

Vorläufiger Projektbericht - nicht ohne Zustimmung der Autoren zitieren



Energy Investment Strategies And Long Term Emission Reduction Needs

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

EISERN

Zusammenfassung und aggregierte Darstellung

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



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



Österreichisches Institut
für Raumplanung

Kurzfassung

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 Stahlherzeugung sowie Zementherstellung durchgeführt und damit 65 % der Emissionen von 2010 berücksichtigt.

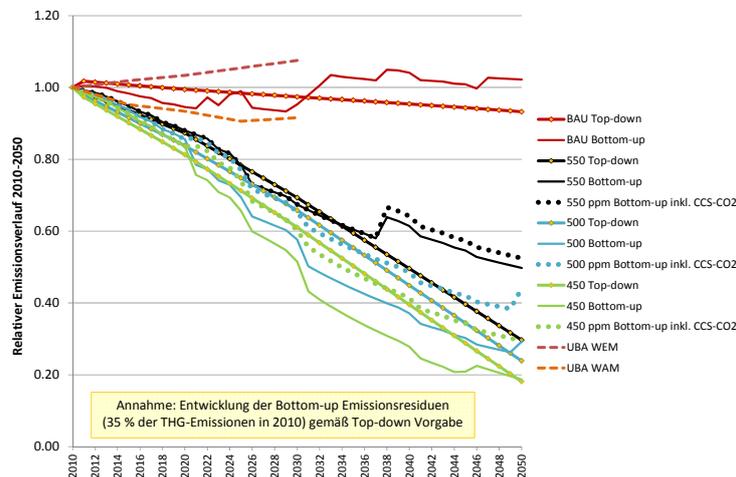


Abbildung 1. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN Szenarien sowie aktuelle Emissionstrends.

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 atmosphärischen¹ Emissionen bis 2050 von 40-85% bezogen auf den Stand von 2010. Werden die abgetrennten, zur Speicherung vorgesehenen CO₂-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 ppm Szenario) nicht ganz. Dabei sei nochmals in Erinnerung gerufen, dass ein solches 55 % CO₂-Reduktionsszenario bereits die (praktisch) vollständige Dekarbonisierung der Sektoren: Niedertemperatur-Wärmeerzeugung, Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie Personenverkehr unterstellt.

1 Nicht zur Speicherung abgetrennte CO₂-Emissionen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Aufgabenstellung und Ziele der Studie	5
2	Klimawandelforschung und die Implikationen von Temperaturstabilisierungsszenarien	6
2.1	Stabilisierungsszenarien in EISERN	7
3	Szenarien der Siedlungsentwicklung bis 2050	8
4	Verkehr	11
4.1	Personenverkehr	12
4.2	<i>Güterverkehr</i>	12
5	Wärmebedarf in Gebäuden und elektrische Anwendungen ..	16
5.1	Wärmebedarf in Gebäuden und dessen Deckung.....	17
5.2	Elektrische Anwendungen im <i>Gebäudesektor</i>	19
6	Mögliche Pfade zur CO₂-Emissionsreduktion in der Eisen- und Stahlerzeugung	20
6.1	CO ₂ -arme Produktionstechnologien für die Eisen- und Stahlindustrie	21
6.2	Szenarien zur CO ₂ -Reduktion bis in das Jahr 2050	22
7	Mögliche Pfade zur CO₂-Emissionsreduktion in der Zementindustrie:	22
7.1	Emissions-Einsparpotenziale	22
7.2	Szenarien zur CO ₂ -Reduktion	23
8	Stromerzeugungssektor	24
8.1	Szenarien der Stromerzeugung	24
8.2	Emissionsreduktionen im Stromerzeugungssektor.....	25
9	Gegenüberstellung von explorativen und normativen Emissionsszenarien	27
9.1	Notwendige versus mögliche Emissionspfade	27
9.2	450 ppm Stabilisierungsszenario	29
10	Schlussfolgerungen und Handlungsoptionen	30
11	Referenzen	36

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 Versorgungssystems wesentliche Auswirkungen: Es werden massive Investitionen und der Aufbau von Humankapital nötig sein. Jetzt getätigte Investitionen beeinflussen das System langfristig. Um also teure lock-in Effekte und gestrandete bzw. Fehl-Investitionen zu vermeiden, müssen Politik und Entscheidungsträger diese in die erforderliche Richtung lenken.

Solche Investitionsstrategien haben einerseits Top-down abgeleitete Emissionspfade für Österreich, andererseits Bottom-up ermittelte Energieverbrauchs- und –aufbringungs-szenarien und deren jeweilige Reduktionspotenziale zu 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 Ansätzen der Lasten-aufteilung² 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 notwendigen Politikmaßnahmen, deren Eckpfeilern und normative Szenarien einer langfristigen österreichischen Emissionsreduktions- und Energiestrategie. Diese Eckdaten einer langfristigen Strategie und deren entsprechende sektorale Effekte werden in die notwendigen politischen Diskussionen und Entscheidungen eingebracht.

Schwerpunkte des Projektes

Die Projektschwerpunkte liegen in der Analyse langfristig notwendiger Emissionsreduktionsvorgaben, abgeleitet aus einem globalen Handlungsbedarf, für Österreich einerseits. 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.

2 Detailliert dargestellt im Teilbericht zu Arbeitspaket 2: „Vorgaben für österreichische Emissionspfade in der langen Frist“, (Liebmann, 2012)

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 (Haas et al., 2011), fortgeschrieben. Die Entwicklung normativer Emissionspfade für die restlichen Industriesektoren sowie der Nicht-CO₂ 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.

2 Klimawandelforschung und die Implikationen von Temperaturstabilisierungsszenarien

Auf wissenschaftlicher Ebene stehen die massiven Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das weltweite Klima und den damit einhergehenden anthropogenen Klimawandel außer Frage. Der aktuelle *4. Assessment Report* des IPCC (IPCC, 2007) 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 mittlere Temperaturanstieg der vergangenen 100 Jahre (1906 bis 2005) beträgt 0,74 °C.

Um den Temperaturanstieg auf 2 °C³ gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen darf die atmosphärische Treibhausgaskonzentration ca. 450 ppm CO₂-eq nicht überschreiten. 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

3 Um großflächige katastrophale Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden, wird eine Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 2 °C als notwendig erachtet.

Europäischen Rat vom Oktober 2009 und Februar 2011, der ebenfalls das 2°-Ziel als zentrales Ziel nennt.

Klimamodelle überführen das Temperaturziel schließlich in dynamische Treibhausgas-(THG)-Emissionsszenarien. Daraus können wiederum globale und trans-regionale (Europa, etc.) Emissionstrajektorien abgeleitet werden, die mit diesen THG-Emissionsvorgaben konsistent sind. Wesentlich für die Stabilisierung der Konzentration ist eine Trendumkehr des Emissionsausstoßes.

Eine der Kernaussagen des *4. Assessment Reports* ist, dass es zur Beschränkung des Temperaturanstiegs auf 2 °C notwendig ist, dass die globalen Treibhausgasemissionen ab spätestens 2015 sinken und im Jahr 2050 weltweit um mindestens 50 % unter den Emissionen des Jahres 2000 liegen (IPCC, 2007). Die Treibhausgaskonzentration würde sich auf ca. 450 ppm stabilisieren. Erfolgt eine Abnahme der globalen Emissionen erst ab ca. 2030 bis 2060 beträgt das Intervall der Temperaturerhöhung ca. 3,2 bis 4 °C gegenüber vorindustriellem Niveau. Die Treibhausgaskonzentrationen würden sich auf ca. 600 bis 700 ppm stabilisieren.

2.1 Stabilisierungsszenarien in EISERN

Die im Projekt EISERN analysierten Szenarien fokussieren auf eine Stabilisierung der Temperaturerhöhung auf 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau. Zusätzlich zu den politischen Willensbekundungen werden in EISERN-Szenarien mit einer Temperaturerhöhung bis ca. 3 °C als Sensitivität getestet. Konkret werden folgende Emissionsszenarien untersucht:

- 450 ppm CO₂-eq (2°-Ziel)
- 500 ppm CO₂-eq (2,5°-Ziel)
- 550 ppm CO₂-eq (3°-Ziel)

Die damit einhergehenden notwendigen Emissionsreduktionen von Industriestaaten sind enorm. 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.

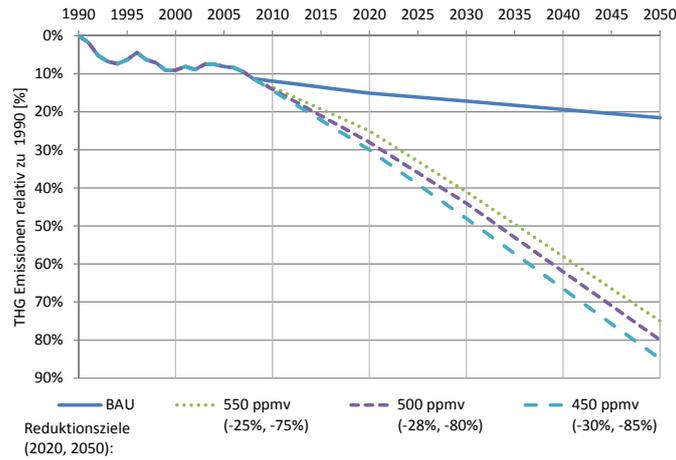


Abbildung 2-1. Verlauf der THG-Emissionen (exkl. LULUCF) in der EU-27 in den vier Szenarien.

Für Österreich ergibt sich daraus für ein 3°C-Ziel eine Emissionsreduktionsvorgabe von mehr als 65 % gegenüber dem Emissionsreduktionsniveau von 1990 (>70 % gegenüber 2005). Ein 2°C-Ziel geht mit einer Emissionsreduktionsverpflichtung von 80 % gegenüber 1990 (83 % bezogen auf 2005) einher.

Tabelle 2-1. Ergebnisse der Lastenaufteilung je Szenario für die Entwicklung der Emissionsrechte in Prozent gegenüber 1990 für Österreich bis 2050. (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

3 Szenarien der Siedlungsentwicklung bis 2050

Siedlungsentwicklung und Siedlungsstruktur gehen nicht direkt in unterschiedliche Energieverbräuche ein, sie stellen in diesem Zusammenhang jedoch eindeutig einen wesentlichen Faktor dar und sind daher in einer umfassenden, langfristig ausgerichteten Analyse ebenfalls zu berücksichtigen.

Tabelle 3-1. 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 <ul style="list-style-type: none"> ○ ermöglichen ein attraktives Angebot für (energieeffizienten) Öffentlichen Verkehr und verbessern die Chancen für nicht-motorisierten Verkehr; ○ verbessern die Chancen für Funktionsmischung und Nahversorgung vor Ort und verringern dadurch die gefahrenen Strecken (kürzere Strecken, mehr nicht-motorisierter Verkehr).

Quelle: SUME, Working Paper 1, 2009

Die **Veränderung der durchschnittlichen Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten** je Bundesland zeigt unterschiedliche Wirkungen der vorausgesetzten Instrumentarien innerhalb der Bundesländer. Im 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.

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).

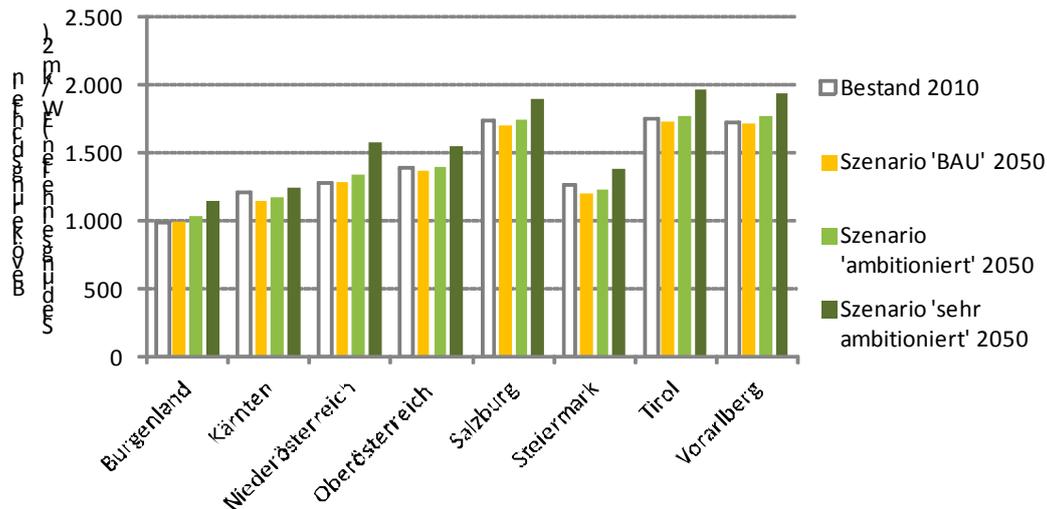


Abbildung 3-1. Entwicklung der durchschnittlichen Bevölkerungsdichte in Siedlungseinheiten je Szenario

Im Rahmen der künftigen Weiterentwicklung der Siedlungsstrukturen sind diese Aspekte kleinräumiger Unterschiede und Strukturen (innerhalb von Gemeinden) 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, mit auch in Zukunft erhöhtem Zuwanderungsdruck, 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 dichter 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.).

Die Prioritäten im Bereich Siedlungsentwicklung liegen 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.

4 Verkehr

Im Rahmen des Projektes wurde eine Abschätzung der möglichen CO₂-Emissionsreduktionen im Verkehr im Rahmen von je vier Grundscenarien für den Personen- und Güterverkehr durchgeführt. Der Beitrag des Personenverkehrs (Verkehrs- und Landnutzungsmodell MARS-Austria) zu den CO₂-Emissionen basiert auf der Synthese der Teilbereiche: (1) der Raumplanung (ÖIR), das daraus resultierende (2) Mobilitätsverhalten und dem Beitrag der dabei verwendeten (3) Technologien (EEG, TU-Wien). 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.

4.1 Personenverkehr

Der Personenverkehr wurde im Projekt mit Hilfe des Mars-Austria Modells untersucht. Abgebildet wird dieser durch vier + 1 (Wien) Bezirkstypen: urban, suburban, ländlich mit guter ÖV-Anbindung, ländlich mit schlechter ÖV-Anbindung. 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, sowie mehrere Verkehrsmodi (MIV, ÖV-Bahn, ÖV-Bus etc) und Technologien (IVKM, Elektroantriebe etc.).

Szenarien der Personenverkehrsentwicklung

Ein breit gefächertes Portfolio an Maßnahmen, die sich auf das Verkehrsverhalten auswirken, wurde erarbeitet. Dabei wurde auf die Frage der fachlichen Notwendigkeit und der Implementierbarkeit besonderes Augenmerk gelegt: Welche Maßnahmen der Verkehrspolitik stehen zur Verfügung? Welche bieten sich für eine Steuerung der CO₂-Emissionen im Personenverkehr an? Welche bieten sich zur Bottom-up-Modellierung mit MARS-Austria an?

Die Politikmaßnahmen aus den drei Bereichen Fahrzeugtechnologie, Verkehrsverhalten und Raumplanung sind in einer Szenariomatrix zusammengeführt worden, so dass für die drei Maßnahmenzenarien (wenig ambitioniert, ambitioniert, stark ambitioniert) und das BAU über die drei Bereiche ein konsistentes (widerspruchsfreies) Setzen von Maßnahmen möglich ist (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1. 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

4.2 Güterverkehr

Der Güterverkehr ist in Österreich seit den 1950er Jahren beständig gewachsen. Wie Abbildung 4-1. zeigt, hat es ein stetiges Wachstum des Güterverkehrsaufwandes [Tonnen-km (tkm) pro Jahr] auf der Eisenbahn gegeben, von 1969 bis 2009 um den Faktor 1,6. Ab Ende der 1980er Jahre setzte ein dramatisches Wachstum der Tonnen-km

der Sattel- und Lastzüge ein, das sich auch durch eine anteilmäßige Vorherrschaft auszeichnete – 1969 bis 2009 um den Faktor 4,7. Während die Eisenbahn vor allem durch sukzessive Elektrifizierung von ehemaligen Diesel- und Dampfstrecken eine überproportionale Senkung ihrer CO₂-Emissionen schaffte, stiegen die Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) rasant an.

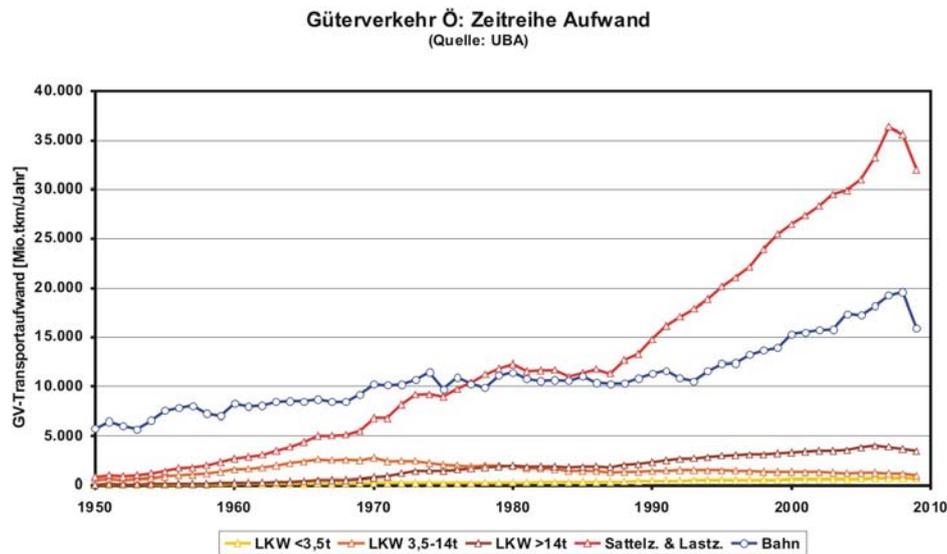


Abbildung 4-1. Zeitreihe des Güterverkehrsaufwandes von Straße und Eisenbahn für Österreich 1950 – 2009.

(Quelle: Anderl und Freudenschuß et al., 2008)

In der Analyse wird, im Gegensatz zum Personenverkehr der gänzlich durch ein Bottom-up Modell beschrieben ist, beim Güterverkehr ein stärkerer Top-down Ansatz auf Basis historischer Daten (Zeit- und Querschnittsdatenreihen) angewendet. Ausgehend vom Güterverkehrsaufwand (GVA) für Österreich für das Jahr 2005 (Herry und Sedlacek et al., 2007) wird eine weitere Spezifizierung in Antriebstechnologien je Verkehrsträger und CO₂-Emissionen je Verkehrstechnologie vorgenommen. 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.

Szenarien der Güterverkehrsentwicklung

Der **Güterverkehrsaufwand** (GVA) wird als zentrales Stellinstrument im Güterverkehr gesehen. 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 Straßenbemannung, 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 und wird im sehr ambitionierten Szenario eine Reduktion um etwa 10 % vorgenommen wird.

Nicht nur auf den absoluten GVA wird Einfluss genommen, 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 4-2. zeigt den deutlichen Unterschied im Modal Split des Jahres 2050 zwischen dem BAU- und dem 450 ppm-Szenario.

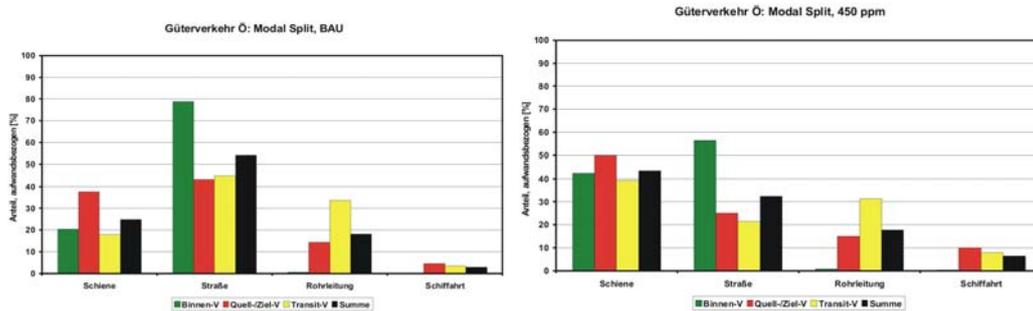


Abbildung 4-2. Aufwandsbezogener Modal Split im Jahr 2050 für das BAU- (links) und 450 ppm (rechts)-Szenario.

Bei der **Antriebstechnologie** werden je nach Szenarien vor allem Hybride, denen aus heutiger Sicht für den Straßengütertransport das größte Potenzial zuerkannt wird, forciert. Der Einsatz von Agrodiesel wird gemäß den Erkenntnissen von Brezina und Emberger (2008) auf einen einstelligen Prozentanteil limitiert (0-4 %, siehe Tabelle 4-2).

Obwohl die Fahrzeuge in den letzten 60 Jahren weiter entwickelt wurden, ergeben die Emissions- und Verkehrsaufwandsstatistiken des UBA nur geringe Veränderungen bei den auf den Tonnenkilometer bezogenen Emissionen (**spezifische Emissionen**) innerhalb der jeweiligen LKW-Klassen. Die praktische Konstanz bei den LKW legt die Vermutung nahe, dass eine nicht wesentlich verbesserte Logistik, Reboundeffekte beim Fahrzeuggewicht ähnlich wie bei den PKW und auch verlängerte Transportwege die Effizienzsteigerungen der Fahrzeuge kompensiert. Im BAU-Szenario ändert sich daher auch nichts daran, im 450 ppm-Szenario wird bei den spezifischen Emissionen eine Verbesserung von 15 % unterstellt. Die Grundlage der Szenarien ist in Tabelle 4-2 zusammengefasst.

Tabelle 4-2. Szenarien der Güterverkehrsentwicklung.

Szenario	Güterverkehrsaufwand (Transportaufwand)	Antriebstechnologie	Spez. Emissionen [CO ₂ /tkm]
BAU	$\varphi = 1,56$	Zunahme alternativer Antriebe auf der Straße, v.a. Hybrid, Agrotreibstoffe: 0-4 %	$\varepsilon = 1,0$
550 ppm	$\varphi = 1,34$		$\varepsilon = 0,93 - 0,97$
500 ppm	$\varphi = 1,05$		$\varepsilon = 0,90 - 0,93$
450 ppm	$\varphi = 0,89$		$\varepsilon = 0,85 - 0,90$

CO₂-Emissionen des Personen- und Güterverkehrs

In der nachfolgenden Abbildung sind die direkten CO₂-Emissionen⁴ des Personenverkehrs und des Güterverkehrs für die vier Szenarien (BAU, 550 ppm, 500 ppm, 450 ppm) dargestellt. Die blaue Linie zeigt die vorgesehenen Emissionsreduktionen laut ECF-Roadmap 2050 („European Climate Foundation“⁵).

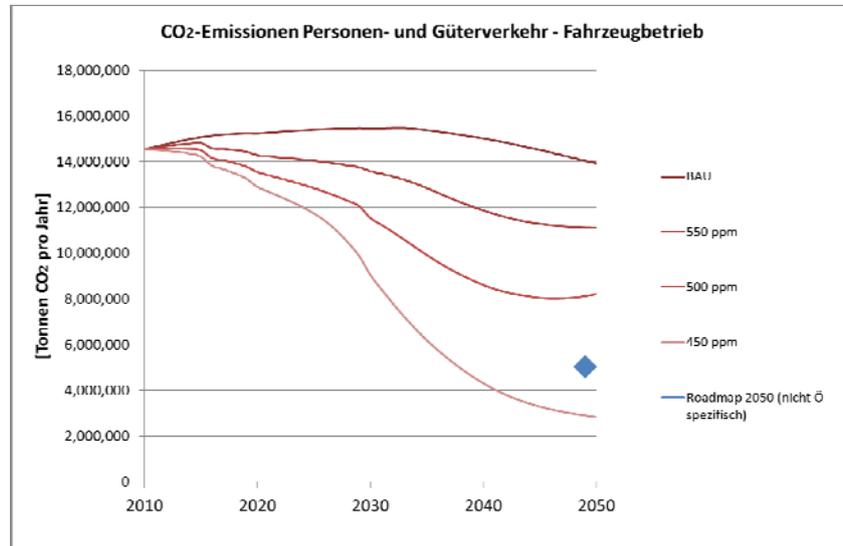


Abbildung 4-3. CO₂-Emissionen im Personen- und Güterverkehr (ohne Transit) – reiner Fahrzeugbetrieb.

Das einzige Szenario, das die vorgesehene Reduktion der CO₂-Emissionen im Sektor Verkehr erreicht, ist das 450 ppm-Szenario. Alle anderen Szenarien bleiben zumindest über der Roadmap-Grenze. Abbildung 4-4. zeigt den Modal Split der unterschiedlichen (Personen-)Verkehrsmittel für den Zeitpunkt 2050 in den verschiedenen Szenarien. Es wird ersichtlich, dass im 450 ppm-Szenario die Emissionsreduktionen durch eine nahezu gänzliche Verdrängung der Verbrennungskraftmaschinen durch elektrische Antriebe (bezogen auf die Verkehrsleistung) unterstellt sind. Der Anteil des MIV bleibt auf dem Niveau von 2010.

- 4 Tank-to-wheel, die Emissionen des Betriebs von Elektrofahrzeugen werden dem Stromerzeugungssektor zugerechnet, im Betrieb werden die E-Pkw somit mit null CO₂-Emissionen bilanziert.
- 5 In der Roadmap 2050 der „European Climate Foundation (ECF)“ sind Ziele zur Emissionsreduktion für den Verkehrssektor vorgegeben. Das Reduktionsziel sieht einen CO₂- Ausstoß von – 60 % zum Zeitpunkt 2050 im Vergleich zum Referenzjahr 1990 vor. (<http://www.europeanclimate.org/>)

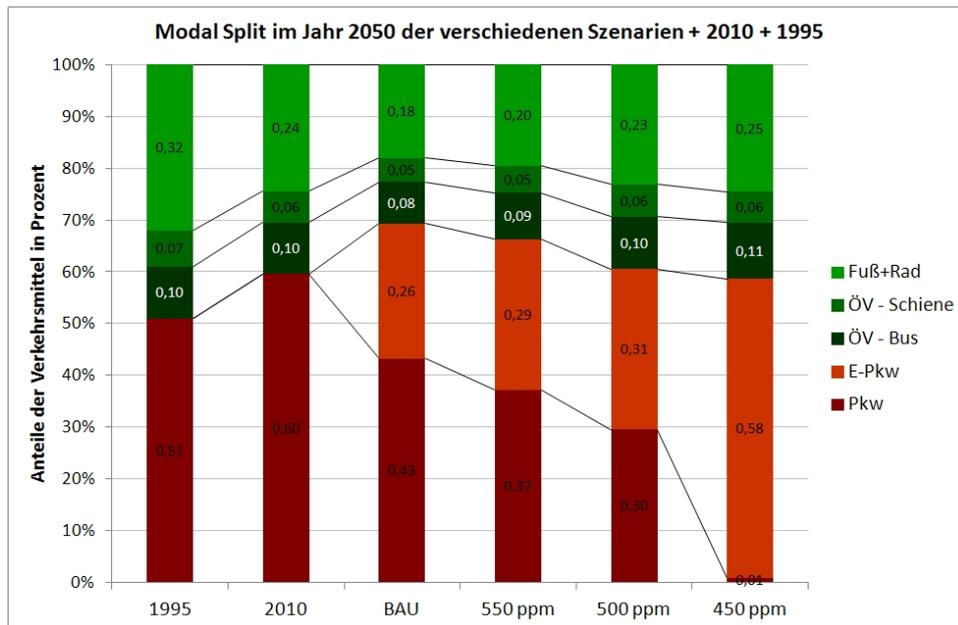


Abbildung 4-4. Modal Split des Personenverkehrs der Jahre 1995, 2010 und 2050 für die Szenarien⁶.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Arbeiten haben gezeigt, dass im Personenverkehr ein großes Potenzial an Emissionsreduktionen vorhanden ist. Dieses ist beim Güterverkehr (GV) nicht im selben Maße ausgeprägt. Um hier sehr große Einsparungen erzielen zu können, ist eine starke Verlagerung hin zum Bahnverkehr notwendig.

Die Schlussfolgerung aus den Analysen ist, dass nur ein sehr ambitioniertes Personenverkehrsszenario das Emissions-Reduktionsziel der European Climate Foundation und der EU Roadmap erreichen kann. Selbst unter einem ambitionierten Flottenszenario (500 ppm) ist es notwendig, dass für die Erreichung der „Nähe des Reduktionsziels“ **Maßnahmen bei der Technologie als auch der Verkehrspolitik und Raumplanung erfolgen müssen**. Ambitionierte Technologiemaßnahmen allein würden das CO₂-Reduktionspotenzial nicht gänzlich ausschöpfen. Darüber hinaus ist CO₂ 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.

5 Wärmebedarf in Gebäuden und elektrische Anwendungen

Auf Basis der szenariospezifischen, sozio-ökonomischen Daten werden einerseits die Effekte auf den Niedertemperaturwärmebedarf des österreichischen Gebäudesektors (Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung) identifiziert. Andererseits werden

⁶ Unter E-Pkw werden nicht nur reine Elektroautos, sondern auch Plug-in Hybrid Fahrzeuge zusammengefasst.

für elektrische (Klein)-Anwendungen Energieeffizienzpotenziale aufgezeigt und daraus normative Szenarien des Verbrauchs dieser Anwendungen entwickelt.

Methodik

Zur Analyse des Niedertemperaturwärmebedarfs und dessen Deckung wurden die Ergebnisse der vorgelagerten Arbeitspakete und Tasks in ein existierendes Modell zur Simulation verschiedener Entwicklungspfade des österreichischen Gebäudebestandes (Modell Invert/EE-Lab)⁷ integriert. Im Rahmen der Erstellung normativer Szenarien zum Stromverbrauch in Gebäuden wird auf ein abgeschlossenes Forschungsprojekt (Haas, 2011) zurückgegriffen.⁸

5.1 Wärmebedarf in Gebäuden und dessen Deckung

Die Entwicklung des Wohngebäudebestands ist in Abbildung 5-1. exemplarisch für das 550 ppm-Szenario dargestellt. Im ländlichen Raum steigen die Bruttogebäudeflächen von ca. 260 Mio. m² (2010) bis 2050 auf 300 Mio. m². Der Großteil der Wohngebäude weist maximal 2 Wohneinheiten auf. Im urbanen Raum stiegen die Bruttogebäudeflächen im selben Zeitraum von ca. 140 auf ca. 190 Mio. m². Den überwiegenden Anteil machen Mehrfamilienwohngebäude aus. Bis 2050 ist noch ein Großteil der bis heute errichteten Gebäude Teil des Bestandes. Der Neubau („post 2010“, in Rot dargestellt), macht nur einen Teil der beheizten Flächen (und durch die höhere Effizienz einen noch geringeren Teil des Heizwärmebedarfs) aus.

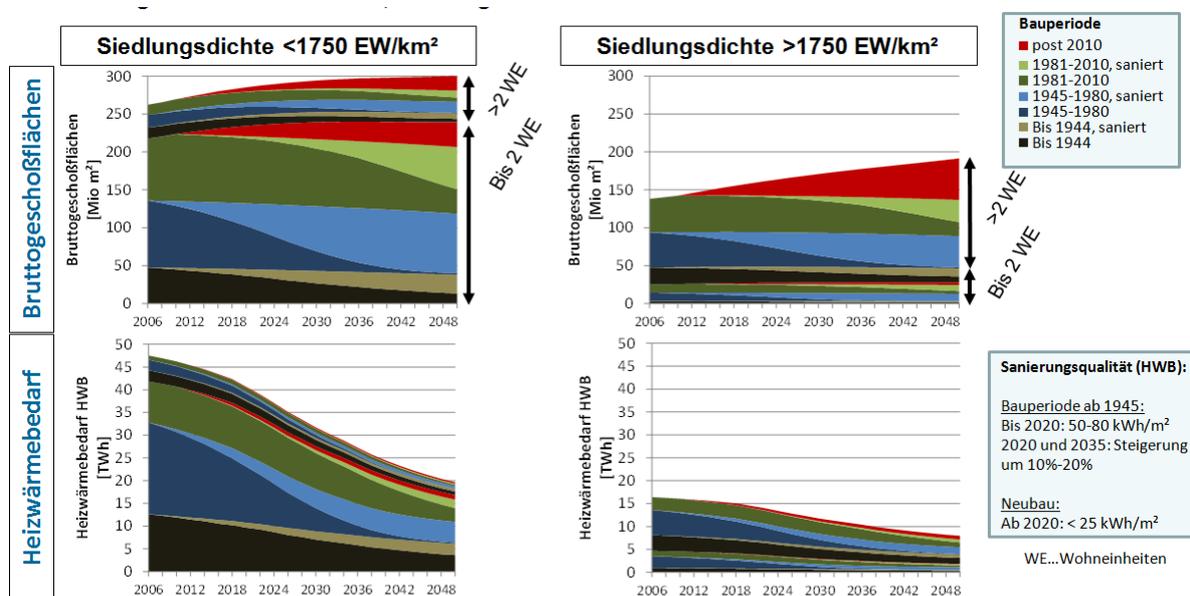


Abbildung 5-1. Entwicklung der Bruttogeschossflächen im 550 ppm-Szenario für den ländlichen (oben links) und urbanen (oben rechts) Raum sowie entsprechender Heizwärmebedarf (unten).

7 Müller et al. (2010).

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

Aus der Analyse des Energiebedarfes für Gebäude geht hervor, dass im BAU-Szenario der Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitstellung durch Sanierung des Gebäudebestandes sowie effizienteren Neubau auf 65 TWh reduziert wird (-35 % gegenüber 2006). Durch eine darüber hinausgehende Verdrängung von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energieträger, kommt es zu einer wesentlich stärkeren Reduzierung der Treibhausgase. Im sehr ambitionierten 450 ppm-Stabilisierungsszenario, welches ambitionierte Gebäudesanierungsmaßnahmen unterstellt, ergibt sich eine Reduktion des Energiebedarfes von 65 % auf 25 TWh. Die CO₂-Emissionen reduzieren sich in diesem Szenario um mehr als 90%.

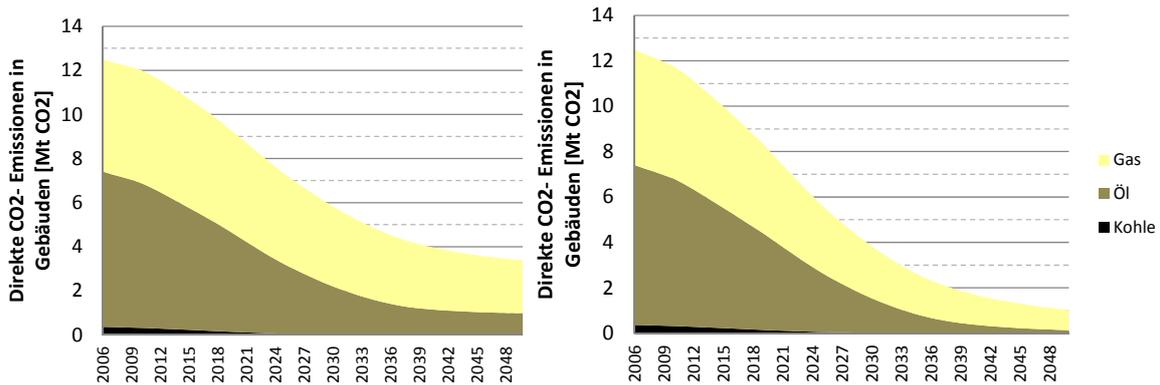


Abbildung 5-2. Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen des Gebäudesektors im BAU-Szenario (links) und 450 ppm-Szenario (rechts).

Langfristige Effekte von Sanierungsrate und Sanierungsqualität

Zur Analyse des langfristigen Einflusses von Sanierungsrate und Sanierungsqualität werden sechs Szenarien mit unterschiedlichem Verlauf der Sanierungsrate und Sanierungstiefe untersucht und miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-3. (links) dargestellt, die korrespondierenden Verläufe der Sanierungsrate zeigt die rechte Grafik.

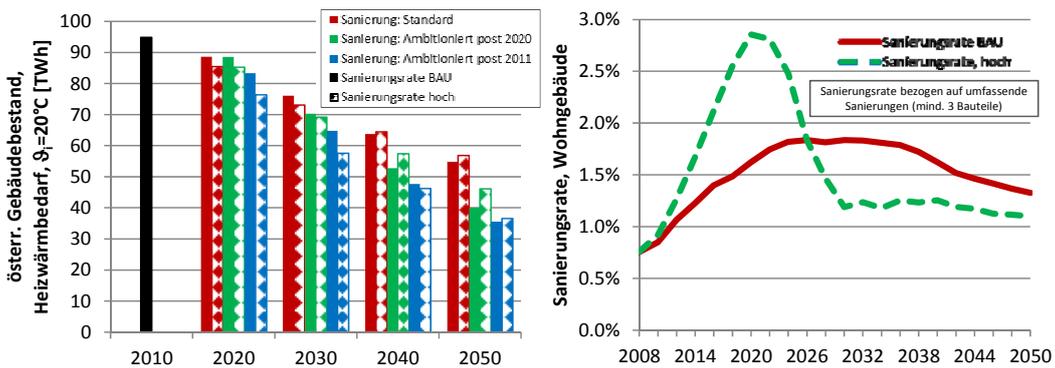


Abbildung 5-3. Entwicklung des Nutzwärmebedarfes in den sechs untersuchten Szenarien (linke Grafik) und korrespondierende Sanierungsraten (rechte Grafik)

Die Ergebnisse zeigen, dass **moderate, kurzfristige Ziele hinsichtlich des Heizenergieverbrauches von Gebäuden sowohl durch eine Erhöhung der Sanierungsrate, als auch eine Erhöhung der Sanierungsqualität erreichbar sind.** Szenarien mit vorzeitig erhöhten Sanierungsraten, in Kombination mit wenig

ambitionierten Sanierungsqualitäten, führen langfristig zu einer geringeren Energieeinsparung (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.

5.2 Elektrische Anwendungen im Gebäudesektor

Die hier gezeigten Szenarien der Entwicklung unterschiedlicher nachfrageseitiger Stromtechnologien basieren auf Haas et al. (2011). Betrachtet wurden im Wesentlichen alle großen Stromverbrauchergruppen der Sektoren: Industrie, Haushalte und Dienstleistungen; der Zeithorizont lag auf 2030. Dort wurden erhebliche Stromeinsparpotenziale auf Basis von BAT („Beste zur Verfügung stehende Technologie“) und BNAT („Beste noch nicht zur Verfügung stehende Technologie“⁹) identifiziert und quantifiziert. In dem ambitioniertesten der Szenarien (Abbildung 5-4.) kann bis 2030 eine Stabilisierung der betrachteten Stromverbraucher realisiert werden. Gegenüber einer Referenzentwicklung mit derzeit eingesetzten Technologien („Frozen Technology Reference Scenario“) bedeutet diese Entwicklung eine Steigerung der Energieeffizienz um 30 % (Haas et al., 2011).

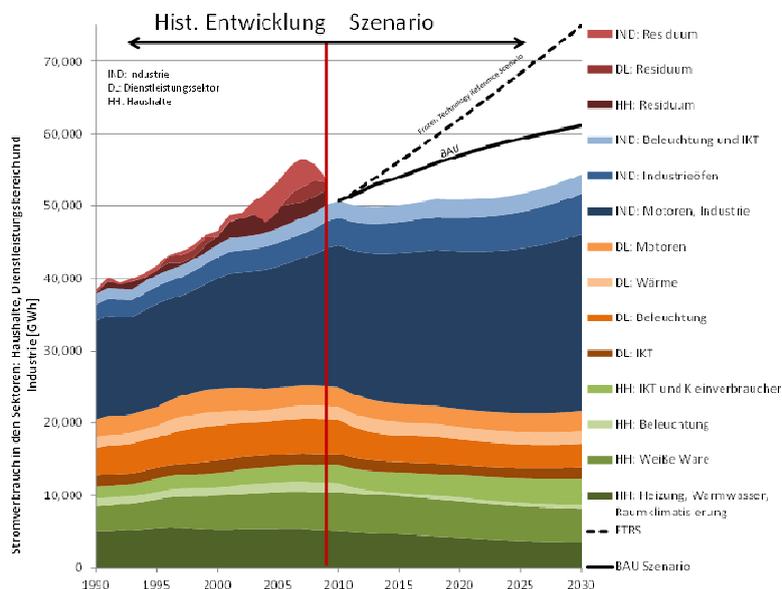


Abbildung 5-4. Strombedarfentwicklung der Sektoren: Haushalte, Dienstleistungsbereich und Industrie im BEST-Szenario des Projekts PotEta (Quelle: Haas et al. (2011)).

9 Es wurden Technologien berücksichtigt, die innerhalb von weniger als 10 Jahren (aus damaliger Perspektive = 2018) zur Verfügung stehen können.

Die Kosten zu denen die zusätzlichen Energieeffizienzsteigerungen zur Verfügung stehen, sind in Abbildung 5-5. 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.

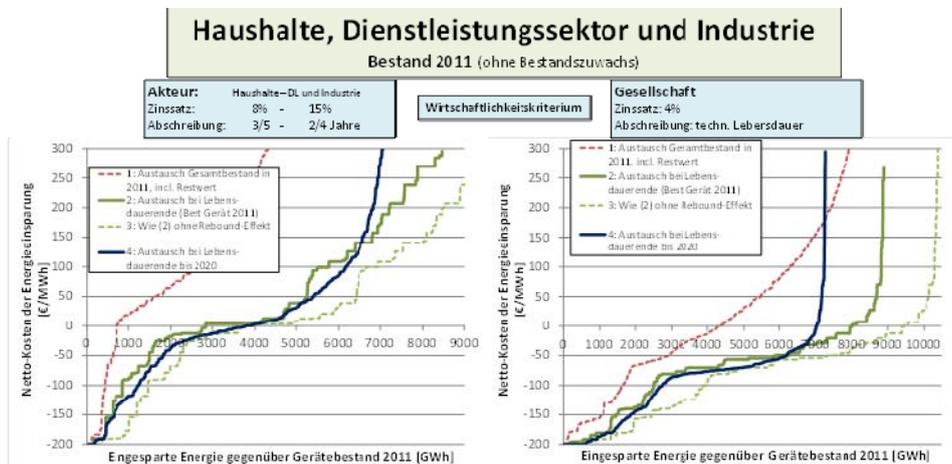


Abbildung 5-5. Grenzkostenkurven der Stromeinsparung für die Sektoren: Haushalte, Dienstleistungen und Industrie. (Quelle: Haas et al., 2011)

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).

6 Mögliche Pfade zur CO₂-Emissionsreduktion in der Eisen- und Stahlerzeugung

Die EU sieht in ihrem „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-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 CO₂-Emissionen vom Ausgangswert des Jahres 1990 geplant. Sollte für die Eisen- und Stahlindustrie dieselbe Forderung bestehen, werden reine Energieeinsparmaßnahmen nicht ausreichen.

Beim Prozess der Eisenerzreduktion in einem konventionellen Hochofen dient Koks aus Steinkohle als Hauptreduktionsmittel. Der Kohlenstoff des Koks dient zur Reduktion des Sauerstoffgehaltes des Eisenerzes, das dadurch in Roheisen umgewandelt wird. Durch Prozessoptimierungen konnte die deutsche Eisen- und Stahlindustrie den Reduktionsmittelverbrauch zwischen 1950 und 1980 in etwa halbieren. Seither stagniert dieser auf dem Niveau von etwa 500 kg/t RE. 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. 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 CO₂-Ersparnis führen. Die Eisen- und Stahlindustrie muss sich wesentlichen Strukturänderungen unterziehen, um die geforderten Klimaziele zu erreichen.

6.1 CO₂-arme Produktionstechnologien für die Eisen- und Stahlindustrie

Die Forderungen der Europäischen Union ca. 80 % der CO₂-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. Mehrere Programme beschäftigen sich weltweit mit der Entwicklung CO₂-Emissionsarmer Stahlerzeugung. Davon wird das ULCOS-Programm als essentieller Wegweiser für eine CO₂-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 (Halbierung der spezifischen CO₂-Emissionen) zu erforschen, zu entwickeln und zu demonstrieren (Birat, 2010). Die wichtigsten technologischen Routen, die in diesem Projekt erforscht werden, sind:

- Top Gas Recycling Blast Furnace (TGR-BF): Bei dieser Technologie handelt es sich um eine Weiterentwicklung des konventionellen Hochofens, jedoch mit Rückführung des Gichtgases in den Hochofen. Dadurch entstehen ein CO₂-reicher und ein CO-reicher Gasstrom. Der CO₂-reiche Gasstrom kann einer Speicherung zugeführt werden.
- HIsarna: Bei diesem Prozess handelt es sich um ein neu entwickeltes Schmelzreduktionsverfahren mit teil-pyrolysierte Kohle als Reduktionsmittel. Es entsteht ein nahezu reiner CO₂-Strom im Ausgang der Anlage, der als direkt speicherungsfähig gilt.
- ULCORED weiterentwickelte Direktreduktion: Die Direktreduktion in Kombination mit dem Elektrolichtbogenofen (EAF) führt zu einer Primärstahlerzeugung mit reduzierten CO₂-Emissionen, da Erdgas anstatt Kohle als Reduktionsmittelträger verwendet wird.
- Elektrolyse: Das ULCOS-Projekt untersucht zwei Möglichkeiten der direkten Elektrolyse zur Gewinnung von Eisenerz. Beide Technologien haben den Vorteil, dass die standortbezogenen CO₂-Emissionen entfallen, allerdings ist der gesamte Energieaufwand mit elektrischem Strom abzudecken.

6.2 Szenarien zur CO₂-Reduktion bis in das Jahr 2050

Die Möglichkeiten zur Emissionsreduktion in der Eisen- und Stahlerzeugung werden in drei Szenarien abgebildet:

- S1: Diese Variante sieht keine neuen Technologien für die CO₂-Reduktion in der Eisen- und Stahlindustrie vor und begnügt sich mit konventionellen Effizienzsteigerungsmaßnahmen.
- S2: Einsatz von CO₂-armen Produktionstechniken in Kombination mit CCS-Technologie.
- S3: Einsatz von CO₂-armen Produktionstechniken ohne CCS-Technologie.
In Szenario 3 wird die Biomasse als Reduktionsmittel eingeführt. Als die dabei naheliegendste Lösung wird der Einsatz von Holzkohle gesehen. Sollte Koks vollständig durch Biomasse ersetzt werden, wird ein Biomasseeinsatz von etwa 10 Mio. Tonnen Biomasse angenommen. Dem steht ein österr. Holzeinschlag von 18,7 Mio. Erntefestmeter (2011) gegenüber.

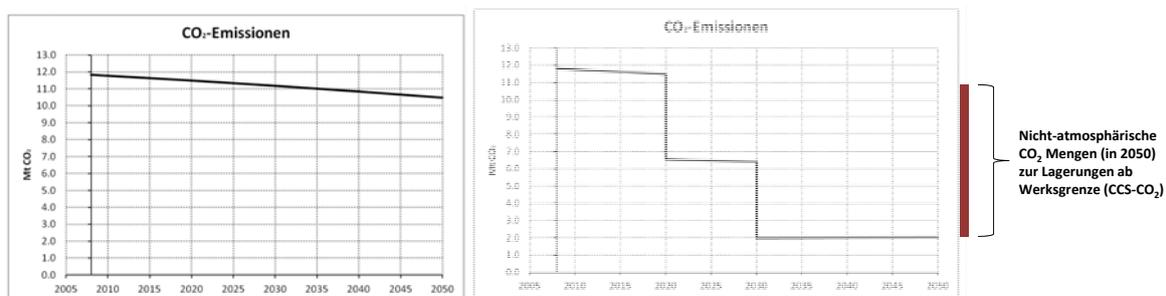


Abbildung 6-1. CO₂-Emissionen im S1 Szenario (links) und S2 Szenario (rechts)

7 Mögliche Pfade zur CO₂-Emissionsreduktion in der Zementindustrie

Ausgehend von einem entwickelten verfahrenstechnischen Prozesssimulations-Modell des gesamten Zementproduktionsprozesses werden verfahrenstechnische Änderungen, bauliche Maßnahmen und Abscheidestrategien analysiert und quantifiziert. Die Maßnahmen werden in zwei Blöcke eingeteilt. In dem ersten Block werden Modifikationen zur Steigerung der Energieeffizienz behandelt, im zweiten Block werden verschiedene Maßnahmen zur CO₂-Abscheidung untersucht.

7.1 Emissions-Einsparpotenziale

Aus den verfahrenstechnischen Gegebenheiten in der Zementproduktion ergeben sich folgende Möglichkeiten zur CO₂-Einsparung:

- **Steigerung der Energieeffizienz bei der Herstellung:**
Durch Modernisierung bzw. Neubau lässt sich laut BREF (2010) der spezifische Energieeinsatz auf 2900 – 3300 MJ/t Klinker reduzieren.

- **Abwärmenutzung:**
Aus der Nutzung aller thermischen Abwärmequellen kann bei der Zementproduktion elektrischer Strom gewonnen werden.
- **Substitution von fossilen Brennstoffen:**
Derzeit arbeitet die österreichische Zementindustrie mit einem sehr hohen Ersatzbrennstoffenergieanteil von >55 % (inkl. fossiler Ersatzbrennstoffe). Der Einsatz von regenerativem Brennstoff ist aber hinsichtlich Verfügbarkeit und verfahrenstechnischen Eigenschaften sehr limitiert und liegt mit derzeit 10 % schon sehr hoch.
- **CO₂-Abscheidung und Speicherung (CCS):**
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.
- **Änderung des Klinker zu Zement-Verhältnisses:**
Durch eine höhere Beimengung von Zusatzstoffen in den Zement kann der, in der Produktion, energieintensive Klinker eingespart werden. Derzeit liegt der Faktor des Zementverhältnisses bei rund 76 %, es kann ein Verhältnis von 71 % angepeilt werden (IEA, 2009).

7.2 Szenarien zur CO₂-Reduktion

Folgende Szenarien wurden analysiert:

- **BAU:** Das Business-as-usual-Szenario (BAU) zeigt als Vergleich zu den Szenarien mit CO₂-Einsparung die derzeitige Situation extrapoliert über die Zeit.
- **SZ1 NoCCS:** Dieses Szenario schöpft die Einsparmaßnahmen ohne den Einsatz von CCS aus.
- **SZ2 LowCCS:** Aufbauend auf SZ1 kommt in diesem Szenario zusätzlich die leichter umrüstbare Post-Carbon-Capture (PCC)-Technologie zum Einsatz.
- **SZ3 HighCCS:** In SZ3 wird zusätzlich zu PCC auch das Oxyfuel-Verfahren mit einem Abscheidegrad von 70 % verwendet.

Der Verlauf der absoluten CO₂-Emissionen, bei Annahme einer Steigerung der Zementproduktion von 1 % pro Jahr, ist in Abbildung 7-1 dargestellt. Mit Szenario SZ1 lässt sich der CO₂-Ausstoß nur bremsen, aber nicht reduzieren. Es ergeben sich 3,8 Mio. t CO₂-Emissionen im Jahr 2050. Erst der Einsatz von CO₂-Abscheidetechnologien lässt den absoluten CO₂-Ausstoß im Fall von SZ2 leicht sinken; im Fall von SZ3 erfolgt eine Reduktion auf 1,9 Mio. t. Verglichen mit dem heutigen Niveau beläuft sich das CO₂-Einsparungspotenzial bei steigender Zementproduktion unter diesen Randbedingungen um 40 %.

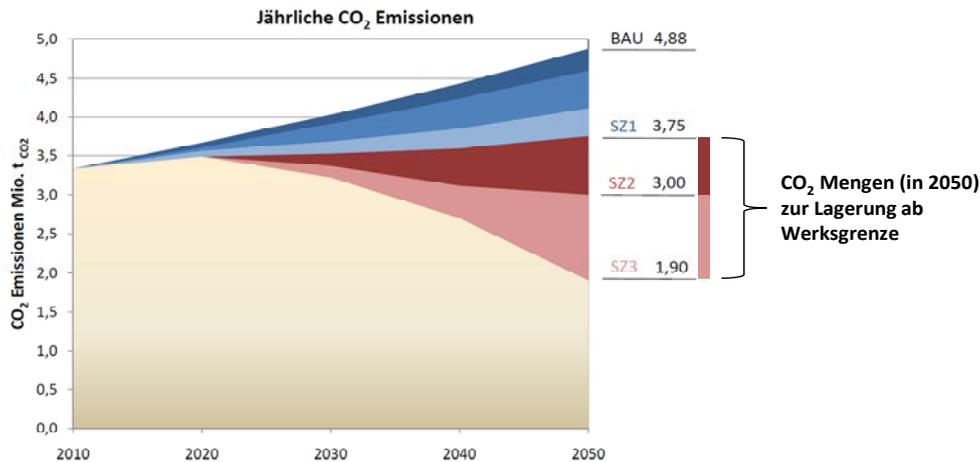


Abbildung 7-1. Absolute, jährliche CO₂-Emissionen der Zementproduktion

8 Stromerzeugungssektor

Auf Basis der sozio-ökonomischen Daten zu den Stabilisierungsszenarien und der abgeleiteten Auswirkungen auf die zusätzliche Stromnachfrage durch Elektromobilität sowie Veränderungen im industriellen Strombedarf, werden die Effekte auf die österreichische Stromversorgung identifiziert. Zur Analyse der österreichischen Stromversorgung wurden die Ergebnisse der vorgelagerten Arbeitsschritte in ein existierendes Modell¹⁰ zur Simulation verschiedener Entwicklungspfade des österreichischen Stromversorgungssystems integriert. Das Modell basiert auf jährlichen Energiemengen; Lastflüsse werden nicht betrachtet, weshalb damit keine Aussagen zur Netzintegration von Stromerzeugungsanlagen und Stromspeichern getätigt werden können.

8.1 Szenarien der Stromerzeugung

Für jedes Emissionsszenario (BAU, 550 ppm, 550 ppm, 550 ppm,) wird im Rahmen des „EISERN“-Projekts ein Szenario ausführlich untersucht. Exemplarisch werden hier die Szenarien BAU- und 450 ppm-Stabilisierungsszenario diskutiert.

Die Stromnachfrage im BAU- bzw. BAU-Szenario 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, beschrieben im Berichtsteil zu Arbeitspaket 2 (Liebmann, 2012).

Die Ergebnisse zu den Stromverbräuchen der vorgelagerten, Bottom-up untersuchten Bereiche: Verkehr sowie Eisen-/ Stahlerzeugung und Zementherstellung werden explizit berücksichtigt. Abbildung 8-2. (linke Grafik) zeigt den zusätzlichen jährlichen Strombedarf für Elektromobilität in den drei Stabilisierungsszenarien. Die rechte Grafik zeigt den zusätzlichen jährlichen Strombedarf zur Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlindustrie und Zementherstellung in den drei Stabilisierungsszenarien.

¹⁰ 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.

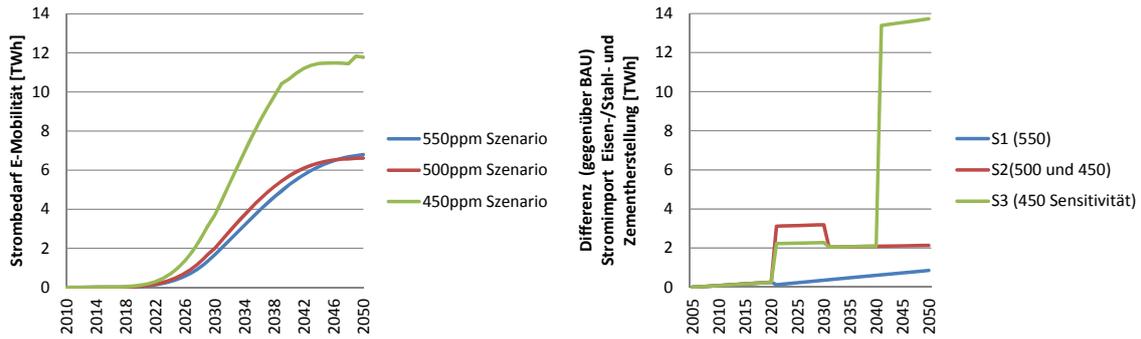


Abbildung 8-1. Stromverbrauch der E-Mobilität und Eisen-/Stahl- und Zementherstellung (Differenz gegenüber BAU).

8.2 Emissionsreduktionen im Stromerzeugungssektor¹¹

Abbildung 8-3. fasst die Entwicklung der exogenen Parameter im Referenz- und dem 450 ppm-Stabilisierungsszenario graphisch zusammen. Das BAU-Szenario wird durch positive Verbrauchswachstumsraten sowie niedrige Primärenergiepreise charakterisiert. Der Stromgroßhandelspreis steigt in diesem Szenario auf etwa 70 €/MWh an. Die Stromnachfrage erhöht sich auf ca. 92 TWh im Jahr 2050. Dem 450 ppm-Stabilisierungsszenario sind die selben Energie- aber wesentlich höhere CO₂-Preise als im BAU-Szenario hinterlegt. Dies führt dazu, dass die Großhandelstrompreise im betrachteten Zeithorizont auf mehr als 100 €/MWh ansteigen.

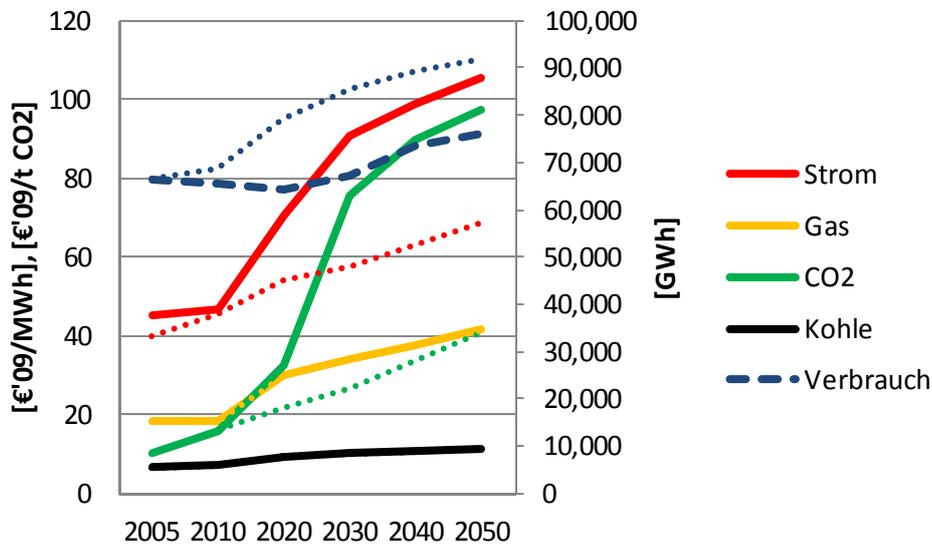


Abbildung 8-2. Exogene Parameterentwicklungen (Kohle-, Gas-, CO₂-, und Strompreise – linke Skala – sowie Stromnachfrage – rechte Skala) im 450 ppm (durchgezogene Linien) und BAU-Szenario (punktierter Linien).

Abbildung 8-4. stellt die Anteile der einzelnen Primärenergieträger an der österreichischen Stromerzeugung im BAU-Szenario und im 450 ppm-Szenario dar. Der Anteil der

¹¹ 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.

CO₂-freien Erzeugung sinkt im BAU-Szenario kontinuierlich von einem Ausgangswert im Jahr 2005 von 69 % ab und erreicht im Jahr 2050 einen Anteil von 63 %. In einem rein ökonomisch getriebenen Szenario werden hauptsächlich steinkohlebefeuerte Kondensationskraftwerke errichtet, da diese die niedrigsten Erzeugungskosten aufweisen. Dies ist mit entsprechenden Konsequenzen für die Entwicklung der CO₂-Emissionen des Kraftwerkssektors verbunden; sie steigen bis 2050 im Vergleich zu 2005 um knapp 100 %^{12,13}. Wird, wie im unten gezeigten Szenario unterstellt, dass anstatt von Kohlekraftwerken, Gas-GuD-Kraftwerke zu errichten sind, sinken die THG-Emissionen der Strom- und (zentralen) Wärmeerzeugung innerhalb der kommenden 40 Jahre auf etwa 70% der Emissionen von 2010 ab.

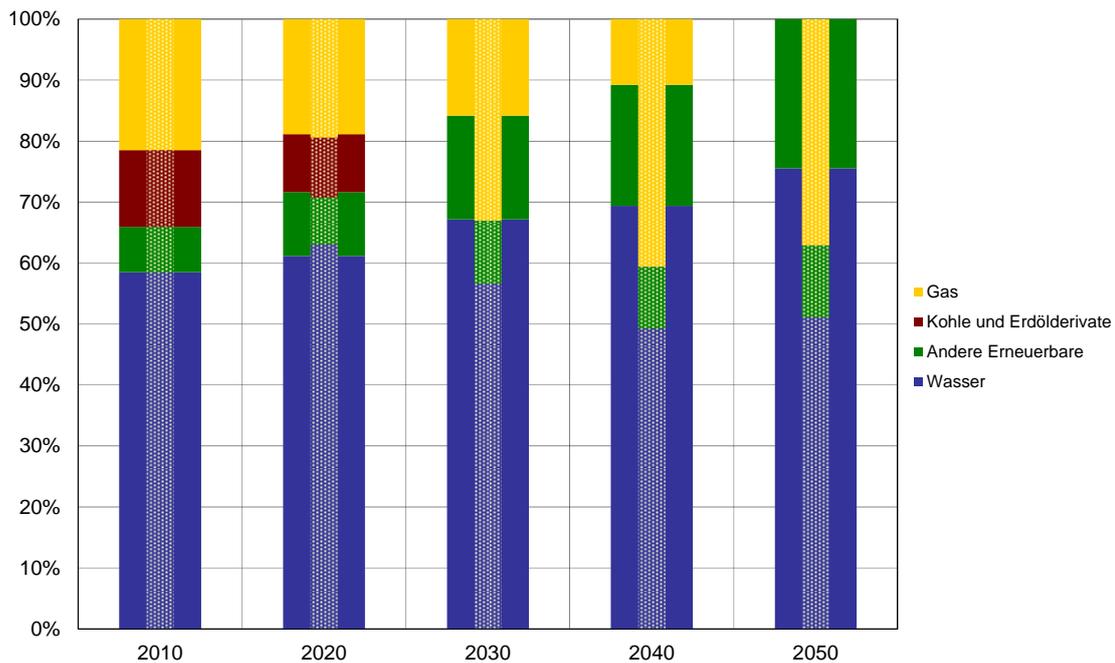


Abbildung 8-3. Anteil der Primärenergieträger an der Stromerzeugung in AT im 450 ppm-Szenario (S1). Die schattierten Säulen stellen die Anteile im BAU-Szenario (ohne Neubau von Kohle-KW) dar.

Innerhalb der „neuen“ Erneuerbaren (d.h. Windkraft, Biomasse, Biogas und Fotovoltaik) erlangt lediglich Windkraft an Bedeutung. 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.^{14,15}

- 12 Im Sinne der Konsistenz werden nur die CO₂-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).
- 13 Etwa +60% bezogen auf die Emissionen von 2010
- 14 Zu detaillierten Bioenergieszenarien siehe Kalt et al. (2010).

Im Gegensatz dazu steigt im 450 ppm-Szenario der Anteil der CO₂-freien Erzeugung kontinuierlich an und erreicht ab dem Jahr 2045 einen Anteil von 100 %. 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. Bis 2020 steigt der Anteil der Windkraft stark an. Ab 2030 verzeichnet vor allem die Stromerzeugung aus Fotovoltaik- sowie Biomassekonversionstechnologien positive Wachstumsraten. In diesem Szenario liefert in 2050 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.

Im Jahr 2050 beträgt die installierte Leistung von „volatilen“, angebotsorientierten Erzeugungstechnologien 12,5 GW.¹⁶ Wird Österreich isoliert betrachtet, stellt diese Größenordnung keine massiven Probleme in Hinblick auf die Systemstabilität dar.

Im vorgestellten 450 ppm-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.

9 Gegenüberstellung von explorativen und normativen Emissionsszenarien

Abschließend werden die explorativen Bottom-up modellierten Emissionspfade den normativen, Top-down vorgegebenen Pfaden gegenübergestellt.

9.1 Notwendige versus mögliche Emissionspfade

Dem realisierten Verlauf der THG-Emissionen wird in Abbildung 9-1. der in den EISERN-Szenarien abgeleitete zukünftige (notwendige) Verlauf der THG-Emissionen gegenübergestellt.¹⁷ Im Vergleich zum Emissionsniveau des Jahres 1990 (2010) müssen im 550 ppm-Stabilisierungsszenario die THG-Emissionen bis 2050 um 68 % (70 %)

15 2009 betrug die Einspeisung aus geförderten Bioenergieanlagen ca. 2,5 TWh. Jene aus Wind lag bei ca. 2 TWh. Siehe E-Control (2010).

16 2009 betrug dieser Wert ca. 1 GW (E-Control, 2010).

17 Für Details zur Entwicklung der Top-down ermittelten Emissionsverläufe sei auf die Berichtsteile zu Arbeitspaket 1 und 2 verwiesen.

sinken, im 500 ppm-Szenario um 74 % (76 %) und im 450 ppm-Szenario um 80 % (82 %).

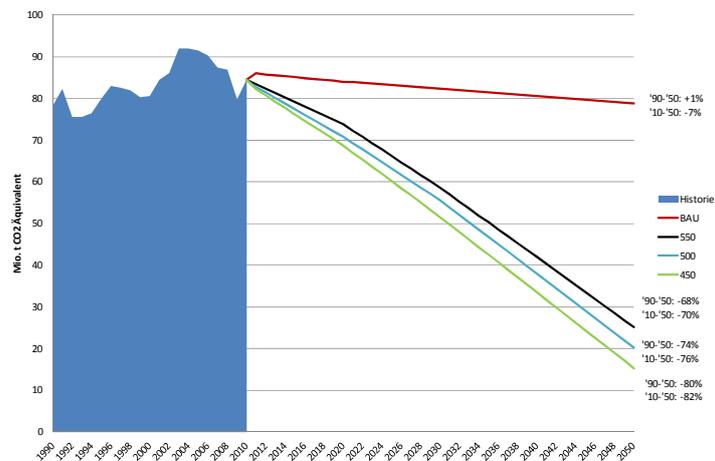


Abbildung 9-1. Verlauf der tatsächlichen THG-Emissionen in Österreich von 1990-2010 sowie Top-down abgeleitete Emissionen für das EISERN Business-as-usual- BAU-Szenario und die EISERN-Stabilisierungsszenarien.

Zunächst ist festzuhalten, dass von den im Jahr 2010 in Österreich emittierten 84,6 Mt CO₂-eq in der gegenständlichen Studie im Rahmen der Bottom-up Modellierung 55 Mt abgebildet werden. Dies entspricht 65 %. Auf mögliche qualitative Entwicklungen dieses „Residuums“ (35 %) wird im umfassenden Projektbericht eingegangen. Hier wird die Annahme unterstellt, dass dieses Residuum seine Emissionsziele gemäß den Top-down Vorgaben erreicht.

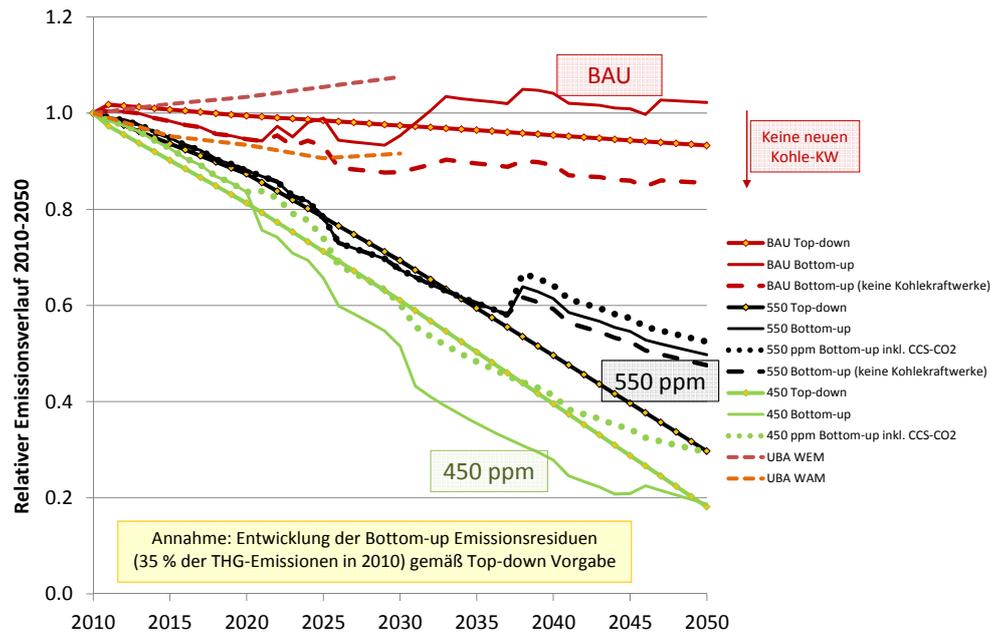


Abbildung 9-2. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den EISERN-Szenarien sowie aktuelle Emissionstrends lt. UBA (2011)¹⁸. Es wird die Annahme unterstellt, dass sich die im Projekt nicht betrachteten THG-Emissionen entsprechend der Top-down Vorgabe entwickeln.

Werden die Bottom-up modellierten sektoralen Emissionsverläufe summiert und den Top-down Verläufen gegenübergestellt, ergibt sich die in Abbildung 9-2. dargestellte Situation.

9.2 450 ppm-Stabilisierungsszenario

Im 450 ppm-Stabilisierungsszenario¹⁹ ergibt sich in den Bottom-up modellierten Sektoren im langfristigen Mittel (unter der Annahme, dass sich die Residualemissionen entsprechend der Top-down Szenarien verhalten) ein Trend zur Reduktion der atmosphärischen THG-Emissionen, der die Top-down vorgegebenen Emissionstrajektorie erfüllt. Unter Berücksichtigung der CCS-CO₂-Emissionen wird jedoch nur noch eine Reduktion von etwa 70 % erzielt, was der Emissionstrajektorie eines 550 ppm-Szenarios entspricht.

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 abgedeckt werden.

¹⁸ 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).

¹⁹ Das Szenario unterstellt die Realisierung des S2-Szenarios in der Eisen- und Stahlindustrie.

Der modellierte Teil des Verkehrssektors weist einen sinkenden Emissionsverlauf auf, der im Wesentlichen der Top-down Vorgabe folgt. Der Gebäude- und der Stromerzeugungssektor können durch stark sinkende Emissionen Ziele übererfüllen. Besonders evident werden die Schwierigkeiten der Emissionsreduktionen im Bereich der Zementindustrie. Sogar unter der Anwendung von CCS-Technologien wird eine Einsparung von nicht mehr als 40% bezogen auf das heute Niveau erzielt.

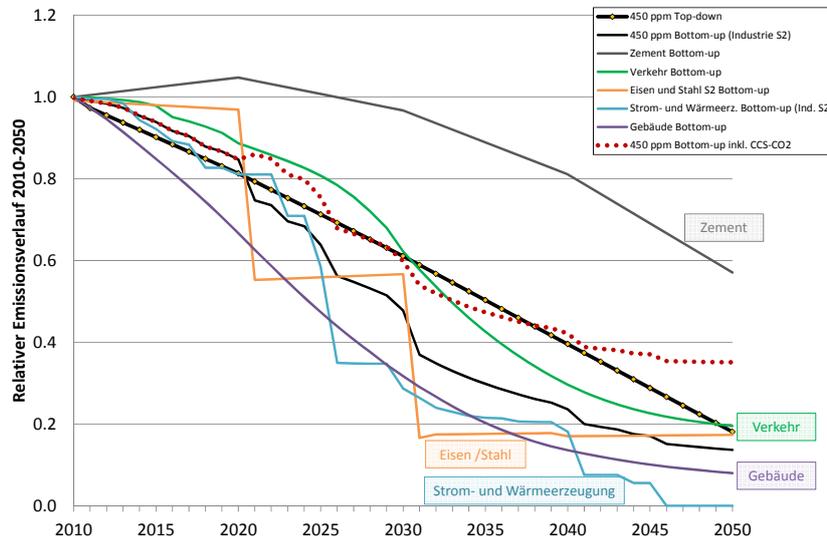


Abbildung 9-3. Relativer Emissionsverlauf bezogen auf 2010 im BAU Top-down Szenario, in der Aggregation der Bottom-up simulierten Sektoren und in den einzelnen Sektoren im 450 ppm-Stabilisierungsszenario.

Die in die Atmosphäre emittierten CO₂-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-CO₂-Emissionen im Bereich der betrachteten Industriesektoren. Nimmt man diese in die CO₂-Bilanz mit auf, ergeben sich im Bottom-up Szenario Emissionsreduktionen von etwa 65 % bezogen auf das Niveau von 2010.

10 Schlussfolgerungen und Handlungsoptionen

Auf wissenschaftlicher Ebene stehen die massiven Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf das weltweite Klima und der damit einhergehende anthropogene 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 CO₂-eq notwendig ist. Für eine Begrenzung des Temperaturanstieges auf 3 °C ist eine Stabilisierung der Treibhausgase auf 550 ppm CO₂-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 2, bzw. Kapitel 3 des Projektendberichtes 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 Treibhausgasemissionen geachtet wird, erzielbar sind.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von langfristigen Investitionsentscheidungen spielen zukünftige Energie- und CO₂-Preise eine wichtige Rolle. Deren Entwicklungen lassen sich naturgemäß nicht vorhersagen. Richtwerte für CO₂-Emissionspreise, aus heutigem Wissen, liegen für 2-3°C-Zielerreichungspfade bei 60-80 €/t CO₂ in 2030, diese steigen bis 2050 auf 80-100 €/t CO₂ (IPCC, 2005).

Die aktuell implementierten bzw. geplanten Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion und daraus resultierende Emissionstrends (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 9-2. 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 CO₂-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.

Aus der Gegenüberstellung von Bottom-up errechneten, sektorspezifischen Emissionsvermeidungspotenzialen und den Top-down ermittelten Emissionsreduktionsnotwendig-

keiten zeigt sich, dass **in allen Bereichen und Wirtschaftssektoren ein konsequentes Reduzieren von Treibhausgasen erforderlich ist**. Die hier aufgezeigten Reduktionspotenziale (in den Stabilisierungsszenarien) führen zu einer Verminderung der atmosphärischen²⁰ Emissionen bis 2050 von 40-85% bezogen auf den Stand von 2010. Werden die abgetrennten, zur Speicherung vorgesehenen CO₂-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 ambitioniertesten 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.

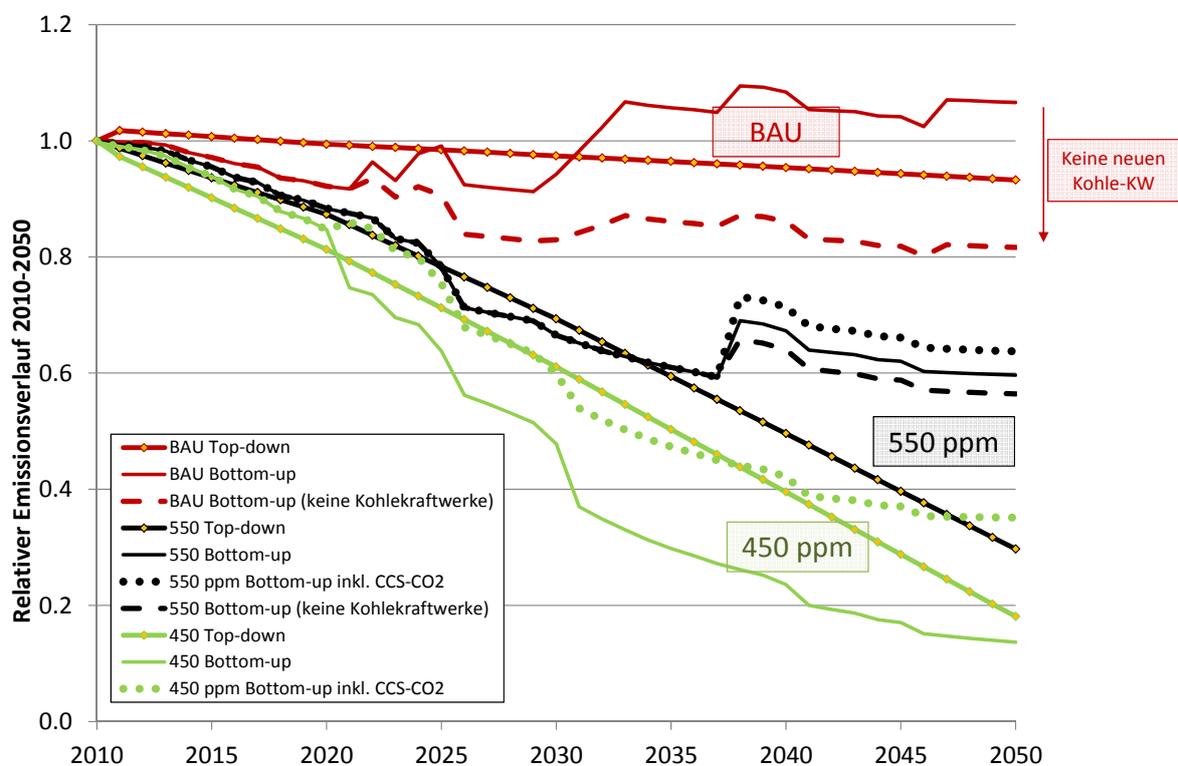


Abbildung 10-1. Top-down Vorgaben vs. Bottom-up realisierte Emissionsreduktionen in den betrachteten Sektoren.

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.

20 Nicht zur Speicherung abgetrennte CO₂-Emissionen

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 H₂- Fahrzeugen**, bietet bei gleichzeitiger THG-emissionsarmer Strom- (bzw. H₂-) 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 CO₂-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 CO₂-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 niedrigem 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 Einzelbauteilinstanzsetzungen 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 CO₂-Emissionen** bestehen. Die aus dem ULCOS-Programm abgeleiteten Lösungsvorschläge erfordern allerdings **mittelfristig den Einsatz von CCS-Methoden**²¹, 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 CO₂-Emission aus der Roheisenherstellung zu verringern.

21 CO₂-Abtrennung und Speicherung

In der **Zementproduktion** ist die Situation in Österreich so, dass der **Brennstoffbedarf nur mehr geringfügig gesenkt werden kann**. Durch Maßnahmen der Abwärmennutzung kann der Produktionsprozess energetisch effizienter (Elektrizitätserzeugung) gestaltet werden. Für eine **Reduktion der atmosphärischen CO₂-Emissionen sind auch hier CCS-Maßnahmen erforderlich**. In **Abhängigkeit vom CO₂-Abscheidegrad** 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 CO₂-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 des²² österreichischen Holzeinschlags als Ersatzreduktionsmittel aufnehmen.

Aus heutiger Sicht stellt **CCS mit Speicherung des abgetrennten CO₂ in Lagerstätten innerhalb Österreichs eine äußerst begrenzte Übergangstechnologie** dar. Abschätzungen der theoretischen Maximal-CO₂ 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 CO₂ 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 zur Kompensation unterlassener kurzfristiger Emissionsreduktionsanforderungen sollte CCS nicht sein und kann dies aufgrund der begrenzten Lagerkapazitäten innerhalb von Österreich nicht bieten.**

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 Referenzen

- 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.
- 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.
- 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.

22 Der Biomasseeinsatz im S3 Industrie-Szenario (siehe Abschnitt 6), in welchem Biomasse als Ersatzreduktionsmittel genommen wird, beläuft sich auf 10 Mio. Tonnen Biomasse im Jahr 2040. Dem steht ein österreichischer Holzeinschlag von 18,7 Mio. Erntefestmeter (2011) gegenüber (1 EFM = ~500–700 kg).

- Copenhagen Accord (2009): Draft decision -/CP.15. CONFERENCE OF THE PARTIES, Fifteenth session, Copenhagen.
- 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. European Climate Foundation.
- 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 CO₂-armen Wirtschaft bis 2050. Europäische Kommission KOM(2011) 112 endgültig, 2011.
- Haas R., Hummel M., Müller A., Redl C., Sagbauer N., Suna D., Barthel C., Thomas T., Bogner T. (2011): Strategie zur Mobilisierung des Stromsparpotenzials in Österreich. Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Rahmen der Programmlinie „Energie der Zukunft“.
- IEA; International Energy Agency (2009): Cement Technology Roadmap, 2009.
- IPCC; 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.
- 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.
- 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., 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
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.