodiesel	0,000
Schiff	
Schiff Diesel	0,028
Schiff Agrodiesel	0,000
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	0,010

550 ppm

Tabelle A-10. GVA im 550 ppm-Szenario für das Jahr 2050 [Mio. tkm].

Destination	**Schiene**	**Straße**	**Rohrleitung**	**Schifffahrt**	**Summe**
Binnen-V	5.500	20.000	180	60	**25.740**
Quell-/Ziel-V	12.000	13.000	4.500	1.700	**31.200**
Transit-V	8.000	17.000	12.000	1.700	**38.700**
Summe	**25.500**	**50.000**	**16.680**	**3.460**	**95.640**

Tabelle A-11. Anteil Technologie Antrieb je V-Träger [%] für das 550 ppm-Szenario 2050.

Straße	
LKW Diesel	80%
LKW Agrodiesel	1%
LKW Hybrid	16%
LKW Brennstoffzelle	2%
LKW Elektro	1%
Schiene	
Eisenbahn Elektro	95%
Eisenbahn Diesel	4%
Eisenbahn Agrodiesel	1%
Schiff	
Schiff Diesel	100 %
Schiff Agrodiesel	0%
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	100 %

Tabelle A-12. Spezifische CO_2-Emission je Technologie [kg CO_2/tkm] für das 550 ppm-Szenario 2050.

Straße	
LKW Diesel	0,115
LKW Agrodiesel	0,000
LKW Hybrid	0,102
LKW Brennstoffzelle	0,065
LKW Elektro	0,062
Schiene	
Eisenbahn Elektro	0,007
Eisenbahn Diesel	0,039
Eisenbahn Agrodiesel	0,000
Schiff	
Schiff Diesel	0,027
Schiff Agrodiesel	0,000
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	0,010

500 ppm

Tabelle A-13. GVA im 500 ppm-Szenario für das Jahr 2050 [Mio. tkm].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	6.500	14.000	160	70.000	**20.730**
Quell-/Ziel-V	11.000	8.000	4.000	1.800	**24.800**
Transit-V	9.000	8.500	10.000	1.800	**29.300**
Summe	**26.500**	**30.500**	**14.160**	**3.670**	**74.830**

Tabelle A-14. Anteil Technologie Antrieb je V-Träger für das 500 ppm-Szenario 2050 [%].

Straße	
LKW Diesel	65%
LKW Agrodiesel	3%
LKW Hybrid	25%
LKW Brennstoffzelle	5%
LKW Elektro	2%
Schiene	
Eisenbahn Elektro	95%
Eisenbahn Diesel	4%
Eisenbahn Agrodiesel	1%
Schiff	
Schiff Diesel	100%
Schiff Agrodiesel	0%
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	100%

Tabelle A-15. Spezifische CO_2-Emission je Technologie für das 500 ppm-Szenario 2050 [kg CO_2/tkm].

Straße	
LKW Diesel	0,111
LKW Agrodiesel	0,000
LKW Hybrid	0,099
LKW Brennstoffzelle	0,063
LKW Elektro	0,060
Schiene	
Eisenbahn Elektro	0,007
Eisenbahn Diesel	0,037
Eisenbahn Agrodiesel	0,000
Schiff	
Schiff Diesel	0,026
Schiff Agrodiesel	0,000
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	0,009

450 ppm

Tabelle A-16. GVA im 450 ppm-Szenario für das Jahr 2050 [Mio. tkm].

Destination	Schiene	Straße	Rohrleitung	Schifffahrt	Summe
Binnen-V	7.500	10.000	140	80	**17.720**
Quell-/Ziel-V	10.000	5.000	3.000	2.000	**20.000**
Transit-V	10.000	5.500	8.000	2.000	**25.500**
Summe	**27.500**	**20.500**	**11.140**	**4.080**	**63.220**

Tabelle A-17. Anteil Technologie Antrieb je V-Träger für das 450 ppm-Szenario 2050 [%].

Straße	
LKW Diesel	48 %
LKW Agrodiesel	4%
LKW Hybrid	40 %
LKW Brennstoffzelle	5%
LKW Elektro	3%
Schiene	
Eisenbahn Elektro	95 %
Eisenbahn Diesel	2%
Eisenbahn Agrodiesel	3%
Schiff	
Schiff Diesel	99 %
Schiff Agrodiesel	1%
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	100 %

Tabelle A-18. Spezifische CO_2-Emission je Technologie für das 450 ppm-Szenario 2050 [kg CO_2/kgkm].

Straße	
LKW Diesel	0,105
LKW Agrodiesel	0,000
LKW Hybrid	0,094
LKW Brennstoffzelle	0,060
LKW Elektro	0,059
Schiene	
Eisenbahn Elektro	0,006
Eisenbahn Diesel	0,039
Eisenbahn Agrodiesel	0,000
Schiff	
Schiff Diesel	0,027
Schiff Agrodiesel	0,000
Rohrleitung	
Rohrleitung traditionell	0,010

A.4 Anhang Wärmebedarf in Gebäuden und dessen Deckung

550 ppm-Szenario

Abbildung A-1 fasst die Entwicklung der Energiepreise für die „Haupt"-Energieträger grafisch zusammen.

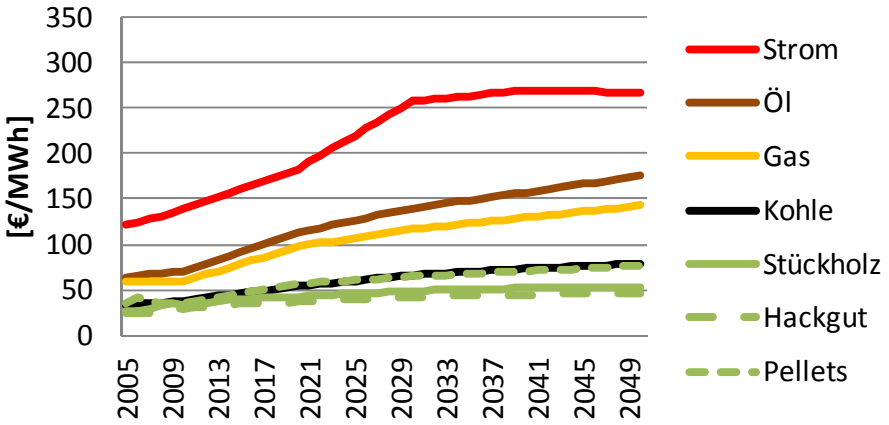


Abbildung A-1. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO2-Steuer) im 550 ppm-Szenario. Quelle: Arbeitspaket 2, Müller et al., (2010), eigene Berechnungen

Abbildung A-2 zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der Wärme- und Warmwasserbereitstellung zur Deckung der Niedertemperaturwärmenachfrage des Gebäudesektors im 550 ppm-Szenario.

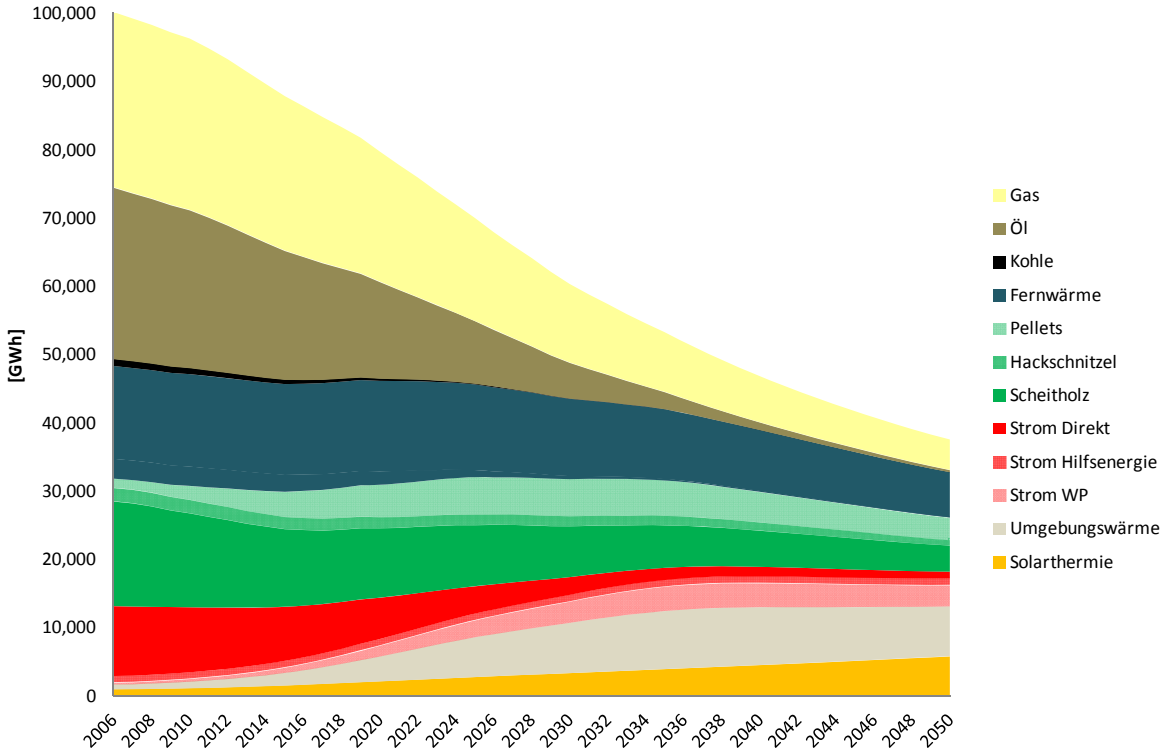


Abbildung A-2. Energieverbrauchs im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im 550 ppm-Szenario.

500 ppm-Szenario

Abbildung A-3 fasst die Entwicklung der Energiepreise für die „Haupt"-Energieträger grafisch zusammen.

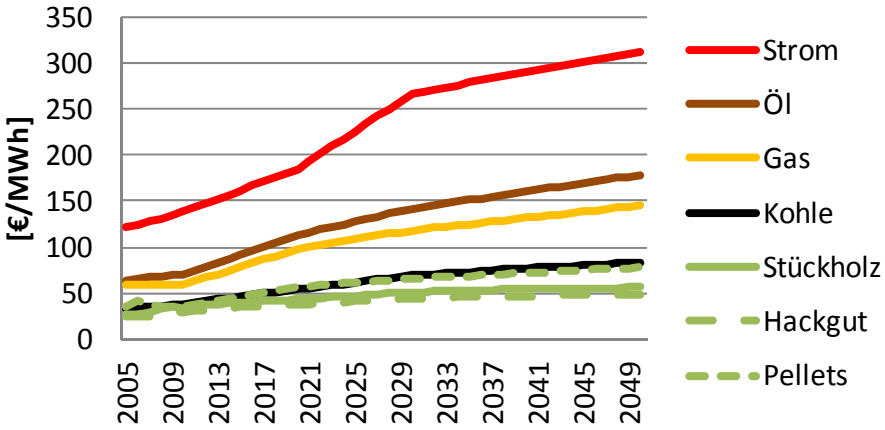


Abbildung A-3. Brutto-Endkundenpreise (inkl. CO2-Steuer) im 500 ppm-Szenario. Quelle: Arbeitspaket 2, Müller et al., (2010), eigene Berechnungen

Abbildung A-4 zeigt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der Wärme- und Warmwasserbereitstellung zur Deckung der Niedertemperaturwärmenachfrage des Gebäudesektors im 550 ppm-Szenario.

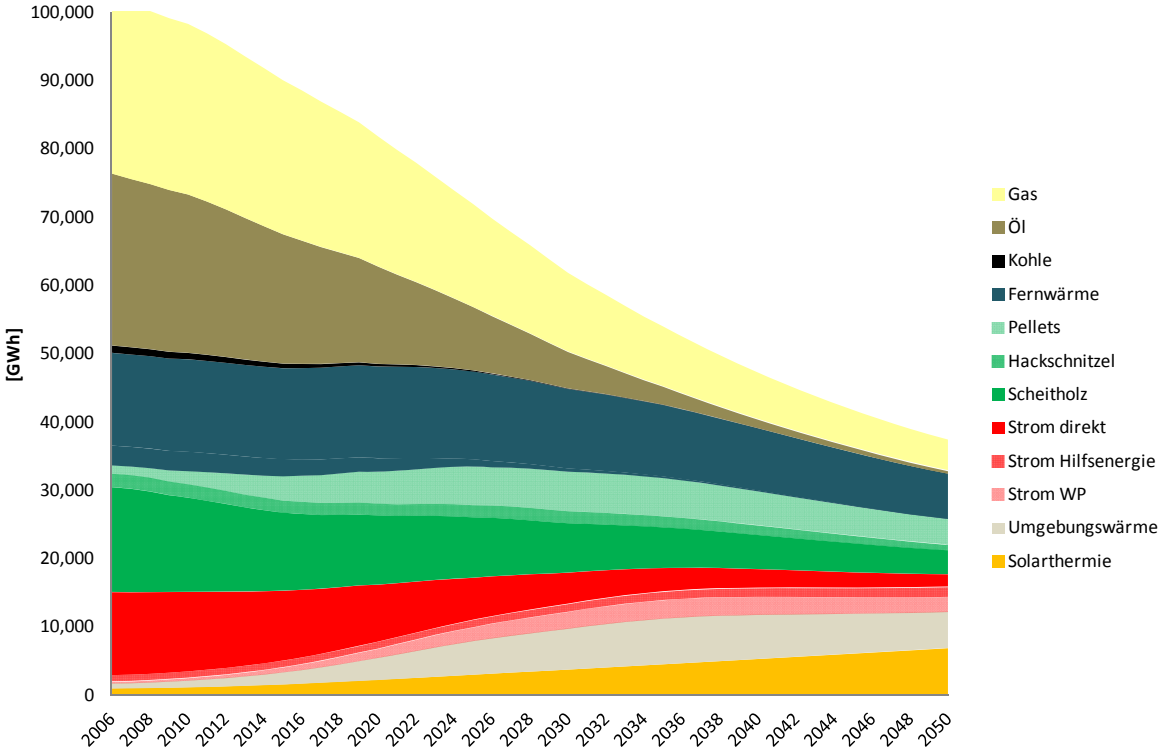


Abbildung A-4. Energieverbrauchs im Gebäudesektor für Raumwärme- und Warmwasserbedarf in AT und dessen Deckung im 500 ppm-Szenario.