

PUBLIZIERBARER Endbericht Studien

(gilt nicht für andere Projekttypen)

A) Projektdaten

Titel:	Synergies between Adaptation and Mitigation: Assessing the potential of mutual co-effects („SynAdapt“)
Programm:	ACRP
Koordinator/ Projekteinreicher:	JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Graz <i>Andreas Türk, Franz Prettenthaler, Daniel Steiner, Dorian Frieden</i>
Kontaktperson - Name:	Mag. Andreas Türk, MBA
Kontaktperson - Adresse:	Elisabethstrasse 18, 8010 Graz
Kontaktperson - Telefon:	0043 316 876 1337
Kontaktperson E-Mail:	andreas.tuerk@joanneum.at
Projekt- und Kooperationspartner (inkl. Bundesland):	International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg Niederösterreich <i>Fabian Wagner</i>
Projektwebsite:	http://www.joanneum.at/?id=3690 <u>Vollständiger Endbericht dort herunterladen</u>
Schlagwörter:	Synergien, Trade-Offs, Klimaschutz, Anpassung
Projektgesamtkosten:	96.000 Euro
Fördersumme:	96.000 Euro
Klimafonds-Nr:	GZ: A760675
Projektstart & Ende	02/2009-05/2010

B) Projektübersicht

1 Executive Summary

In diesem Projekt wurden zunächst wesentliche Wechselwirkungen zwischen THG-Minderungsmaßnahmen (Mitigation) und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (Adaptation) auf qualitativer Ebene mit Schwerpunkt Österreich beschrieben. Danach wurde ein methodischer Rahmen entwickelt, der es erlaubt, Co-Effekte von und Wechselwirkungen zwischen klimarelevanten Maßnahmen quantitativ zu bewerten.

Als Co-Effekte werden Zusatzeffekte von klimarelevanten Maßnahmen verstanden, wie beispielsweise die Verringerung von Feinstaubemissionen infolge klimarelevanter Maßnahmen. Synergien (bzw. Trade-offs) zwischen Anpassung und THG-Minderung wurden im Rahmen dieser Studie definiert als „positive (bzw. negative) THG-Minderungseffekte induziert durch eine Anpassungsmaßnahme“ oder „positive (bzw. negative) Anpassungseffekte induziert durch eine THG-Minderungsmaßnahme“. Synergien oder Trade-offs können aber auch durch das direkte Zusammenwirken von zwei oder mehreren Maßnahmen, beispielsweise einer Anpassungsmaßnahme und einer THG-Minderungsmaßnahme, entstehen.

Die qualitative Analyse hat gezeigt, dass sich synergetische Maßnahmen vor allem in den Bereichen Stadtplanung und Gebäude, aber in gewissem Ausmaß auch im Bereich der Land- und Forstwirtschaft und des Energiesektors finden. Beispielsweise kann die Sanierung von Gebäuden einerseits den Heizbedarf senken, andererseits bei fortschreitendem Klimawandel und eventuell einhergehender Erwärmung auch den Kühlbedarf. Neben Synergien gibt es aber auch eine Reihe von Trade-offs, die Entscheidungsträger berücksichtigen sollten, wenn sie Klimaschutz- bzw. Anpassungsmaßnahmen implementieren. Dazu gehören beispielsweise Anpassungsmaßnahmen, die einen höheren Energieverbrauch bedingen, wie der Betrieb einer überregionalen Wasserleitung. Aber auch THG-Minderungsmaßnahmen können negative Anpassungseffekte haben.

Es wurde in weiterer Folge ein bestehender methodischer Rahmen zur quantitativen Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen unter Einbeziehung ihrer Co-Effekte weiterentwickelt. Dabei wurde die Anwendbarkeit des methodischen Rahmens auch auf Anpassungsmaßnahmen ausgedehnt sowie Synergien und Trade-offs von und zwischen Anpassungs- und THG-Minderungsmaßnahmen miteinbezogen. Ausgangspunkt der Bewertung ist die Bildung von Kosten/Nutzen-Verhältnissen, die ein Ranking der einzelnen Maßnahmen nach ihrer Kosteneffizienz erlaubt. Allerdings sollte die Bildung von Kosten/Nutzen-Verhältnissen nicht als einziges Entscheidungskriterium herangezogen werden, da diese zwar die Kosteneffizienz einer Maßnahme bestimmen, jedoch nichts über das Potential zur Zielerreichung von klimarelevanten Maßnahmen sowie über die absoluten Kosten aussagen. Eine Strategie zur Erreichung eines bestimmten THG-Minderungs- bzw. Anpassungsziels muss daher sowohl die Kosteneffizienz als auch die absoluten Reduktionspotentiale eines Maßnahmenbündels, sowie absolute Kosten des Maßnahmenbündels berücksichtigen.

Im Gegensatz zu konventionellen Kosten-Nutzen-Analysen berücksichtigt der methodische Rahmen neben Treibhausgasminderungen auch makroökonomische sowie monetarisierte ökologische Effekte einer Verringerung lokaler Luftschadstoffe. Die potentielle Verringerung von lokalen Luftschadstoffen im Falle von THG-Minderungsmaßnahmen wurde in diesem Projekt für Österreich mit Hilfe des GAINS Modells (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) für das Jahr 2020 quantifiziert¹. Zur Erreichung von bestimmten Anpassungs- bzw. THG-Minderungszielen unter Berücksichtigung von Co-Effekten und Synergien/Trade-offs wurde eine schrittweise Vorgehensweise zur Erstellung von kosteneffizienten „Climate Action Portfolios“

¹ Das GAINS Modell ist eine Weiterentwicklung des RAINS Modells und beinhaltet auch THG und ihre Minderungsmöglichkeiten. Diese Erweiterung erlaubt die Beurteilung der Emissionskontrollkosten der sechs, im Kyoto- Protokoll enthaltenen Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O und die drei F-Gase), zusammen mit den Emissionen der Luftschadstoffe SO₂, NO_x, VOC, NH₃ und PM.

entwickelt. Diese schrittweise Betrachtung ermöglicht zuerst eine separate Einbeziehung von Synergien/Trade-offs, in einem nächsten Schritt die Berücksichtigung von Co-Effekten bevor beide gemeinsam in die Bewertung mit einfließen. So werden die Größenordnungen beider Effekte sichtbar und Entscheidungsträger erhalten einen Anhaltspunkt, in welchen Ausmaß sich Synergien/Trade-offs bzw. Co-Effekte auf die Bewertung von Maßnahmen auswirken. Ausgehend von dieser integrierten Bewertung einzelner Maßnahmen erlaubt der methodische Rahmen schließlich die Erstellung eines Climate Action Portfolios zur Erreichung von THG-Minderungs- und Anpassungszielen.

Ökologische Co-Effekte der Anpassung, wie eine verbesserte Leistungsfähigkeit von Ökosystemen, was in manchen Fällen positive THG-Minderungswirkungen haben könnte, wurden nicht im methodischen Rahmen berücksichtigt, da es dazu in Österreich noch keine Daten gibt. Durch dieses Ungleichgewicht an Datenverfügbarkeit besteht die Gefahr, dass THG-Minderungsmaßnahmen in der Bewertung tendenziell besser abschneiden als Anpassungsmaßnahmen. Hier herrscht daher noch deutlicher Forschungsbedarf. Auch der vermiedene Verlust an Wertschöpfung durch die Anpassung an sich ändernde klimatische Bedingungen ist für Österreich noch nicht ausreichend quantifiziert.

Auch wenn die Durchführung von synergetischen Maßnahmen kosteneffizienter sein kann, ist es möglich, dass eine Kombination beider Maßnahmentypen auf Hemmnisse stößt: in manchen Sektoren gibt es eine Vielzahl an Akteuren, was einen hohen Koordinationsaufwand bedeuten kann. Dies gilt für politische Entscheidungsträger gleichermaßen wie für private. Ein weiteres Hemmnis sind unterschiedliche Interessen. Selbst bei gleichgerichteten Interessenslagen ist die Koordination verschiedener Akteure oft mit Informations- und Transaktionskosten verbunden. Weiters sind die Effekte verschiedener Maßnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten zu erwarten. Dadurch verschieben sich die Präferenzen vieler Akteure tendenziell hin zu Maßnahmen mit schnell eintretenden Vorteilen. Dies kann verhindern, dass frühzeitige Weichenstellungen für später eintretende Synergien (Beispiel Städteplanung) nicht getroffen oder Maßnahmenbündel mit Trade-offs gewählt werden. Um langfristig das Potential synergetischer Maßnahmen in vollem Umfang nutzen zu können, sind für den privaten Akteur entsprechende Anreize zu setzen. Ebenso ist ein koordiniertes Zusammenwirken verschiedener Akteure erforderlich, wofür eine frühe Abstimmung von nationalen und regionalen Anpassungs- bzw. Minderungsstrategien von großer Bedeutung erscheint.

2 Hintergrund und Zielsetzung

Klimaschutzmaßnahmen werden vorwiegend nach Beurteilung der Implementierungskosten verwirklicht. Zusätzliche Effekte oder so genannte Co-Effekte von THG-Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen, werden hierbei zumeist vernachlässigt ebenso wie Wechselwirkungen zwischen THG-Minderungsmaßnahmen (Mitigation) und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (Adaptation). In diesem Projekt werden daher **zunächst die Wechselwirkungen von THG-Minderung- und Anpassungsmaßnahmen qualitativ beurteilt und in Folge ein methodischer Rahmen zur quantitativen Beurteilung von Synergien oder Trade-offs erarbeitet**. Im Zuge dieses Projektes werden auch **neue Daten zur Bewertungen der Co-Effekte von THG-Minderungsmaßnahmen bezüglich lokaler Luftschadstoffe für Österreich berechnet**. Die Studie entwickelt schließlich eine Roadmap für politischen Entscheidungsträger in Bezug auf die Beurteilung von Co-Effekten und Synergien.

Wechselwirkungen zwischen THG-Minderung und Anpassung können auf zwei Ebenen beurteilt werden:

- auf aggregierter, globaler Ebene und
- auf nationaler Ebene, einschließlich einzelner Wirtschaftssektoren und Projekte.

Dieses Projekt konzentriert sich auf die Wechselwirkungen auf der nationalen und projektbezogenen Ebene.

Im Rahmen dieser Studie werden Synergien (bzw. Trade-offs) zwischen Anpassung und THG-Minderung als positive (bzw. negative) THG-Minderungseffekte induziert durch eine Anpassungsmaßnahme oder positive (bzw. negative) Anpassungseffekte induziert durch eine THG-Minderungsmaßnahme definiert. Synergien oder Trade-offs können aber auch durch das direkte Zusammenwirken von zwei oder mehreren Maßnahmen, beispielsweise einer Anpassungsmaßnahme und einer THG-Minderungsmaßnahme, entstehen.

Für die Art von Synergien (oder Trade-offs) welche bei der Durchführung einer einzigen Maßnahme auftreten, wird der Begriff "maßnahmespezifische Synergien oder Trade-offs" (**measure specific synergies or trade offs**) benutzt. Wenn zwei Maßnahmen, welche zur gleichen Zeit implementiert werden, synergetisch zusammenwirken und dabei zu einer kosteneffizienteren Zielerreichung führen, wird der Begriff "**inter-measural Synergies**" verwendet. Dies kann sowohl zwischen Anpassungs- und THG-Minderungsmaßnahmen, als auch bei synergetischen Maßnahmen auftreten.

In diesem Projekt wurden zuerst THG-Minderungsmaßnahmen, die auch Effekte auf Anpassungsmaßnahmen haben sowie umgekehrt, also Anpassungsmaßnahmen die Effekte auf THG-Minderung haben – („measure-specific synergies“) analysiert. Nach einer qualitativen Beschreibung wird die Schaffung von kosteneffizienten „Climate Action Portfolios“ (Maßnahmenbündeln) zur Erreichung bestimmter THG-Minderungs- und Anpassungsziele auf Basis mehrere methodischer Schritte diskutiert.

3 Projektinhalt und Ergebnis

Die Vorgehensweise in diesem Projekt gliederte sich prinzipiell in 3 Schritte:

(i) Anfänglich werden qualitativ und systematisch Interaktionen (Synergien & Trade-offs) zwischen klimarelevanten Maßnahmen erhoben.

(ii) In einem weiteren Schritt wird ein Decision Support Tool entwickelt, das es erlaubt, einzelne Maßnahmen zu evaluieren. Entscheidungskriterium dafür ist die gesamtwirtschaftliche Kosteneffizienz, d.h. die Kosteneffizienz unter Einbeziehung von Sekundäreffekten (u.a. externen Effekten) und Interaktionen. Hierzu wurden unter Nutzung des GAINS-Modells (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) externe Effekte der Treibhausgasreduzierung in Österreich quantifiziert und somit die zur Nutzung des Decision Support Tools notwendige Datenbasis erweitert.

(iii) In einem Ausblick wird eine Vorgehensweise skizziert, wie – unter Anwendung des Decision Support Tools – ein optimales Climate Action Portfolio aus den vorhin evaluierten Maßnahmen erstellt werden könnte. Diese Vorgehensweise erlaubt eine Evaluierung ganzer Maßnahmenbündel. Gleichzeitig werden noch bestehenden Datenlücken in Österreich aufgezeigt, die zur Anwendung eines solchen Portfolios notwendig wären.

i.) Wissen über Art der Co-Effekte und Interaktionen mit Klimawandelanpassung

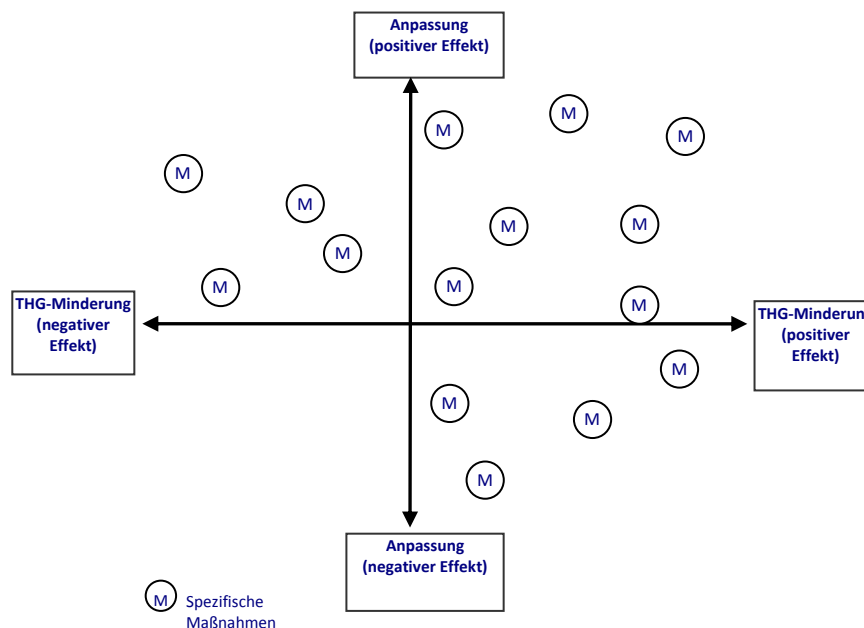


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen THG-Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen

Abbildung 1 gibt einen einfachen Überblick über die Beziehung zwischen THG-Minderungs- und Anpassungseffekten verschiedener Maßnahmen. Maßnahmen im oberen rechten Quadranten sind synergetische Maßnahmen d.h. sie haben einen positiven THG-Minderungs- und Anpassungseffekt. Es gibt jedoch auch Anpassungsmaßnahmen, welche einen Trade-off zur THG-Minderung bewirken, und THG-Minderungsmaßnahmen mit einem Trade-off zur Anpassung. In der Praxis existieren auch Fälle mit unbeabsichtigten negativen Anpassungs- sowie THG-Minderungseffekten. Der zugehörige Quadrant ist aber leer, da dieser Fall bei einer Politikentscheidung nicht absichtlich erwogen wird.

Beispiele für die verschiedenen Fälle von Synergien und Trade-offs:

- 1) Eine Maßnahme mit einem positiven THG-Minderungs- und Anpassungseffekt (synergetische Maßnahme): die Einführung von landwirtschaftlichen Sorten mit besserer Widerstandskraft gegen veränderte Wetterbedingungen sowie einem geringerem Bedarf an Mineraldünger.
- 2) Eine Maßnahme mit einem positiven THG-Minderungs- und einem negativen Anpassungseffekt (Maßnahme mit einem Trade-off): die Erweiterung von Wasserkraftanlagen mit gleichzeitiger Verschlechterung der Wassersituation für die Landwirtschaft.
- 3) Eine Maßnahme mit einem positiven Anpassungs- aber einem negativen THG-Minderungseffekt (Maßnahme mit einem Trade-off): Schneekanonen zum Erhalt der touristischen Nachfrage in Schigebieten verursacht steigende Emissionen durch den Energieverbrauch der zusätzlichen Anlagen.
- 4) Maßnahmen mit einem negativen Anpassungs- und THG-Minderungseffekt: sind nicht Gegenstand einer aktiven Klimapolitik, ergeben sich aber teils unbeabsichtigt. (z.B. nicht-nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen als Ursache von Entwaldung)

In Folgenden werden die qualitativ erhobenen Synergien/Trade-offs zwischen Klimaschutzmaßnahmen und Klimawandelanpassungsmaßnahmen tabellarisch dargestellt. Eine Beschreibung der Synergien/Trade-offs wird an dieser Stelle beispielhaft angeboten, eine umfassende Beschreibung/Erklärung der erhobenen Synergien/Trade-offs findet sich im SynAdapt-Endbericht (<http://www.joanneum.at/?id=3690>).

Gebäudesektor:

Tabelle 1: Übersicht über mögliche Interaktionen im Gebäudesektor

Anpassungsziel	Spezifische Anpassungsmaßnahme	Interaktion mit THG-Minderung
<i>Erhalt des thermischen Komforts innerhalb von Gebäuden in heißen Perioden</i>	Wärmeisolierung	Synergien
	Außenliegende Schattenelemente	Synergien
	Austausch ineffizienter elektrischer Geräte	Synergien
	Betrieb von Klimaanlage durch KWKK-Anlagen	Synergien sofern konventionelle Klimaanlage ersetzt werden
	Klimaanlage durch Photovoltaik, Solar oder Geothermische Energie	Synergien sofern konventionelle Klimaanlage ersetzt werden
<i>Erhalt des Komforts aus der Gerätenutzung</i>	Wasser- und energiesparende Haushaltsgeräte	Synergien
	Wassertanks und Leitungen	Keine Interaktion
<i>Vermeidung von Gebäudeschäden durch extreme Wetterereignisse</i>	Überschwemmungsresistente Bauweise	Keine Interaktion
	Wechsel des Heizungssystems	Potentielle Synergien

Kurzbeschreibung ausgewählter Beispiele:

- Wärmedämmung und neue, wärmeisolierende Fenster verringern nicht nur den Wärmeverlust in kalten Jahreszeiten, sondern ebenso den Wärmeeintrag in Hitzeperioden. Konsequenterweise führt dies nicht nur zu einer verringerten Nachfrage an Heizmaterial und dadurch zu geringeren THG-Emissionen und Ausstoß lokaler Luftschadstoffe. Da sich konventionellen Klimaanlage erübrigen sinken auch die durch

Stromverbrauch verursachten Folgeemissionen. Die wirksamste Maßnahme gegen Wärmeverlust und Wärmeeinstrahlung bei Gebäuden ist die Sanierung nach Passivhausstandard.

- Die Anpassung an sich verändernde Klimabedingungen bedeutet auch die Möglichkeit, trotz veränderter Klimabedingungen mit dadurch bedingter Wasserknappheit den Komfort von wasserverbrauchenden Haushaltsgeräten (Waschmaschinen, Geschirrspüler) zu gewährleisten. Eine Möglichkeit, um den Wasserbedarf in trockenen Perioden zu reduzieren besteht bei Waschmaschinen und Geschirrspülern im Umstieg auf wassersparende Technologie. Eine weitere Option besteht im vermehrten Einsatz von Wassertanks. Diese Option kann den wechselnden Wasserbedarf von der öffentlichen Wasserversorgung ausgleichen, z.B. verursacht durch die steigende Bewässerung in trockenen Perioden. Es können überregionale Wasserleitungen als eine den Wasserbedarf ausgleichende Technologie implementiert werden. Jedoch kann die Implementierung von überregionalen Wasserleitungen, Auswirkungen auf die THG-Emissionen haben, insofern diese durch Energie aus fossilen Brennstoffen betrieben werden. Wassereffiziente Geräte haben häufig auch eine positive Wirkung auf effiziente Elektrizitätsnutzung.

Stadtplanung:

Tabelle 2: Übersicht über mögliche Synergien im Bereich Stadtplanung

Anpassungsziel	Spezifische Anpassungsmaßnahme	Interaktion mit THG-Minderung
<i>Absicherung gegen hohe Temperaturen</i>	Pflanzung schattenspendender Bäume	Synergien
	Vergrößerung des Albedos	Synergien
	Verringerung der Gebäudedichte	Synergien
	Sanierung in Städten mit hoher Gebäudedichte	Synergien
	Optimierung der Prozesse des Abwassermanagements	Synergien

Kurzbeschreibung ausgewählter Beispiele:

- Pflanzung schattenspendender Bäume. Diese Option hilft während des Sommers die Belastung durch Kühlung zu verringern. Es ist ebenso ein Beitrag zur Reduktion von CO₂ und Feinstaub vor allem im Innenstadtbereich. Betreffend Anpassung schützen schattenspendende Bäume vor Hitze und Kurzwellenstrahlung. Sie reduzieren auch Bodenerosionen und verbessern die Grundwasserretention (California Center for Sustainable Energy, 2007). Demnach hat die Pflanzung von schattenspendenden Bäumen beides, einen THG-Minderungs- und einen Anpassungseffekt.
- Mit der Optimierung der Prozesse des Abwassermanagements kann die Effizienz der Wassernutzung signifikant gesteigert werden. Mit der Gewinnung von Regenwasser von Hausdächern kann dieses als Nutzwasser für Toiletten und Gärten verwendet werden, welches die von der öffentlichen Versorgung

benötigte Menge an Wasser verringert. Die Verwendung von geringeren Wassermengen kann zu einem geringeren Energiebedarf für Speicherung, Klärung und Transport des Wassers führen.

Transportsektor:

Tabelle 3: Übersicht über mögliche Interaktionen im Transportsektor

Anpassungsziel	Spezifische Anpassungsmaßnahme	Interaktion mit THG-Minderung
<i>Anpassung der Transportstruktur</i>	Transportinfrastruktur bedingt vermehrt extreme Wetterereignisse	Keine Interaktion
<i>Anpassung individueller Fahrzeuge</i>	Photovoltaik zur Fahrzeugkühlung	Synergien
	Hochisolierendes Glas	Synergien
	Hoch sonnenreflektierende Materialien	Synergien

Kurzbeschreibung ausgewählter Beispiele:

- Bei der Planung der Transportinfrastruktur (Straßen, Schienen, Wasserstraßen) sollten vermehrt eine Häufung von extremen Wetterereignissen zur Abwendung von vermehrten Schäden berücksichtigt werden. Die kurzfristige THG-Minderungsmöglichkeit durch eine Veränderung der Transportinfrastruktur ist als vernachlässigbar anzusehen. Langfristig jedoch dürfte diese Thematik große Auswirkungen auf THG-Minderungen haben, da durch die richtige Planung – auch durch den Ausbau der öffentlichen Verkehrsmittel – alltägliche Wegstrecken minimiert und somit das Verkehrsaufkommen, insbesondere der motorisierte Individualverkehr vermindert werden kann (vgl. Wegener Center, TU Graz, Joanneum Research (2010), S 47).
- Zur Sicherung des Nutzungskomforts von Fahrzeugen auch im Falle höherer Temperaturspitzen ist es notwendig, die Innentemperatur der Fahrzeuge stabil zu halten. Dies würde durch Klimaanlage garantiert werden. Jedoch führen konventionelle Klimaanlage zu einem höheren Treibstoffverbrauch (vgl. Weilenmann, Alvarez, Keller, 2010). Aus diesem Grund sollten innovativere Technologien zur Innentemperaturkühlung von Fahrzeugen eingesetzt werden. Zum Beispiel können Photovoltaikanlagen auf dem Fahrzeugdach den Strom für die Kühlung erzeugen ohne zu einem höheren Treibstoffverbrauch zu führen.

Landnutzungssektor:

Tabelle 4: Beispielhafte Übersicht über mögliche Interaktionen im Landnutzungssektor

Anpassungs-/ THG-Minderungsziel	Spezifische Anpassungsmaßnahme	Interaktion mit THG- Minderung
Anpassungsziel: <i>Keine Reduktion der Erträge</i>	Wechsel von Brache-Perioden zu kontinuierlichem Anbau mit Zwischenfrucht/Deckfrucht	Synergien
	Wechsel zu Direktsaat- Bewirtschaftung	Synergien
	Wechsel der Sorten	Potentielle Synergien
	Steigende Verwendung von Mineraldüngern	Trade-Off
Anpassungsziel: <i>Aufrechterhaltung/ Verbesserung der Bodenfunktionen</i>	Waldmanagement mit minimalen negativen Auswirkungen auf den Boden	Synergien
THG- Minderungsziel: <i>Speicherung von Kohlenstoff</i>	Aufforstung und Reduktion von Entwaldung	Potentielle Synergien

Kurzbeschreibung ausgewählter Beispiele:

- Bei steigender Wärme und Trockenheit kann durch den Wechsel zu Direktsaat- Bewirtschaftung eine Steigerung der Wasserspeicherkapazität des Bodens und eine Abnahme der durch das Pflügen verursachten Oxidation des organischen Kohlenstoffs im Boden erreicht werden.
- Der Wechsel der Sorten kann die Resistenz durch z.B. Dürre steigern während der Bedarf nach Düngung und Bewässerung sinkt.

Energiesektor:

Tabelle 5: Übersicht über mögliche Interaktionen im Energiesektor

Anpassungsziel	Spezifische Anpassungsmaßnahme	Interaktion mit THG-Minderung
<i>Erhalt der Energie Angebotssicherheit</i>	Reduktion des elektrischen Bedarfs	Synergien
	Lastenmanagement durch intelligente Stromzähler	Synergien
	Stromspeicherung	Synergien
	Ausreichende Diversifikation von Wasserressourcen für Wasserkraftwerke	Synergien
	Dezentralere Stromgeneration	Synergien (sofern nicht auf Kurzumtriebswäldern basierend)

Kurzbeschreibung ausgewählter Beispiele:

- Trockene Perioden können dazu führen, dass Wasser- sowie Atom- oder fossile Kraftwerke unter ihrer Vollauslastung arbeiten. Dies birgt das Risiko einer Knappheit des Elektrizitätsangebots und von Stromausfällen. Ein Beitrag zur Risikominimierung ist generell die Verminderung der Stromnachfrage (Anpassung). Bei Erhalt des derzeitigen Komforts kann die reduzierte Nachfrage nach Elektrizität zum Teil durch den Austausch von ineffizienten Geräten erreicht werden. Die Reduktion der Elektrizitätsnachfrage wirkt sich also günstig auf die THG-Minderung aus, sofern diese nachhaltig reduziert wird. Zum Beispiel kann eine verminderte Nachfrage nach Elektrizität auch zu einer verminderten Verwendung von auf fossilen Brennstoffen basierender Energie führen, dies würde eventuell auch den Anteil von z.B. Wasserkraft-erzeugtem Strom in Österreich vergrößern. Das bedeutet, dass durch eine verminderte Elektrizitätsnachfrage die verhältnismäßig teurer werdenden fossilen Kraftwerke weniger benötigt werden.
- Bei der Auswahl der Standorte für neue Wasserkraftwerke sollte vermehrt Augenmerk auf die Wassereinzugsgebiete (Vorflutereigenschaften) der entsprechenden Anlagen gelegt werden. Von Gletschern gespeiste Wasserkraftwerke könnten geringer Störanfälligkeit bei trockenen Perioden der kommenden Jahrzehnte aufweisen. Jedoch werden bei stärkerem Rückgang der Gletscher, was durch die sich ändernden Klimabedingungen erwartet wird, diese Kraftwerke in den trockenen Jahreszeiten höchst vulnerabel. Daher ist eine ausreichende Diversifikation und Gleichmäßigkeit der Wasserherkunft für Wasserkraftwerke essential für die Zukunft. Diese Strategie, um nachhaltig die hohe Stromgenerierung durch Wasserkraftwerke zu gewährleisten, begünstigt auch THG-Minderungsbemühungen, da Elektrizität ansonsten alternativ durch andere Technologie generiert würde, wie z.B. fossil betriebene Kraftwerke.

ii.) Decision Support Tool zur Evaluierung einzelner klimarelevanter Maßnahmen

Der weitere Schritt zur Ermittlung eines Climate Action Portfolios bildet ein methodischer Rahmen zur quantitativen Bewertung der Kosteneffizienz von spezifischen, klimarelevanten Maßnahmen unter Berücksichtigung von potentiellen Synergien, Trade-offs und Co-Effekten. Gleichzeitig werden zusätzliche Daten für Österreich bezüglich CO-Effekte von Treihausgasminderungsmaßnahmen berechnet und noch bestehenden Datenlücken in Österreich aufgezeigt.

Die Methodik zur Bewertung von THG-Minderungs- sowie Klimawandelanpassungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Synergien und Trade-offs basiert auf Arbeiten von Pretenthaler, Steiner, Schlamadinger (2006). Diese haben einen methodischen Rahmen entwickelt, welcher die Beurteilung der THG-Minderungsmaßnahmen unter Einbeziehung der induzierten Effekte auf lokale Schadstoffemissionen sowie Wertschöpfung (economic value added) ermöglicht. Diese bestehende Bewertungsmethode beruht dabei auf der einfachen Überlegung, die Kosten von Maßnahmen mit den monetarisierten Auswirkungen auf Umwelt (Emissionen von CO₂ und lokalen Schadstoffen) und Ökonomie gegenüberzustellen. Jene Maßnahmen mit den geringsten Verhältnissen aus Kosten einerseits und ökologischem und ökonomischem Nutzen andererseits werden dabei aus Sicht der Kosteneffizienz am besten bewertet.

Aufbauend auf der Methodik von Pretenthaler, Steiner, Schlamadinger (2006) wurde nunmehr ein Ansatz entwickelt, der die Effizienz von Maßnahmen unter Verwendung folgender Faktoren evaluiert:

- Kosten
- Primäreffekte
- Ökologische Co-Effekte
- Ökonomische Co-Effekte
- Synergien/Trade-offs zu Anpassung an Klimawandel

Dabei kann die grundlegende Systematik vereinfacht folgendermaßen dargestellt werden:

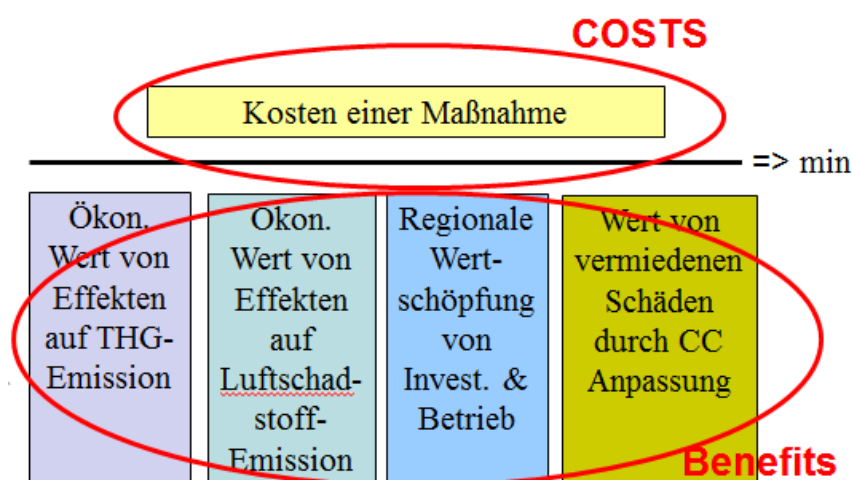


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Decision Support Tools

Die grundlegende Systematik basiert auf einer Gegenüberstellung von Kosten (auf der Zählerseite) und Benefits (auf der Nennerseite). Die Kostenseite der Cost-Benefit-Gegenüberstellung inkludiert neben Implementierungskosten einer Maßnahme (Investition) auch Änderungen in den Betriebs- und Wartungskosten. Der Nenner beinhaltet sowohl ökologische als auch ökonomische Benefits, die durch die Implementierung einer Maßnahme entstehen. Die ökologischen Komponenten davon sind der monetarisierte Wert veränderter Treibhausgasemissionen aufgrund der Maßnahme sowie der monetarisierte Wert von damit einhergehenden Veränderungen lokaler Luftschadstoffemissionen (z.B. Feinstaub). Die ökonomischen Komponenten umfassen einerseits die Veränderung regionaler Wertschöpfung aufgrund der Investition einer Maßnahme und deren Betrieb. Andererseits wird weiters der Wert vermiedener ökonomischen Schäden inkludiert, welcher aufgrund von Klimawandelanpassungsaktivitäten erreicht werden kann. Bei Klimaschutzmaßnahmen mit negativen Auswirkungen auf die Klimawandelanpassung sind dementsprechende Werte erhöhter Vulnerabilität der Wirtschaft zu inkludieren.

Ein Vorteil dieses Decision Support Tools liegt in der einfachen Anwendbarkeit für Entscheidungsträger, da die Systematik des Decision Support Tools auf einer Cost-Benefit-Ratio basiert. Forschungsbedarf ist jedoch insbesondere hinsichtlich der Datenverfügbarkeit von Inputvariablen und –parametern gegeben.

Im Zuge des Projektes „SynAdapt“ konnten jedoch deutliche Erweiterungen der notwendigen Datenbasis durchgeführt werden. Insbesondere zur Bestimmung von Veränderungen lokaler Luftschadstoffe aufgrund von Klimaschutzmaßnahmen wurden Modellierungen durchgeführt. Diese Simulationen basieren auf GAINS (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies), einem Modell der IIASA, welches auf dem EMEP-Modell (European Monitoring and Evaluation Programme) aufbaut. Untenstehende Abbildung zeigt beispielsweise die Reduktionen von Luftschadstoffen (PM_{2.5}, NO_x, SO₂), die als direkte Folge von THG Reduktionen in Österreich bis zum Jahr 2020 relativ zum aktuellen Baseline-Szenario erzielt werden könnten.

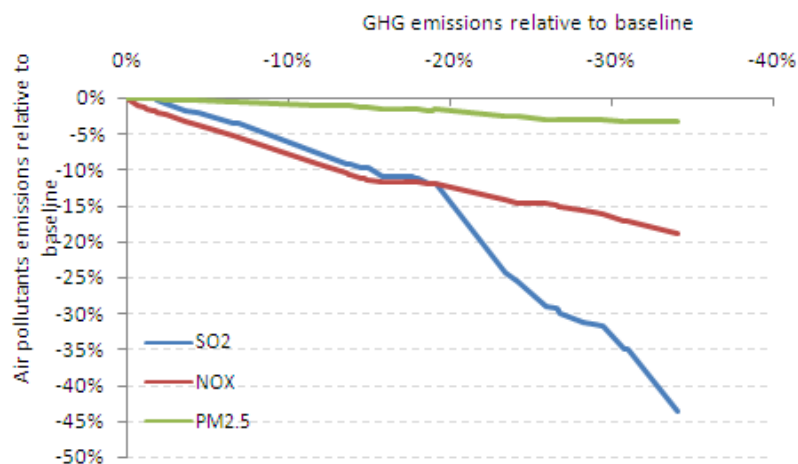


Abbildung 3: Co-benefits der THG-Minderung auf die Luftverschmutzung in Österreich im Jahr 2020
(Ausgangspunkt ist die WEO2009 Baseline der linken oberen Ecke)

Die Grafik illustriert, dass eine moderate Treibhausgas (THG) Reduktion (bis zu einer 20%igen Reduktion unter dem Ausgangswert von 88 MtCO₂eq) bei jeder THG-Reduktion von zwei Prozentpunkten automatisch mit einer Reduktion von einem Prozentpunkt von SO₂ und NO_x einhergeht. Jenseits der 20%-Marke ist der Effekt für SO₂ wesentlich größer: eine weitere THG Reduktion von lediglich zehn Prozentpunkten hätte eine zusätzliche Reduktion von SO₂ um 20% zur Folge.

Abbildung 3 illustriert außerdem die spezifischen Vorteile für die Verwendung von GAINS in dieser Studie: das Baselineszenario spiegelt die aktuelle EU Politik wider (z.B. Euro, KFZ-Normen, IPPC-Richtlinien, etc.), dadurch sind die Ergebnisse in einem internationalem Kontext unmittelbar politisch relevant.

iii.) Skizzierung einer Vorgehensweise zur Zusammenstellung eines Climate Action Portfolios

Zur Evaluierung einzelner klimarelevanter Maßnahmen wurde in Punkt ii.) ein Decision Support Tool vorgestellt. In der Praxis wird jedoch nicht auf einzelne Maßnahmen fokussiert, sondern immer eine Kombination von verschiedenen, klimarelevanten Maßnahmen – ein Climate Action Portfolio (Maßnahmenbündel) – gewählt, um spezifische THG-Minderungs- und Anpassungsziele zu erreichen. Die hier skizzierten Schritte sollten von der Evaluierung einzelner klimarelevanter Maßnahmen hin zur Zusammenstellung eines effizienten und effektiven Climate Action Portfolios (Maßnahmenpakets) führen.

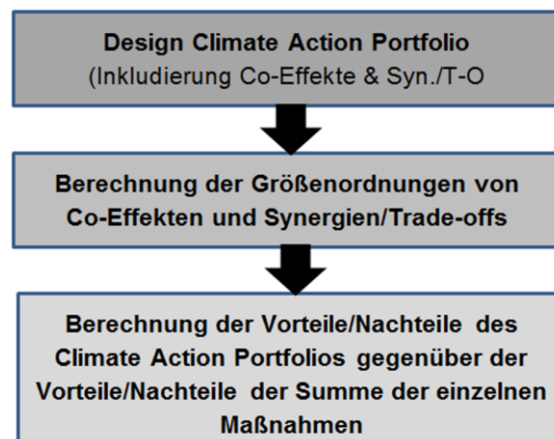


Abbildung 4: Einzelne Schritte der vorgestellten Vorgehensweise

Anfänglich werden Maßnahmen zu einem Climate Action Portfolio zusammengesetzt – beginnend mit jenen Maßnahmen, welche sich aufgrund der Evaluierung als effizient herausgestellt hatten. Dieses Portfolio wird solange um weitere Maßnahmen erweitert, bis gemäß deren Potentialen damit sowohl Klimaschutzziele erreicht werden können, als auch effektiv die Wirtschaft an den Klimawandel angepasst werden kann.

In einem nächsten Schritt werden die Größenordnungen von Co-Effekten als auch von Synergien/Trade-offs des gewählten Climate Action Portfolios erhoben. Dies dient dazu, um die wahren Kosten verschiedener Portfolios, d.h. Implementierungs- und Betriebskosten abzüglich Co-Effekte und Synergien/Trade-offs festzustellen und diese untereinander vergleichbar zu machen.

In einem finalen Schritt wird eine Vorgehensweise skizziert, die es ermöglicht, nicht nur „measure-specific“ Synergien/Trade-offs und Co-Effekten in die Bewertung mit einfließen zu lassen, sondern auch jene Synergien/Trade-offs und Co-Effekte in eine Bewertung mit aufzunehmen, die nur durch das Zusammenwirken von mehreren Maßnahmen entstehen. Folglich können nicht nur die Cost-Benefit-Ratios (CBRs) der einzelnen Maßnahmen (einschließlich Synergien/Trade-offs und Co-Effekte), sondern auch die CBR aus Kombination von Maßnahmen ein entscheidender Faktor sein. Eine detaillierte Vorgehensweise findet sich im Endbericht.

3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In diesem Projekt wurden zunächst wesentliche Wechselwirkungen zwischen THG-Minderungsmaßnahmen (Mitigation) und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (Adaptation) auf qualitativer Ebene mit Schwerpunkt Österreich beschrieben. Danach wurde ein methodischer Rahmen entwickelt, der es erlaubt, Co-Effekte von und Wechselwirkungen zwischen klimarelevanten Maßnahmen quantitativ zu bewerten. Als Co-Effekte werden Zusatzeffekte von klimarelevanten Maßnahmen verstanden, wie beispielsweise die Verringerung von Feinstaubemissionen infolge klimarelevanter Maßnahmen. Synergien (bzw. Trade-offs) zwischen Anpassung und THG-Minderung wurden im Rahmen dieser Studie definiert als „positive (bzw. negative) THG-Minderungseffekte induziert durch eine Anpassungsmaßnahme“ oder „positive (bzw. negative) Anpassungseffekte induziert durch eine THG-Minderungsmaßnahme“. Synergien oder Trade-offs können aber auch durch das direkte Zusammenwirken von zwei oder mehreren Maßnahmen, beispielsweise einer Anpassungsmaßnahme und einer THG-Minderungsmaßnahme, entstehen.

Die qualitative Analyse hat gezeigt, dass sich synergetische Maßnahmen vor allem in den Bereichen Stadtplanung und Gebäude, aber in gewissem Ausmaß auch im Bereich der Land- und Forstwirtschaft und des Energiesektors finden. Beispielsweise kann die Sanierung von Gebäuden einerseits den Heizbedarf senken, andererseits bei fortschreitendem Klimawandel und eventuell einhergehender Erwärmung auch den Kühlbedarf. Neben Synergien gibt es aber auch eine Reihe von Trade-offs, die Entscheidungsträger berücksichtigen sollten, wenn sie Klimaschutz- bzw. Anpassungsmaßnahmen implementieren. Dazu gehören beispielsweise Anpassungsmaßnahmen, die einen höheren Energieverbrauch bedingen, wie der Betrieb einer überregionalen Wasserleitung. Aber auch THG-Minderungsmaßnahmen können negative Anpassungseffekte haben.

Es wurde in weiterer Folge ein bestehender methodischer Rahmen zur quantitativen Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen unter Einbeziehung ihrer Co-Effekte weiterentwickelt. Dabei wurde die Anwendbarkeit des methodischen Rahmens auch auf Anpassungsmaßnahmen ausgedehnt sowie Synergien und Trade-offs von und zwischen Anpassungs- und THG-Minderungsmaßnahmen miteinbezogen. Ausgangspunkt der Bewertung ist die Bildung von Kosten/Nutzen-Verhältnissen, die eine Ranking der einzelnen Maßnahmen nach ihrer Kosteneffizienz erlaubt. Allerdings sollte die Bildung von Kosten/Nutzen-Verhältnissen nicht als einziges Entscheidungskriterium herangezogen werden, da diese zwar die Kosteneffizienz einer Maßnahme bestimmen, jedoch nichts über das Potential zur Zielerreichung von klimarelevanten Maßnahmen sowie über die absoluten Kosten aussagen. Eine Strategie zur Erreichung eines bestimmten THG-Minderungs- bzw. Anpassungsziels muss daher sowohl die Kosteneffizienz als auch die absoluten Reduktionspotentiale eines Maßnahmenbündels, sowie absolute Kosten des Maßnahmenbündels berücksichtigen.

Im Gegensatz zu konventionellen Kosten-Nutzen-Analysen berücksichtigt der methodische Rahmen neben Treibhausgasminderungen auch makroökonomische sowie monetarisierte ökologische Effekte einer Verringerung lokaler Luftschadstoffe. Die potentielle Verringerung von lokalen Luftschadstoffen im Falle von THG-Minderungsmaßnahmen wurde in diesem Projekt für Österreich mit Hilfe des GAINS Modells für das Jahr 2020 quantifiziert. Eine Bewertung der Gesundheitseffekte, insbesondere des statistischen Verlusts von Lebensjahren, wurde exemplarisch in den methodischen Rahmen einbezogen. Dabei wurden Feinstaub („PM_{2,5}“), SO₂ und NO_x berücksichtigt. Es hat sich gezeigt, dass man für moderate THG Reduktionen (bis zu einer 20%igen Reduktion unter dem Ausgangswert von 88 MtCO₂eq) für jede THG Reduktion von zwei Prozentpunkten auch eine Reduktion von einem Prozentpunkt von SO₂ und NO_x erhält. Oberhalb einer THG-Reduktion von 20 % ist der Effekt für SO₂ viel größer, eine darüber hinausgehende THG-Reduktion von lediglich zehn Prozentpunkten würde SO₂ Emissionen um weitere 30% reduzieren. Gleichzeitig ist eine starke Abhängigkeit der Effekte von verschiedenen Grenzkostenintervallen zu erkennen, wie Modelldurchläufe für Österreich mit dem GAINS Modell in diesem Projekt gezeigt haben. Der Großteil der Emissionsreduktionen wird bereits bei Grenzkosten von unter 10€/tCO₂eq

erzielt, für Maßnahmen mit Grenzkosten zwischen 20 und 50€/tCO₂eq wurde eine weitere THG Reduktion von nur 1.4 % beobachtet, wobei CO₂ lediglich um 0.6 % reduziert wird. Es hängt aber auch stark vom Sektor ab, bei welchen Grenzkosten signifikante Effekte auftreten. Beispielsweise treten bei Energieeinsparungen in Gebäuden bereits bei sehr kleinen Grenzkosten hohe NO_x-Einsparungen auf, wogegen signifikante SO₂- und Feinstaubesparungen bei Konversationsprozessen in der Industrie erst bei sehr hohen Grenzkosten zu erwarten sind.

Zur Erreichung von bestimmten Anpassungs- bzw. THG-Minderungszielen unter Berücksichtigung von Co-Effekten und Synergien/Trade-offs wurde eine schrittweise Vorgehensweise zur Erstellung von kosteneffizienten „Climate Action Portfolios“ entwickelt. Diese schrittweise Betrachtung ermöglicht zuerst eine separate Einbeziehung von Synergien/Trade-offs, in einem nächsten Schritt die Berücksichtigung von Co-Effekten bevor beide gemeinsam in die Bewertung mit einfließen. So werden die Größenordnungen beider Effekte sichtbar und Entscheidungsträger erhalten einen Anhaltspunkt, in welchem Ausmaß sich Synergien/Trade-offs bzw. Co-Effekte auf die Bewertung von Maßnahmen auswirken. Ausgehend von dieser integrierten Bewertung einzelner Maßnahmen erlaubt der methodische Rahmen schließlich die Erstellung eines Climate Action Portfolios (Maßnahmenbündel) zur Erreichung von THG-Minderungs- und Anpassungszielen.

Ökologische Co-Effekte der Anpassung, wie eine verbesserte Leistungsfähigkeit von Ökosystemen, was in manchen Fällen positive THG-Minderungswirkungen haben könnte, wurden nicht im methodischen Rahmen berücksichtigt, da es dazu in Österreich noch keine Daten gibt. Durch dieses Ungleichgewicht an Datenverfügbarkeit besteht die Gefahr, dass THG-Minderungsmaßnahmen in der Bewertung tendenziell besser abschneiden als Anpassungsmaßnahmen. Hier herrscht daher noch deutlicher Forschungsbedarf. Auch der vermiedene Verlust an Wertschöpfung durch die Anpassung an sich ändernde klimatische Bedingungen ist für Österreich noch nicht ausreichend quantifiziert.

Auch wenn die Durchführung von synergetischen Maßnahmen kosteneffizienter sein kann, ist es möglich, dass eine Kombination beider Maßnahmentypen auf Hemmnisse stößt: in manchen Sektoren gibt es eine Vielzahl an Akteuren, was einen hohen Koordinationsaufwand bedeuten kann. Dies gilt für politische Entscheidungsträger gleichermaßen wie für private. Ein weiteres Hemmnis sind unterschiedliche Interessen. Selbst bei gleichgerichteten Interessenslagen ist die Koordination verschiedener Akteure oft mit Informations- und Transaktionskosten verbunden. Weiters sind die Effekte verschiedener Maßnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten zu erwarten. Dadurch verschieben sich die Präferenzen vieler Akteure tendenziell hin zu Maßnahmen mit schnell eintretenden Vorteilen. Dies kann verhindern, dass frühzeitige Weichenstellungen für später eintretende Synergien (Beispiel Städteplanung) nicht getroffen oder Maßnahmenbündel mit Trade-offs gewählt werden. Um langfristig das Potential synergetischer Maßnahmen in vollem Umfang nützen zu können, sind für den privaten Akteur entsprechende Anreize zu setzen. Ebenso ist ein koordiniertes Zusammenwirken verschiedener Akteure erforderlich, wofür eine frühe Abstimmung von nationalen und regionalen Anpassungs- bzw. Minderungsstrategien von großer Bedeutung erscheint.

C) Projektdetails

4 Methodik

Alle vorgestellten Methoden beinhalten Kosten (Costs) und Nutzen (Benefits) der Maßnahmen, inklusive sogenannter Co-benefits (Zusatz-/Nebennutzen) und Co-costs (Zusatz-/Nebenkosten).² Zuerst wird die Methodik zur Quantifizierung der Co-Effekte von Treibhausgasminderungsmaßnahmen dann der Bewertung von Synergien und Trade-Offs zwischen Mitigation und Adaption erläutert.

4.1 Analyse des Kosten-Nutzenverhältnis (CBR, aus dem englischen Cost Benefit Ratio)

Prettenthaler, Steiner, Schlamadinger (2006) erarbeiteten eine Formel zur Kosten-Nutzen-Analyse, um die Kosteneffizienz von THG-Minderungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Co-benefits und eventuellen Co-costs zu analysieren. Eine leicht adaptierte Darstellung dieser Formel wird nachfolgend gezeigt. Dabei wird von der von Prettenthaler, Steiner, Schlamadinger (2006) vorgenommenen Normierung der einzufügenden Werte auf eine Tonne CO₂-Reduktion abgewichen. Dies ermöglicht eine Dynamisierung der Ergebnisse bei unterschiedlichen Umsetzungsskalen.

$$\frac{\Delta I}{\left[ER + \sum_{i=j}^k \alpha_i * R_i \right] * \beta + \Delta VA_I} \rightarrow \min$$

Wobei gilt:

ΔI	Netto-Implementierungskosten einer spezifischen THG-Minderungsmaßnahme; $-\infty < \Delta I < \infty$
ER	THG-Emissionsreduktion (in Tonnen CO ₂ eq.); $0 < ER < \infty$
α_i	Gewichtungsfaktor des lokalen Schadstoffs i verglichen mit CO ₂ ; ($i \in j, \dots, k$), $0 \leq \alpha_i < \infty$
R_i	Verhältnis der Reduktion des lokalen Schadstoffs i verglichen mit der Menge an reduziertem CO ₂ eq. induziert durch eine bestimmte THG-Minderungsmaßnahme; $-\infty < R < \infty$
β	Gesellschaftlicher Nutzen einer eingesparten Tonne CO ₂ ; $0 \leq \beta < \infty$
ΔVA_I	Zusätzliche durch Investition und Betrieb induzierte Wertschöpfung einer spezifischen THG-Minderungsmaßnahme (I = Implementierung); $-\infty < \Delta VA_I < \infty$

Der Zähler der obigen Formel repräsentiert die Gesamtkosten einer THG-Minderungsmaßnahme. Genauer gesagt, bezieht sich die Variable ΔI (Netto Implementierungskosten einer spezifischen THG-Minderungsmaßnahme) auf die Höhe der Investition minus den potentiellen Einsparungen an Energiekosten induziert durch diese Maßnahme.

² "Co-Effekte sind Nebeneffekte von Klimaschutzmaßnahmen (Anmerkung: auch von Klimawandelanpassungsmaßnahmen), welche durch diese Maßnahmen zwar nicht primär beabsichtigt werden, jedoch in vielen Fällen durchaus erwünscht sind, wie etwa die Schaffung heimischer Arbeitsplätze"; (Prettenthaler, F., Steiner, D., Schlamadinger, B. (2006): Billige Credits oder heimische Arbeitsplätze?- Zur Evaluierung der Effizienz von Kyotomaßnahmen unter Berücksichtigung von umweltpolitischen und ökonomischen Co-Effekten; in Wirtschaftspolitischen Blättern; Manz Verlag, Hrsg. Wirtschaftskammer Österreich; Band 4/2006, Seite 594)

Der Nenner repräsentiert zum einen monetarisierte Effekte einer induzierten Veränderung der THG-Emissionen und Emissionen lokaler Schadstoffe, zum anderen jedoch auch die ökonomischen Nettoeffekte, welche durch Investition und Betrieb von spezifischen Maßnahmen ausgelöst werden.

Die Umweltkomponente $\left[ER + \sum_{i=j}^k \alpha_i * R_i \right]$ im Nenner zeigt die Umweltauswirkungen von THG-Reduktionsmaßnahmen: neben den durch eine spezifische Maßnahme induzierten THG-Reduktionen (ER) zeigt dieser Term die mit diesen THG-Reduktionen einhergehende Emissionsänderung von lokalen Schadstoffen (R_i). Der Gewichtungsfaktor α_i ermöglicht die Vergleichbarkeit des Schadstoffs i mit CO_2eq , d.h. durch diesen Gewichtungsfaktor wird die Menge der induzierten Schadstoffänderungen in Tonnen CO_2eq ausgedrückt. Der Term $\sum_{i=j}^k (\alpha_i * R_i)$, ($i \in j, \dots, k$), innerhalb der Umweltkomponente ist somit die Summe aller lokal eingesparten Luftschadstoffe j, \dots, k , ausgedrückt in Einheiten CO_2 -Äquivalente. α_i symbolisiert dabei den Schadenswert einer Tonne des Schadstoffs i gemessen am Schadenswert von einer Tonne CO_2 . Die Höhe dieses Gewichtungsfaktors kann je nach Land variieren – seine Höhe wird durch die Bewertung von durch Klimawandel und Schadstoffemissionen ausgelösten Schäden bestimmt.

Die makroökonomischen Effekte einer spezifischen THG-Minderungsmaßnahme sind in dieser Formel mit der Variabel ΔVA_i dargestellt. ΔVA_i zeigt die Änderung der Wertschöpfung welche durch die Investitions- und Betriebstätigkeit einer spezifischen Maßnahme induziert wird.

Vergleich von ökologischen und ökonomischen Effekten:

Um ökologische und ökonomische Effekte einer THG-Minderungsmaßnahme vergleichbar zu machen, bedarf es der Einführung eines weiteren Gewichtungsfaktors, β . Der Wert dieses Faktors ist der gesellschaftliche Nutzen einer eingesparten Tonne CO_2 . Dieser gesellschaftliche Nutzen kann bei verschiedenen Gesellschaften unterschiedlich hoch ausgeprägt sein. Zur Bestimmung des Werts dieses gesellschaftlichen Nutzens einer CO_2 -Reduktion sind einige unterschiedliche Ansätze möglich. Ein möglicher Ansatz dafür ist, Grenzschadenskosten (marginal damage costs) von CO_2 als einen Näherungswert für den gesellschaftlichen Nutzen einer CO_2 -Reduktion heranzuziehen. Jedoch birgt dieser Ansatz den Nachteil, dass geschätzte CO_2 -Schadenskosten mit sehr großen Unsicherheiten behaftet sind. Eine weitere Option eines Näherungswertes des gesellschaftlichen Nutzens einer CO_2 -Reduktion könnte die Wertsumme von diskontierten Emissionsrechten darstellen: inländisch nicht erreichte Emissionsreduktionen müssen durch Zertifikatszukäufe ausgeglichen werden. Da Emissionszertifikate nur Gültigkeit für jeweils eine Verpflichtungsperiode haben, müssen für nicht erreichte inländische Emissionsreduktion auch in späteren Verpflichtungsperioden Zertifikate erworben werden. Jedoch ist zu bedenken, dass der Zeithorizont von heimisch erzielten Emissionsreduktionen auf die (technische) Lebensdauer der implementierten Maßnahme begrenzt ist.

4.2 Grenzen von Kosten-Nutzen-Verhältnissen

Effizienz versus Effektivität

Die resultierenden Kosten-Nutzen-Verhältnisse (CBR) durch Anwendung der obigen Formel geben lediglich Auskunft über die Kosteneffizienz von THG-Minderungsmaßnahme. Diese CBR enthält keine Informationen über die Effektivität (Potential zur Erreichung der Ziele) und absoluten Kosten von Maßnahmen. Das heißt, eine CBR enthält keine Informationen über die Größenordnung von Primäreffekten („Können THG-Reduktionen mit implementierten Maßnahmen überhaupt erreicht werden?“), noch enthalten sie Absolutwerte von zu erwartenden Kosten („Können die intendierten Maßnahmen angesichts von Budgetrestriktionen finanziert werden?“). Aus diesem Grund sollten klimarelevante Maßnahmen nicht nur anhand deren Kosteneffizienz, sondern auch anhand deren Zielerreichungs-Effektivität evaluiert werden.

Nicht-Linearität

Die Berechnung eines einzigen Wertes zur Abbildung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses einer Maßnahme suggeriert eine Linearität dieses Verhältnisses, unabhängig von der Größenordnung der Implementierung („scale of implementation“). Kosten-Nutzen-Verhältnisse einer Maßnahme können sich jedoch mit der Größenordnung der Implementierung verändern. Dies geschieht beispielsweise aufgrund von positiven Skalenerträgen (z.B. sinkende Lernkosten) oder negativen Skaleneffekten (relative Kosten steigen mit steigender Größenordnung). Letzteres ergibt sich häufig durch steigende Schwierigkeiten in der Umsetzung durch z.B. begrenzte Potentiale. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel möglicher Auswirkungen von nicht-linearen CBRs für den Vergleich zweier Maßnahmen.

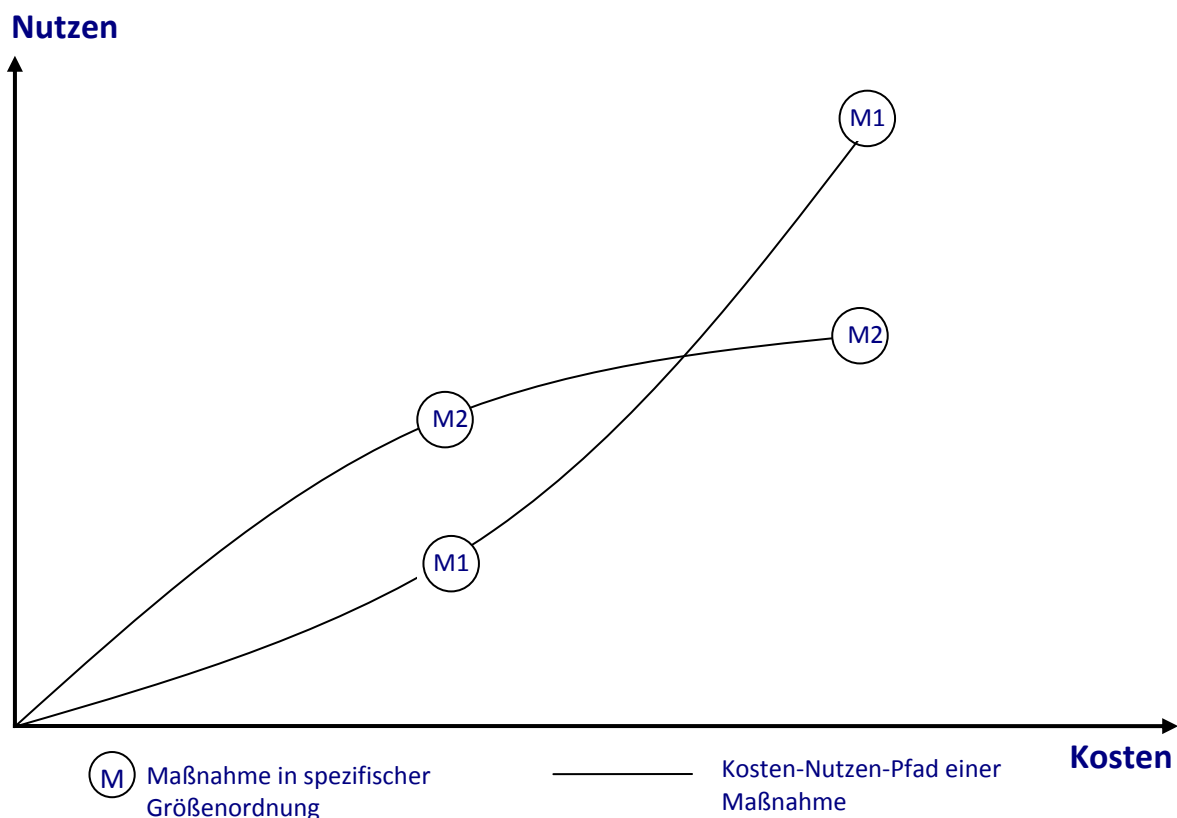


Abbildung 5: Implikationen von nicht-linearen CBRs auf das Ranking (Reihung) von Maßnahmen

In der obigen Abbildung hat Maßnahme eins (M1) ein sich mit steigender Größenordnung verbesserndes Kosten-Nutzen-Verhältnis, während Maßnahme zwei (M2) eine sich verschlechternden CBR aufweist.

Eine vergleichbare CBR beider Maßnahmen besteht in diesem Beispiel nicht nur beim Schnittpunkt der Kurven, sondern auch für eine „kleine“ Maßnahme 2 im Vergleich mit einer „großen“ Maßnahme 1. Zudem zeigt sich deutlich, dass ein Vergleich der CBRs beider Maßnahmen stark von der Größenordnung abhängt. Für „kleine“ Maßnahmen hat M2 den besseren Wert, bei „großen“ Maßnahmen dreht sich in diesem exemplarischen Beispiel das Verhältnis um.

Es ist also festzuhalten, dass die Verwendung eines einzigen Kosten-Nutzen-Verhältnisses pro Maßnahme die Realität unter Umständen nicht hinreichend reflektiert, da relative Kosten wie Grenzvermeidungskosten mit der Größenordnung der Umsetzung entweder ansteigen oder abnehmen können.

4.3 THG-Minderungsmaßnahmen mit Effekten auf Anpassung

Die anfänglich diskutierte, grundlegende Methodik zur Evaluierung von THG- Minderungsmaßnahmen wird nun in einem nächsten Schritt weiterentwickelt und modifiziert. Dieser Schritt resultiert aus der Notwendigkeit, die Auswahl von verwendeten Parametern an die Datenverfügbarkeit anzupassen.

In der ursprünglichen Formel wurden sowohl erreichte THG-Reduktion als auch die Summe von α_i und R_i mit dem Faktor β multipliziert, welcher den gesellschaftlichen Nutzen einer Tonne CO_2 -Reduktion symbolisiert. In der nun weiterentwickelten Formel wird die Bewertung von THG-Reduktionen von der Bewertung lokaler Luftschadstoffe separiert. Für die Monetarisierung von THG-Reduktionen wird weiterhin Faktor β als Näherungswert des gesellschaftlichen Nutzens einer CO_2 -Reduktion verwendet. Für die Bewertung von Luftschadstoffen jedoch wird eine bereits hoch entwickelte und vielfach angewendete Vorgehensweise gewählt: der Parameter Ω repräsentiert dabei den Wert eines verlorenen Lebensjahres (value for a Life-Year-Lost – VOLY). Ω ist somit ein Näherungswert dem eine Gesellschaft einem Jahr eines Menschenlebens beimisst. Wird dieser Parameter Ω mit der Änderung der Lebenserwartung $\Delta\Psi$ - beispielsweise induziert durch Schadstoffeffekte einer THG-Minderungsmaßnahme – multipliziert, ergibt sich der monetarisierte Wert von Änderungen der Luftschadstoffemissionen infolge einer spezifischen THG-Minderungsmaßnahme. Die Änderung der Lebenserwartung $\Delta\Psi$ wird hierbei in „Years of Life Lost“ (YOLL) ausgedrückt. Siehe weiter unten für eine detaillierte Beschreibung der Parameter.

Eine zusätzliche Weiterentwicklung der Basisformel von Prettenthaler, Steiner, Schlamadinger (2006) stellt die Inkludierung von potentiellen makroökonomischen Effekten dar, welche aus verbesserter/verschlechterter Anpassung an den Klimawandel infolge von THG-Minderungsmaßnahmen resultieren (z.B. Auswirkungen auf die Schneesicherheit, Gefahr von Überschwemmungen, etc.). Hierfür wird die obige Basismethode um den Term $\Delta\text{VAa} - \Delta \text{Value Added Anpassung}$ – erweitert. ΔVAa zeigt die Differenz von wirtschaftlichem Output in einer Situation ohne Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, verglichen mit einer Situation, in welcher der Vulnerabilität infolge von Klimawandel (z.B. geringere Schneesicherheit) mit geeigneten Anpassungsmaßnahmen begegnet wird. Der Vollständigkeit halber ist hinzuzufügen, dass selbst ohne aktive Forcierung von Anpassungsmaßnahmen zu einem gewissen Grad exogene (spontane) Anpassung durchgeführt wird.

Ausgehend von der oben diskutierten Basisformel inkludiert die neue Formel daher nicht nur Primär- und Co-Effekte (ökologisch und ökonomisch) von THG- Minderungsmaßnahmen. Vielmehr kommt es durch diesen weiteren Entwicklungsschritt zu einer Einbeziehung von potentiell vermiedenen Wertschöpfungsverlusten, welche aus einer unterlassenen Anpassung der Wirtschaft an den Klimawandel resultieren können. Diese weiterentwickelte Formel zur Reihung von THG-Minderungsmaßnahme unter Berücksichtigung von Anpassungseffekten ist nachfolgend dargestellt.

$$\frac{\Delta I}{\Delta E \times \beta + \Omega \times \Delta \Psi + \Delta VA_I + \Delta VA_a} \rightarrow \min$$

Wobei gilt:

ΔI	<i>Netto-Implementierungskosten einer spezifischen THG-Minderungsmaßnahme; $-\infty < \Delta I < \infty$</i>
ΔE	<i>Veränderung von THG-Emissionen, Tonnen CO₂eq; $0 < \Delta E < \infty$</i>
β	<i>Gewichtungsfaktor zum Vergleich von Wertschöpfung mit einer reduzierten Tonne CO₂; $0 \leq \beta < \infty$</i>
Ω	<i>Value of statistical life year (VOLY); $0 \leq \Omega < \infty$</i>
$\Delta \Psi$	<i>Change in years of life lost (YOLL); $-\infty < \Delta \Psi < \infty$ (positiver Wert = Jahre an verlorenen Lebensjahren)</i>
ΔVA_I	<i>Zusätzliche durch Investition und Betrieb induzierte Wertschöpfung einer spezifischen THG-Minderungsmaßnahme (I = Implementierung); $-\infty < \Delta VA_I < \infty$</i>
ΔVA_a	<i>Vermiedener Verlust an Wertschöpfung durch die Anpassung an sich ändernde klimatische Bedingungen; $-\infty < \Delta VA_a < \infty$</i>

Ein Beispiel zur Anwendung dieser weiterentwickelten Bewertungsmethode ist die thermische Gebäudesanierung, welche nicht nur zu geringerem Heizungsbedarf führt, sondern auch den Wärmeeintrag in warmen Jahreszeiten und somit den Kühlungsbedarf reduziert.

4.4 Ermittlung der Co-Benefit Koeffizienten-Berechnung neuer Daten mit dem GAINS Modell

Für den methodischen Rahmen wurden soweit es sich um Klimaschutzmaßnahmen handelt für Österreich eine verbesserte Datengrundlage generiert. Zuerst wurden mit dem GAINS Modell Maßnahmen identifiziert, die bei drei unterschiedlichen Grenzkosten kosteneffizient sind, nämlich 10€/tCO₂eq, 20€/tCO₂eq und 50€/tCO₂eq. Für jede dieser Maßnahmen wurden Co-Benefits hinsichtlich Luftverschmutzung berechnet. Diese Co-Benefits wurden zunächst als Emissionsreduktionen von Luftschadstoffen pro reduzierte Einheit CO₂ ausgedrückt und „Co-Benefit-Koeffizienten“ genannt. Der Gesamteffekt einer THG Maßnahme wurde dann berechnet, indem man den Co-benefit Koeffizienten mit dem Potential für eine THG Reduktion für diese Maßnahme multipliziert.

Die Co-Benefit-Koeffizienten wurden mithilfe von Emissionsfaktoren für all jene Technologien berechnet, die für die Berechnung der THG-Minderung relevant sind. Indirekte Emissionsreduktionen (von Stromeinsparungen) wurden zuerst für den Kraftwerkssektor berechnet und konnten zu den direkten Emissionsveränderungen addiert werden. Auch strukturelle Veränderungen im Kraftwerkssektor mussten berücksichtigt werden.

Wenn zum Beispiel eine Maßnahme den Stromverbrauch reduziert, verringert sich die Stromproduktion um die gleiche Menge. Dies ist mit einer Reduktion des fossilen Brennstoffs verbunden, der ansonsten CO₂ Emissionen und Luftschadstoffe produziert hätte. Also verringert Stromsparen den Kohleverbrauch in Kraftwerken, und im GAINS Modell wird angenommen, dass es sich dabei um „durchschnittliche“ Kohlekraftwerke handelt, die also weder besonders umweltfreundlich, noch besonders „schmutzig“ Strom produzieren. In der Praxis kann es sein, dass die ineffizientesten Kraftwerke abgeschaltet werden. Wenn sich – für gegebene Grenzkosten – auch der Treibstoffmix der fossilen Energieträger für den gesamten Sektor ändert, zum Beispiel wenn der Kohleverbrauch zugunsten des Gasverbrauchs reduziert wird, berücksichtigen wir die Emissionen von allen relevanten Anlagen vor und nach dem Switch und berechnen die Differenz: Dies ist dann die durchschnittliche Menge an Emissionen, die durch den Wechsel im System reduziert wurden. Auch hier nehmen wir an, wenn wir mehr Gasverbrauch beobachten als wir angenommen haben, dass dieser in einem Kraftwerk verbraucht wird, welches die durchschnittlichen Charakteristika eines Gaskraftwerkes in Österreich aufweist. Abermals könnte in der Praxis

diese zusätzliche Menge an Gas von einer neu gebauten Anlage konsumiert werden, die höhere Emissionsstandards als ein durchschnittliches Gaskraftwerk hat, jedoch kann dieser Unterschied nicht in GAINS modelliert werden. Andererseits könnte solch eine Annahme auch zu optimistisch sein und so ist der Ansatz von GAINS durchaus robust, mit den Durchschnittswerten zu rechnen³.

Die Höhe der reduzierten Luftverschmutzung als eine direkte Folge der THG-Minderung hängt von den spezifischen, tatsächlich getroffenen Maßnahmen ab. Für Maßnahmen, die den Stromverbrauch reduzieren, muss daher berücksichtigt werden, wie sich der Kraftwerkssektor verändert, d.h. welcher eingesetzte Brennstoff reduziert wird, da jeder Brennstoffverbrennungsprozess andere Emissionscharakteristika aufweist. Jedoch hängt die genaue Veränderung des Kraftwerkssektors von den Grenzkosten ab: bei geringen Grenzkosten wird beispielsweise der Verbrauch von Kohle reduziert, während bei höheren Grenzkosten der Kohleverbrauch bereits beim Minimum angelangt ist und die Einsparung von Erdgas kosteneffizient ist. Oillustriert diesen Effekt. Der relative Co-Effekt auf die Schadstoffemissionen wird gezeigt, wobei alles auf die Reduktion von einer Tonne CO₂ normiert wird. Es wurde beobachtet, dass dieser Co-Effekt für verschiedene Schadstoffe und Sektoren verschieden groß ist, dass aber generell der PM_{2.5} Co-Effekt am kleinsten ist.

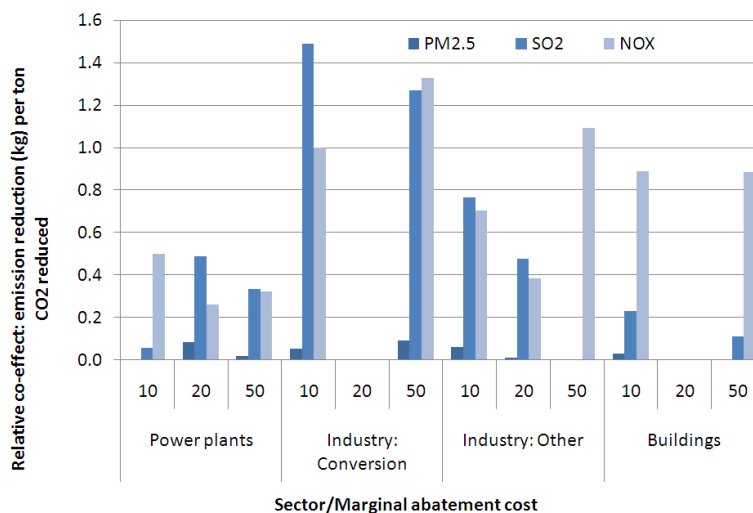


Abbildung 6: Der relative Co-Effekt: Emissionsreduktionen der wichtigsten Luftschadstoffe als Folge einer Reduktion von einer Tonne CO₂ in den Verbrennungssektoren

Tabelle 6: Relativer Co-Effekt (Daten entspreche Abbildung 6 [kg pollutant/tCO₂])

	Kraftwerke			Industrie: Raffinerien			Industrie: Andere			Gebäude		
	10	20	50	10	20	50	10	20	50	10	20	50
[€/tCO ₂ e q]												
PM _{2.5}	0.005	0.085	0.019	0.054	0.000	0.092	0.062	0.011	0.000	0.032	0.000	0.005
SO ₂	0.057	0.489	0.336	1.488	0.000	1.268	0.764	0.476	0.000	0.229	0.000	0.112
NO _x	0.499	0.261	0.323	1.001	0.000	1.328	0.704	0.386	1.093	0.887	0.000	0.885

³ Weitere bei der Modellierung getroffene Annahmen sind dem Endbericht zu entnehmen

Manche der in GAINS präsentierte Maßnahmen wie Effizienzverbesserungen, reduzieren tatsächlich den direkten Brennstoffverbrauch als auch den Stromverbrauch. Daher muss man die indirekten Effekte von vorgelagerten (Upstream) Emissionen berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurde der gewichtete Durchschnitt der direkten und indirekten Emissionsreduktionen genommen, das Ergebnis sieht man in Abbildung 6, bei der die gleiche Skala wie in Abbildung 5 verwendet wurde.

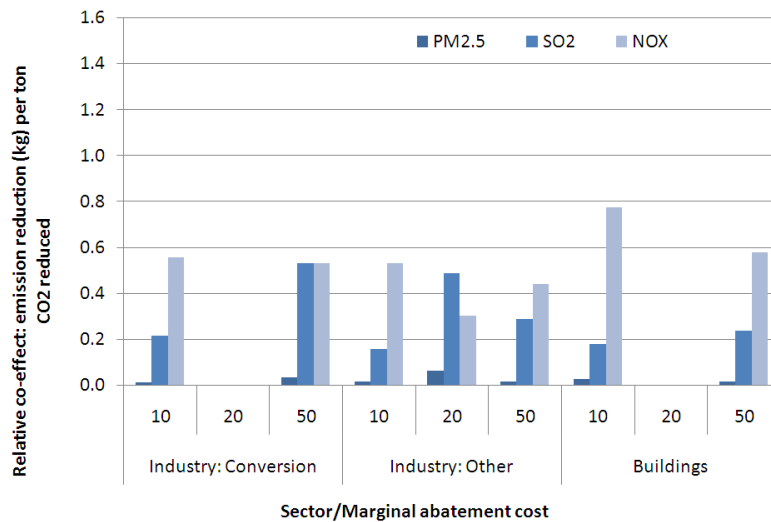


Abbildung 7: Emissionsreduktionen der wichtigsten Luftschadstoffe als Folge einer Reduktion von einer Tonne CO₂ in den Verbrennungssektoren, bei denen man den gewichteten Durchschnitt von direkten und indirekten Emissionsreduktionen nimmt

Stromeinsparungen haben für Maßnahmen im Industriesektor ein höheres Gewicht als im Bausektor, das heißt in der Industrie sind die indirekten Emissionsreduktionen höher als die direkten Emissionsreduktionen. Diese Maßnahmen im Bausektor reduzieren proportional mehr direkten Brennstoff als Strom und dadurch haben die Balken in beiden Abbildungen eine ähnliche Höhe.

Tabelle 7: Relativer Co-Effekt der Reduktion von einer Tonne CO₂ im Verbrennungssektor, unter Berücksichtigung der vorgelagerten (upstream) Emissionen des Kraftwerkssektors in den Stromsparmaßnahmen. [kg Schadstoff/tCO₂]

	Industrie: Raffinerien			Industrie: Andere			Gebäude		
	10	20	50	10	20	50	10	20	50
[€/tCO ₂ eq]									
PM _{2,5}	0.011	0.000	0.034	0.013	0.061	0.016	0.024	0.00	0.013
SO ₂	0.212	0.000	0.528	0.157	0.485	0.285	0.178	0.00	0.235
NO _x	0.554	0.000	0.529	0.528	0.301	0.441	0.771	0.00	0.576

Die Zahlen in Tabelle 7 können unter bestimmten Annahmen (siehe Endbericht) als die Werte des Koeffizienten R_i (siehe Formeln auf Seite 16) benutzt werden.

Bestimmung der relativen Wirkung von Luftschadstoffen auf die Gesundheit:

Feinstaub (PM_{2.5}) in der Atemluft führt zu einer Verkürzung der Lebenserwartung. Studien, (z.B. Pope et al. 1995, Pope et al. 2002) deuten darauf hin, dass dies kein Schwellenwert-Effekt ist, sondern dass auch geringe Konzentrationen die Lebenserwartung verringern. Weiters scheint es eine lineare Beziehung zwischen der Feinstaubkonzentration und dem statistischen Verlust von Lebensjahren zu geben. Es wurde berechnet, dass die Lebenserwartung im Jahr 2000 durch Feinstaub in Europa durchschnittlich acht Monate verkürzt wurde. Mit der aktuellen Gesetzgebung zur Luftqualität reduziert sich dieser Verlust im Jahr 2020 auf 4.1 Monate, für Österreich liegen die jeweiligen Werte bei 7.4 beziehungsweise 3.7 Monaten (GAINS Berechnungen, 2009).

Feinstaub in der Luft kann verschiedene Ursachen haben: erstens kann er direkt emittiert werden, zum Beispiel als Rückstand von unvollständigen Verbrennungsprozessen, von Produktionsprozessen (z.B. Zement) oder aufgewirbeltem Staub. Zweitens können die Partikel aus Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat bestehen, die sich aus sogenannten Vorläufersubstanzen wie SO₂ und NO_x bilden; diese werden sekundäre, anorganische Aerosole genannt. Und drittens kann es noch andere Komponenten von PM_{2.5} geben die im vorliegenden Zusammenhang allerdings nicht relevant sind. Für den Zweck der aktuellen Analyse hängt die Massenkonzentration des Feinstaubes von den Emissionen von primäre Feinstaub (PM_{2.5}) ab, sowie von SO₂, NO_x und NH₃. Da die Co-Effekte von THG-Minderung auf NH₃ nicht bedeutend sind, kann wir für den vorliegenden Zweck angenommen werden, dass die NH₃ Emissionen konstant bleiben, sodass die PM_{2.5} Konzentrationen abhängig sind von primären PM_{2.5}, SO₂ und NO_x.

Die Berechnung von PM_{2.5} Konzentrationen aus den Emissionswerten kann sehr komplex sein und beinhaltet nicht-lineare chemische Transportvorgänge. Solche Prozesse werden in Computermodellen mit einem geeigneter Auflösung abgebildet: da Schadstoffe über nationale Grenzen hinweg transportiert werden können, braucht man Modelle, die über nationale Grenzen hinausreichen. In GAINS wird die Komplexität der Rechnungen verringert, indem einige pragmatische Annahmen gemacht werden:

- Da die Ergebnisse primär relevant für Entscheidungsträger und nicht für Wissenschaftler sein sollen, war die erste Anforderung an GAINS, dass das Modell vor allem in der Lage ist, die *Unterschiede* in den Konzentrationen zu berechnen, die als Folge einer Emissionsreduktion auftreten. Das heißt, dass das Modell nur in einem bestimmten, kleinerer Gültigkeitsbereich akkurat rechnen können muss. Dies wird durch sogenannte Quellen-Rezeptor-Beziehungen erreicht, die aus komplexen chemischen Transportmodellen abgeleitet werden (in diesem Fall das EMEP Modell)⁴. Die Quellen-Rezeptor-Beziehungen werden mithilfe eines großen Ensembles von Simulationen mit dem EMEP Modell berechnet, jeweils mit leicht verschiedenen Emissionswerten. Die Unterschiede in den Konzentrationen können systematisch mit den verschiedenen Emissionswerten verknüpft werden und so können die Ergebnisse als sogenannte *Transfermatrizen* dargestellt werden.
- Es ist wichtig, dass die *absoluten Konzentrationslevel* von komplexen Modellen mit GAINS reproduziert werden. Dies kann man erreichen, indem man Transfermatrizen dazu benutzt, affine Konstanten in den Quelle-Rezeptor Beziehungen zu kalibrieren. Dies erlaubt es, GAINS *innerhalb eines plausiblen Bereiches* sehr effizient auszuführen, als reduzierte Version von EMEP.
- Das EMEP Modell arbeitet mit einem Raster welches eine Zellgröße von 50kmx50km hat, d.h. die PM_{2.5} Konzentration kann in jeder Gitterzelle berechnet werden. Im vorliegenden Kontext wurde der Fokus auf die Effekte auf nationaler Ebene für Österreich gelegt, deshalb wurde der mit der Bevölkerung gewichteten Durchschnitt aller Gitterzellen die Österreich erfassen verwendet. Die Gewichtung erfolgt mithilfe der Bevölkerungsdichte, da der statistische Verlust von Lebensjahren nicht nur von der Konzentration von PM_{2.5} abhängt, sondern auch davon, wie viele Menschen dem Schadstoff ausgesetzt sind. Da das THG-Minderungsmodul von GAINS ohnehin auf nationaler Ebene arbeitet (in GAINS kann nicht festgestellt werden, ob ein Windpark in Vorarlberg oder in Niederösterreich gebaut wird), ist dieses Vorgehen richtig und konsequent.

⁴ (Simpson et al. 2003)

- Das Konzentrationsfeld einer bestimmten Region hängt von den meteorologischen Bedingungen, wie Temperatur, vorherrschende Windgeschwindigkeit und Niederschlag ab. Das EMEP Modell modelliert die meteorologischen Bedingungen der Zukunft nicht, jedoch kann es mit meteorologischen Daten der vergangenen Jahre gespeist werden. Insbesondere wurde zur Steigerung der Robustheit in einer Analyse im Rahmen der EU-Luftreinhaltungspolitik die durchschnittliche Meteorologie der Jahre 1997 – 2003 benutzt (ein 5-Jahresdurchschnitt mit Ausnahme des eher untypischen Jahr 2000), und so wurde dies hier ebenfalls gemacht.

Um die relative Wirksamkeit der emittierten (oder eher reduzierten) Luftschadstoffe in Österreich festzustellen, muss der (mit der Bevölkerung gewichteten) Transferkoeffizienten von Österreich nach Österreich für primäre PM_{2,5}, SO₂ und NO_x abgelesen und ihre relative Größe festgestellt werden. Dabei zeigt sich, dass sich die Konzentration von PM_{2,5} um 0.04066 Mikrogramm pro Kubikmeter reduziert für jede Kilotonne die an primärem PM_{2,5} weniger emittiert wird. Vergleicht man dies mit den Koeffizienten für SO₂ und NO_x, so beobachtet man, dass sich die Konzentrationen von PM_{2,5} aufgrund der Reduktion der primären PM_{2,5}, SO₂ und NO_x im Verhältnis von etwa 100:16:8 verändern. Das bedeutet, dass der gleiche Gesundheitseffekt entweder aus der Reduktion einer Tonne primären PM_{2,5}, oder rund 6 Tonnen SO₂ oder 12.5 Tonnen NO_x resultiert.

Tabelle 8: Übersicht über Transferkoeffizienten und relative Wirksamkeit zum Beitrag für PM_{2,5} Konzentrationen in Österreich für die relevanten Luftschadstoffe

	Transfer Koeffizient	relative Wirkung
Primäre PM _{2,5}	0.04066	100%
SO ₂	0.00658	16%
NO _x	0.00320	8%

Die Einheit des Transferkoeffizienten ist µg/m³ pro kt Emissionen.

Eine Veränderung in der mit der Bevölkerung gewichteten Konzentration kann damit ausgedrückt werden als:

$$\Delta PM_{2,5}^{popw} = 0.04066 \cdot \Delta Em(PM_{2,5}^{prim}) + 0.00658 \cdot \Delta Em(SO_2) + 0.00320 \cdot \Delta Em(NO_x)$$

Bewertung der verringerten Luftverschmutzung

Im vorangegangenen Kapitel wurde beschrieben, wie Emissionsveränderungen der verschiedenen Luftschadstoffe in Österreich die Feinstaubkonzentration PM_{2,5} in Österreich beeinflusst. In diesem Kapitel wird die Frage behandelt, wie Veränderungen in der PM_{2,5} Konzentration einen bestimmten Indikator der Gesundheitswirkungen beeinflusst, nämlich den Verlust von statistischen Lebensjahren, gemessen in der Einheit Years of Life Lost (YOLL). Da die Analyse für ein bestimmtes zukünftiges Jahr mit einer gegebenen Populationsgröße durchgeführt wird, kann der Indikator direkt in den Verlust der Lebenserwartung umgerechnet werden. Eine Verbesserung der Luftverschmutzung führt somit zu einer Verringerung der YOLLs und einer Erhöhung der Lebenserwartung.

Eine Veränderung in der Konzentration von PM_{2,5} kann direkt proportional zu einer Veränderung in YOLL modelliert werden (in der Tat wird das in GAINS so gemacht). Die lineare Beziehung ist eine Approximation des Cox Proportional Hazard model (Mechler et al. 2002), und berücksichtigt Informationen aus Sterbetafeln und leitet relative Risiken aus Kohortenstudien ab. Es genügt hier zu sagen, dass die folgende Beziehung in GAINS gilt:

$$\Delta YOLL = \varphi_2 \cdot 0.005827 \cdot 5 \cdot POP_{30} \cdot \Delta PM_{2,5}^{popw}$$

wobei φ_2 eine Konstante ist, die aus Sterbetafeln abgeleitet werden kann. Der Wert für Österreich ist 1.791. POP_{30} bezeichnet jenen Teil der Bevölkerung, der über 30 Jahre alt ist (für Österreich im Jahr 2020: 5.475.000), und $\Delta PM_{2,5}^{popw}$ ist die Veränderung in PM_{2,5} mit der Bevölkerung gewichteten Konzentration von PM_{2,5}, wie oben

berechnet. Der Faktor 5 berücksichtigt lediglich die Tatsache, dass Sterbetafeln von denen die relativen Risikofaktoren abgeleitet wurden, für 5 Jahres-Kohorten gegeben sind.

Nun können die Veränderungen der THG Emissionen mit den Veränderungen der Emissionen der Luftschadstoffe, den Veränderungen in PM_{2,5} Konzentrationen und den Veränderungen in YOLL in Beziehung gesetzt werden. Um dieses mit der generellen SYNADAPT Methodik zu verbinden, braucht man zusätzlich eine Bewertung der Veränderungen von YOLL um diese dann auf der gleichen Skala wie die anderen Werte von Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen zu haben. Deshalb wird YOLL oft monetarisiert, womit das Gebiet der gut etablierten und robusten GAINS Analyse verlassen und das Gebiet der unsicheren ökonomischen Bewertung betreten wird.

Zuerst ist anzumerken, dass YOLL gleich dem Verlust der Lebenserwartung multipliziert mit der Anzahl der Personen über 30 ist. Um nun die jährlichen Gesundheitsvorteile für ein bestimmtes Jahr zu bewerten, muss die jährliche Anzahl der verlorenen Lebensjahre geschätzt werden. Dies passiert, indem zuerst die Approximation durch die durchschnittliche verbleibende Lebenserwartung der über 30-jährigen dividiert wird. Im Allgemeinen gilt:

$$\Delta HB = -VOLY \cdot \Delta YOLL / \langle LE_{30+} \rangle$$

wo ΔHB die Veränderung des Gesundheitsvorteils ist, VOLY ist der Wert für ein verlorenes Lebensjahr, $\langle LE_{30+} \rangle$ ist die durchschnittliche verbleibende Lebenserwartung eines über-30-jährigen und das Minuszeichen berücksichtigt die Tatsache, dass, wenn YOLL reduziert wird die Lebenserwartung der Bevölkerung steigt, d.h. ΔHB ist positiv. Hier wird davon ausgegangen: $\langle LE_{30+} \rangle = 30$.

Besonders umstritten ist der Wert von VOLY. Ökonomen haben versucht, diesen Wert mithilfe von verschiedenen Ansätzen, einschließlich der willingness-to-pay Methode zu schätzen. In dieser Studie wurde der AEA Technology Environment 2005 gefolgt, die einen mittleren Wert von 52.000 €/Jahr und einem Medianwert von 120.000 €/Jahr benutzen, jedoch soll hier nochmals erwähnt werden, dass der Ansatz oft abgelehnt wird. Werte für VOLY und YOLL finden Eingang in die obigen Formeln. Es ist sinnvoll, verschiedene Wahlmöglichkeiten der Werte für VOLY zu berücksichtigen, ohne den einen oder anderen zu bevorzugen, sondern vor allem, um den Größeneffekt zu illustrieren.

5 Arbeits- und Zeitplan

	Feb.09	Mär.09	Apr.09	Mai.09	Jun.09	Jul.09	Aug.09	Sep.09	Okt.09	Nov.09	Dez.09	Jän.10	Feb.10	Mär.10	Apr.10	Mai.10
AP1: Übersicht über klimapolitische Maßnahmen/Analyse von Synergien und Trade-offs																
AP2: Erarbeitung eines Indikatorensets/der methodischen Grundlagen																
AP3: Methodendiskussion und Workshop																
AP4: Aufbau einer Datenbasis																
AP5: Schlussfolgerungen																

6 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Vorträge/Publikationen SynAdapt:

Steiner D., Tuerk A., Frieden D., Wagner F., Pretenthaler F. (2011): Air quality and climate change – integrated decision support for policy makers; Beitrag zu Proceedings der Konferenz „Air quality and climate change – Interactions and Feedback; 14. September 2011 ;Urbino, Italien

Steiner D., Frieden D., Türk A. (2011): Air quality and climate change – integrated decision support for policy makers; Vortrag im Rahmen der Konferenz „Air quality and climate change – Interactions and Feedback; 14. September 2011 ;Urbino, Italien.

Steiner, D. (2012): Synergies between climate change adaptation and mitigation – Assessing the potential of mutual co-effects. Gastvortrag im Rahmen der “Reacting Atmosphere Academy”, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal (D), 03.02.2012.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.