Foto: gettyimages

# Teil 3: Minderung

## Autorinnen und Autoren


**Daniel Bretscher**
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Forschungsgruppe Klima und Lufthygiene, Agroscope, Zürich

**Dr. Peter de Haan**
Partner, Gruppenleiter Energiepolitik und Mobilität, Ernst Basler + Partner, Zollikon

**Prof. Dr. Adrienne Grêt-Regamey**
Professorin für Planung von Landschaft und Urbanen Systemen, Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung (IRL), ETH Zürich

**Prof. Dr. Reto Knutti**
Professor für Klimaphysik, Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich

**PD Dr. Jens Leifeld**
Leitender Forscher, Forschungsgruppe Klima und Lufthygiene, Agroscope, Zürich

**Prof. Dr. Dirk Messner**
Direktor, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, Bonn

**Dr. Christoph Ritz**
Bis März 2016: Geschäftsleiter, ProClim – Forum für Klima und globalen Wandel, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern

**Dr. Carmenza Robledo Abad**
Assoziierte leitende Wissenschaftlerin, USYS-TdLab (Transdisziplinaritätslabor) und Gruppe Klimaschutz und -anpassung, ETH Zürich

**Dr. Joeri Rogelj**
Forschungsstipendiat, Energieprogramm, Internationales Institut für angewandte Systemanalyse (IIASA), Laxenburg
Bis Juni 2014: Postdoktorand, Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich

**Dr. Regine Röthlisberger**
Sektionschefin, Sektion Klimaberichterstattung und -anpassung, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen

**Prof. Dr. Jean-Louis Scartezzini**
Professor für Bauphysik, Leiter Laboratorium für Sonnenenergie und Bauphysik (LESO-PB), ETH Lausanne

**Prof. Dr. Renate Schubert**
Professorin für Nationalökonomie, Institut für Umweltentscheidungen (IED), ETH Zürich

**Prof. Dr. Philippe Thalmann**
Professor für die Ökonomie der Natürlichen und Gebauten Umwelt, Institut für Architektur und Städtebau, ETH Lausanne

**Prof. Dr. Alexander Wokaun**
Leiter, Forschungsbereich Energie und Umwelt, Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen

# Dekarbonisierung – Transformation zur Klimaverträglichkeit

**Die globale Erwärmung kann nur mit internationaler Kooperation und einer kohlenstoffarmen, klimaverträglichen Weltwirtschaft abgebremst werden. Der Umbruch zu einer solchen Weltwirtschaft geht über den klassischen Strukturwandel in einer Marktwirtschaft hinaus und beinhaltet umfassende Prozesse des Wandels. Verschiedene Gründe sprechen dafür, von einer «Grossen Transformation» zu sprechen – die möglicherweise nur vergleichbar ist mit der jungsteinzeitlichen sowie der industriellen Revolution, den zwei grossen Zivilisationsschüben in der bisherigen Geschichte der Menschheit.**

*Dirk Messner (Deutsches Institut für Entwicklungspolitik)*

Auch radikale Minderungen der Treibhausgasemissionen der Mitgliedstaaten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) reichen nicht mehr aus, um die 2-Grad-Leitplanke einzuhalten. Zwischen 1990 und 2013 sind die jährlichen Treibhausgasemissionen der OECD-Länder (also der Gruppe der Industrienationen) von gut 11 auf rund 13 Gigatonnen $CO_2$ gestiegen und stagnieren seitdem in etwa auf diesem Niveau. Die Emissionen der Nicht-OECD-Länder haben sich im gleichen Zeitraum von 10 auf 20 Gigatonnen erhöht, insbesondere infolge des hohen Wachstums in den Schwellenländern (OECD 2010; Kaplinsky & Messner 2008). Setzen sich die derzeitigen Trends fort, dürften sich die Emissionen der OECD-Länder zwischen 2010 und 2040 auf einem Niveau von jährlich etwa 12 bis 13 Gigatonnen einpendeln, während die Emissionen der Nicht-OECD-Länder in diesem Zeitraum von jährlich 20 auf gut 30 Gigatonnen ansteigen würden (IPCC 2014/WGI-II/Chap.7). Die globale Erwärmung kann daher nur noch im Zusammenspiel von Industrie- und Schwellenländern abgebremst werden (Abb. 3.1). Und ein wirksamer Klimaschutz ist nur noch möglich, wenn die grundlegenden Wachstumsmuster in der Weltwirtschaft klimaverträglich gestaltet werden.

## Kohlenstoffarme Weltwirtschaft

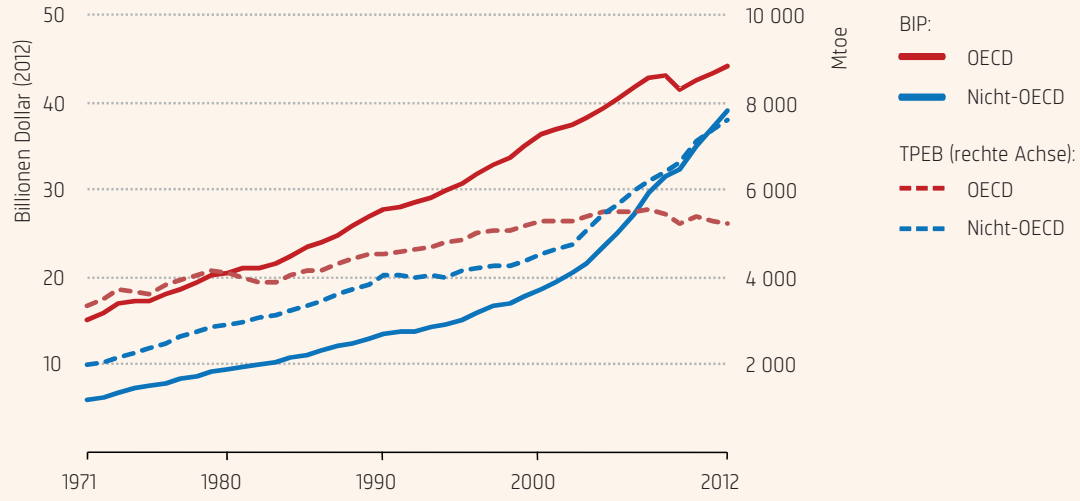
Globaler Klimaschutz ist zu einem Synonym für den Aufbau einer kohlenstoffarmen Weltwirtschaft geworden (Messner 2015, World Bank 2012 & 2014). Der Aufbau einer klimaverträglichen Weltwirtschaft erfordert Dekarbonisierungsprozesse in drei zentralen Basisinfrastrukturen der globalen Ökonomie (WBGU 2011; IPCC 2014/WGIII) (s. a. Kap. 3.4 Energie, S. 168):

- in den weltweiten Energiesystemen, die für etwa 70 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich sind,
- in der Landnutzung (Waldnutzung, Landwirtschaft), auf die etwa 25 Prozent der Emissionen entfallen und
- in städtischen Räumen, weil ein grosser Teil der Emissionen auf die Bedürfnisfelder Wohnen (Gebäude) und Mobilität in Städten zurückzuführen ist.

Die Urbanisierung ist von besonderer Bedeutung, weil die Zahl der Menschen, die in städtischen Räumen lebt, von derzeit drei auf sechs Milliarden Menschen im Jahr 2050 ansteigen wird (WBGU 2016). Bei Gebäuden und Mobilitätssystemen handelt es sich um Infrastrukturen, die sich nur sehr langsam anpassen lassen und daher die Emissionspfade für viele Jahrzehnte prägen werden (IEA 2010). Aus Perspektive des Klimaschutzes ist von grosser Bedeutung, ob der Urbanisierungsschub, der sich insbesondere auf Nicht-OECD-Länder und hier vor allem auf Asien konzentriert, $CO_2$-armen Mustern folgt oder den etablierten, treibhausgasintensiven Dynamiken der Stadtentwicklung in den Industrieländern (WBGU 2011).

## Grosse Transformation

Der Übergang zu einer klimaverträglichen Wirtschaft wird in der Literatur zunehmend aus der Perspektive von Transitions- beziehungsweise Transformationsprozessen diskutiert. Dies verdeutlicht, dass der Umbruch zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft (low-carbon-economy) über klassische Muster des Strukturwandels in Marktwirtschaften hinausgeht und umfassende Prozesse des Wandels beinhaltet (Rotmans et al. 2001; Grin et al. 2010). Der Wissenschaftliche Beirat der Deutschen Bundesregierung zu Globalen Umweltveränderungen (WGBU) hat vorgeschlagen, den Übergang zu einer klimaverträglichen und insgesamt nachhaltigen Weltwirtschaft als «Grosse Transformation» zu beschreiben (WBGU 2011). Diese könnte möglicherweise nur vergleichbar sein mit zwei grossen Zivilisationsschüben in der Geschichte der Menschheit: der jungsteinzeitlichen sowie der industriellen Revolution.




Anmerkungen: Berechnet anhand des BIP in Dollar (Jahr 2012), ausgedrückt in realer Kaufkraftparität
TPEB = Totaler Primärenergiebedarf

**Abbildung 3.1:** Energienachfrage und BIP. (Quelle: IEA 2013)

## Fünf Gründe sprechen für die Grosse Transformation

Aus Sicht des WBGU sind fünf Argumentationsstränge in der Literatur gute Gründe dafür, von einer Grossen Transformation zu sprechen.

**Globale Entwicklung muss neuen Pfad einschlagen**
Der Übergang zur Klimaverträglichkeit kann nur gelingen, wenn die globalen Wachstumsmuster in Richtung Dekarbonisierung verändert werden – wenn also ein neuer Pfad globaler Entwicklung eingeschlagen wird. Ob diese Weichenstellung gelingt, hängt einerseits davon ab, ob in den Industrieländern der Übergang zur Klimaverträglichkeit eingeleitet wird. Andererseits wird es von grosser Bedeutung sein, ob die dynamisch wachsenden Schwellenländer, die sich in den vergangenen zwei Dekaden zunächst an traditionellen Wachstumsmustern orientierten, bereit und in der Lage sind, Dekarbonisierung in das Zentrum ihrer Entwicklungsanstrengungen zu rücken (IPCC 2014/WG III). Eine solche Veränderung von Wachstumsmustern setzt eine **grundlegende Transformation institutioneller Rahmenbedingungen** voraus, um Anreize für klimaverträgliche Investitionen zu schaffen (Worldbank 2012; OECD 2013; Global Commission on the Economy and Climate 2014).

**Zentrale Infrastrukturen müssen umgebaut werden**
Die Entwicklung einer klimaverträglichen Weltwirtschaft bedingt einen weitgehenden Umbau der zentralen Infrastrukturen, auf denen die menschlichen Gesellschaften basieren. Diese Infrastrukturen müssen zu Systemen werden, die mit wenig Ressourcen auskommen, nur geringe Emissionen ausstossen und Klimaänderungen standhalten können. Konkret geht es um die Energiesysteme, die Landnutzungssysteme und die urbanen Räume (Nakicenovic et. al 2000; WBGU 2016).

**Neben technischen sind auch soziale Innovationen nötig**
Dekarbonisierungsstrategien müssen auf technischen Innovationen basieren. Die Literatur zum Rebound-Effekt (Jackson 2009; s. a. Kap. 3.3 Verhaltensänderungen, S. 164) verdeutlicht allerdings auch, dass eine absolute Abkopplung der Wohlstandsentwicklung von Emissionen nur gelingen kann, wenn sich zugleich soziale Innovationen durchsetzen, also Grundlagen einer klimaverträglichen Gesellschaft entstünden: veränderte Lebensstile und Konsummuster, neue Wohlfahrtskonzepte sowie Normen und Wertesysteme, die den Erhalt der globalen Gemeinschaftsgüter zu einem neuen Leitbild machen (OECD 2013; Skidelsky & Skidelsky 2013; Messner 2015).

**Zeitfenster für die Transformation ist eng**
Die Transformation muss in einem sehr engen Zeitfenster stattfinden, wenn das 2-Grad-Ziel noch eingehalten werden soll. Bis etwa 2070 müssten die Treibhausgasemissionen, die aus der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, weltweit auf Null vermindert werden (IPCC 2014/WGIII); (s. a. Kap. 3.2 Emissionstrends – vergangene und zukünftige Emissionen, S. 156, Kap. 3.4 Energie, S. 168). Damit dies gelingt, müssen wesentliche Weichenstellungen in den kommenden zwei Dekaden gelingen, wie der Übergang zu klimaverträglicher Ordnungspolitik und zu klimaneutralen Infrastrukturen und Städten. So stellt sich die Frage, ob und wie Dynamiken der Transformation beschleunigt werden können (Grin et al. 2010). Zugleich führen Treibhausgasemissionen in der Gegenwart zu langfristigen Dynamiken im Erdsystem. Es besteht das Risiko, dass Kipppunkte überschritten werden (Lenton et al. 2008) und Veränderungen eintreffen, die weit über den Zeithorizont hinausreichen, der von Institutionen von Nationalstaaten oder auch internationalen Organisationen derzeit berücksichtigt wird. Die für menschliche Gesellschaften relevanten Zeitvorstellungen verändern sich daher, ähnlich wie während der industriellen Revolution (Osterhammel 2009; Leggewie & Messner 2012).

**Die Menschheit ist zentrale Veränderungskraft im Erdsystem geworden und muss dieses stabilisieren**
Wenn Paul Crutzen und andere (Crutzen 2000; Zalasiewicz et al. 2011) mit ihrem Argument recht behalten, dass die Menschheit zu einer zentralen Veränderungskraft im Erdsystem geworden ist, impliziert der Übergang zu einer nachhaltigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung, dass die Menschen Institutionen sowie Normen und Wertesysteme erfinden müssen, um das Erdsystem im Zeitalter der Menschen (Anthropozän) dauerhaft zu stabilisieren und damit die Existenzgrundlagen vieler künftiger Generationen zu erhalten. Diese Herausforderungen eines «Erdsystemmanagements» (Schellnhuber 1999) gehen über die existierenden Weltbilder internationaler Politik deutlich hinaus.

## Globale Kooperationsblockaden

Der Verweis auf Klimaschutz im Kontext der Dynamiken globaler Entwicklung sowie die Diskussion über das Klimasystem als globales Gemeinschaftsgut (Ostrom 2010) führen zu der Frage, wie globale Kooperation gestaltet werden kann, um die Transformation zur Klimaverträglichkeit zu ermöglichen (Keohane & Victor 2010; WBGU 2006; Messner & Weinlich 2016).

## Vier zentrale Ursachen für Blockaden

In der Literatur wird auf vier zentrale Ursachen für Blockaden in den Klimaverhandlungen verwiesen:

**Probleme des kollektiven Handelns**
Aus dem Grundgedanken der *Tragik der Allmende* (Hardin 1968), der auf die Gefahr der Übernutzung frei verfügbarer und begrenzter Ressourcen verweist, und der Theorie des *kollektiven Handelns* (Olson 1965) ergibt sich das bekannte *Trittbrettfahrer-Verhalten* der Akteure (Nordhaus 2013): Kooperationsallianzen (z. B. zum Schutz des Klimasystems) kommen erschwert zustande, wenn Akteure, die sich nicht an diesen kooperativen Lösungen beteiligen, nicht an der weiteren Übernutzung oder Überlastung des Gemeinschaftsgutes gehindert werden können.

**Verteilkonflikte zwischen den Ländern**
Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländer streiten sich über die Verteilung der Kosten, die durch Treibhausgasminderungen entstehen sowie über Verantwortlichkeiten zur Treibhausgasminderung, die sich für jeweilige Länder(gruppen) aus historischen, gegenwärtigen und zukünftig zu erwartenden Emissionen ergeben (WBGU 2009; Pan 2009).

**Sorge um Wettbewerbsfähigkeit der Ökonomie oder um Entwicklung**
Entscheidungsträger sorgen sich, dass radikale Treibhausgasminderungen die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Ökonomien schädigen, Beschäftigungseinbussen zur Folge haben oder – so der Diskurs in Schwellen- und Entwicklungsländern – Prozesse nachholender Entwicklung blockieren könnten (OECD 2010).

**Zeitstruktur des Klimaproblems**
Das Klimaproblem hat eine spezifische Zeitstruktur, die darin besteht, dass schwerwiegende Folgen des Klimawandels erst in einigen Jahrzehnten zu erwarten sind, politische Systeme und Entscheidungsträger jedoch primär auf aktuellen Problemdruck reagieren (Giddens 2009).

Die skizzierten Dimensionen eines Umbruchs zur Dekarbonisierung verdeutlichen, dass der Übergang zu einer klimaverträglichen Weltwirtschaft und -gesellschaft ähnlich weitreichende Veränderungen nach sich ziehen wird, wie die Wandlung der Welt im 19. Jahrhundert, die durch die Transformation der Agrar- in Industriegesellschaften charakterisiert war.

## Referenzen


Crutzen P (2000) **The Anthropocene**. The Global Change Newsletter 41: 17–18.

Giddens A (2009) **The Politics of Climate Change**. Oxford University Press, Oxford.

Global Commission on the Economy and Climate (2014) **The new Climate economy.** www.new climateeconomy.report/2014

Grin J, Rotmans J, Schot J (2010) **Transitions to Sustainable Development. New Directions in the Study of Long Term Transformative Change.** Routledge, London.

Hardin G (1968) **The tragedy of the commons**. Science 162: 1243–1248.

International Energy Agency (IEA) (2010) **Energy Balances of IEA Countries**. IEA, Paris.

International Energy Agency (IEA) (2013) **World Energy Outlook 2013**. IEA, Paris.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Jackson T (2009) **Prosperity without Growth**. Routledge, London.

Kaplinsky R, Messner D (2008) **The impacts of Asian Drivers on the developing world**. World Development 36: 197–209.

Keohane R, Victor D (2010) **The Regime Complex for Climate Change**. The Harvard Project on International Climate Agreements. Harvard University, Cambridge.

Leggewie C, Messner D (2012) **The low-carbon transformation – A social science perspective**. Journal of renewable and sustainable energy 4: 041404.

Lenton T, Held H, Kriegler E, Hall J, Lucht W, Rahmstorf S, Schellnhuber H (2008) **Tipping elements in the Earth's climate system**. PNAS 105: 1786–1793.

Messner D (2015) **A social contract for low carbon and sustainable development: reflections on non-linear dynamics of social realignments and technological innovations in transformation processes**. Technological Forecasting and Social Change 98: 260–270.

Messner D, Weinlich S (2016) **The evolution of human cooperation: lessons learned for the future of global governance**. In: Messner, D, Weinlich, S (eds.) Global Cooperation and the Human Factor in International Relations. Routledge, London: 3–46.

Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Jung TY, Kram T, Lebre La Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner H-H, Sankovski A, Schlesinger M, Priyadarshi S, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N , Dadi Z (2000) **Special Report on Emissions Scenarios**. Working Group III. Cambridge University Press, Cambridge.

Nordhaus W (2013) **The climate casino**. Yale University Press, New Haven.

Olson M (1965) **The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups**. Harvard University Press, Cambridge.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2010) **Perspectives on Global Development 2010: Shifting Wealth**. OECD, Paris.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2013) **How's Life? 2013 Measuring Well-being**. OECD, Paris.

Osterhammel J (2009) **Die Verwandlung der Welt**. Eine Geschichte des 19. Jahrhunderts. Beck, München.

Ostrom E (2010) **Polycentric systems for coping with collective action nd global environmental change**. Global Environmental Change 20: 550–557.

Pan J (2009) **Carbon budget proposal**. Research Center for Sustainable Development. Chinese Academy of Social Sciences, Peking.

Rotmans J, Kemp R, van Asselt M (2001) **More evolution than revolution: transition management in public policy**. The Journal of Futures Studies, Strategic Thinking and Policy 3: 15–31.

Schellnhuber H (1999) **Earth system' analysis and the second Copernican Revolution**. Nature 402: C19–C23.

Skidelsky R, Skidelsky E (2013) **Wie viel ist genug?** Kunstmann, Muenchen.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2006) **Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer**. Sondergutachten 2006. WBGU, Berlin.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2009) **Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz**. WBGU, Berlin.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2011) **Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Grosse Transformation**. WBGU, Berlin.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2016) **Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte**. WBGU, Berlin.

World Bank (2012) **Inclusive Green Growth – The Pathway to Sustainable Development**. The World Bank, Washington.

World Bank (2014) **Building Competitive Green Industries: The Climate and Clean Technology Opportunity for Developing Countries**. The World Bank, Washington.

Zalasiewicz J et al. (2011) **The Stratigraphy of the Anthropocene**. Philosophical Transactions of the Royal Society. A 369: 1036–1055.

# 3.1 Einleitung

**Der dritte Teil des Fünften IPCC-Sachstandsberichts, der Bericht der Arbeitsgruppe III, analysiert die Möglichkeiten zur Minderung der Treibhausgasemissionen sowie die entsprechenden sozioökonomischen Auswirkungen. Die Analyse wird erst in einer zusammengefassten, die gesamte Wirtschaft umfassenden Form präsentiert, danach auf Stufe der einzelnen Sektoren. Teil 3 des Berichts «Brennpunkt Klima Schweiz» folgt derselben Struktur.**

*Philippe Thalmann (ETH Lausanne)*

Dass Handlungsbedarf besteht, um die $CO_2$-Emissionen weltweit und in der Schweiz zu senken, zeigen zuerst die Artikel von Reto Knutti und Joeri Rogelj sowie Regine Röthlisberger auf (s. a. Kap. 3.2 Emissionstrends – vergangene und zukünftige Emissionen, S. 156). In der Schweiz hat die Abkoppelung der Emissionen vom Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum schon Ende der 1990er-Jahre stattgefunden, als die Wirtschaft wieder anfing zu wachsen, ohne dass die $CO_2$-Emissionen zunahmen. Seit 2010 gehen die Emissionen sogar langsam zurück, trotz anhaltendem Wachstum. Dies ist auf Massnahmen in verschiedenen Bereichen zurückzuführen, hauptsächlich auf die Energie- und Klimapolitik. Ihren Teil dazu beigetragen haben aber auch der technische Fortschritt und der Strukturwandel. Weltweit hat sich der Treibhausgasausstoss in den letzten zwei Jahren ebenfalls stabilisiert, wobei noch nicht klar ist, ob es sich um einen Trendumbruch handelt. Klar ist jedoch, dass selbst die stabilisierten Emissionen viel zu hoch sind: Sie werden das globale Emissionsbudget, das noch zur Verfügung steht, um das 2-Grad-Ziel mit zwei Drittel Wahrscheinlichkeit nicht zu überschreiten, in etwa drei Jahrzehnten aufbrauchen.

Um den Trend umzukehren, müssen jetzt schon die Weichen gestellt werden. Dies hält die IPCC Arbeitsgruppe III gleich zu Beginn ihres Berichts fest: Sie weist darauf hin, dass wir heute Entscheide treffen, aufgrund derer wir während der nächsten Jahrzehnte mehr oder weniger Energie verbrauchen und $CO_2$ ausstossen werden. Werden weiter Infrastrukturen gebaut und langlebige Produkte angeschafft, die einen grossen Bedarf an fossiler Energie haben oder deren Verbrauch fördern, würde sich unsere Gesellschaft auf $CO_2$-intensive Pfade festlegen – eine spätere Abweichung von diesen Pfaden ist sehr kostspielig. Soll der Treibhausgasausstoss rasch gesenkt werden, dann darf mit der Umsetzung einer ehrgeizigen Klimapolitik und der Verhinderung derartiger Fehlinvestitionen nicht mehr zugewartet werden.

Zu den grössten Fehlinvestitionen gehören der Bau von Kohlekraftwerken oder die Erdölexploration – Investitionen, die nicht nur für das Klima und die Umwelt problematisch sind, sondern auch die Investoren zunehmend beunruhigen (Standard & Poor's 2013; BlackRock Investment Institute 2015). Stichworte hierzu sind «Stranded Assets» (Vermögenswerte, z. B. Kohle- und Erdölreserven, die ihren Marktwert verloren haben) und «Kohlenstoffblase» (diese Vermögenswerte sind heute teilweise überbewertet, weil die meisten Marktakteure noch nicht gemerkt haben, dass sie gar nicht verwertet werden dürfen) (Leaton et al. 2013; IEA 2014). Es gibt auch Fehlinvestitionen in Infrastrukturen (z. B. Raffinerien oder Gasleitungen) und Städte (z. B. Quartiere mit schlechtem ÖV-Anschluss, alte Gebäude mit schlechter Isolation, neue Gebäude mit grossen Glasfassaden). Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht weist mit Nachdruck auf die Urbanisierung hin, die in bestimmten Regionen der Welt rasant voranschreitet – und auf zahlreiche Möglichkeiten zur Emissionsminderung bei der Planung von Städten und neuen Quartieren. In der Schweiz sind grosse und kleine Städte innovative Akteure in den Bereichen Energieeffizienz («Energiestädte») und nachhaltige Entwicklung. Adrienne Grêt-Regamey und Jean-Louis Scartezzini nennen in ihrem Artikel (s. a. Kap. 3.8 Urbane Strategien zum Klimawandel, S. 186) die wichtigsten Faktoren für die Treibhausgasemissionen im städtischen Raum, die weiterhin prioritär zu behandeln sind. Die beiden Autoren machen deutlich, wie wichtig die Raumplanung und deren Instrumente sind – sowohl für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels als auch für die Emissionsminderung.

So wie die Raumplanung mit entsprechenden Vorschriften für kohlenstoffarme Gebäude und Infrastrukturen sorgen kann, ist auch in der Land- und Forstwirtschaft und beim Schutz von «natürlichen» Lebensräumen darauf zu achten, dass eine wachsende Bevölkerung mit einem zunehmenden Lebensstandard nicht mehr Treibhausgasemissionen verursacht, wie Carmenza Robledo Abad, Daniel Bretscher und Jens Leifeld in ihrem Artikel aufzeigen (s. a. Kap. 3.7 Land- und Forstwirtschaft und andere Landnutzung, S. 181).

Der Bericht der Arbeitsgruppe III unterstreicht mit Nachdruck die grundlegenden Veränderungen, die im Sektor der Energieversorgung (Gewinnung und Transport, Erzeugung von Strom und Wärme) notwendig sind, denn dieser

ist weltweit die wichtigste Quelle der Treibhausgasemissionen (35 Prozent im 2010) und derjenige Sektor, der am meisten zum Anstieg dieser Emissionen beigesteuert hat (47 Prozent der 10 Gigatonnen $CO_2$-Äquivalente an zusätzlichen Emissionen im 2010 gegenüber 2000; IPCC 2014/WGIII/SPM). Ohne Minderungsmassnahmen könnten sich die Treibhausgasemissionen im Sektor Energie bis 2050 verdoppeln oder sogar verdreifachen. Um eine Stabilisierung der globalen Temperatur zu erreichen, ist jedoch eine Minderung dieser Emissionen um mindestens 90 Prozent erforderlich. Selbstverständlich wird in diesem Sektor kaum Strom und Wärme für den Eigenbedarf produziert, daher sind seine Treibhausgasemissionen auch den Sektoren Industrie und Haushalte zuzuschreiben, wie Alexander Wokaun und Christoph Ritz in ihrem Artikel (s. a. Kap. 3.4 Energie, S. 168) aufzeigen. Gleichwohl trägt der Sektor der Energieversorgung in Bezug auf seine Emissionen eine grosse Verantwortung, denn dort werden die primären Energiequellen und die Umwandlungstechniken gewählt. Wokaun und Ritz zeigen die vielfältigen Möglichkeiten auf, mit denen der Sektor diese Emissionen mindern könnte und die allesamt mobilisiert werden müssen, wenn ehrgeizige Minderungsziele erreicht werden sollen.

In der Schweiz fällt der Energiesektor hinsichtlich der Treibhausgasemissionen weniger ins Gewicht dank hohen Anteilen an Wasser- und Atomkraft. Mit 33 Prozent trägt der Verkehr am meisten zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei (s. a. Abb. 3.5, S. 162). Gerade beim Personenverkehr hat die Emissionsminderung noch nicht eingesetzt, was viel mit persönlichem Verhalten zu tun hat (s. a. Abb. 3.9, S. 165). Das Problem präsentiert sich auf der ganzen Welt vielerorts noch grösser, da auch der Gütertransport ungebrochen zunimmt. Es ist möglich, dass sich in den Bereichen Personen- und Güterverkehr der $CO_2$-Ausstoss bis 2050 verdoppelt, hauptsächlich aufgrund einer weiteren Zunahme der Transportaktivitäten. Die Zunahme der Transportaktivitäten hat bis anhin sämtliche Effizienzgewinne bei den Fahrzeugen mehr als ausgeglichen (IPCC 2014/WGIII/Chap.8). Die Autoren des Fünften IPCC-Sachstandsberichts sehen dennoch ein grösseres Potenzial für Emissionsminderungen im Sektor Verkehr als diejenigen früherer Berichte. Dazu müssen jedoch sämtliche Möglichkeiten umgesetzt werden bei den Techniken und Verhaltensweisen in den Bereichen Fahrzeuge, Infrastrukturen und Raumplanung. Peter de Haan verdeutlicht in seinem Artikel (s. a. Kap. 3.5 Verkehr, S. 174) die Herausforderungen für die Schweiz, insbesondere in der Luftfahrt. Der Bereich Luftfahrt wird tendenziell ausgeklammert, obwohl die Treibhausgasemissionen in diesem Bereich stark zunehmen und nicht mehr vernachlässigt werden dürfen.

In der Schweiz sind die Sektoren Industrie und Haushalte je für rund 20 Prozent der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Im Sektor Haushalte ist dies in erster Linie auf die Gebäudebeheizung zurückzuführen, wie aus dem Artikel von Adrienne Grêt-Regamey und Jean-Louis Scartezzini hervorgeht. Diese Probleme sind bestens bekannt und es wurden bereits Massnahmen ergriffen, um den Energieverbrauch von Gebäuden zu senken (Heizung und Geräte). Dies bringt sichtbare, aber immer noch recht bescheidene Ergebnisse – die Gründe dafür werden von Renate Schubert in ihrem Artikel ausgeführt (s. a. Kap. 3.3 Verhaltensänderungen, S. 164). Die Klimaänderung könnte im Übrigen den Heizbedarf bis 2050 weltweit um 5 bis 21 Prozent senken. Der damit verbundene $CO_2$-Ausstoss würde jedoch in viel geringerem Masse abnehmen. In der Schweiz wurde für ein mittleres Klimaszenario, bei dem der Heizbedarf um 15 Prozent abnimmt, geschätzt, dass die $CO_2$-Emissionen nur um 2,5 Prozent zurückgehen würden (Winkler et al. 2014). Ein Teil des Problems ist auf den Rebound-Effekt zurückzuführen: die Senkung des Energiebedarfs aufgrund der Klimaänderung oder der Fortschritte in der Energieeffizienz von Gebäuden, Fahrzeugen oder Geräten wird teilweise oder sogar ganz durch eine Zunahme des Verbrauchs kompensiert (Jenny et al. 2013). Dazu kommt, dass der Kühlbedarf im Sommer zunimmt und dadurch die Abnahme des Heizbedarfs teilweise kompensiert wird. In seinem zweiten Artikel (s. a. Kap. 3.6 Technische Aspekte, S. 178) zeigt Peter de Haan, dass die technischen Fortschritte zwar wichtig sind, aber aufgrund der Mengenausweitung nicht ausreichen, um die Treibhausgasemissionen zu mindern.

Am Schluss muss noch daran erinnert werden, dass mit den vertieften sektoralen Analysen nicht das Gesamtsystem vergessen werden darf: Die Dekarbonisierung des Verkehrs und jene der Gebäudewärme werden bestimmt von einer Elektrifizierung begleitet werden. Dies macht es umso wichtiger, dass die Stromerzeugung weltweit im Gleichschritt dekarbonisiert und in der Schweiz möglichst $CO_2$-arm gehalten wird.

## Referenzen

BlackRock (2015) **The Price of Climate Change – Global Warming's Impact on Portfolios.** October 2015.

IEA (2014) **World Energy Investment Outlook. Special Report.** Paris, 190 pp.

Jenny A, Karlegger A, Montanari D, Ott W, Madlener R (2013) **Massnahmen der Energiestrategie 2050: Begleitende verhaltensökonomische und sozialpsychologische Handlungsempfehlungen.** Bericht für das Bundesamt für Energie, Econcept, Zürich.

Leaton J et al. (2013) **Unburnable carbon 2013: wasted capital and stranded assets.** Carbon Tracker and the Grantham Research Institute, London.

Winkler R, Almer C, Bader C, Gonseth C, Laurant-Lucchetti J, Thalmann P, Vielle M (2014) **«Energy consumption of buildings – direct impacts of a warming climate and rebound effects».** In: CH2014-Impacts (ed.) Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland, Bern, Switzerland: OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, 99–105.

# 3.2 Emissionstrends – vergangene und zukünftige Emissionen

**Die Schweiz stösst heute pro Kopf und Jahr rund sechs Tonnen $CO_2$-Äquivalente direkt im Inland aus; Hauptverursacher der Emissionen sind der Strassenverkehr mit einem Drittel und die Beheizung von Gebäuden mit einem Viertel Anteil an den Gesamtemissionen. Der jährliche Pro-Kopf-Ausstoss steigt auf etwa 14 Tonnen $CO_2$-Äquivalente an, wenn man auch die grauen Emissionen berücksichtigt, das heisst diejenigen Emissionen im Ausland, die durch in die Schweiz importierte Güter verursacht werden. Damit liegen die Pro-Kopf-Emissionen der Schweiz über dem globalen Durchschnitt. Die globalen Treibhausgasemissionen haben sich seit 1950 verdrei- bis vervierfacht. Das derzeitige Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum sorgt jährlich für noch höhere Emissionen – dies vermag auch die höhere Energieeffizienz nicht zu kompensieren. Wollen wir das politisch beschlossene 2-Grad-Ziel einhalten, steht uns jedoch nur eine begrenzte Menge an $CO_2$-Emissionen zur Verfügung. Je länger wir damit warten, unseren Treibhausgasausstoss zu mindern, desto rascher müssen die Emissionen später abnehmen, damit wir das Ziel noch einhalten können. Wer wie viel zur Erreichung des Ziels beitragen kann und soll, ist ein Problem der Lastenverteilung.**

## Globale Trends beim Treibhausgasausstoss

**Seit 1950 haben sich die $CO_2$-Emissionen weltweit etwa vervierfacht. Gründe sind das derzeitige Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum (Wertschöpfung pro Kopf), die jedes Jahr für noch höhere Emissionen sorgen. Die Verbesserung der Energieeffizienz (weniger Energieverbrauch pro Franken an Wertschöpfung) wirkt dem entgegen, vermag aber die Auswirkungen des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums nicht zu kompensieren. Die $CO_2$-Intensität ($CO_2$-Emissionen pro Kilowattstunde verbrauchte Energie) hat nach jahrzehntelanger Abnahme wieder zugenommen, als Folge der grossen Verfügbarkeit von günstiger Kohle und Gas.**

*Reto Knutti (ETH Zürich), Joeri Rogelj (IIASA Laxenburg)*

### $CO_2$-Emissionen nehmen zu

Trotz internationaler Verhandlungen und dem Kyoto-Protokoll hat sich die Zunahme der Emissionen seit etwa 2000 sogar verstärkt, von 1,1 Prozent pro Jahr in den 1990er-Jahren auf 3 Prozent pro Jahr (Mittelwert der Jahre 2000–2013). Zwei Gründe sind dafür verantwortlich: ein deutlich stärkeres Wirtschaftswachstum seit etwa dem Jahr 2000 sowie eine Trendwende zur Zunahme der $CO_2$-Intensität. Beide Gründe sind grösstenteils auf das unerwartet hohe Wirtschaftswachstum in Schwellenländern, insbesondere China, zurückzuführen. In Schwellenländern hat Kohle als günstige und zuverlässige Quelle für die Stromproduktion eine hohe Bedeutung. China hat als Land die USA als grössten $CO_2$-Emittent abgelöst. Pro Kopf liegt China zwar noch deutlich hinter den USA, aber schon auf ähnlichem Niveau wie die Schweiz und andere europäische Staaten.

### Fossile Brenn- und Treibstoffe tragen am meisten zum $CO_2$-Ausstoss bei

Der $CO_2$-Ausstoss aus fossilen Brenn- und Treibstoffen (und zu einem kleinen Teil aus der Zementproduktion) dominiert den menschgemachten Treibhauseffekt mit weltweit rund 65 Prozent (gemessen als $CO_2$-Äquivalent), gefolgt von 11 Prozent $CO_2$ aus Abholzung und Landnutzungsänderung. Neben $CO_2$ tragen Methan ($CH_4$) 16 Prozent, Lachgas ($N_2O$) 6 Prozent und F-Gase (halogenierten Fluorkohlenwasserstoffe, die perfluorierten Kohlenwasserstoffe und Schwefelhexafluorid) 2 Prozent bei. Die Wirkung dieser Gase ist pro Molekül zwar deutlich grösser als bei $CO_2$, aber ihre Mengen in der Atmosphäre sind viel kleiner.

### Beiträge aus Sektoren

Weltweit tragen die folgenden Sektoren am meisten zu den Treibhausgasemissionen bei: Elektrizität und Wärmeproduktion (25 Prozent), Landwirtschaft, Abholzung

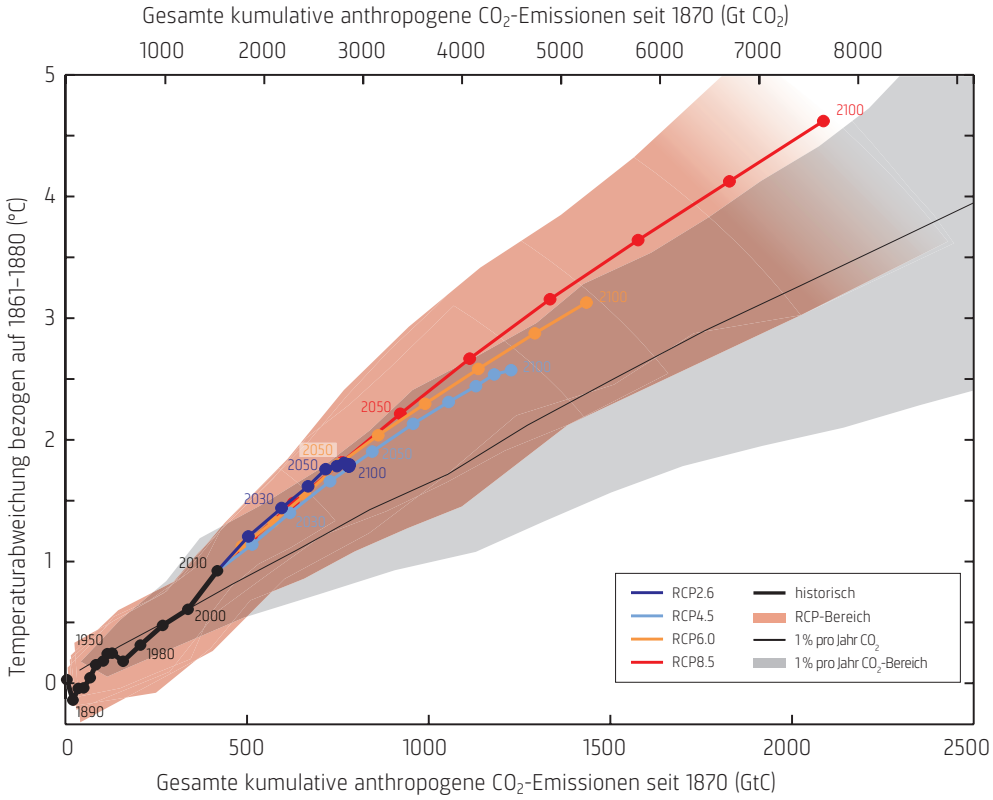



**Abbildung 3.2:** Globaler mittlerer Temperaturanstieg als Funktion der total ausgestossenen Menge $CO_2$. Resultate sind gezeigt für gekoppelte Modelle des Klima- und Kohlenstoffkreislaufes für die vier RCP-Szenarien bis 2100. Mittelwerte über zehn Jahre sind als Punkte markiert (z. B. ist 2050 das Mittel über 2040 – 2049). Modellresultate über die Vergangenheit sind schwarz markiert. Die rote Fläche illustriert die Unsicherheit der Modelle. Resultate für Szenarien nur mit $CO_2$-Emissionen sind mit der schwarzen dünnen Linie und der grauen Fläche gezeigt. Für eine bestimmte Menge $CO_2$ zeigen diese eine kleinere Erwärmung als die RCP-Szenarien, die zusätzlich alle anderen Antriebe wie Methan, $N_2O$ und Aerosole berücksichtigen. (Quelle: IPCC 2013/WGI/SPM/Fig.10)

und Landnutzungsänderung (24 Prozent), Industrie (21 Prozent), Transport (14 Prozent) und Gebäude (6 Prozent).

## Das globale $CO_2$-Budget

Trotz vieler komplexer Rückkopplungen sowohl im Klimasystem als auch im Kohlenstoffkreislauf gibt es einen erstaunlich einfachen Zusammenhang zwischen der globalen Temperatur und menschgemachten $CO_2$-Emissionen: Die globale Temperaturänderung ist ungefähr proportional zu den totalen $CO_2$-Emissionen seit vorindustrieller Zeit (Abb. 3.2). Dieser lineare Zusammenhang ist robust über viele Modelle unterschiedlicher Komplexität, aber die exakte Grösse der Erwärmung pro ausgestossene Tonne $CO_2$ ist modellabhängig. Der Wert liegt *wahrscheinlich* (Wahrscheinlichkeit ist höher als 66 Prozent) im Bereich 0,8 bis 2,5 Grad Celsius pro 1000 Gigatonnen[1] Kohlenstoff. Das bedeutet, dass jedes Temperaturziel einer maximalen Menge $CO_2$ entspricht, die wir ausstossen können. Egal ob 2 Grad, 1,5 Grad oder 3 Grad Celsius, die Gesamtmenge an $CO_2$, die wir dafür ausstossen können, ist beschränkt.

Aus dieser Idee des beschränkten Gesamt-$CO_2$-Budgets über die Zeit bis zum angestrebten Temperaturstabilisierungsziel ergeben sich einfache Konsequenzen. Je mehr wir heute ausstossen, desto weniger dürfen wir später. Je mehr ein Land ausstösst, desto mehr muss ein anderes einsparen. Ist das gesetzte Temperaturziel erreicht, müssen die Emissionen global praktisch null sein, damit die Temperatur stabil bleibt.

### $CO_2$-Budget für das 2-Grad-Ziel

Um das 2-Grad-Ziel mit mindestens 66 Prozent Wahrscheinlichkeit zu erreichen, steht uns ein Budget von rund 1000 Milliarden Tonnen Kohlenstoff zur Verfügung. Dieses Budget bezieht sich jedoch nur auf Kohlenstoff aus $CO_2$ und vernachlässigt zusätzliche strahlungswirk-

1 GtC = 1 Gigatonne C = $10^{15}$ g C = 3,6 Gt $CO_2$

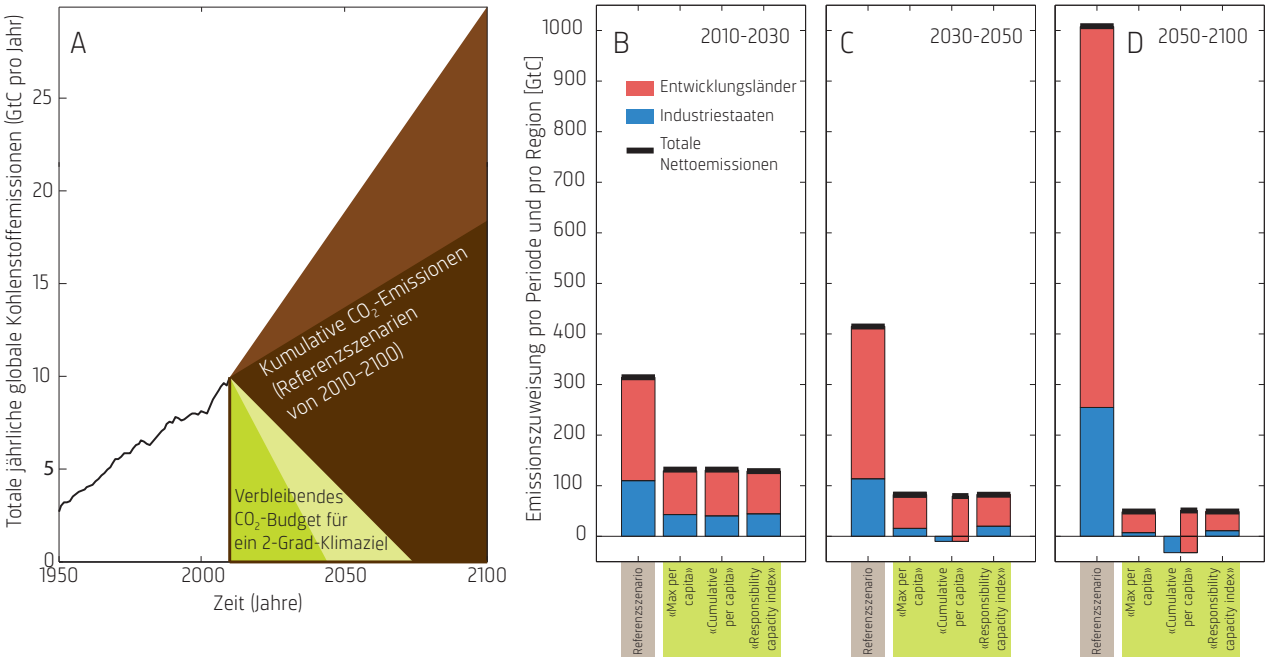



**Abbildung 3.3:** Verbleibende $CO_2$-Budgets für ein Zwei-Grad-Klimaziel. A) Historische $CO_2$-Emissionen (schwarz) und $CO_2$-Budgets für den Rest des 21. Jahrhunderts ohne Massnahmen zum Klimaschutz (braune Fläche illustriert totale Emissionen) und mit Klimaschutz um das 2-Grad-Ziel wahrscheinlich (>66%) zu erreichen (grün) B,C,D) Verteilung der totalen Emissionen zwischen Industriestaaten (blau) und Entwicklungsländern (rot, Summe als schwarze dicke Linie) für 2010 – 2030, 2030 – 2050 und 2050 – 2100, für die Referenzszenarien (Balken links) und drei illustrative Möglichkeiten der Lastenverteilung (übrige Balken; «Max per Capita», «Cumulative per Capita» und «Responsibility Capacity Index»). (Quelle: Knutti & Rogelj 2015)

same Substanzen wie Methan ($CH_4$) und Lachgas ($N_2O$), die unter anderem aus der Landwirtschaft kommen sowie die kühlende Wirkung von Aerosolen. Werden diese mitberücksichtigt, wird das $CO_2$-Budget für das 2-Grad-Ziel kleiner und beträgt rund 800 Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Davon haben wir rund 515 Milliarden Tonnen Kohlenstoff seit vorindustrieller Zeit (1870) schon ausgestossen. Somit verbleibt nur mehr rund ein Drittel des Gesamtbudgets.

Wollen wir das 2-Grad-Ziel mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als 66 Prozent erreichen oder gelingt es uns nicht, die Emissionen von Methan und Lachgas aus der Landwirtschaft genügend stark zu mindern, dann ist das verbleibende $CO_2$-Budget entsprechend kleiner.

## Das Problem der Lastenverteilung

Die internationale Politik hat sich für das 2-Grad-Ziel entschieden und entsprechend verbleibt uns noch weniger als ein Drittel des Kohlenstoff-Gesamtbudgets (siehe oben). Das Übereinkommen von Paris erwähnt ebenfalls ein zusätzliches Ziel von 1,5 Grad Celsius Erwärmung. Dafür gelten die gleichen Argumente, ausser dass das Gesamtbudget noch kleiner ist. Wie dieses Gesamtbudget an Emissionen unter den Ländern und über die Zeit verteilt werden soll, ist eine ethische und wirtschaftliche Frage, die mit naturwissenschaftlichen Fakten nicht beantwortet werden kann. Für die Verteilung über die Länder gilt in der politischen Diskussion grundsätzlich das Prinzip der «gemeinsamen aber differenzierten Verantwortung». Das bedeutet, dass das $CO_2$-Budget eine globale Ressource ist und nur eingehalten werden kann, wenn alle sich an der Lösung beteiligen. Was nicht heisst, dass alle gleichviel dazu beitragen müssen, denn nicht alle tragen gleichviel Verantwortung für das Problem. Dies wird mit der sogenannten Lastenverteilung[2] berücksichtigt.

### Lösungsansätze

Die meisten in den Klimaverhandlungen diskutierten Lösungsansätze zur Lastenverteilung berücksichtigen einerseits die historische Verantwortung eines Landes

2 Der Begriff des «Burden sharing» (Lastenverteilung) bezeichnet, welche Anstrengung jedes Land unter bestimmten Kriterien von Fairness beitragen muss, um seine Emissionen zu reduzieren. Die gleichwertige Frage, die hier diskutiert wird, ist die $CO_2$-Budgetverteilung, das heisst, welcher Anteil der gesamten $CO_2$-Emissionen einem Land noch zusteht (Knutti & Rogelj 2015).

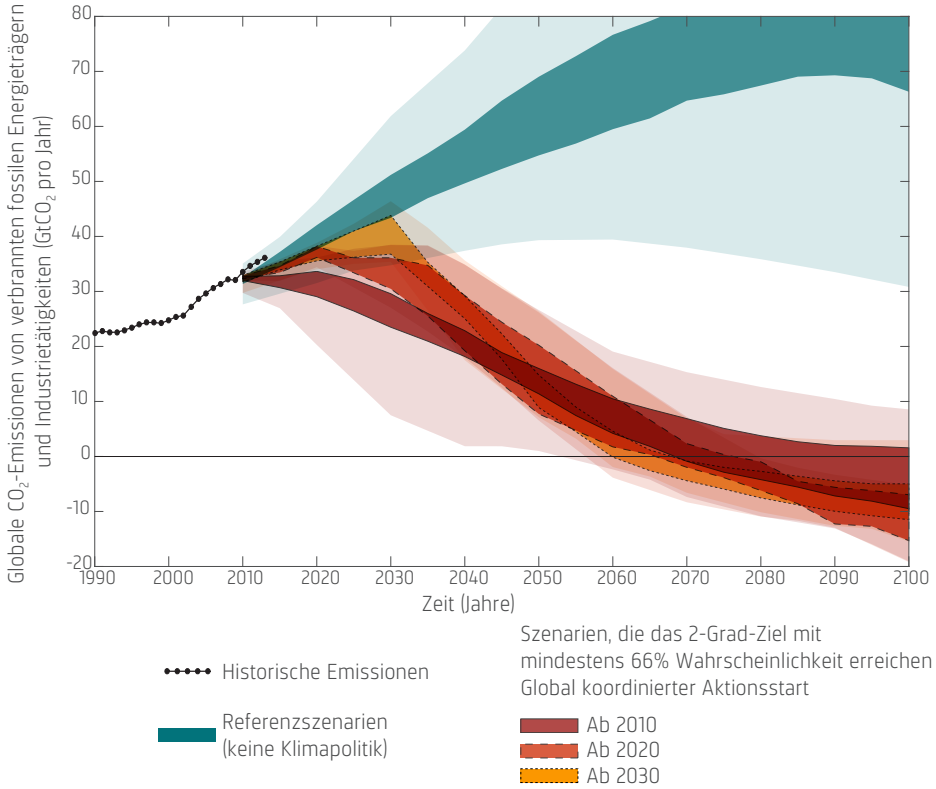



**Abbildung 3.4:** Historische und zukünftige $CO_2$-Emissionen für Szenarien ohne Klimaschutz (grün) und Szenarien die das 2-Grad-Ziel mit mindestens 66 Prozent Wahrscheinlichkeit erreichen (orange bis rot) aber mit dem Klimaschutz zu unterschiedlichen Zeitpunkten (2010, 2020 oder 2030) beginnen. (Quelle: Knutti et al. 2015)

(historische und heutige Emissionen) anhand des Verursacherprinzips, das besagt, dass der Verursacher einer Verschmutzung bezahlt. Andererseits wird oft bewertet, ob ein Land die Möglichkeit hat, die Emissionen zu reduzieren. Dies kann zum Beispiel durch das Bruttosozialprodukt pro Kopf abgeschätzt werden. Ähnlich wie bei Steuern gilt hier also das Prinzip, dass jeder etwas bezahlt, aber wer mehr besitzt oder verdient, der kann und muss einen grösseren Beitrag leisten. Abbildung 3.3 zeigt die Lastenverteilung am Beispiel des 2-Grad-Ziels sowie anhand der folgenden drei prominent diskutierten Lösungsansätze, wobei auch viele andere Ansätze möglich sind:

- **«Max per Capita»**: Die Pro-Kopf-Emissionen der Entwicklungsländer bleiben unter den Pro-Kopf-Emissionen der Industriestaaten.
- **«Cumulative per Capita»**: Die kumulierten Pro-Kopf-Emissionen der Industriestaaten und der Entwicklungsländer zwischen 1990 und dem Ende des 21. Jahrhunderts sind gleich hoch.
- **«Responsibility Capacity Index»**: Die Emissionen werden zwischen den unterschiedlichen Ländern aufgeteilt gemäss den historischen Emissionen und dem Bruttosozialprodukt.

Kurzfristig sind die drei Ansätze der Lastenverteilung ähnlich. Langfristig aber müssten beim Ansatz «Cumulative per Capita» die Emissionen in den Industriestaaten negativ werden. Negative Emissionen kann ein Land beispielsweise erreichen, indem es Zertifikate für Emissionen kauft. Mit dem Kaufpreis werden die Emissionen im Ausland eingespart. Eine andere Möglichkeit ist, Bioenergie mit $CO_2$-Sequestrierung zu kombinieren: $CO_2$ aus der Luft wird gebunden und im Boden eingelagert. Den drei Lösungsansätzen gemeinsam ist, dass die Länder mit den heute höchsten Emissionen am stärksten mindern müssen und dass der grössere Teil des verbleibenden Budgets den Entwicklungsländern zusteht.

Obwohl in der Politik seit langem darüber diskutiert wird, konnten sich die Länder bis heute nicht auf eine Lösung der Lastenverteilung einigen. Zum Beispiel ist unklar, ob die Bewohner eines Landes nur für die momentanen Emissionen oder auch für die Emissionen ihrer Vorfahren verantwortlich sind. Das Prinzip der Verteilung des Budgets wird von einigen als politisch nicht durchsetzbar kritisiert. Andere argumentieren, dass es kein «Recht auf Verschmutzung» gebe, das man verteilen könnte. Alternativ wäre zum Beispiel ein Recht auf Entwicklung oder

auf Lebensqualität denkbar, aber dessen Berechnung und der Zusammenhang mit historischen und momentanen Emissionen ist noch subjektiver. 2015 haben die Länder in Paris beschlossen, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius und möglichst auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen. Diese Ziele sollen durch Beiträge auf Länderebene erreicht werden: Jedes beteiligte Land wird wahrscheinlich einen Beitrag vorschlagen, den es als gerecht empfindet. Bisher ist die Summe der Beiträge nicht ausreichend, um das Zwei-Grad- oder 1,5-Grad-Ziel zu erreichen. Eine andere Sichtweise ist, dass die Minderung der $CO_2$-Emissionen kaum durch eine Diskussion der Lastenverteilung und ein globales Abkommen gelöst werden kann, sondern dass vielmehr Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, unter denen die Dekarbonisierung für Einzelpersonen, Firmen oder Länder so attraktiv ist, dass sie unabhängig von den Handlungen der anderen Beteiligten vorangetrieben wird (Patt 2015).

## Zeit für Dekarbonisierung ist knapp

Mit Integrated-Assessment-Modellen (s. a. Kap. 1.4 Klimamodelle, S. 36) können für ein vorgegebenes $CO_2$-Budget oder für ein Klimaziel die kostengünstigsten $CO_2$-Pfade berechnet werden (Abb. 3.4). Dabei werden auch Unsicherheiten in Bezug auf den Ausstoss weiterer Treibhausgase und zur Entwicklung von Technik und Gesellschaft berücksichtigt, zum Beispiel, ob Nuklearenergie in Zukunft zur Verfügung steht oder nicht. Abbildung 3.4 zeigt, dass sich die heutigen Emissionen im oberen Bereich der Referenzszenarien ohne Klimaschutz bewegen und deutlich über den kostenoptimalen Szenarien zur Erreichung eines 2-Grad-Ziels liegen, die schon ab 2010 die Emissionen deutlich mindern (Abb. 3.4, dunkelrot).

In Abbildung 3.4 ist ersichtlich, dass die Emissionen immer rascher abnehmen oder nach etwa 2060 stärker negativ werden müssen, je länger wir mit Massnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen zuwarten, falls wir ein bestimmtes Temperaturziel einhalten möchten. So dürfte das 2-Grad-Ziel bei ungebremstem Wachstum der $CO_2$-Emissionen über die nächsten fünf Jahre nur noch sehr schwer zu erreichen sein, von einem 1,5-Grad-Ziel gar nicht erst zu reden. Sogar wenn Länder ihre freiwilligen Emissionsziele bis 2020 erreichen wollen, müsste ein Trendbruch bei der Energieeffizienz und der Abnahme der $CO_2$-Intensität stattfinden. In kostenoptimalen Szenarien liegen die zwischen 2030 und 2050 notwendigen Emissionsminderungen im Bereich von jährlich drei Prozent. Die Minderungen steigen auf ungefähr fünf Prozent jährlich an in denjenigen Szenarien, die davon ausgehen, dass die derzeit angekündigten Klimamassnahmen bis 2030 effektiv umgesetzt werden. Szenarien, die davon ausgehen, dass die momentanen Trends bis 2030 weiterlaufen, verlangen eine jährlichen Minderung der $CO_2$-Emissionen von sechs Prozent. Es ist klar, dass mit jedem weiteren Jahr ohne umfassende globale Klimamassnahmen die Möglichkeiten, den globalen Temperaturanstieg unter zwei Grad Celsius zu halten, rasch abnehmen.

## Freiwillige Länderverpflichtungen sind zu gering

In kostenoptimalen Szenarien für zwei Grad Celsius sind die Emissionen von Industriestaaten bis 2030 um 20 bis 40 Prozent tiefer als im Jahr 2010 (IPCC 2014/WGIII/Tab.6.4). Weltweit wären rund 40 bis 70 Prozent Minderung bis 2050 nötig, um das 2-Grad-Ziel zu erreichen. Für Industriestaaten bedeutet dies, dass ihre Emissionen im Jahr 2050 um 80 bis über 90 Prozent tiefer sein sollten als im Jahr 2010. Diese Zahlen gelten für einen grossen Teil der Lösungsansätze zur Lastenverteilung (IPCC 2014/WGIII/Figur 6-29). In vielen Szenarien werden die globalen $CO_2$-Emissionen um 2070 zudem negativ. Das bedeutet, dass die durch Bioenergie mit Sequestrierung eingelagerte $CO_2$-Menge die Emissionen übersteigen muss.

Die von den verschiedenen Ländern freiwillig eingegangenen Verpflichtungen sind wesentlich kleiner als die in Abbildung 3.3 und 3.4 gezeigten Minderungen, die für eine kostenoptimale Erreichung des 2-Grad-Ziels nötig sind (Rogelj et al. 2016). Die globale Weltgemeinschaft ist trotz aller Klimaverhandlungen nicht auf dem Weg, das 2-Grad-Ziel zu erreichen, sondern zielt eher auf eine Erwärmung von drei bis vier Grad Celsius (Schaeffer et al. 2013).

### Referenzen

IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WGI).** Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg1

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 6 «Assessing Transformation Pathways». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Knutti R, Rogelj J (2015) **The legacy of our $CO_2$ emissions: a clash of scientific facts, politics and ethics.** Climatic Change 133: 361–373.

Knutti R, Rogelj J, Sedláček J, Fischer EM (2016) **A scientific critique of the two-degree climate change target.** Nature Geoscience 9: 13–18.

Patt A (2015) **Transforming Energy: Solving Climate Change with Technology Policy.** University Press, Cambridge.

Rogelj J, den Elzen M, Höhne N, Fransen T, Fekete H, Winkler H, Schaeffer R, Sha F, Riahi K, Meinshausen M (2016) **Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C.** Nature 534: 631–639.

Schaeffer M, Gohar LK, Kriegler E, Lowe JA, Riahi K, Van Vuuren DP (2013) **Mid- and long-term climate projections for fragmented and delayed-action scenarios.** Technological Forecasting & Social Change 90: 257–268.

# Nationale Emissionstrends beim Treibhausgasausstoss

**Im Rahmen der UN-Klimakonvention und des Kyoto-Protokolls werden die Treibhausgasemissionen der Schweiz systematisch im nationalen Treibhausgasinventar erfasst. Die Erhebung entspricht standardisierten methodischen Vorgaben, umfasst die auf dem Territorium der Schweiz ausgestossenen Emissionen seit 1990 und wird jährlich aktualisiert.**

*Regine Röthlisberger (BAFU)*

## Aktuelle Emissionen

Pro Kopf und Jahr stösst die Schweiz rund sechs Tonnen $CO_2$-Äquivalente direkt im Inland aus. Berücksichtigt man auch die grauen Emissionen[3] verursacht die Schweiz einen Ausstoss von rund 14 Tonnen $CO_2$-Äquivalenten pro Kopf und Jahr. Damit liegen die Pro-Kopf-Emissionen der Schweiz über dem globalen Durchschnitt. Dank des hohen Beitrags von Wasser- und Kernkraftwerken zur Stromproduktion liegt die Schweiz beim $CO_2$-Ausstoss dennoch tiefer als viele andere europäische Staaten.

Drei Viertel der Treibhausgasemissionen der Schweiz stammen aus der Nutzung fossiler Energieträger, hauptsächlich Heizöl, Erdgas, Benzin und Diesel. Nicht berücksichtigt im Total der Treibhausgasemissionen sind die Emissionen des internationalen Flugverkehrs, die separat ausgewiesen werden. Würde man diese mitberücksichtigen, müsste man zum Total knapp zehn Prozent dazurechnen.

Betrachtet man die Treibhausgasemissionen der Schweiz aus Sicht der Sektoren (Abb. 3.5), so sind der Strassenverkehr mit 33 Prozent und die Beheizung von Gebäuden mit 24 Prozent (16 Prozent Privathaushalte, 8 Prozent Dienstleistungen) der gesamten Emissionen die beiden Hauptverursacher. Die Industrie verursacht weitere 15 Prozent, wobei der Energieverbrauch 10 Prozent beiträgt, die industriellen Prozesse (insbesondere die bei der Zementherstellung entstehenden geogenen $CO_2$-Emissionen) 5 Prozent. Es folgen die Landwirtschaft (Methanemissionen aus der Tierhaltung und Lachgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden) mit etwa 14 Prozent sowie die Energieumwandlung (Strom- und Fernwärmeerzeugung, zu einem grossen Teil aus Kehrichtverbrennungsanlagen sowie Raffinerien) mit 8 Prozent. Vier Prozent der gesamten Emissionen entstehen bei der Verwendung von fluorierten Gasen, meist bei der Anwendung von Kältemitteln. Die verbleibenden zwei Prozent stammen aus der Abfallbewirtschaftung (Abwasser, Abfalldeponien, Biogasanlagen).

3 Emissionen im Ausland, die durch in die Schweiz importierte Güter verursacht werden

## Emissionsszenarien

Mithilfe eines ökonometrischen Gleichgewichtsmodells[4] wurde abgeschätzt, wie sich die Treibhausgasemissionen der Schweiz mit den heute geltenden klimapolitischen Massnahmen (s. a. Kap. 4.2 Schweizer Klimapolitik, S. 194) bis 2030 entwickeln werden – und wie sie sich entwickelt hätten, falls keine klimapolitischen Massnahmen ergriffen worden wären. Weiter wurde abgeschätzt, welche Wirkung sich durch eine künftige Weiterentwicklung der Klimapolitik erzielen liesse und wie sich die Treibhausgasemissionen unter der Annahme zusätzlicher oder verschärfter klimapolitischer Massnahmen entwickeln würden (Abb. 3.6):

- **Hohes Szenario ohne Massnahmen («without measures», WOM):** Trotz massiver Zunahme der Bevölkerung, der Wohnfläche und des Bruttoinlandprodukts seit 1990 wären die totalen Treibhausgasemissionen bis heute dank technischem Fortschritt auch ohne klimapolitische Massnahmen nur leicht über das Niveau von 1990 gestiegen.
- **Mittleres Szenario mit den heute geltenden Massnahmen («with existing measures», WEM):** Die heute geltenden klimapolitischen Massnahmen führen dazu, dass die totalen Treibhausgasemissionen bis 2030 um fast 20 Prozent unter das Niveau von 1990 fallen werden.
- **Tiefes Szenario mit weiteren Verschärfungen der Massnahmen («with additional measures», WAM):** Im Szenario mit zusätzlichen und verschärften klimapolitischen Massnahmen wird bis 2030 eine Minderung der totalen Treibhausgasemissionen von rund 30 Prozent gegenüber 1990 erwartet.

## Emissionsentwicklung in den Sektoren

Die Anteile der Sektoren Verkehr und Gebäude an den gesamten Emissionen haben sich von 1990 bis heute in gegenläufiger Richtung verändert: Beim Verkehr erfolgte eine leichte Zunahme, bei den Gebäuden eine Abnahme. Bis 2030 verändern sich die Anteile der verschiedenen Sektoren an den totalen Treibhausgasemissionen je nach

4 Mit diesem Modell kann die Volkswirtschaft als Ganzes abgebildet und ein gesamtwirtschaftlicher Gleichgewichtszustand untersucht werden (gemini-e3.epfl.ch)

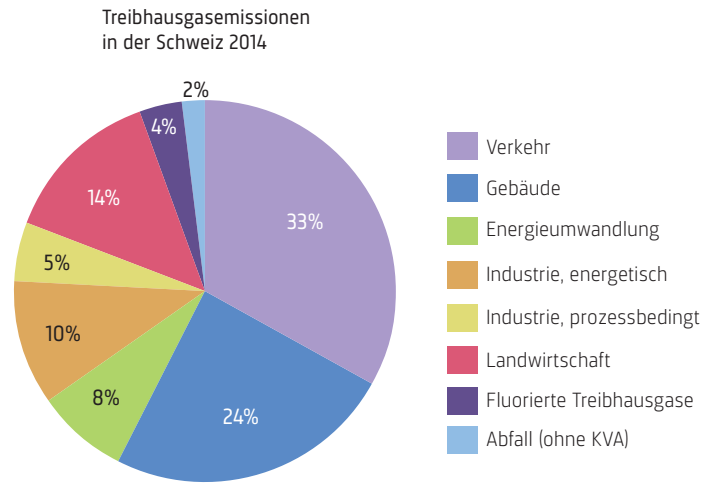



**Abbildung 3.5:** Aufteilung der Treibhausgasemissionen der Schweiz nach Sektoren im Jahr 2014. (Quelle: BAFU 2016)

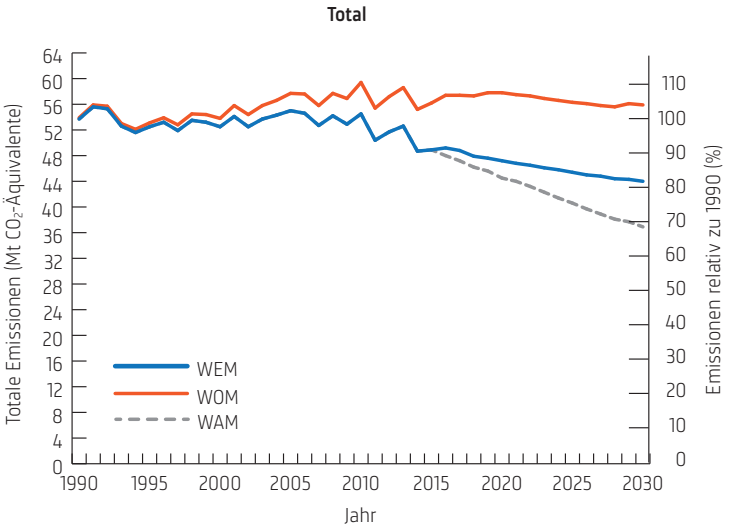



**Abbildung 3.6:** Emissionsszenarien für die Schweiz (alle Treibhausgase in $CO_2$-Äquivalenten). Aufgezeigt wird die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in drei verschiedenen Szenarien: Szenario ohne klimapolitische Massnahmen («without measures», WOM), Szenario mit heute geltenden klimapolitischen Massnahmen («with existing measures», WEM) und Szenario mit zusätzlichen und verstärkten klimapolitischen Massnahmen («with additional measures», WAM). (Quelle: EPFL & INFRAS 2016; BAFU 2016)

Szenario weiter, da sich Verkehr, Gebäude, Energieumwandlung und Industrie im Vergleich zum Total unterschiedlich entwickeln.

### Sektor Gebäude

Im Gebäudesektor gehen alle Szenarien von wesentlichen Emissionsminderungen bis 2030 aus. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowie diverse Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden sind bereits heute marktreif, werden sukzessive umgesetzt und führen – insbesondere durch den Ersatz fossiler Heizsysteme und die Verbesserung der Gebäudehülle – in den Szenarien WEM und WAM bis 2030 zu Emissionsminderungen um 40 bis 60 Prozent. Selbst im Szenario ohne politische Massnahmen (WOM) werden allein durch den technischen Fortschritt Emissionsminderungen erzielt, allerdings deutlich verlangsamt gegenüber den Szenarien mit klima- und energiepolitischen Massnahmen (Abb. 3.7).

### Sektor Verkehr

Durch die Zunahme der Fahrleistung werden Effizienzgewinne durch technischen Fortschritt weitgehend kompensiert. Im Szenario ohne Massnahmen (WOM) bleiben die Emissionen auch 2030 über jenen von 1990. Im Szenario mit heute geltenden Massnahmen (WEM) wird der Einsatz von effizienten Fahrzeugen durch Massnahmen beschleunigt und führt zu Emissionen, die in etwa auf dem Stand von 1990 verharren. Lediglich durch eine weitere Verschärfung der Massnahmen (Szenario WAM) fallen die Emissionen trotz zunehmender künftiger Verkehrsleistung bis 2030 um maximal 10 Prozent unter das Niveau von 1990 (Abb. 3.8).

### Sektoren Industrie und Landwirtschaft

Der Anteil der Industrie (energetische und prozessbedingte Emissionen) bleibt stabil, hingegen nimmt der Anteil der landwirtschaftlichen Emissionen an den gesamten Emissionen bis 2030 leicht zu. Absolut gesehen gehen die Emissionen leicht zurück.

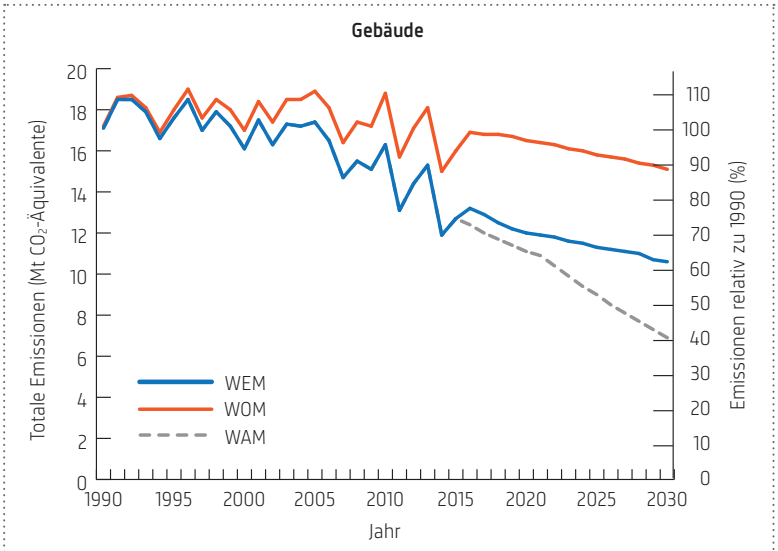



**Abbildung 3.7:** Emissionsszenarien für den Sektor Gebäude. (Quelle: EPFL & INFRAS 2016; BAFU 2016)

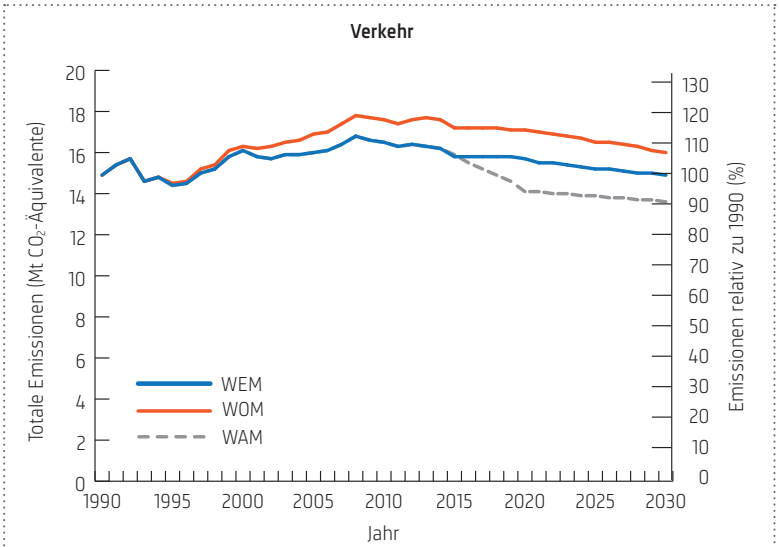



**Abbildung 3.8:** Emissionsszenarien für den Sektor Verkehr. (Quelle: EPFL & INFRAS 2016; BAFU 2016)

## Referenzen

BAFU (2016) **Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2014.** Federal Office for the Environment (FOEN), Bern. www.climatereporting.ch

EPFL, INFRAS (2016) **Emissions scenarios without measures 1990 – 2030.** Report to the Federal Office for the Environment (FOEN). Zurich & Lausanne, 4 May.

# 3.3 Verhaltensänderungen

**Während die Wirtschaft in den letzten Jahren viel in Emissionsminderungsmassnahmen investiert hat, sind die Treibhausgasemissionen der privaten Haushalte in der Schweiz in den letzten beiden Jahrzehnten kaum zurückgegangen. Dem Rückgang der Emissionen im Heizungsbereich steht eine Zunahme beim Individualverkehr gegenüber. Die Haushaltsemissionen inklusive Privatverkehr machen heute gut ein Drittel der Gesamtemissionen aus. Ein Emissionsrückgang scheitert unter anderem an ökonomischen und institutionellen Rahmenbedingungen sowie an psychologischen und sozialen Hemmnissen. Das Wissen um diese Einflussfaktoren bietet Anknüpfungspunkte für die Planung möglicher Massnahmen, mit deren Hilfe man künftige Verhaltensänderungen der privaten Haushalte fördern kann.**

*Renate Schubert (ETH Zürich)*

Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht, vor allem der im April 2014 erschienene Bericht der Arbeitsgruppe III (IPCC 2014/WGIII), weist darauf hin, dass eine Erhöhung der Energieeffizienz in den Bereichen Verkehr, Industrie und Gebäude von zentraler Bedeutung für die weltweite Begrenzung der Treibhausgasemissionen sei. Nebst technischem Fortschritt sind dabei auch Verhaltensänderungen – gerade auch bei privaten Akteuren – unverzichtbar; sie könnten die Energienachfrage kurzfristig um 20 Prozent und bis 2050 um 50 Prozent senken und so einen wichtigen Beitrag zur Emissionsminderung leisten. Verhaltensänderungen seien aber schwierig zu erreichen, da Individuen gerne am Status-Quo festhielten und selten von langfristigen Überlegungen getrieben seien. Monetäre und nicht-monetäre Anreize ebenso wie bessere Information seien daher wichtig, um die erforderlichen Verhaltensänderungen in Gang zu setzen.

Solche Überlegungen sind auch für die Schweiz wichtig. Private Haushalte verursachen rund 35 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz, rund 20 Prozent im Haushalt selbst und rund 15 Prozent beim privaten Transport (BFS 2014). In den letzten beiden Dekaden haben die verkehrsbedingten Emissionen stark zugenommen, während die heizungsbedingten Emissionen zurückgingen (Abb. 3.9). Würden die Emissionen im Bereich «Verkehr» künftig weniger stark ansteigen oder die Emissionen im Bereich «Heizung» stärker zurückgehen, könnten sich die Gesamtemissionen des Haushaltssektors trotz wachsender Wohnbevölkerung verringern. Dem stehen jedoch verschiedene Hemmnisse entgegen.

## Ökonomische und institutionelle Hemmnisse

### Finanzielle Hemmnisse

Private Haushalte haben wenige finanzielle Anreize, ihr Verhalten gegenüber fossilen Energieträgern zu ändern: Die Preise für diese Energieträger sind nämlich eher tief, und die durch die Treibhausgasemissionen verursachten Schäden, die so genannten externen Kosten, sind darin nicht enthalten. Ausserdem ist der Anschaffungspreis von Installationen, die auf regenerative Energien setzen, beispielsweise von Elektroautos oder Erdwärmeheizungen, derzeit relativ hoch und die Rentabilität ist in vielen Fällen tiefer als die der fossil basierten Installationen.

Emissionsminderungen privater Haushalte scheitern deshalb oft auch daran, dass es den Haushalten an finanziellen Mitteln fehlt, um Investitionen zu tätigen, die ihre künftigen Treibhausgasemissionen senken könnten. Die Umstellung des Heizsystems eines Einfamilienhauses etwa, zum Beispiel von einer Ölheizung mit vielen Treibhausgasemissionen auf eine Erdwärme-Heizung mit wenigen Emissionen, oder der Einbau einer Solaranlage bringen einen erheblichen Investitionsbedarf mit sich, der viele Haushalte überfordert.

### Institutionelle Rahmenbedingungen

Neben solchen ökonomischen Rahmenbedingungen haben auch *institutionelle Rahmenbedingungen* die Schweizer Verbraucherinnen und Verbraucher bisher davon abgehalten, ihre Treibhausgasemissionen deutlicher zu verringern (Schubert 2013). Viele Schweizer Haushalte sind Mieter und nicht Eigentümer ihrer Wohnungen und Häuser und können bei der Auswahl der Heiz- oder Kühlsysteme oder bei der Isolation der Gebäude nicht mitentscheiden. Da für die Eigentümer vielfach nur der Anschaffungspreis der entsprechenden Installationen von Interesse ist, fehlen Anreize, auf Anlagen mit tiefen Emissionen umzusteigen, Gebäudeisolationen durchzuführen oder entsprechende Massnahmen für neue Gebäude vorzusehen.

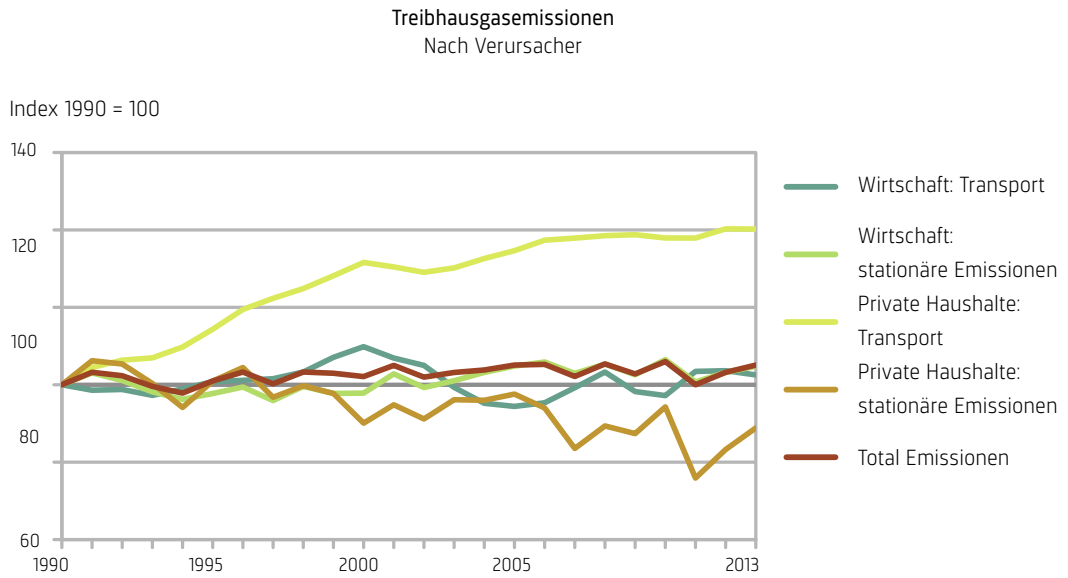



**Abbildung 3.9:** Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Schweiz zwischen 1990 und 2011. Während die totalen Emissionen (rote Linie) zwar etwas schwankten, aber nicht wesentlich zunahmen, stiegen die Emissionen der privaten Haushalte im Transportbereich (hellgrüne Linie) deutlich an (um knapp 40 Prozent). Die stationären Emissionen (gelbe Linie) – vor allem Emissionen aus dem Bereich Heizen und Kühlen – gingen demgegenüber ab 2005 sogar zurück. Die Emissionen der Wirtschaft unterscheiden sich im Jahr 2011 weder im Transportbereich (blaue Linie) noch bei den stationären Emissionen (dunkelgrüne Linie) wesentlich vom Emissionsniveau von 1990. (Quelle: BFS 2014)

### Politikinstrumente

Die Politik hat verschiedene Möglichkeiten, die Emissionsminderung zu fördern. In der Schweiz werden diese vor allem im Wirtschaftssektor eingesetzt, zum Beispiel die Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA), ein Emissionshandelssystem oder die $CO_2$-Abgabe auf fossile Brennstoffe. Im grössten Problemsektor hingegen, dem Privatverkehr, blieben griffige Massnahmen bisher aufgrund fehlender politischer Akzeptanz weitgehend aus. So fehlt beispielsweise eine $CO_2$-Abgabe auf Treibstoffe. Die Einführung technischer Normen wurde bisher eher zurückhaltend eingesetzt. Die Umweltinformation beim Autokauf fokussiert auf Energieeffizienzklassen, die nicht den absoluten, sondern den relativen Treibstoffverbrauch im Verhältnis zum Fahrzeuggewicht bezeichnen. Die technischen Effizienzsteigerungen bei Fahrzeugen wurden in den letzten Jahren denn auch durch den Einsatz grösserer und schwererer Fahrzeuge mehr als wettgemacht. In der Schweiz wird bei der Ablehnung von Politikinstrumenten oft die Begründung der Benachteiligung von Berg- oder abgelegenen ländlichen Gebieten angeführt, zum Beispiel da diese auf den Individualverkehr angewiesen seien. Ein erhöhter Treibstoffbedarf ist in diesen Regionen allerdings nicht erwiesen.

## Psychologische und soziale Hemmnisse

### Fehlendes Wissen und Wahrnehmung

Abgesehen von den ökonomischen und institutionellen Rahmenbedingungen verhindern psychologische Barrieren und soziale Hemmnisse, dass weitere Anstrengungen zur Verringerung der individuellen Treibhausgasemissionen unternommen werden. Zum einen *wissen* viele Haushalte gar nicht, in welchem Ausmass sie mit ihrem Verhalten zu den Treibhausgasemissionen der Schweiz beitragen oder wie sie diese wirksam verringern könnten. Eine Reflexion über die Folgen des eigenen Lebensstils findet nur selten statt. Ein Grund dafür könnte die Zurückhaltung gegenüber Informationskampagnen in der Schweiz sein, mit denen eine solche Reflexion gefördert werden könnte. Darüber hinaus ist die *Wahrnehmung* vieler Haushalte häufig in dem Sinne verzerrt, dass sie keinen Zusammenhang zwischen ihrem eigenen Verhalten und der Gefahr des Klimawandels herstellen und diese Gefahr ausserdem als etwas sehr Abstraktes und räumlich wie zeitlich weit Entferntes und daher nicht besonders Bedrohliches wahrnehmen (Attari et al. 2010). Dadurch fehlen unmittelbare Gründe für die Sorge um die Umwelt und der moralische Antrieb für die Bereitschaft zu handeln. Diese bilden aber die wichtigste Basis für ein entsprechendes Engagement (Lindenberg & Steg 2007).

### Soziale Normen

*Unsicherheit* über die künftigen Rahmenbedingungen scheint ebenfalls Verhaltensänderungen zu behindern. Dabei spielen soziale Normen, das heisst das Verhalten der anderen Individuen und Haushalte, eine wichtige Rolle. Solange Individuen nicht sicher sind, dass auch andere Personen Anstrengungen zur Emissionsminderung unternehmen, scheint die Bereitschaft eher gering zu sein, persönliche oder monetäre Kosten für Verhaltensänderungen auf sich zu nehmen. Dies gilt zum Beispiel fürs Umsteigen vom Auto auf den öffentlichen Verkehr (Devine-Wright 2010). Eine hohe Zahl von Menschen, die Anstrengungen zur Eindämmung des Klimawandels unternehmen, oder die Anerkennung des Engagements im Freundeskreis oder in sozialen Netzwerken verstärken die Bereitschaft, sich für Emissionsminderungen einzusetzen. Auch prominente Vorbilder können dabei wichtig sein (Abrahamse & Steg 2009).

### Rebound-Effekte

Weiter beeinflussen sogenannte *Rebound-Effekte* das Ausmass der Energie- und Emissionseinsparungen. Bei diesen Effekten geht es darum, dass monetäre Einsparungen an einer Stelle durch Mehrverbrauch an anderer Stelle kompensiert oder sogar überkompensiert werden (Gillingham et al. 2013). Können Haushalte zum Beispiel aufgrund einer effizienteren Heizung Kosten sparen, leisten sie sich beispielsweise eine zusätzliche Auslandreise, was die zuvor eingesparten Emissionen wieder kompensiert. Derartige Ausweichreaktionen als Folge emissionsmindernder Handlungen können aufgrund verschiedener Ursachen auftreten: So haben viele Menschen eine Art individuelles Budget für Nachhaltigkeitsanstrengungen. Höhere Anstrengungen in einem Bereich ziehen tiefere Anstrengungen in anderen Bereichen nach sich, so dass das Budget insgesamt ausgeglichen bleibt (Khan & Dhar 2006). Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch das Konzept des «finite pool of worry» (Weber 2006). Es betont, dass die Anzahl Verhaltensänderungen begrenzt ist, die durch Besorgnis, zum Beispiel über die Klimaänderung, ausgelöst wird. Trotz der emissionsmindernden Wirkung einzelner Aktivitäten können die Gesamtemissionen einzelner Personen daher durchaus ansteigen.

### Wohlergehen in der Gegenwart ist wichtiger

Mögliche Emissionsminderungen privater Haushalte werden auch dadurch eingeschränkt, dass viele Individuen eine hohe Präferenz für ihr Wohlergehen in der Gegenwart haben und sich bei ihren Handlungen nicht dafür interessieren, wie es ihnen oder ihren Kindern oder Enkelkindern in einer ferneren Zukunft gehen könnte. Hohe Diskontraten, die im Übrigen vor allem bei Unsicherheit und bei tiefen Einkommen zu beobachten sind, sorgen dafür, dass Emissionsminderungen und die damit verbundenen persönlichen und monetären Kosten auf die Zukunft verschoben werden (Greene 2011). Häufig ist ein solches Verschieben auch Ausdruck von *Risikoaversion*. Individuen scheuen vor Verlusten zurück – und als solche werden Emissionsminderungen häufig wahrgenommen: Man hat Kosten für Verhaltensänderungen in der Gegenwart, denen unsichere und sowieso erst in der Zukunft auftretende Erträge gegenüber stehen.

## Ansatzpunkte zum Abbau der Barrieren

Was könnte man nun tun, damit mehr Haushalte in der Schweiz ihre Treibhausgasemissionen auf ein tieferes Niveau absenken? Da ökonomische Aspekte eine sehr wichtige Rolle spielen, scheint es unumgänglich zu sein, den Emissionen einen Preis zu geben, das heisst, alle fossilen Energien – auch die Treibstoffe – stärker zu besteuern und die institutionellen Rahmenbedingungen so anzupassen, dass tatsächliche Anreize für Emissionsminderungen gegeben sind.

Energiepolitische Massnahmen sind neben der Aufforderung zu freiwilligem Handeln notwendig. Sie erreichen im Allgemeinen ihre höchste Akzeptanz, wenn sie als «fair» empfunden werden, wenn sie die Wahlfreiheit der handelnden Personen eher erhöhen als senken, wenn sie das Schwergewicht auf mehr Effizienz statt auf Verzicht legen und wenn sie auf die Minderung des Energieverbrauchs im Haushalt statt beim Transport zielen (Steg 2008). Letzteres bestätigt, dass beim Verkehr die Minderung kaum über individuelles Verhalten sondern vielmehr über technische Normen und spürbare finanzielle Anreize gesteuert werden kann (z. B. $CO_2$-Abgabe).

Daneben könnten mehr Rückmeldungen zu eigenen Emissionen (zum Beispiel durch obligatorische Carbon Footprints) nützlich sein, wie eine Verbreiterung der Wissensbasis der Haushalte, unter anderem durch Energieverbrauchs-Angaben für Produkte oder auch Häuser beziehungsweise Wohnungen, oder Verbrauchsmesssysteme im Haushalt. Breit angelegte Informationskampagnen würden hier Abhilfe schaffen und zu einem erhöhten Problembewusstsein beitragen. Hier könnten nicht zuletzt auch Firmen eine wichtige Rolle spielen, indem sie ihren Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern Informationen und konkrete Umsetzungsmassnahmen anbieten. Ein Vorteil solcher firmenbasierter Programme wäre, dass deutlich wird, dass andere ebenfalls handeln. Dies könnte die Bereitschaft deutlich erhöhen, Kosten im Zusammenhang mit Emissionsminderungen auf sich zu nehmen.

Ein ähnlicher Effekt könnte durch eine Aktivierung der sozialen Netzwerke ausgelöst werden, in denen sich Individuen bewegen und die ihnen wichtig sind. Möglicherweise könnten genau durch solche Netzwerke die engen Grenzen individueller Nachhaltigkeitsbudgets ausgehebelt werden. Netzwerke könnten auch helfen, Veränderungen im Lebensstil zu beschleunigen, etwa durch mehr «Likes» für energieeffizientes Verhalten, die Gründung von Fahrgemeinschaften oder Ähnlichem.

Effizienzförderungsmassnahmen müssten verbunden werden mit der Aufklärung über die Gefahr der Kompensation von Minderungsanstrengungen durch Mehrverbrauch oder mehr Bequemlichkeit in anderen Bereichen (Rebound-Effekt). Damit kann Menschen gezeigt werden, dass sie durch ihre Anstrengung das eigentliche Ziel, nämlich die Emissionsminderung, nicht erreichen, wenn sie dies durch Tätigkeiten in einem anderen Bereich wieder aufheben. Das Aufzeigen von solchen Widersprüchen zwischen den Absichten einer Person und dem effektiven Resultat ihrer Handlungen sowie von Wegen, diesen Widerspruch aufzulösen, hat sich als sehr effektiv in der Förderung umweltgerechten Handelns erwiesen. Weiter haben sich das Setzen von konkreten Zielen (z. B. «Minderung des Elektrizitätsverbrauchs um 20 Prozent»), der direkte Erfahrungsaustausch mit Personen, die Minderungsaktivitäten erfolgreich unternommen haben sowie das Anbringen von Erinnerungsnotizen («Beim Verlassen des Raumes Licht löschen») als erfolgreiche Instrumente für die Unterstützung individueller Anstrengungen erwiesen (Osbaldiston & Schott 2012).

## Referenzen


Abrahamse W, Steg L (2009) **How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings?** Journal of Economic Psychology 30: 711–720.

Attari SZ, DeKay ML, Davidson CI, de Bruin WB (2010) **Public perceptions of energy consumption and savings.** PNAS 107: 16054–16059.

BFS (2014) **Umweltgesamtrechnung-Indikatoren; Treibhausgasemissionen nach Wirtschaftsakteuren.** www.bfs.admin.ch

Devine-Wright P (2010) (ed.) **Renewable energy and the public – From NIMBY to participation.** Earthscan, London.

Gillingham K, Kotchen MJ, Rapson DS, Wagner G (2013) **The rebound effect is overplayed.** Nature 493: 475–476.

Greene DL (2011) **Uncertainty, loss aversion, and markets for energy efficiency.** Energy Economics 33: 608–616.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Khan U, Dhar R (2006) **Licensing effect in consumer choice.** Journal of Marketing Research 43: 259–266.

Lindenberg S, Steg L (2007) **Normative, gain and hedonic goal-frames guiding environmental behaviour.** Journal of Social Issues 63: 117–137.

Osbaldiston R, Schott JP (2012) **Environmental Sustainability and Behavioral Science: Meta-Analysis of Proenvironmental Behavior Experiments.** Environment and Behavior 44: 257–299.

Schubert R (2013) **Instrumente zur Vermittlung von Wertewandel und Verhaltensänderungen im nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen der Erde.** Nova Acta Leopoldina 400: 367–396.

Steg L (2008) **Promoting household energy conservation.** Energy Policy 36: 4449–4453.

Weber EU (2006) **Experience-based and description-based perceptions of long-term risk: Why global warming does not scare us (yet).** Climatic Change 77: 103–120.

# 3.4 Energie

**Das Energiesystem, bestehend aus Energiebereitstellung und Energienutzung, verursacht heute 75 Prozent der globalen und 80 Prozent der Schweizer Treibhausgasemissionen. Ob die Ziele zur Minderung der Treibhausgase erreicht werden, hängt daher zentral vom Erfolg des Umbaus zu einem $CO_2$-armen Energiesystem ab. Ein grosser Teil der globalen Treibhausgase entsteht durch die Stromerzeugung, und ohne Gegenmassnahmen wird hier eine Verdoppelung der $CO_2$-Emissionen erwartet. Diese Emissionen könnten mit dem weitgehenden Ersatz durch die Produktion aus erneuerbaren und $CO_2$-armen Quellen praktisch eliminiert werden. Auch im Industriesektor lässt sich global eine Halbierung der Emissionen durch effizientere Energienutzung erreichen. In der Schweiz beschränkt sich die Treibhausgasminderung auf die Energienutzung, da die Elektrizitätsproduktion bereits heute praktisch $CO_2$-frei ist. Die grössten Minderungspotenziale bestehen hierzulande im Gebäudebereich und im Verkehrssektor.**

*Alexander Wokaun (Paul Scherrer Institut), Christoph Ritz (ProClim/SCNAT)*

## Energiesystem spielt entscheidende Rolle beim Klimawandel

Die Verfügbarkeit von Energie ist essentiell für die soziale Wohlfahrt der Weltbevölkerung, und die Energie ist ein zentraler Produktionsfaktor der Weltwirtschaft. Die Energiebereitstellung basiert heute weitgehend auf der thermischen Nutzung fossiler Energieträger und verursachte 2010 weltweit 37 Gigatonnen der insgesamt ausgestossenen 49 Gigatonnen $CO_2$-Äquivalente. Die Nutzung und Bereitstellung von Energie sind mit 75 Prozent für den dominierenden Anteil der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich; dabei werden 65 Prozent in Form von $CO_2$ und 5 Prozent in Form von Methan ausgestossen. Da $CO_2$ eine lange Verweildauer in der Atmosphäre hat (mehrere hundert Jahre bis Jahrtausende [Solomon 2009]), spielt das Energiesystem eine zentrale Rolle, wenn man den Klimawandel langfristig limitieren will (IPCC 2014/WGIII/Chap. 7).

In der Schweiz stammen sogar 80 Prozent der Treibhausgasemissionen aus dem Energiesystem (41,5 Megatonnen von total 52,6 Megatonnen $CO_2$-Äquivalente im Jahr 2013). Grund für den im globalen Vergleich höheren Anteil ist primär der geringere Anteil der Emissionen aus der Landwirtschaft. Da die Bereitstellung (Gewinnung, Raffinierung und Transport) der fossilen Energieträger im Ausland erfolgt und die Stromerzeugung durch Wasserkraft und Kernkraft $CO_2$-arm ist, lassen sich in der Schweiz energiebedingte Treibhausgasminderungen praktisch nur in der Energienutzung realisieren (BAFU 2015).

## Energiesystem: Treibhausgasemissionen in den Sektoren

Die Aufteilung der globalen Treibhausgasemissionen aus der Energiebereitstellung und der Energienutzung auf die vier Sektoren Industrie, Transport, Gebäude und Landnut-

### Das Energiesystem und dessen Treibhausgasemissionen

Um die verschiedenen Quellen von Treibhausgasemissionen zu verstehen, ist es zweckmässig, das ganze Energiesystem zu betrachten. Das Energiesystem setzt sich zusammen aus Energiebereitstellung und Energienutzung:

**Energiebereitstellung:**

- Gewinnung der Primärenergien (z. B. Kohle, Kernbrennstoff, Wasser, Wind),
- deren Umwandlung zu Sekundärenergie (z. B. in Raffinerien, fossil befeuerten Elektrizitätswerken, Wasserkraftanlagen, Windturbinen, Solarzellen),
- Transport der Sekundärenergie mit Schiffen, Pipelines und Elektrizitätsnetzen zu den Kunden, die diese als Endenergie beziehen.

**Energienutzung:**

- Umwandlung der Endenergie in Nutzenergie (z. B. mechanische Antriebsenergie, Wärme) für Energiedienstleistungen (z. B. Transport von Gütern und Personen, Trocknen von Gütern).

Bei den daraus entstehenden Emissionen kann unterschieden werden zwischen direkten und indirekten Emissionen:

- **Direkte Emissionen** sind diejenigen, die bei der Nutzung der Energie vor Ort anfallen (z. B. beim Fahren eines benzingetriebenen Fahrzeugs oder dem Verbrennen von Öl in einer Ölheizung).
- **Indirekte Emissionen** entstehen bei der Nutzung von Produkten oder von Elektrizität, deren Erzeugung an einem anderen Ort bzw. in einem anderen Land Emissionen erzeugt hat (z. B. Betrieb eines Elektrofahrzeugs mit Kohlestrom).
- **Graue Emissionen** sind indirekte Emissionen, die im Ausland erzeugt wurden und mit den Gütern und deren Transport in die Schweiz importiert werden oder aus dem Flugverkehr stammen.

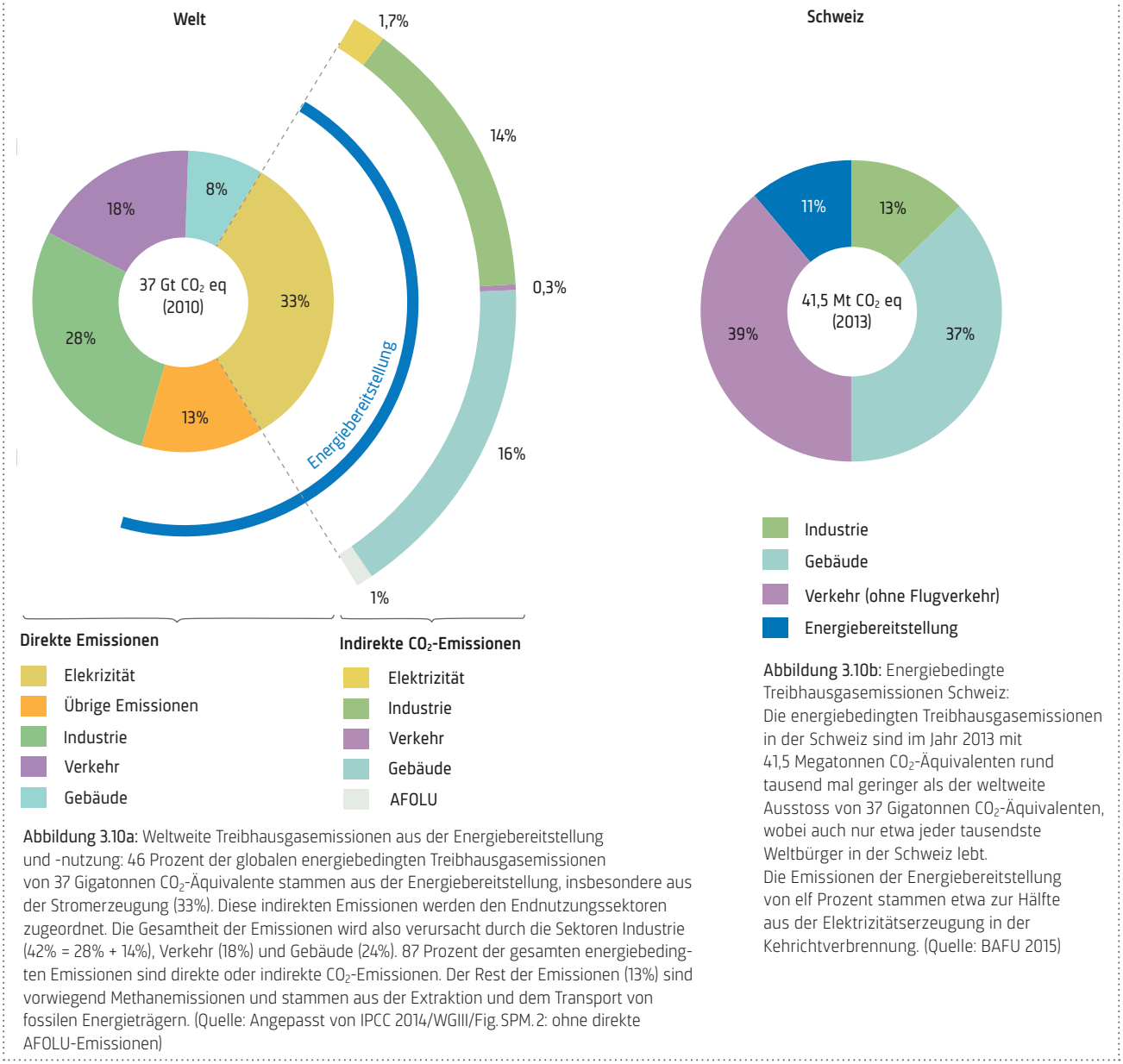



**Abbildung 3.10a:** Weltweite Treibhausgasemissionen aus der Energiebereitstellung und -nutzung: 46 Prozent der globalen energiebedingten Treibhausgasemissionen von 37 Gigatonnen $CO_2$-Äquivalente stammen aus der Energiebereitstellung, insbesondere aus der Stromerzeugung (33%). Diese indirekten Emissionen werden den Endnutzungssektoren zugeordnet. Die Gesamtheit der Emissionen wird also verursacht durch die Sektoren Industrie (42% = 28% + 14%), Verkehr (18%) und Gebäude (24%). 87 Prozent der gesamten energiebedingten Emissionen sind direkte oder indirekte $CO_2$-Emissionen. Der Rest der Emissionen (13%) sind vorwiegend Methanemissionen und stammen aus der Extraktion und dem Transport von fossilen Energieträgern. (Quelle: Angepasst von IPCC 2014/WGIII/Fig. SPM. 2: ohne direkte AFOLU-Emissionen)

**Abbildung 3.10b:** Energiebedingte Treibhausgasemissionen Schweiz: Die energiebedingten Treibhausgasemissionen in der Schweiz sind im Jahr 2013 mit 41,5 Megatonnen $CO_2$-Äquivalenten rund tausend mal geringer als der weltweite Ausstoss von 37 Gigatonnen $CO_2$-Äquivalenten, wobei auch nur etwa jeder tausendste Weltbürger in der Schweiz lebt. Die Emissionen der Energiebereitstellung von elf Prozent stammen etwa zur Hälfte aus der Elektrizitätserzeugung in der Kehrichtverbrennung. (Quelle: BAFU 2015)

zung unterscheiden sich von derjenigen in der Schweiz beträchtlich (Abb. 3.10a und 3.10b).

## Globale Situation

In Abbildung 3.10a sind die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen ersichtlich, die weltweit durch die bedeutendsten Sektoren ausgestossen werden. Fast die Hälfte (46 Prozent) der energiebedingten Treibhausgasemissionen stammen aus der **Energiebereitstellung.** Der grössere Teil davon (33 Prozent vom Total) entsteht bei der Elektrizitätserzeugung (bzw. -bereitstellung) durch fossil befeuerte thermische Kraftwerke, vor allem Kohlekraftwerke. Die in thermischen Kraftwerken anfallende Wärme («Abwärme») wird meist nicht genutzt. Die anderen 13 Prozent stammen aus der Gewinnung der fossilen Energieträger, deren Bearbeitung in Raffinerien und beim Transport zu den Endverbrauchern.

Bei der **Energienutzung** ist die Industrie mit 42 Prozent die grösste Quelle von Treibhausgasen. Die Industrie verbraucht fast die Hälfte des gesamten Stroms weltweit und verursacht damit beträchtliche indirekte $CO_2$-Emissionen. Die direkten Emissionen der Industrie (s. a. Box Das Energiesystem und dessen Treibhausgasemissionen, S. 168) stammen rund zur Hälfte aus der Erzeugung von Prozesswärme für die Zement- und Metallproduktion so-

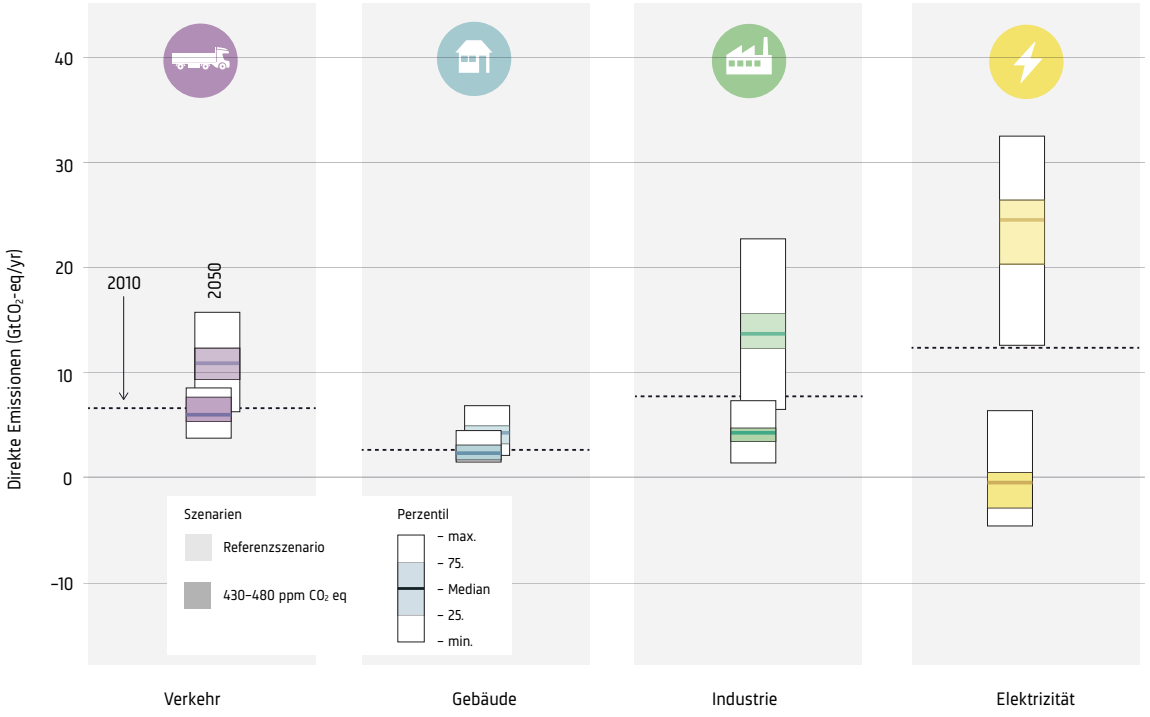



**Abbildung 3.11:** Direkte globale Treibhausgasemissionen nach Sektoren. Die Emissionen 2010 sind als gepunktete Linie dargestellt (sie entsprechen den Werten aus Abb. 3.10a). Die direkten Emissionen steigen in den Sektoren Transport, Industrie und Elektrizitätserzeugung bis 2050 unter der Annahme «Weiter Wie Bisher» (RCP8.5, Balken in schwächeren Farben) verglichen mit heute massiv an. Die Emissionen im Gebäudebereich bleiben etwa auf heutigem Stand. Um das 2-Grad-Ziel zu erreichen (Balken in intensiven Farben) muss insbesondere der Elektrizitätssektor $CO_2$-neutral werden. Die Veränderung des Elektrizitätsbedarfs in den einzelnen Sektoren (d. h. die indirekten Emissionen) sind dem Sektor Elektrizität zugerechnet. (Quelle: Angepasst von IPCC 2014/SYR/Fig. SPM. 14)

wie die chemische Industrie. Gebäude und Verkehr sind weltweit für 24 Prozent beziehungsweise 18 Prozent der Emissionen verantwortlich, wobei zwei Drittel der Emissionen der Gebäude aus indirekten Emissionen durch den Stromverbrauch bestehen.

## Situation Schweiz

In der Schweiz (Abb. 3.10b) sind die Treibhausgasemissionen aus der **Energiebereitstellung** mit 11 Prozent gering, insbesondere weil die Stromerzeugung mit 60 Prozent Wasserkraft und 40 Prozent Nuklearstrom praktisch $CO_2$-frei ist.

Bei der **Energienutzung** dominieren die Treibhausgasemissionen von Verkehr (39 Prozent) und Gebäuden (37 Prozent). Die Emissionen der Industrie sind mit 13 Prozent relativ gering. Der prozentuale Anteil der Emissionen aus dem Verkehrssektor ist damit etwa doppelt so hoch wie in der ganzen Welt.

## Ziele und Massnahmen

Sowohl auf globaler Ebene wie auf Ebene Schweiz sind die übergeordneten Ziele zur Emissionsminderung dieselben – und sie betreffen in erster Linie den Bereich Energie:

– Die Substitution fossiler Energieträger durch $CO_2$-arme Energieträger, welche die Umwelt wenig belasten und
– Eine verminderte Energienutzung durch höhere Energieeffizienz und durch Anpassung des Verhaltens (s. a. Kap. 3.3 Verhaltensänderungen, S. 164).

## Global

### Energiebereitstellung

Für das Szenario ohne explizite Massnahmen zum Klimaschutz (kurz: Referenzszenario) RCP8.5 wird erwartet, dass sich der Bedarf an Primärenergie weltweit bis 2050 in allen Sektoren gegenüber 2010 fast verdoppelt (Abb. 3.11). Für eine Minderung der Treibhausgasemissionen braucht es somit eine entsprechende Umgestaltung des Energiesystems, wie in den verschiedenen Klimaszenarien diskutiert (s. a. Kap. 1.5 Szenarien für die zukünftigen Treibhausgasemissionen, S. 38). **Elektrizität** gilt dabei

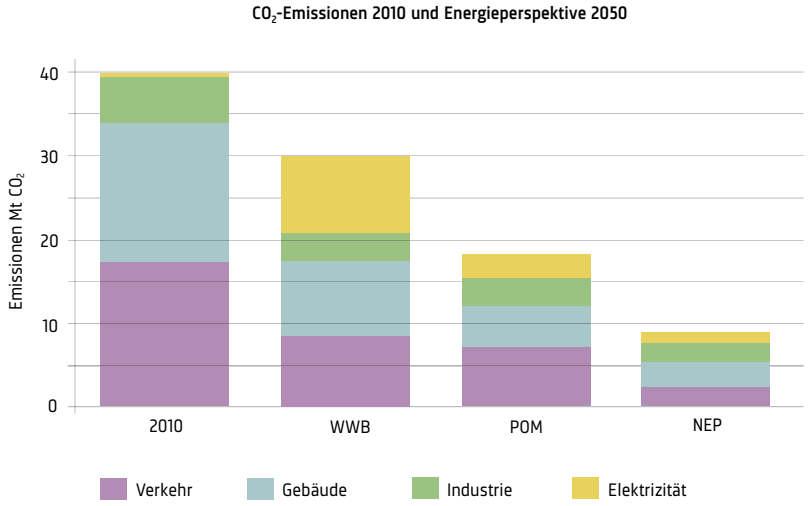



**Abbildung 3.12:** $CO_2$-Emissionen der Schweiz 2010 und 2050 für die drei Szenarien der Energieperspektiven 2050 des Bundesamts für Energie (BFE): Weiter Wie Bisher (WWB), Massnahmen Bundesrat (POM) und Neue Energiepolitik (NEP). Allen Szenarien liegen ein Auslaufen der Stromerzeugung durch Kernenergie und ein Ausbau der Wasserkraft zu Grunde. Während im Szenario WWB von einem moderaten Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion ausgegangen wird, ist dieser in den Szenarien POM und NEP verstärkt. Der restliche Strombedarf wird in allen Szenarien durch den Zubau von Gaskombikraftwerken (GuD) und dezentralen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) gedeckt. (Quelle: BFE & Prognos 2012)

als eine wichtige Alternative zu anderen Endenergien, da eine Dekarbonisierung grosser Kraftwerke einfacher umsetzbar und kostengünstiger ist als in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie. Unabhängig vom Szenario ist die Dekarbonisierung der Stromerzeugung dringend, da die Nachfrage nach Elektrizität weltweit steigt. Es stehen prinzipiell folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Starker Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere von Windkraftanlagen und Photovoltaik. Die energetische Nutzung der Biomasse kann zusätzlich einen wesentlichen Beitrag leisten. Erwähnt werden auch geothermische Kraftwerke und Ozeanenergie (Gezeiten, Wellen),
- Ersatz von Kohlekraftwerken durch hocheffiziente Gas-Kombi-Kraftwerke (Wirkungsgrade höher als 60 Prozent),
- Abtrennung des $CO_2$ aus den Abgasströmen von Kohle- und Gaskraftwerken und geologische Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) und
- Nutzung der Kernenergie, sofern die Anforderungen an Sicherheit, Brennstoffkreislauf und Abfallmanagement erfüllt werden können.

Nach Einschätzung der IPCC-Autoren sind *alle* diese Massnahmen erforderlich, um eine Stabilisierung des Klimas zu erreichen; im Fünften IPCC-Sachstandsbericht ist deshalb keine Priorisierung zu finden. Die Auswahl aus diesem Portfolio wird von länderspezifischen Gegebenheiten, volkswirtschaftlicher Optimierung und politischen beziehungsweise gesellschaftlichen Präferenzen bestimmt.

### Energienutzung

Die Steigerung der Energieeffizienz ist eine essentielle Voraussetzung für die Erreichung jedes Klima-Stabilisierungsziels, da die Energieeffizienz die Gesamtnachfrage nach Primärenergie wesentlich beeinflusst. Die möglichen Effizienzsteigerungen sind je nach Sektor verschieden (Abb. 3.11).

Im **Verkehrssektor** dominieren die direkten Emissionen durch den Treibstoffverbrauch, hauptsächlich von $CO_2$. Um hier den Energiebedarf zu vermindern, sind neben technischen Effizienzmassnahmen auch Änderungen im Nutzungsverhalten erforderlich. So müssen die zurückgelegten Distanzen im Personen- und Warenverkehr gesenkt sowie Leerfahrten oder parallele Fahrten von Einzelpersonen auf gleichen Wegstrecken vermieden werden. Die Entwicklung muss in Richtung eines auf mehrere Träger abgestimmten Verkehrssystems gehen. Massnahmen dazu können auf den folgenden Handlungsebenen ergriffen werden:

- Gezielte Raumplanung zur Senkung des Mobilitätsbedarfs und Optimierung des Modalsplits (Verteilung auf die Verkehrsmittel),
- Verhaltensänderungen und Einsatz von Telekommunikation und Informationstechniken zur Reduktion von physischen Transporten,
- Förderung der Verwendung lokaler/regionaler Produkte und einer geographisch konzentrierten Warenherstellung durch einen adäquaten $CO_2$-Preis auf dem Gütertransport,
- Effizienzsteigerung der Transportinfrastruktur,
- Effizienzsteigerung der Verkehrsträger und
- Ersatz der fossilen durch kohlenstoffarme Treibstoffe, wobei jeweils der gesamte Herstellungszyklus betrachtet werden muss.

Im **Gebäudebereich** wird bis 2050 weltweit eine Zunahme des Nutzenergiebedarfs um rund 80 Prozent erwartet; Gründe dafür sind im Wohnbereich der wachsende Flächenbedarf pro Person insbesondere in den Schwellen- und Entwicklungsländern sowie das Bevölkerungs-

wachstum und der erhöhte Kühlungsbedarf. Mit ähnlich wachsendem Energiebedarf wird bei kommerziell genutzten Gebäuden gerechnet. Trotzdem ist die Veränderung der direkten $CO_2$-Emissionen der Gebäude auch ohne klimapolitische Massnahmen verglichen mit den anderen Sektoren relativ gering (schwach gefärbte Balken in Abb. 3.11). Die wichtigsten Gründe dafür sind:

- Bessere Gebäudeisolation und Gebäudetechnik,
- Substitution der fossilen Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser durch andere Energien, zum Beispiel durch Solarthermie oder Erdwärme und
- Zurechnung des wachsenden Verbrauchs von Elektrizität im Sektor Gebäude zum Sektor Elektrizität.

Die direkten Treibhausgasemissionen im **Industriesektor** wachsen im Basisszenario «Weiter Wie Bisher» rasch an (Abb. 3.11). Nur ein Teil davon sind direkte Emissionen, die aus einem erhöhten Energiebedarf, insbesondere bei der Prozesswärme, resultieren. Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht rechnet damit, dass diese direkten Treibhausgasemissionen um rund die Hälfte gesenkt werden können, und zwar im Wesentlichen durch heute verfügbare Techniken. Auch bei den indirekten Emissionen, das heisst im Elektrizitätsverbrauch, sind in der Industrie massive Einsparungen möglich; diese werden im Sektor Elektrizität verbucht. Weitere Minderungen des Energiebedarfs und damit der Treibhausgasemissionen sind durch eine Steigerung der Materialeffizienz und durch das Recycling energieintensiver Werkstoffe möglich. Die Bewirtschaftung und Wiederverwertung von Abfallströmen wie die Verwendung der Abwärme aus dem Kühlbereich als Prozesswärme liefern weitere Hebel zur Minderung des Energieverbrauchs in der Industrie.

Biomasse, insbesondere Holz, aus dem **Bereich Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (AFOLU)** war vor Beginn der industriellen Revolution die zentrale Energiequelle, hat aber in den Industrieländern wegen der billigen fossilen Ressourcen an Bedeutung verloren. Die Diskussion über nachhaltige Formen der grossmassstäblichen energetischen Nutzung von Biomasse wird international intensiv geführt. Neben der Konkurrenzierung der Nahrungsmittelproduktion durch den Anbau von Pflanzen für die energetische Nutzung stehen dabei vor allem die Vermeidung von Feinstaub- und Stickoxidemissionen und damit die Luftreinhaltung im Zentrum. In der Schweiz sind entsprechende Konzepte mit der Konzentration auf die Nutzung von Abfällen relativ weit fortgeschritten.

## Schweiz

Die Szenarien der Energieperspektiven 2050 (BFE & Prognos 2012) bilden die Grundlage der Energiestrategie 2050 und sind seit ihrer Veröffentlichung Gegenstand der politischen Diskussion. Das vom Bundesrat dem Parlament vorgelegte erste Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 wird dabei im Szenario «Politische Massnahmen» (POM) abgebildet, wohingegen die langfristigen Ziele der Energiestrategie dem Szenario der «Neuen Energiepolitik» (NEP) folgen. Das Szenario «Weiter Wie Bisher» (WWB) bildet die Entwicklung der bisher in Kraft befindlichen Massnahmen ab (Abb. 3.12).

- **NEP**: Zielszenario mit einer Entwicklung des Energieverbrauchs und der Stromproduktion der Schweiz, die eine Senkung der energiebedingten $CO_2$-Emissionen bis ins Jahr 2050 auf 1 bis 1,5 Tonnen pro Kopf ermöglicht. Dieses Szenario bedingt eine international abgestimmte $CO_2$-Minderungs- und Energieeffizienzpolitik.
- **POM**: Das Szenario ist massnahmenorientiert und zeigt auf, wie sich die Massnahmen des ersten Massnahmenpakets zur Konkretisierung der Energiestrategie auf die Energienachfrage und das Elektrizitätsangebot auswirken. Gezielt gefördert werden in diesem Szenario energetische Massnahmen auf der Energienutzungsseite, der Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden und erneuerbare Energien auf der Elektrizitätsangebotsseite. Dieses Szenario ist wenig abhängig von der internationalen Energiepolitik.
- **WWB**: Alle heute in Kraft befindlichen energiepolitischen Instrumente, Massnahmen und Gesetze werden während des betrachteten Zeithorizonts bis 2050 weiter geführt und lediglich – allenfalls verzögert – dem technischen Fortschritt angepasst. Dieses Szenario beinhaltet keine Veränderungen im Verhalten oder der Nachfrageentwicklung.

Alle Szenarien gehen davon aus, dass die bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer Betriebszeit nicht durch neue ersetzt werden. Bei einer Betriebszeit von 50 Jahren ginge im Jahre 2034 das letzte Kernkraftwerk vom Netz. In allen Szenarien wird von einem weiteren Ausbau der Wasserkraft und einem moderaten Zubau von Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) ausgegangen. Während im Szenario WWB (Variante C) von einem moderaten Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion ausgegangen wird, ist dieser in den Szenarien POM und NEP deutlich verstärkt (Varianten C und E). Der restliche Strombedarf wird jeweils durch den Zubau von Gaskombikraftwerken (GuD) gedeckt. Damit steigen die $CO_2$-Emissionen in allen Szenarien aufgrund des teilweisen Ersatzes der Kernkraftwerke durch Nutzung fossiler Brennstoffe mehr oder weniger stark an.

Nur das Szenario NEP ist kompatibel mit dem politisch deklarierten 2-Grad-Ziel[1]. Es mindert die energiebedingten $CO_2$-Emissionen bis 2050 um zirka 75 Prozent gegenüber

1 Am internationalen Klimagipfel COP21 in Paris im Dezember 2015 wurde von den Mitgliedsländern sogar ein Wunschziel von 1,5 Grad Celsius formuliert.

2010, verbunden mit einer Minderung der Nachfrage nach Endenergie um zirka 45 Prozent bei einem angenommenen gleichzeitigen Wachstum der Volkswirtschaft um zirka 45 Prozent (Energieperspektive 2050). Vor allem im Gebäudebereich nimmt der Anteil fossiler Energien für Heizzwecke massiv ab – einerseits dank verbesserter Isolation und anderseits durch die Substitution fossiler Brennstoffe durch alternative Energieträger (vor allem Wärmepumpen, dazu Wärme-Kraft-Kopplung und Fernwärmenetze). Ein zweiter wesentlicher Beitrag wird durch eine drastische Substitution der fossilen Treibstoffe Benzin und Diesel im Verkehrssektor angestrebt. Die Elektrizitätserzeugung beruht vor allem auf Wasserkraft und neuen erneuerbaren Energien. Aufgrund dieser Vorgaben gelingt es im ambitiösesten Szenario NEP, die inländischen $CO_2$-Emissionen bis 2050 um zirka 75 Prozent gegenüber 2010 zu mindern.

## Herausforderungen für die Schweiz

Der Erfolg der Schweizer Massnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen hängt stark davon ab, wie griffig die Instrumente zur Umsetzung der Energie- und Klimapolitik ausgestaltet werden. Besondere Herausforderungen bestehen in jenen Bereichen, in denen Investitionen einen sehr langen Zeithorizont haben, beispielsweise beim Ausbau von Speicherkraftwerken oder Verkehrsinfrastrukturen.

Eine Herausforderung bildet auch der hohe Anteil der «grauen» beziehungsweise indirekten Emissionen (s.a. Box Das Energiesystem und dessen Treibhausgasemissionen, S. 168) der Schweiz aufgrund des hohen Güterimports und des Tourismus. Diese Emissionen werden bei der Produktion den entsprechenden Ländern zugewiesen und bei Schiffs- und Flugtransporten in keinem Land erfasst. (Jungbluth et al. 2011)

Die Schweiz mit ihrer dichten Siedlungsstruktur und dem gut ausgebauten öffentlichen Verkehr bietet eigentlich gute Voraussetzungen für die Veränderung des Modalsplits und den Einsatz optimierter Antriebskonzepte, sofern die Herstellung der Treibstoffe (Strom und Biotreibstoffe) möglichst $CO_2$-arm erfolgt. Vielen Massnahmen im Verkehrsbereich stehen allerdings politische Hindernisse im Weg.

Im Gebäudebereich liegt die Problematik vor allem bei der Sanierung von Altbauten. Diese ist essentiell, um den $CO_2$-Ausstoss durch Heizungen mit fossilen Brennstoffen entscheidend zu vermindern. Die aktuelle Sanierungsrate von rund einem Prozent pro Jahr müsste mindestens verdoppelt werden, um die Minderungsziele bis 2050 zu erreichen.

Mit der geplanten massiven Minderung des Verbrauchs fossiler Energieträger nimmt zwar die Auslandabhängigkeit mit ihren geopolitischen Implikationen bezüglich dem Import von Rohstoffen ab. Demgegenüber erhält die Elektrizität eine noch bedeutendere Rolle als bis anhin. Dies bedingt auch eine gute Einbindung der Schweiz in das europäische Elektrizitätsnetz. Insbesondere beim Importstrom bestehen massive Marktverzerrungen durch Billig-Strom aus Wind- und Photovoltaikanlagen aufgrund von ausländischen Einspeisevergütungen sowie aus Kohlekraftwerken, weil der Preis für das Emissionsrecht einer Tonne $CO_2$ heute vernachlässigbar ist. Dies führt zu Rentabilitätsproblemen für die einheimische Wasserkraft – die nach Abschaltung der Kernkraftwerke wichtigste einheimische Stromquelle – die überdies in der Lage ist, Strom saisonal zu speichern.

Der vermehrte Einsatz variabler erneuerbarer Energiequellen bedingt auch einen Ausbau von Redundanzen im Schweizer Stromnetz. Eine Herausforderung sind auch kleine, unabhängige Netze («Microgrids») mit Eigenproduktion wegen des Ausfallrisikos und der Entsolidarisierung. Die Stromversorgung stellt zukünftig besonders im Winter eine Herausforderung dar, da die Produktion der Laufwasserkraftwerke und der Photovoltaik vermindert ist bei gleichzeitig erhöhtem Wärme- und Strombedarf.

Eine weitere Herausforderung ist der Übergang der Stromproduktion von Kernkraftwerken zu erneuerbaren Energiequellen. Der Ausbau von Letzteren wird wahrscheinlich nicht schnell genug erfolgen, um die nach Abschalten der Kernkraftwerke wegfallende Stromproduktion rechtzeitig ersetzen zu können. Sollten in einer Übergangsperiode fossil befeuerte Gaskraftwerke eingesetzt werden, müssten die verursachten Emissionen in anderen Sektoren kompensiert werden, zum Beispiel durch vermehrten Einsatz von Wärmepumpen für die Gebäudeheizung.

### Referenzen


BAFU (2015) **Treibhausgasinventar 2015.** www.bafu.admin.ch/treibhausgasinventar

BFE, Prognos (2012) **Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050.** Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 7 «Energy Systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Synthesis Report (SYR).** www.ipcc.ch/report/ar5/syr

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Synthesis Report (SYR).** Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/syr

Jungbluth N, Nathani C, Stucki M, Leuenberger M (2011) **Environmental Impacts of Swiss Consumption and Production.** A combination of input-output analysis with life cycle assessment. Federal Office for the Environment, Bern. Environmental studies 1111: 171.

Solomon S, Plattner GK, Knutti R, Friedlingstein P (2009) **Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions.** PNAS 106: 1704–1709.

# 3.5 Verkehr

**Die Emissionen des Sektors Verkehr werden in der Schweiz dominiert durch den Personen- und Gütertransport auf der Strasse. Trotz des Trends zu immer schwereren und leistungsstärkeren Personenwagen verbessert sich deren Energieeffizienz – dies wird aber durch die Verkehrszunahme überkompensiert. Entsprechend sind die Treibhausgasemissionen bis 2007 angestiegen. Seit 2008 führen neue Politikinstrumente zu einer weiteren Verbesserung der Energieeffizienz; seither sind die Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr stabil; ein klarer abnehmender Trend ist bisher also nicht sichtbar. Weltweit wächst der Personen- und Güterverkehr mit wachsendem Einkommen. Nur eine starke Entkopplung der verkehrsbedingten $CO_2$-Emissionen von der Wirtschaftsleistung kann verhindern, dass der Verkehr alle andern Minderungsanstrengungen zunichte macht.**

*Peter de Haan (Ernst Basler + Partner)*

Mobilität ist eine essenzielle Voraussetzung für Wirtschaft (Gütertransport und Arbeitsmarkt) und Gesellschaft (soziale Interaktionen und Freizeit). Mobilität kann vor allem in der Freizeit auch Selbstzweck sein und nicht nur dazu dienen, von A nach B zu gelangen. Entsprechend steigen in der Schweiz wie auch weltweit sowohl der Motorisierungsgrad als auch das Verkehrsaufkommen jährlich an. Mobilität ist in unserer Gesellschaft eine Selbstverständlichkeit, und deren negative Auswirkungen (Luftschadstoffe, Lärm, Stau) werden bis zu einem gewissen Mass akzeptiert.

## Grad der Motorisierung

Betrug der Personenwagen-Motorisierungsgrad 1990 noch 442 Personenwagen pro 1000 Einwohner, stieg er bis 2015 um rund 22 Prozent auf einen neuen Höchststand von 541 Personenwagen pro 1000 Einwohner. Der Personenwagen-Motorisierungsgrad liegt in der Schweiz trotz der höheren Kaufkraft leicht unterhalb jener der Nachbarländer, was auf das dichte ÖV-Angebot zurückgeführt werden kann. Die höhere Kaufkraft äussert sich eher bei der Anschaffung neuer teurerer und leistungsstärkerer Fahrzeuge. Im Jahr 2015 verkehrten auf Schweizer Strassen:

- 4 450 000 Personenwagen,
- 65 000 Busse,
- 340 000 Lieferwagen,
- 54 000 Lastwagen,
- 672 000 Motorräder,
- 153 000 Kleinmotorräder und Motorfahrräder,
- 191 000 land- und forstwirtschaftliche sowie
- 67 000 industrielle Fahrzeuge.

### Die Verkehrsträger

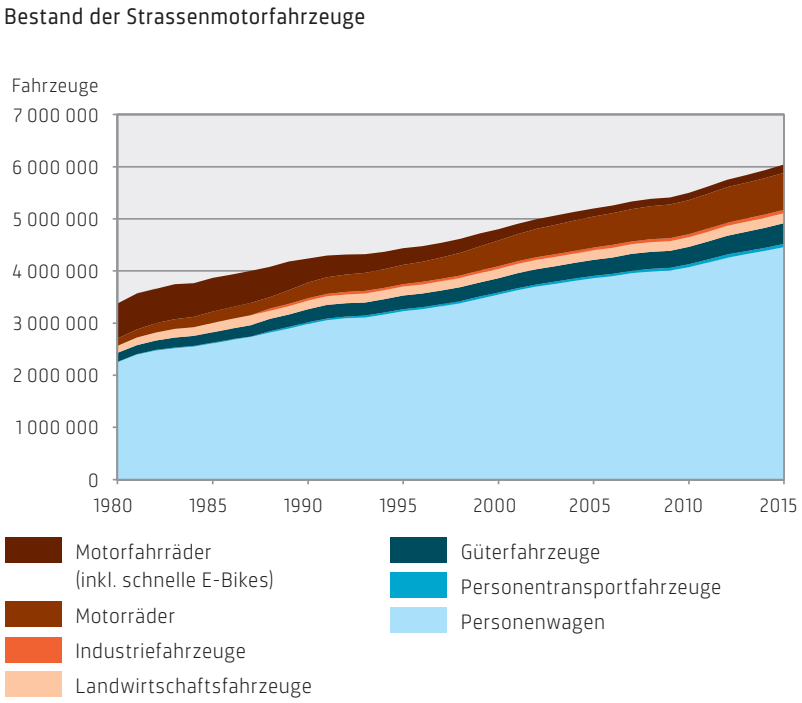
Zum Sektor Verkehr gehören nebst dem Strassenverkehr auch der Verkehr zu Luft, Wasser und Schiene sowie das Militär, Offroad-Fahrzeuge (Baumaschinen, land- und forstwirtschaftliche sowie industrielle Fahrzeuge) und mobile Geräte wie der Rasenmäher, wobei die Bedeutung der letzten beiden Gruppen vergleichsweise gering ist.

## Verkehrsaufkommen

In der Schweiz wachsen der Öffentliche Personenverkehr (2014: 24,3 Milliarden Personenkilometer[1]) jährlich um zirka 1 Prozent, der motorisierte Individualverkehr (2014: 95 Milliarden Personenkilometer) um 1.8 Prozent, letzterer schwergewichtig auf den Autobahnen; der Güterverkehr nimmt auf der Schiene (2014: 12,3 Milliarden Tonnenkilometer) jährlich um 2,8 Prozent zu, jener auf der Strasse (2014: 17,5 Milliarden Tonnenkilometer) um jährlich 1 Prozent. Raumplanerische und verkehrspolitische Ansätze vermochten bisher nicht, das starke Verkehrswachstum zu bremsen. Mit der Leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) sowie der Subventionierung und dem starken Ausbau des Öffentlichen Personenverkehrs wird versucht, das Wachstum beim Güter- und Personenverkehr zum grösseren Teil auf die Schiene zu lenken. Auch weltweit nimmt der Verkehr weiter zu, gemäss dem Fünften IPCC-Sachstandsbericht (IPCC/WGIII/Chap.8) bis 2050 um 80 Prozent beim Personen- und 50 Prozent beim Güterverkehr gegenüber 2010.

Grund für das Verkehrswachstum ist nebst der Bevölkerungszunahme auch der wirtschaftliche Wandel. Je höher die Wirtschaftsleistung und je grösser der Anteil des Dienstleistungssektors, desto höher ist die Mobilität. In städtischen Ballungszentren arbeitende Menschen sind häufig länger unterwegs, weil sie nicht mehr dort wohnen

1 Masszahl für die Verkehrsleistung; fährt ein Zug mit 100 Personen 10 Kilometer oder ein Auto mit 4 Personen 250 Kilometer, ergibt dies jeweils 1000 Personenkilometer.



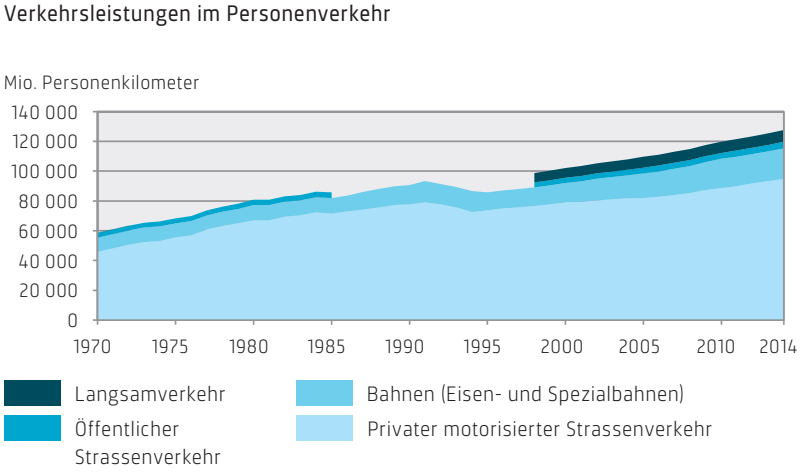




**Abbildung 3.13**: Motorfahrzeugbestand (1980 – 2015) und Personenverkehrsleistung (1970 – 2014). Bei der Personenverkehrsleistung fehlen von 1986 – 1997 die Daten für den Öffentlichen Strassenverkehr. (Quelle: BFS 2016)

können, wo sie arbeiten. Diese beiden allgemeingültigen Zusammenhänge treffen für die Schweiz besonders zu.

Um trotz des Verkehrswachstums die Treibhausgasemissionen zu mindern, sind bei den Fahrzeugen starke jährliche Effizienzsteigerungen nötig.

## Trends bei Personenwagen

Ist ein Fahrzeug einmal auf der Strasse, wird es bis ans technische Lebensende betrieben – egal ob es energieeffizient ist oder nicht. Die Energie- und Klimapolitik konzentriert sich deshalb auf den Neuwagenkauf. Vorschriften zum $CO_2$-Ausstoss gibt es in der Schweiz erst

für Personenwagen, nicht aber für Lieferwagen. Die Flotte der Personenwagen muss – über alle verkauften Neuwagen gemittelt – 2015 erstmals unter einer bestimmten Limite beim $CO_2$-Ausstoss bleiben, ausgedrückt in Anzahl Gramm $CO_2$-Ausstoss pro Kilometer. Gelingt das Erreichen dieser Zielwerte nicht, werden Sanktionszahlungen fällig. Auf diese Weise werden die Hersteller dazu angehalten, ihr Innovationspotenzial grösstenteils für die Energieeffizienz zu verwenden; die Autoverkäufer werden in die Pflicht genommen, effiziente Fahrzeuge zu verkaufen. Das durchschnittliche Auto bräuchte dazu aber weder kleiner noch teurer zu werden, da der jährlich maximal mögliche technische Fortschritt in etwa ausreichen würde, um die Ziele zu erreichen. Von 1996 bis 2014 sank der mittlere $CO_2$-Ausstoss der neu verkauften Personenwagen jährlich um 2,3 Prozent (BAFU 2015); mehr wäre möglich gewesen, wenn die Autos im Durchschnitt nicht grösser und leistungsfähiger geworden wären.

Die EU hat eine analoge Vorschrift auch für Lieferwagen beschlossen, da bei diesen Wagen – wie bei den Personenwagen – oft übermotorisierte Modelle eingesetzt werden. Der Bundesrat hat dem Parlament vorgeschlagen, auch diese Vorschrift zu übernehmen.

### $CO_2$-Gesetz: Treibstoffteilziel nicht erreicht

Die Energieeffizienz mobiler Antriebe ist höher als bei stationären Anwendungen, weil der Energieeffizienz bei der Entwicklung mehr Beachtung geschenkt wird, da der Treibstoff mitgeführt werden muss. Das $CO_2$-Gesetz hat das Treibstoffteilziel (Minderung der $CO_2$-Emissionen aus Treibstoffen von 1990 bis 2020 um 8 Prozent) weniger streng festgelegt als das Brennstoffteilziel (Minderung um 15 Prozent). Trotzdem wurde das Treibstoffteilziel nicht erreicht, da der private motorisierte Verkehr stark zugenommen hat: von 78 Millionen Personenkilometern im Jahr 1990 um 22 Prozent auf 95 Millionen Personenkilometer im Jahr 2014.

Nebst dem Verkehrswachstum und der zunehmenden Grösse der Personenwagen gibt es einen weiteren Grund, dass trotz steigender Energieeffizienz die $CO_2$-Emissionen nicht sinken: Der reale Treibstoffverbrauch weicht immer mehr vom errechneten Normverbrauch ab, der durch ein offizielles Testverfahren ermittelt wird. Betrug die Abweichung früher weniger als 10 Prozent, lag sie für Fahrzeuge der Baujahre 2012 und 2013 bei bis zu 40 Prozent. Die Fahrzeuge werden deshalb auf das Testverfahren hin optimiert oder wurden im Falle von VW sogar umgerüstet, damit sie im Test besonders effizient sind. So, wie die Fahrzeuge ausgeliefert und im Alltag gefahren werden, resultiert aber ein deutlich höherer Verbrauch.

## Trends beim Schienen- und Güterverkehr

Die Verteilung des Transportaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsmittel (Modalsplit) hat sich in der Schweiz leicht verschoben: Der Öffentliche Verkehr hat seinen Anteil am gesamten Personenverkehrsaufkommen von 18 Prozent (1990) auf 20,4 Prozent (2014) gesteigert.

Der Güterverkehr hat in ganz Europa stark zugenommen, in der Schweiz von rund 20 Milliarden (1990) auf 30 Milliarden Tonnenkilometer. Im Jahr 1990 verkehrte in der Schweiz rund die Hälfte des Güterverkehrs auf der Strasse (10 Milliarden Tonnenkilometer); bis 2013 stieg der Anteil der Strasse auf rund 60 Prozent (17,5 Milliarden Tonnenkilometer). Dass die Schweiz den Anteil der Schiene beim Güterverkehr bei rund 40 Prozent stabilisieren konnte – anders als im restlichen Europa, wo der Anteil schwindet –, liegt am Lastwagen-Nachtfahrverbot, der Leistungsabhängigen Schwerverkehrs-Abgabe (LSVA) und der Subventionierung des alpenquerenden Bahntransports. Mit Einführung der LSVA übernahm die Schweiz eine Vorreiterrolle: Mit dieser Abgabe werden die externen Kosten des Strassengüterverkehrs internalisiert.

## Trends beim Luftverkehr

Beim Luftverkehr existieren bezüglich der Erhebung der nationalen $CO_2$-Emissionen verschiedene Betrachtungsweisen zur Grenze des Systems, das heisst zur Frage, welche Emissionen einem Land zugerechnet werden. Im Rahmen des Kyoto-Protokolls werden nur die Treibstoffe für Inlandflüge berücksichtigt; anders als für grosse Staaten wie zum Beispiel den USA sind Inlandflüge für kleine Länder wie die Schweiz nahezu bedeutungslos. IPCC wiederum betrachtet alle in einem Land verkauften Flüge beziehungsweise die dafür gebrauchten Treibstoffe. Wirklich umfassend wäre der Ansatz des ökologischen Abdrucks, bei dem sämtliche Flüge durch Einwohner der Schweiz berücksichtigt werden, also auch Flüge im Ausland. Dies gilt auch für andere Bereiche, ist aber speziell beim Flugverkehr von Belang, weil hier die durch Flüge von Schweizern verursachten Emissionen zum allergrössten Teil im Ausland erfolgen.

Die verschiedenen Betrachtungsweisen führen zu unterschiedlichen Angaben zum Kerosin-Verbrauch der Schweiz:

- **Kyoto-Protokoll**: Rund 100 Millionen Liter Kerosin für Inlandflüge.
- **IPCC**: Rund 1900 Millionen Liter Kerosin für alle in der Schweiz verkauften Flüge.
- **Ökologischer Abdruck**: Rund 2500 Millionen Liter Kerosin für sämtliche Flüge durch Einwohner der Schweiz.

Weltweit hat sich der Kerosinverbrauch der Flugzeuge seit 1990 dank neuen, grösseren, leichter gebauten und besser ausgelasteten Flugzeugen um 60 Prozent auf noch 3,7 Liter pro 100 Passagierkilometer verringert. Der Luftverkehr hat allerdings noch stärker zugenommen, im Zeitraum 2010–2013 global um 4,6 Prozent jährlich, in der Schweiz um 5,1 Prozent. Entsprechend waren die globalen $CO_2$-Emissionen im Flugverkehr im Jahr 2010 um 40 Prozent höher als 1990. Wichtigste Gründe für die Zunahme des Luftverkehrs sind die Zunahme der Flugdistanz sowie der Einsatz grösserer Flugzeuge. Die Anzahl Flugbewegungen hat hingegen kaum zugenommen.

Die meisten Prognosen gehen davon aus, dass der Flugverkehr weltweit jährlich um fünf Prozent wachsen wird, während die Flugzeuge jährlich um zwei Prozent effizienter werden. Für Industriestaaten wie die Schweiz bedeutet dies, dass in den nächsten Jahren allfällige Minderungen der Treibhausgasemissionen im Bereich Strassenverkehr voraussichtlich durch eine Zunahme der separat ausgewiesenen Emissionen aus dem internationalen Flugverkehr überkompensiert werden.

## Referenzen

BAFU (2015) **Treibhausgasinventar 2015.** www.bafu.admin.ch/treibhausgasinventar

BFS (2016) **Mobilität und Verkehr. Taschenstatistik der Schweiz 2016.** Bundesamt für Statistik, Neuenburg, 43 pp.

INTRAPLAN (2015) **Monitoring der Wettbewerbsfähigkeit des Schweizer Luftverkehrs 2015.** V2.1c, März 2015: 26. www.bazl.admin.ch

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 8 «Transport». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Strasse Schweiz (2016) **Verband des Strassenverkehrs FRS. Vademecum 2016 – Die wichtigsten Kennzahlen der Jahre 2014/2015.** www.strasseschweiz.ch

# 3.6 Technische Aspekte

**Zur Minderung der Treibhausgasemissionen wird weltweit auf den Einsatz neuer Techniken gesetzt, die eine höhere Energie- und Treibhausgaseffizienz erlauben. Die Innovation dieser Techniken wird gefördert durch Vorschriften, Anreize, Subventionen und Information. Eine Minderung des Konsums hingegen wird als Mittel zur Emissionsminderung kaum in Betracht gezogen, obwohl die theoretischen Potenziale sehr hoch sind. Die Schweiz ist im Bereich Technik vor allem bei den Gebäuden führend, während in den Bereichen Transport sowie Industrie und Gewerbe im Wesentlichen die EU-Politik übernommen wird.**

*Peter de Haan (Ernst Basler + Partner)*

Treibhausgasemissionen lassen sich im Bereich der Technik über drei Pfade mindern:
- Minderung der benötigten Energie pro Konsumeinheit,
- Minderung der Treibhausgasemission pro Energieeinheit und
- Minderung der Nachfrage nach diesen Konsumeinheiten.

Die ersten beiden Pfade werden auch als **Effizienz-Ansatz** bezeichnet, der dritte als **Suffizienz-Ansatz**. Der Fokus der internationalen sowie der Schweizer Klima- und Energiepolitik liegt auf der Effizienz.

## Innovationen für Verbrauchsminderung nützen

Der Mensch ist innovativ und erfinderisch, so dass bei nahezu allen Techniken laufend Fortschritte gemacht werden. Es gibt deshalb für fast jede Technik so etwas wie ein «jährliches Innovationspotenzial» im Hinblick auf die Minderung des Energieverbrauchs. Hier handelt es sich zunächst nur um ein Potenzial. Denn bei den heutigen, sehr niedrigen Energiepreisen wird der technische Fortschritt oft dazu genutzt, um mit demselben Kostenaufwand grössere, schnellere und leistungsfähigere anstatt energieeffizientere Produkte herzustellen. Deshalb sollen die Anbieter von Gütern und Dienstleistungen gezwungen werden, das Innovationspotenzial vollständig für die Minderung des Energieverbrauchs zu nutzen, ohne aber die Produkte teurer werden zu lassen. Die Konsumenten möchte man dazu bringen, sich für diese Produkte zu entscheiden.

## Die Sektoren und ihre Minderungspotenziale

Die aus Sicht der direkten Treibhausgasemissionen relevantesten Sektoren sind Wohnen, Güter und Dienstleistungen sowie Mobilität. International ist zudem der $CO_2$-Ausstoss der Stromerzeugung von zentraler Bedeutung (s. a. Kap. 2.14 Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem der Schweiz, S. 129, Kap. 3.1 Einleitung, S. 154).

### Gebäude: viele Neubauten und geringe Sanierungstiefe

Im Bereich Gebäude wird über die laufende Verschärfung der Vorschriften bei Neubau und Renovation das gleiche Ziel verfolgt. Die Schweiz geht hier bei den kantonalen Mustervorschriften für Gebäude im Vergleich zum europäischen Umfeld besonders schnell voran.

Bei den Neubauten greifen die schärferen kantonalen Vorschriften. Je nach angestrebtem Minderungsziel müssten die Vorschriften aber noch weiter verschärft und Null- oder gar Plusenergie-Häuser gebaut werden. Eine besondere Herausforderung im Gebäudesektor sind die bereits bestehenden Gebäude: Die jährliche Erneuerungsrate ist mit zirka einem Prozent weiterhin zu tief, um die Minderungsziele der Energiestrategie 2050 zu erreichen. Dazu müsste die Erneuerungsrate bei zirka zwei Prozent liegen und es bräuchte jeweils eine vollständige energetische Sanierung (Haustechnik, Fassade, Fenster und Dach). Tatsächlich werden heute die Altbauten energetisch oft nur teilsaniert.

### Transport: Personenwagen spielen Hauptrolle

Während jedes Gebäude ein Unikat ist und industrielle und gewerbliche Fertigungsprozesse oft massgeschneiderte Lösungen voraussetzen, kennen Strassenfahrzeuge ein hohes Mass an Standardisierung. Für die Marktzulassung muss vielen Vorschriften Genüge getan werden, dann kann der entsprechende Fahrzeugtyp aber in hoher Stückzahl in allen europäischen Ländern ohne weitere Prüfung verkauft werden. Im Sektor Transport spielen die Personenwagen die Hauptrolle mit einem Anteil von

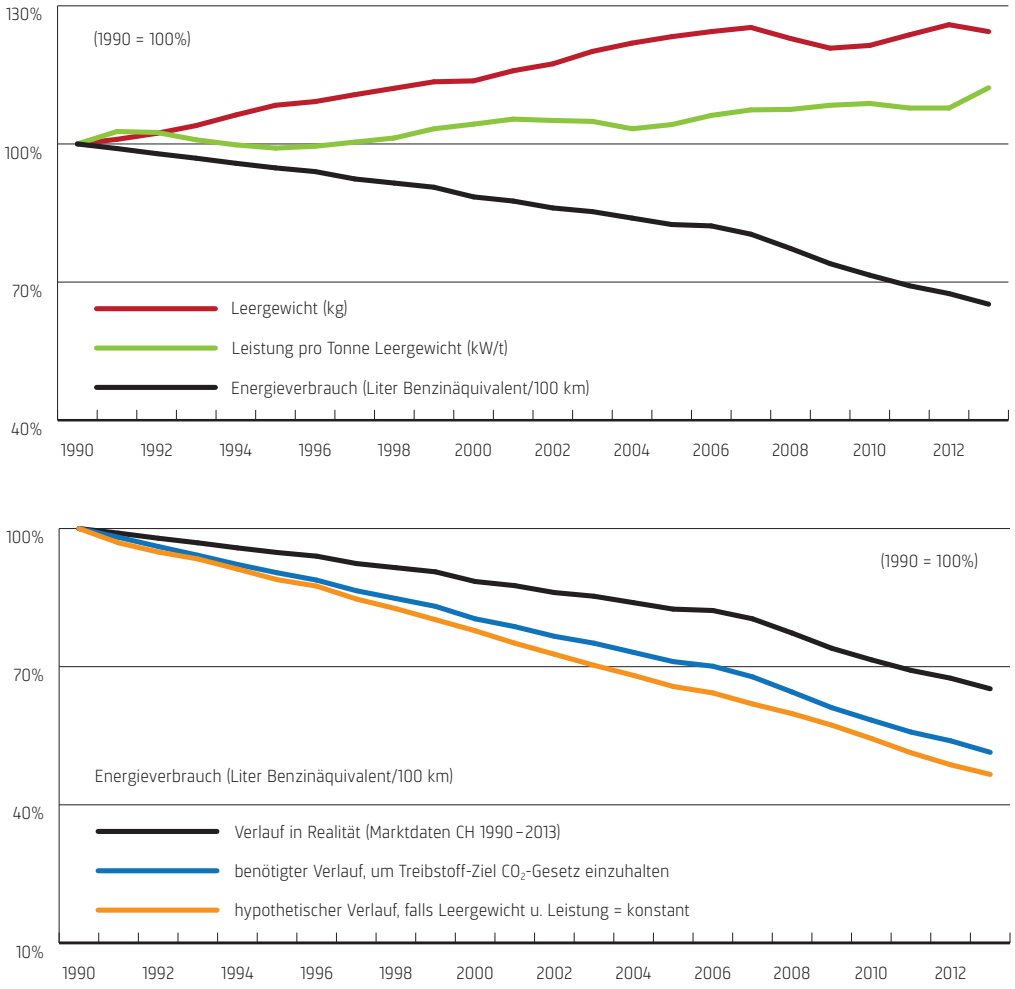



**Abbildung 3.14:** Oben: Mittelwerte wichtiger Kennzahlen der pro Jahr neu verkauften Personenwagen in der Schweiz. Unten: Wären das mittlere Leergewicht und die mittlere Leistung pro Tonne Leergewicht bei den Personenwagen konstant geblieben statt angestiegen, hätte der mittlere Energieverbrauch bis 2013 um 53 Prozent gegenüber 1990 abgesenkt werden können – tatsächlich hat nur eine Absenkung um 35 Prozent gegenüber 1990 stattgefunden. Eine Absenkung um 49 Prozent wäre jedoch erforderlich gewesen, damit die Schweiz ihr Treibstoffteilziel von minus acht Prozent im 2010 gegenüber 1990 hätte erreichen können. (Quelle: Eigene Darstellung mit Daten von EBP [2015])

76 Prozent an den $CO_2$-Emissionen des Strassenverkehrs (BAFU 2010). Die EU und die Schweiz streben an, dass das maximale Potenzial zur Emissionsminderung ausgenutzt wird und legen dazu ein Effizienzziel fest, ausgedrückt in Gramm $CO_2$ pro Kilometer und gemittelt über alle verkauften Neuwagen.

Im Sektor Transport würden ehrgeizige Minderungsziele den verstärkten Einsatz der Elektromobilität erfordern, mit einer Mobilitätspolitik zur Verlagerung des Mobilitätswachstums auf den Öffentlichen Verkehr als energieeffizientestes Verkehrssystem.

## Sektor Industrie und Gewerbe

In den Sektoren Industrie und Gewerbe kommen – im Gegensatz zu Autos, Haushaltgeräten und Komponenten von Wohnhäusern – keine uniformen Techniken zum Einsatz, deren Energieverbrauch sich pauschal optimieren liesse. Die technischen Minderungspotenziale verteilen sich auf sehr viele prozessspezifische Einzelanwendungen. Die eingesetzten Politikinstrumente legen den Fokus deshalb auf marktbasierte Mechanismen und überlassen es der jeweiligen Firma, welche Emissionsminderungspotenziale sie zuerst umsetzen will. Dies ermöglicht den Firmen, bestimmte Produktionsanlagen komplett mit emissionsarmer Technik auszurüsten, andere dafür nicht. Zudem können sie Emissionszertifikate mit anderen Firmen handeln.

Im Sektor Industrie und Gewerbe erfolgt die Ausnutzung des technischen Potenzials über die Einbindung der Grossindustrie in das Emissionshandelssystem der EU (ETS) beziehungsweise der Schweiz (EHS). So sind die grössten Emittenten im Schweizer Emissionshandelssystem eingebunden; die ihnen zugeteilten Emissionsrechte richten sich nach der Durchschnittsleistung der effizientesten Anlagen aus und bilden den technischen Fortschritt vollumfänglich ab. Sehr viele Firmen gehen ausserdem gegenüber dem Bundesamt für Umwelt so genannte freiwillige Zielvereinbarungen ein: Im Gegenzug zur Befreiung von der $CO_2$-Abgabe müssen sie emissionsmindernde technische Massnahmen umsetzen, die nicht rentabel sind. Die Umsetzung wird von spezialisierten Auditoren überprüft.

### Schiff- und Luftfahrt

Bei der internationalen Schifffahrt hat die Internationale Seeschifffahrts-Organisation der Uno Mindestwerte für die Energieeffizienz festgelegt. Diese sind über den $CO_2$-Ausstoss pro erbrachte Antriebsleistung definiert und gelten seit 2013 für alle neuen Schiffe. Die Mindestwerte sollen in Fünf-Jahres-Abständen verschärft werden. Ein zusätzliches Potenzial zur Emissionsminderung bei der Schifffahrt ist die Reduktion der Geschwindigkeit.

Bei der internationalen Luftfahrt bestehen – im Vergleich mit den anderen Verkehrsträgern – nur wenige technische Potenziale. Das Mitführen grosser Mengen von Treibstoff erhöht den Treibstoffverbrauch, weshalb Flugzeuge bereits seit Jahrzehnten energieeffizient gebaut werden. Durch die Verringerung des Gewichts sowie verbesserte Aerodynamik und Triebwerke konnte der Treibstoffverbrauch zwischen 1990 und heute um mehr als 40 Prozent vermindert werden auf drei Liter Treibstoff pro 100 Sitzplatzkilometer bei Langstreckenflügen. Zusätzliche Potenziale zur Emissionsminderung bestehen bei der Vermeidung von Warteschlaufen, bei der Anpassung von Ab- und Anflugverfahren, um vermehrt den Gleitflug nutzen zu können, bei der Erhöhung des Belegungsgrades sowie bei den Bodenoperationen (Transporte vom Rollfeld zu den Flugdocks sowie zur Bevorratung der Flugzeuge). Über die nächsten 15 Jahre, schätzt die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation der UNO, seien jährliche Effizienzsteigerungen von zwei Prozent möglich. Der weltweite Flugverkehr wird gemäss Prognosen aber um fünf Prozent jährlich steigen, womit die $CO_2$-Emissionen des Flugverkehrs um jährlich drei Prozent steigen würden. Die EU hat deshalb alle Flüge innerhalb des EWR-Raums in das Emissionshandelssystem der EU (EU-ETS) integriert, was zur Kompensation in anderen Sektoren mit niedrigeren Grenzvermeidungskosten führen wird. Die EU-Kommission führt internationale Verhandlungen, um ab 2017 alle Flüge mit Abflug oder Ankunft im EWR-Raum – mindestens für die Strecke über EWR-Territorium – in das EU-ETS zu integrieren.

## Montrealer Protokoll ist bedeutend für Klimaschutz

Ebenfalls von hoher Relevanz sind die teilhalogenierten Kohlenwasserstoffe, die nicht dem Kyoto-Protokoll unterstehen. Dies sind Ersatzstoffe für die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die mit dem Montrealer Protokoll zum Schutz der Ozonschicht verboten wurden. Diese Ersatzstoffe weisen teilweise sehr hohe Treibhauspotenziale auf. Da die Erweiterung des Montrealer Protokolls als einfacher eingestuft wird als die Umsetzung des Kyoto-Protokolls, ist es zielführender, Massnahmen bei den teilhalogenierten Kohlenwasserstoffen weiterhin im Rahmen des Montrealer Protokolls umzusetzen.

## Technische Potenziale würden theoretisch genügen

Insgesamt zeigt sich, dass die technischen Potenziale zur Emissionsminderung theoretisch ausreichen, um auch ambitionierte Minderungsziele zu erreichen. Die Herausforderung besteht darin, diese Potenziale zu realisieren. Es ist deshalb notwendig – aber nicht hinreichend –, die jeweils beste verfügbare Technik zum Standard zu machen. Zusätzlich müssen die Treiber der Nachfrage beeinflusst oder die Gesamtemissionen begrenzt und in einen Emissionsrechtehandel eingebracht werden. Insbesondere die prognostizierte Zunahme der Emissionen beim Flugverkehr könnte die Minderungserfolge in anderen Sektoren zunichtemachen.

### Referenzen

BAFU (2010) **Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990 – 2035, Aktualisierung 2010.** Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen 1021, 130 pp.

EBP (2015) **Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2014.** 19. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung. 11. Juni 2015, 45 pp.

# 3.7 Land- und Forstwirtschaft und andere Landnutzung

**Der Sektor AFOLU (Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung) ist weltweit für fast einen Viertel der jährlichen menschverursachten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Davon entfällt etwas mehr als die Hälfte auf die Landwirtschaft und der Rest auf die Forstwirtschaft und andere Landnutzung. Die hauptsächlichen Emissionsursachen sind die Waldrodung (vorwiegend in den Tropen), die Methanemissionen aus der Tierhaltung, die Entwässerung von Mooren sowie die Stickstoffemissionen aus dem Einsatz von Düngemitteln. In der Schweiz stammen rund 12 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen aus dem Landwirtschaftssektor. Für die Minderung von Treibhausgasen kann die menschliche Ernährung eine Schlüsselrolle spielen, auch in der Schweiz.**

*Carmenza Robledo Abad (ETH Zürich), Daniel Bretscher (Agroscope), Jens Leifeld (Agroscope)*

## Globale Emissionen

Weltweit ist der Sektor AFOLU (siehe Box) für fast 25 Prozent[1] der jährlichen menschverursachten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Im Gegensatz zu Emissionen in der Periode 1990–1999 waren die Treibhausgasemissionen im AFOLU-Sektor in der Periode 2000–2009 rückläufig, trotz einer globalen Zunahme der Nutztierhaltung, des Düngereinsatzes und der Bevölkerung. Zurückzuführen ist der Rückgang der Emissionen vor allem auf die verlangsamte Entwaldung in einigen Gebieten (insbesondere in Brasilien). Dennoch bleiben Entwaldung (vorwiegend in den Tropen), Methanemissionen ($CH_4$) aus der Tierhaltung, $CO_2$-Emissionen aus der Moorentwässerung sowie Lachgasemissionen ($N_2O$) aus der Düngung die hauptsächlichen Quellen für die Treibhausgasemissionen im Sektor AFOLU (Abb. 3.15).

### AFOLU

Im Fünften Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2014/WGIII/Chap.11) werden erstmals Land- und Forstwirtschaft sowie andere Landnutzungsformen gemeinsam behandelt, zusammengefasst unter dem Begriff AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use). Dies macht es einfacher, die Möglichkeiten zur Emissionsminderung in diesem Sektor umfassend und systembezogen zu betrachten und das entsprechende Einsparpotenzial zu quantifizieren.

## Emissionen in der Schweiz

### Landwirtschaft: Rückgang der Emissionen dank weniger Rinder und Dünger

In der Dekade 2000–2010 emittierte die Schweiz im Durchschnitt 52 Millionen Tonnen $CO_2$-Äquivalente pro Jahr. Davon entfallen rund 12 Prozent auf den Landwirtschaftssektor. Diese landwirtschaftlichen Emissionen setzen sich hauptsächlich zusammen aus dem Methan aus der Verdauung der Nutztiere (54 Prozent) und aus dem Lachgas, das vorwiegend aus gedüngten Böden emittiert wird (26 Prozent). Bei beiden Gasen spielen auch die Emissionen aus der Lagerung des Viehdungs eine wichtige Rolle (19 Prozent).

Ein genauerer Blick in den Landwirtschaftssektor zeigt, dass die direkten Treibhausgasemissionen in den letzten 25 Jahren um rund acht Prozent abgenommen haben, bei gleichzeitig leicht gestiegener landwirtschaftlicher Produktion. Weniger Rinder sowie eine verringerte Ausbringung von Stickstoffdüngern aufgrund einer höheren Stickstoffeffizienz sind die wichtigsten Ursachen für den Rückgang der Emissionen. Die Abnahme erfolgte vorwiegend in den frühen 1990er-Jahren. Seitdem sind die Lachgasemissionen stabil. Die Methanemissionen widerspiegeln die Entwicklung des Rindviehbestandes und sind bis 2008 kurzzeitig wieder gestiegen, um danach auf das Niveau von 2000 zurückzufallen.

Neben den im nationalen Inventar direkt ausgewiesenen Emissionen gibt es weitere, dem Sektor Landwirtschaft indirekt zugehörige Emissionen. Hier sind insbesondere graue Emissionen aus der Herstellung von Produktionsmitteln zu nennen (Mineraldünger, importierte Futtermittel, usw.). Aus Perspektive des Konsums spielen zudem die grauen Emissionen – verursacht durch die Nahrungsmittelimporte – eine wichtige Rolle. Die mit den Importen verbundenen Emissionen sind ungefähr genauso hoch wie

1 Wo nichts anderes angegeben beziehen sich Emissionsangaben jeweils auf die Zeitperiode 2000–2010. Die Datenquellen sind der Fünfte Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2014/WGIII/Chap.11) respektive das schweizerische Treibhausgasinventar gemäss Submission 2016 (BAFU 2016).

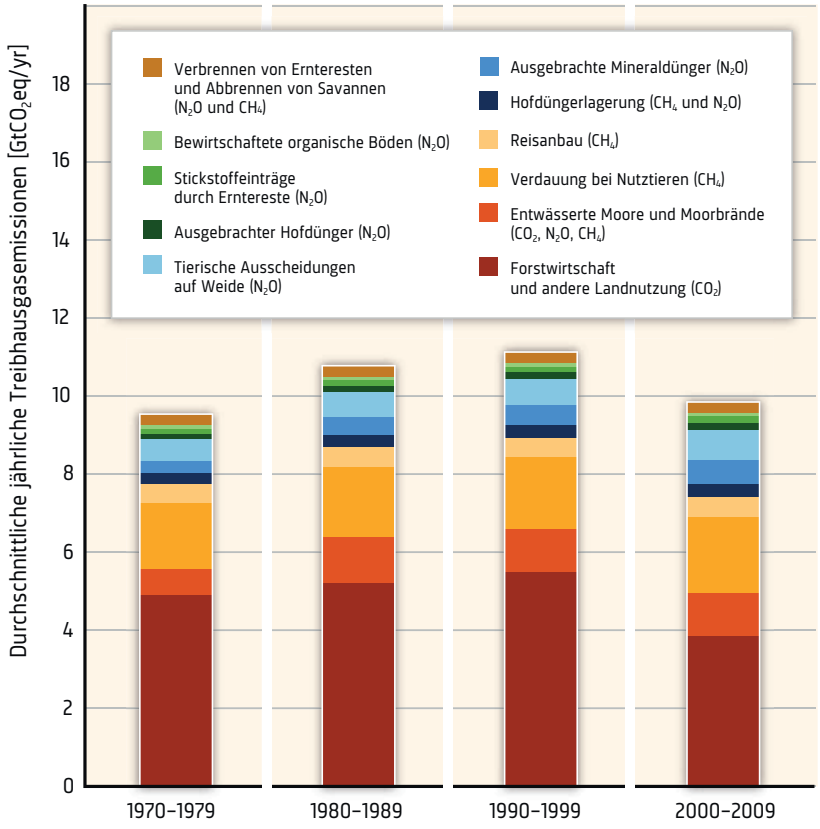



**Abbildung 3.15:** Treibhausgasemissionen im AFOLU-Sektor 1970 – 2009 weltweit. (Quelle: IPCC 2014/WGIII/Chap.11)

die direkten Methan- und Lachgasemissionen im Landwirtschaftssektor des schweizerischen Treibhausgasinventars (Abb. 3.16.). Das Total der Emissionen aus der Land- und Ernährungswirtschaft ist seit 1990 durch das Bevölkerungswachstum kontinuierlich gestiegen, wobei die diesbezüglichen Pro-Kopf-Emissionen konstant geblieben sind. Dies verdeutlicht, dass die menschliche Ernährung über den eigentlichen Landwirtschaftssektor hinaus eine Schlüsselrolle bei der Identifizierung und Beurteilung von Minderungsmassnahmen spielt.

## Forstwirtschaft: Baumbiomasse nimmt in der Schweiz zu

In der Forstwirtschaft werden $CO_2$-Emissionen vor allem in Form von Änderungen in den Kohlenstoffvorräten der Ökosysteme beschrieben, das heisst als Bilanz von Gewinnen und Verlusten. Der Zuwachs an Baumbiomasse wirkt sich positiv auf die Schweizer Treibhausgasbilanz aus, da dieser die Verluste durch Holzernte und/oder Windwurf überkompensiert. Dadurch war der Forstwirtschaftsbereich in der Schweiz in der Summe eine $CO_2$-Senke, die im Zeitraum 2000–2010 durchschnittlich 1,8 Millionen Tonnen $CO_2$ oder rund 3,4 Prozent der gesamtschweizerischen Emissionen kompensierte.

## Landnutzung(sänderung) spielt geringe Rolle in der Schweiz

Aufgrund der relativ stabilen Struktur der Landnutzung spielt die Änderung der Landnutzung als Quelle für Treibhausgase für die Schweiz eine deutlich geringere Rolle als auf globaler Ebene. Insbesondere bestehen jedoch bei der Abschätzung der $CO_2$-Quellen und -Senken in landwirtschaftlichen Böden noch erhebliche Unsicherheiten. $CO_2$-Emissionen aus entwässerten und landwirtschaftlich genutzten Moorböden stellen in diesem Bereich mit rund 0,7 Millionen Tonnen $CO_2$ eine wichtige Quelle dar (s. a. Box Feuchtgebiete als Methan- oder $CO_2$-Quellen, S. 185).

## Minderungspotenzial weltweit

Im Fünften Sachstandsbericht des IPCC werden die Möglichkeiten zur Minderung von Emissionen im AFOLU-Sektor analysiert, aufgeteilt nach angebots- (Forst- und Landwirtschaft) und nachfrageseitigen Massnahmen (Nahrungsmittel, Holznutzung; Tab. 3.1). Emissionsminderungen auf der Nachfrageseite wie auch bei der Lagerung verlangen eine Veränderung des Konsumverhaltens auf verschiedenen Ebenen.

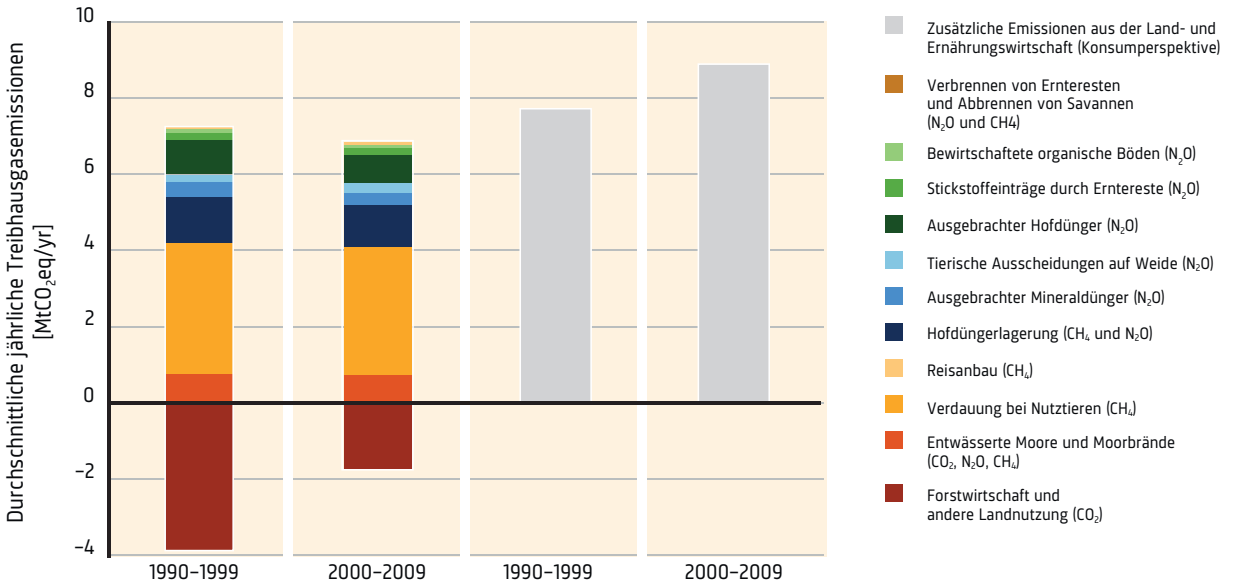



**Abbildung 3.16:** Treibhausgasemissionen im Sektor AFOLU sowie zusätzliche Emissionen der Land- und Ernährungswirtschaft 1990 – 2009 in der Schweiz. Aufgrund unterschiedlicher methodischer Ansätze sind die Werte der Abbildung 3.16 nicht direkt mit den Werten der Abbildung 3.15 vergleichbar. (Quelle: BAFU 2016; Bretscher et al. 2014)

Auf der Angebotsseite wird das ökonomische Minderungspotenzial im Sektor AFOLU für das Jahr 2030 auf 7,2 – 11 Milliarden Tonnen $CO_2$-Äquivalente geschätzt. Der Preis für die Einsparung einer Tonne $CO_2$-Äquivalente wird auf bis zu 100 US-Dollar geschätzt. Etwa ein Drittel des Potenzials liesse sich zu einem Preis von weniger als 20 US-Dollar pro Tonne $CO_2$-Äquivalente einsparen. Minderungsmassnahmen auf der Nachfrageseite bergen mit 0,76 bis 8,6 Milliarden Tonnen $CO_2$-Äquivalente pro Jahr bis 2050 ein vielversprechendes Potenzial. Hinsichtlich der gesellschaftspolitischen Umsetzung dieser Massnahmen bestehen noch grosse Unsicherheiten. Weiterhin kann die Energieproduktion aus Biomasse eine wichtige Rolle bei der Minderung spielen, falls Nachhaltigkeitsaspekte wie die Auswirkungen auf die Nahrungsmittelproduktion oder die Biodiversität berücksichtigt werden.

## Minderungspotenzial der Schweiz

Analog zum globalen Bild können Minderungspotenziale für die Schweiz sowohl auf der Seite der technischen Massnahmen im Angebotsbereich (Land- und Forstwirtschaft) als auch auf der Nachfrageseite verortet werden. Für die Landwirtschaft strebt die Klimastrategie des Bundesamts für Landwirtschaft eine Verringerung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen um ein Drittel (technische und organisatorische Massnahmen auf Seite der landwirtschaftlichen Produktion) beziehungsweise zwei Drittel (konsumseitig) bis 2050 (relativ zu 1990) an. Emissionen können zum Beispiel gesenkt werden durch eine erhöhte Stickstoffeffizienz, eine ausgewogene Fütterung der Nutztiere, ein optimales Herdenmanagement (insbesondere für Wiederkäuer) oder durch die Senkung des Bedarfs an fossilen Energieträgern. Zurzeit ist es jedoch noch unklar, inwiefern die Potenziale effizient und nachweisbar umgesetzt und erreicht werden können. Die Beeinflussung der zugrundeliegenden, meist eng verknüpften biochemischen Prozesse gestaltet sich in der Praxis sehr schwierig. Zudem stellen mögliche Verlagerungen von Emissionen entlang von Prozessketten, unerwünschte Nebeneffekte *(Pollution swapping)* oder mögliche Produktionseinbussen grosse Herausforderungen dar.

Treibhausgasemissionen liessen sich auch über eine veränderte Nachfrage sowie über eine Verringerung der Lebensmittelverluste (Produktenormen, Lagerung, Transport, Haushalte) vermeiden. Insbesondere die unterschiedlichen Treibhausgasintensitäten je Kilogramm erzeugtem Lebensmittel bergen ein relevantes Minderungspotenzial. Tierische Produkte tragen in der Regel um ein Vielfaches stärker zum Klimawandel bei als pflanzliche. Insbesondere in Ländern mit hohem Konsum von tierischen Lebensmitteln, wie der Schweiz, wäre eine vermehrt vegetarische Ernährung erstrebenswert. Nachfrageseitige Massnahmen sind angesichts der obgenannten Einschränkungen der technisch-organisatorischen Minderungsmöglichkeiten im Bereich AFOLU besonders wichtig.

| Angebotsseite | Massnahmen |
|---|---|
| Forstwirtschaft | Verringerung Entwaldung |
| | Aufforstung und Wiederaufforstung |
| | Waldbewirtschaftung |
| | Schutz Sekundärwälder |
| Pflanzenbau | Ackerbau (Pflanzenbau, Düngung, Bodenbearbeitung, Bewässerung, Reisanbau, Wiedervernässung organischer Böden, Brachebewirtschaftung, Pflanzenkohleanwendung) |
| | Graslandnutzung (Vegetation, Tierhaltung, Einsatz von Feuer) |
| | Wiederbegrünung vegetationsfreier Flächen |
| | Renaturierung organischer Böden |
| | Effizientere Düngeranwendung |
| Tierhaltung | Optimale Tierernährung |
| | Verbesserte Nutzung des Tierbestandes (z. B. Züchtung, Herdenmanagement, Tiergesundheit, Stall- und Weidesysteme) |
| | Verbesserte Hofdüngernutzung |
| Integrierte Systeme | Feldwaldbau |
| | Gemischte Betriebe, Zwischenkulturen |
| | Mehrfachnutzung von Biomasse |
| Generell | Erhalt vorhandener Kohlenstoffspeicher |
| Bioenergie | Gezielter Anbau effizienter Energiepflanzen |
| | Energieproduktion aus land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen sowie aus industriellen organischen Abfällen |
| **Nachfrageseite** | |
| Verringerung der Nahrungsmittelverluste | |
| Veränderung der Ernährung hin zu Produkten, die geringere Emissionen verursachen | |
| Langzeitnutzung von Holz, Holznutzung aus zertifiziertem Waldbau | |

**Tabelle 3.1:** Weltweite Minderungsmassnahmen für Treibhausgasemissionen im AFOLU-Sektor. Die Massnahmen sind aufgeteilt in Angebots- und Nachfrageseite. Wie wichtig eine bestimmte Massnahme ist, unterscheidet sich von Region zu Region. Zum Beispiel ist eine Verringerung der Entwaldung sehr relevant in dicht bewaldeten Regionen wie dem Kongobecken oder dem Amazonasbecken, während die Renaturierung organischer Böden in einigen Ländern Europas eine wichtige Rolle spielt (s. a. Box Feuchtgebiete als Methan- oder $CO_2$-Quellen, S. 185). (Quelle: IPCC 2014/WGIII/Chap.11)

In den Bereichen Forstwirtschaft und andere Landnutzung besteht die Möglichkeit $CO_2$ aus der Atmosphäre in Form von Biomasse oder Bodenkohlenstoff zu speichern. Aufgrund der relativ grossen Landwirtschafts- und Waldflächen könnten durch relativ kleine Veränderungen in den Kohlenstoffflüssen grosse Effekte erzielt werden. Die Funktion des Waldes und der mineralischen Böden als Senken ist jedoch zeitlich von begrenzter Dauer, da jeweils ein Punkt des maximalen Biomassebestandes respektive Kohlenstoffgehaltes erreicht wird (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106). Ausserdem ist die Rückbindung von $CO_2$ jederzeit reversibel. Zumindest theoretisch ergeben sich grössere Potenziale bei der Nutzung organischer Böden (Extensivieren oder Einstellen der Nutzung). Wie gross in der Schweiz das theoretische und praktisch umsetzbare Senkenpotenzial der Ökosysteme letztendlich ist, ist aufgrund der mangelhaften Datenlage noch weitgehend unklar und Gegenstand aktueller Forschung.

Die Erzeugung von Energie aus Agrotreibstoffen spielt in der Schweiz, auch aufgrund der Flächenbeanspruchung durch andere Sektoren, eine untergeordnete Rolle. Dagegen bestehen bei der Produktion und Nutzung von erneuerbaren Energien (Photovoltaik, Windenergie, Holz, Vergärung von Viehdung und Biomasse) auf Landwirtschaftsbetrieben und in der Forstwirtschaft weitere Minderungspotenziale.

| Dimension | Aspekte |
|---|---|
| Institutionell | Eigentums- und Nutzungsverhältnisse |
| | Umsetzung politischer Richtlinien |
| | Intersektorielle Koordination |
| Sozial | Ernährungssicherheit |
| | Menschliche Gesundheit |
| | Tierschutz |
| | Gleichberechtigung |
| Ökonomisch | Grossflächige Aneignung von Land |
| | Einkommensdiversifizierung |
| | Beschäftigung |
| | Finanzierungsmechanismen |
| Ökologisch | Verfügbarkeit von Land und Konkurrenznutzung |
| | Biodiversität, Wasser, Boden |
| | Ökosystemstabilität |
| Technologisch | Zugang zu Infrastruktur |
| | Technologietransfer |
| | Technologieakzeptanz |

**Tabelle 3.2:** Betrachtete Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung. (Quelle: IPCC 2014/WGIII/Chap.11)

## AFOLU und globale nachhaltige Entwicklung

Der Sektor AFOLU ist für die globale nachhaltige Entwicklung zentral. Global lebt mehr als die Hälfte der Bevölkerung in ruralen Gebieten und ist somit meist von der Land- und/oder Forstwirtschaft abhängig. Der Fünfte Sachstandsbericht unterstreicht dementsprechend den systemischen Charakter der Minderungsmassnahmen im AFOLU-Sektor. Deshalb betrachtet IPCC die AFOLU-Massnahmen unter institutionellen, sozialen, ökonomischen, ökologischen und technischen Gesichtspunkten (Tab. 3.2) und betont deren Wechselwirkungen. Beispielsweise ist eine Aufforstung einfacher durchzuführen, wenn die Eigentumsverhältnisse geklärt sind – und kann ihrerseits dabei helfen, allfällige Eigentumskonflikte zu lösen.

Wie sehr sich diese Massnahmen im Einzelnen auf die nachhaltige Entwicklung auswirken, unterscheidet sich von Region zu Region und ist abhängig vom lokalen Kontext, der Gesamtfläche, der Geschwindigkeit des Technikwandels und der Art der Landnutzung. Weiter wird im Bericht eine verantwortungsbewusste Regierungsführung («good governance») als zentraler Faktor für eine nachhaltige Entwicklung hervorgehoben.

Die Schweiz ist durch den internationalen Handel, die internationale Zusammenarbeit sowie durch direkten privaten Konsum von Importgütern eng mit der globalen nachhaltigen Entwicklung verbunden. Vor diesem Hintergrund ist ein verantwortungsbewusstes Handeln bezüglich Anpassungs- und Minderungsmassahmen im Klimabereich entsprechend relevant.

### Feuchtgebiete als Methan- oder $CO_2$-Quellen

Weltweit speichern Feuchtgebiete, insbesondere Moore, rund ein Drittel des organischen Kohlenstoffs, der in Böden vorkommt – und dies obwohl die Feuchtgebiete flächenmässig nur rund drei Prozent der Böden ausmachen. In naturnahen Mooren bleibt der Kohlenstoff über Tausende von Jahren gespeichert. Der Erhalt der noch intakten Moore stellt daher eine effektive Massnahme dar, die $CO_2$-Emissionen aus dem Sektor AFOLU zukünftig zu begrenzen. Werden die Moore jedoch zu land- oder forstwirtschaftlichen Zwecken oder zur Torfgewinnung entwässert, führt dies zu einem raschen und irreversiblen mikrobiellen Abbau des Torfes und damit zur Freisetzung grosser Mengen $CO_2$ sowie, in geringeren Mengen Lachgas ($N_2O$). Weltweit sind zirka 10 Prozent der Moore entwässert; in Europa liegt dieser Anteil allerdings bei 50 Prozent, in der Schweiz bei über 90 Prozent. Eine Renaturierung degradierter Moore kann zu einer Umkehr der negativen Treibhausgasbilanz führen, allerdings um den Preis der Aufgabe der Nutzung. Der Flächenanteil der degradierten Moorböden unter Ackerland und Grasland in der Schweiz wird auf weniger als ein Prozent geschätzt.

### Referenzen


BAFU (2016) **Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2014. National Inventory Report.** Including reporting elements under the Kyoto Protocol. Submission of 15 April 2016 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol, 629 pp.

Bretscher D, Leuthold-Stärfl S, Felder D, Fuhrer J (2014) **Treibhausgasemissionen aus der schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft.** Agrarforschung Schweiz 5: 458–465.

IPCC (2013) **Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WGI).** Chapter 6 «Carbon and Other Biogeochemical Cycles». www.ipcc.ch/report/ar5/wg1

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 11 «Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Joosten H (2010) **The global peatland $CO_2$ picture.** Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Ede, The Netherlands: Wetlands International, 36 pp.

Leifeld J (2013) **Prologue paper: Soil carbon losses from land-use change and the global agricultural greenhouse gas budget.** Science of the Total Environment 465: 3–6.

# 3.8 Urbane Strategien zum Klimawandel

**Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt in Städten und einigen Schätzungen zufolge wird dieser Anteil bis 2050 auf beinahe 70 Prozent steigen; in der Schweiz rechnet man sogar mit 80 Prozent. Obwohl die Zunahme der Bevölkerungs-, Gebäude- und Infrastrukturdichte die Vulnerabilität der Schweizer Städte erhöhen wird, birgt die Urbanisierung ein grosses Potenzial, den Energiekonsum und die Treibhausgasemissionen zu mindern. Dazu gehören vor allem Massnahmen in der Raum- und Infrastrukturplanung sowie die Sanierung des Gebäudeparks: Zu fördern sind kompakte urbane Räume mit einer gemischten Bevölkerung und einer Mischnutzung, kurzen Versorgungswegen und einem grossen Anteil an Fussgänger- und Radwegen. Die Sanierung des Schweizer Gebäudeparks und der existierenden Infrastrukturen kann die Emissionen um 50 bis 80 Prozent verringern im Vergleich zum Referenzniveau von 1990.**

*Adrienne Grêt-Regamey (ETH Zürich), Jean-Louis Scartezzini (ETH Lausanne)*

Die Städte sind für zwei Drittel des Energieverbrauchs des Planeten und für mehr als 70 Prozent der Treibhausgasemissionen verantwortlich (GEA 2012). Gleichzeitig schreitet die Urbanisierung rasant voran: Bis 2050 wird die Stadtbevölkerung voraussichtlich auf mehr als sechs Milliarden Menschen steigen, was zwei Drittel der Weltbevölkerung entspricht. Die Schweiz wird keine Ausnahme sein: Mehr als 80 Prozent ihrer Bevölkerung – die 2050 voraussichtlich 10,2 Millionen Einwohnerinnen und Einwohner umfassen wird (BFS 2014) – wird in Städten wohnen (United Nations 2014). Heutzutage findet die Entwicklung vor allem in kleinen bis mittelgrossen Städten statt, mit einer mehr als doppelt so raschen Vergrösserung des Wohnareals wie der Wohnbevölkerung (BFS 2015). Der durchschnittliche Wohnflächenbedarf pro Person in den Städten Zürich, Genf und Lausanne liegt mit 40 Quadratmetern deutlich unter dem Schweizer Durchschnitt von 45 Quadratmetern (SSV 2016). Aktuell sind 30 Prozent der Emissionen in der Schweiz auf die Gebäude zurückzuführen und 55 Prozent der in den Gebäuden verbrauchten Energie stammt aus fossilen Energiequellen. Der erhöhte Energiebedarf im Sektor Haushalt ist im Wesentlichen auf die Zunahme der beheizten Wohnflächen zurückzuführen.

## Rasante Urbanisierung als Chance

Da der Treibhausgasausstoss urbaner Räume stark mit der Siedlungsstruktur und Infrastruktur zusammenhängt, birgt die rasante Urbanisierung ihrerseits eine der grössten Chancen, den Energiekonsum und die Treibhausgasemissionen zu mindern. Die Möglichkeiten zur Emissionsminderung variieren aber je nach Art und Entwicklungsstand der urbanen Räume. In schnellwachsenden urbanen Gebieten kann noch die grundsätzliche Richtung der Stadt- und Infrastrukturplanung beeinflusst werden. Zu den Möglichkeiten für bereits entwickelte urbane Räume gehören vor allem Massnahmen bei der Sanierung des Gebäudeparks.

## Raum- und Infrastrukturplanung

Eine entscheidende Rolle zur Minderung der Emissionen kommt der Raum- und Infrastrukturplanung zu. Bis anhin hat sich die Raumplanung vor allem auf der sektoralen Ebene, im Bereich der Naturgefahren, mit dem Klimawandel beschäftigt. Die Raumplanung als klassische Querschnittsaufgabe verfügt aber bereits heute über ein breites Instrumentarium, das geeignet ist, den Klimawandel anzugehen.

### Handlungsmöglichkeiten im Bereich Klimawandel

Neben der Festlegung der Raumstruktur durch beispielsweise Richtpläne, Nutzungspläne oder Gestaltungspläne, können Agglomerationsprogramme, Leitbilder, regionale Entwicklungskonzepte oder Modellvorhaben einen wichtigen indirekten Einfluss auf das Klima haben. Doch vor allem durch die Koordination der verschiedenen sektoriellen Aufgaben kann die Raumplanung Synergien schaffen, wenn Interessensharmonien zwischen klassischen und neuen klimabedingten Handlungsfeldern bestehen, wie zum Beispiel zwischen Luftqualität, Durchlüftung und Stadtbegrünung. Die Ziele der Raum- und Infrastrukturplanung sollten sein, dass in Anbetracht der prognostizierten stadtklimatischen und wasserhaushaltlichen Veränderungen der urbane Lebensraum auch zukünftig adäquate Lebensbedingungen anbietet und die schon heute bestehenden städtischen Wärme-Insel-Effekte (s. a. Kap. 2.13 Urbaner Raum, S. 126) nicht zu völlig unbeehaglichen oder sogar lebensbedrohlichen Lagen führen. Im Folgenden werden die wichtigsten Handlungsbereiche der Raum- und Infrastrukturplanung zur Minderung des Klimawandels vorgestellt (s. a. Abb. 3.18).

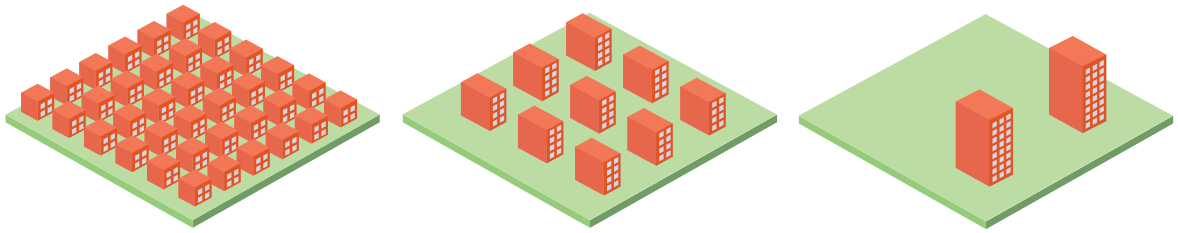


**Abbildung 3.17:** Gleiche Dichte mit verschiedenen Formen. (Quelle: Angepasst von Cheng 2009)

### Kompakte Siedlungsformen

Für bereits gewachsene Städte ist die Förderung **kompakter Siedlungsformen** eine elementare Massnahme zur Emissionsminderung. Hohe Dichte von Bevölkerung, Arbeit und Geschäften führt zu kurzen Transportwegen und damit zu weniger Treibhausgasemissionen. Je höher die Dichte, desto grösser ist der Anteil von Fuss- und Fahrradverkehr (Metron 2014). Jedoch könnte bei einer starken Verdichtung auch der Freizeitverkehr zunehmen. Häufig wird angenommen, dass eine Verdichtung über mehrere Stockwerke zu erreichen ist. Dies ist jedoch nicht immer die beste Lösung, wenn es um Energieeffizienz und Emissionsminderung geht, da hohe Gebäude auch viel Abstand zueinander brauchen, um Licht durchzulassen (Abb. 3.17).

### Mischnutzung

Auch eine **Mischnutzung** fördert kurze Wege, was wiederum umweltfreundliche Fortbewegungsmittel fördert. Negative Effekte wie Lärm- und Geruchsemissionen, die ursprünglich die strikte Trennung von Gewerbe-, Industrie- und Wohnzonen begründeten, können heutzutage oft begrenzt werden.

### Dichte des Transportnetzwerkes

Die Dichte des Transportnetzwerkes hat einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionsminderung und fördert die Erreichbarkeit. Dies ist von grosser Bedeutung, da mit 32 Prozent ein Grossteil der Treibhausgasemissionen auf den Verkehr entfällt. Bei einem hohen Grad an Vernetzung, also vielen Strassen und Wegen für die verschiedenen Verkehrsteilnehmer, ist der Anteil an Fussgängern und Velofahrern grösser, was auch die Emissionen verringert. Vernetzung kann erreicht werden, indem bei Neubauten kleinere, unterteilte Gebäudeformen bevorzugt werden. Bestehende Verkehrswege können verkehrsberuhigt werden, indem Fuss- und Velowege, Verkehrsberuhigungsmassnahmen (30er-Zonen) oder Fussgängerzonen hinzugefügt werden.

### Grüne und blaue Infrastrukturen

Grüne und blaue Infrastrukturen sorgen für ein besseres Klima, eine bessere Luftqualität und sie bieten Naherholungszonen. Die grüne Infrastruktur beinhaltet die Vegetation und die grünen Elemente in der Stadt. Diese reichen von Grünflächen wie Parks und Wälder über begrünte Alleen bis zu grünen Tramtrassees und begrünten Parkfeldern. Auch Gründächer und begrünte Fassaden oder das Urban Gardening sind Teil der grünen Infrastruktur. Die blaue Infrastruktur entspricht den Wasserelementen innerhalb der Stadt: Flüsse und Seen, Brunnen, Wassergräben oder andere Elemente zur Befeuchtung und Abkühlung. Auch sie tragen zum Wohlergehen der Stadtbewohnerinnen und -bewohner bei (BAFU 2012) (s. a. Box Bäume im urbanen Raum, S. 108). Diese Infrastrukturen sollten bei der Raum- und Infrastrukturplanung berücksichtigt werden. Im gesamten urbanen Gebiet sollten die zur Belüftung der Innenstadt relevanten Kaltluftschneisen ermittelt, erhalten und in ihrer Funktionsfähigkeit entwickelt und verbessert werden. Bei künftigen Bebauungen (nur ausserhalb von Überschwemmungsgebieten von hundertjährigen Hochwassern) oder Umbauten an Still- und Fliessgewässern sollten die Gebäude so ausgerichtet werden, dass die Kaltluftbahnen in die Zentren hineinwirken können. Beachtet man die lokalen Klimaverhältnisse, sollten insbesondere die regionalen Verknüpfungen der Kalt- und Frischluftsysteme berücksichtigt werden, da die Einzugsgebiete dieser Luftsysteme zumeist weit über das urbane Gebiet hinausreichen.

Weitere Möglichkeiten, die Emissionen in den Städten wirksam zu verringern, sind eine nachhaltige Energieversorgung mit grösstenteils erneuerbaren Ressourcen. Eine verbesserte Effizienz von Verteilnetzen, Gebäuden sowie Geräten und Anlagen verringert die Nachfrage nach Energie. Auch ein verändertes Bewusstsein und Verhalten der Bewohner kann den Verbrauch senken (s. a. Kap. 3.3 Verhaltensänderungen, S. 164). Die Einsparpotenziale werden kurzfristig auf bis zu 20 Prozent und bis 2050 auf bis zu 50 Prozent geschätzt (IPCC 2014/WGIII/Chap.12).

## Schlüsselfaktoren für eine effiziente Umsetzung von Minderungsmassnahmen

Doch Strategien und Massnahmen scheitern oft an ihrer Umsetzung. Folgende Faktoren haben eine Schlüsselfunktion für eine im Hinblick auf den Klimawandel effiziente Umsetzung von Minderungsmassnahmen durch die Raum- und Infrastrukturplanung:

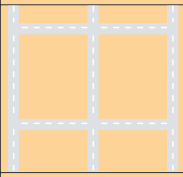
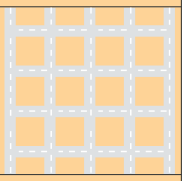
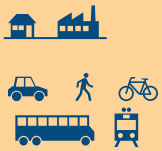
| | Zu messende Grössen | Bereiche | |
|---|---|---|---|
| | | Hohe Emissionen | Tiefe Emissionen |
| Verdichtung | - Haushalt/Bevölkerung<br>- Gebäude/Grundflächen-Verhältnis<br>- Arbeit/Gewerbe<br>- Block/Parzelle<br>- Wohnungseinheit | | |
| Mischnutzung | - Landnutzungs-Diversität<br>- Diversität der Arbeit<br>- Arbeitsplatz-Wohnraum-Balance<br>- Arbeitsplatz-Bevölkerungs-Balance<br>- Anzahl Ladengeschäfte<br>- Gehweg-Möglichkeiten | | |
| Transportnetzwerk | - Dichte der Wegkreuzungen<br>- Blockgrösse<br>- Breite der Gehsteige<br>- Strassennetzdichte |  |  |
| Erreichbarkeit | - Bevölkerungszentralität<br>- Distanz zum zentralen Geschäftsviertel<br>- Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes mit dem Auto und/oder ÖV<br>- Erreichbarkeit der Einkaufsmöglichkeiten | |  |
| Grüne und blaue Infrastruktur | - Grünraumversorgung<br>- Kaltluftbewegung<br>- Kühlungseffekt | | |

**Abbildung 3.18:** Emissionsmindernde Strategien im Bereich Raum- und Infrastrukturplanung. (Quelle: Design nach IPCC 2014/WGIII/Chap.12)

– **Ein stärkeres Bewusstsein, Partizipation und regionale Verantwortung:** Emissionsminderungsmassnahmen müssen in die bestehenden Konzepte der nachhaltigen Stadt einfliessen, wie beispielsweise in die 2000-Watt- oder die Eine-Tonne-$CO_2$-Gesellschaft. Die Bewusstseinsbildung innerhalb der Stadtverwaltung sowie bei der Bevölkerung spielt dabei eine Schlüsselrolle. Dazu gehören die eigene Betroffenheit zu erkennen, in dezentrale Vollzugsmodelle zur Anpassung an die Klimaänderung Fachleute einzubeziehen sowie konkrete Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen durch das Bereitstellen von Unterlagen für Fachleute in spezifischen Tätigkeitsfeldern.
– **Systemisches Denken, die Koordination der Instrumente und deren Integration:** Die regionale Raumplanung gewinnt als Planungsregion sowie Dialog- und Koordinationsplattform an Bedeutung, da die Anpassungsstrategien sich nicht an Gemeinde- oder Kantonsgrenzen, sondern am Charakter des Klimas und des natürlichen Lebensraumes orientieren. Die Interaktionen zwischen den verschiedenen Fachplanungen sind auf der Grundlage der Multifunktionalität der Landschaft optimal zu koordinieren. Beispiel hierfür ist die Koordination der Ausscheidung des Gewässerraumes im Rahmen der Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) mit den Anpassungsaktivitäten von Bund, Kantonen und Gemeinden an das Klima und mit der Biodiversitätsstrategie.
– **Verwendung von informellen Instrumenten:** Es sollte ein Mix von formellen und informellen Instrumenten entwickelt werden, deren jeweilige Wirkungen sich ergänzen. Ein relevantes informelles Instrument ist die Einrichtung von regionalen Akteursnetzwerken mit Vertretern der Kantone sowie mit den relevanten Verbänden und Fachorganisationen aus den Bereichen Planung, Bau und Unterhalt. Solche Netzwerke bieten zahlreiche Möglichkeiten, um das Bewusstsein zu fördern, Informationen auszutauschen und einen regionalen Ideenpool zu schaffen.

## Sanierung des Gebäudeparks und bestehender Infrastrukturen

Die Sanierung des Gebäudeparks und der existierenden Infrastrukturen mit neuen Konzepten für energieautarke Gebäude *(Net-Zero Energy Buildings)* und Gebäude ohne

## Ökosystemleistungen in der Stadt und ihr Beitrag zur Minderung

Grünflächen und Gewässer in urbanen Gebieten erbringen vielseitige Ökosystemleistungen: Sie stellen Habitate für Tiere und Pflanzen zur Verfügung, dienen der Erholung, leiten das Regenwasser in den Boden ab, verbessern die Luftqualität und das Stadtklima. Wasserflächen in Stadtnähe haben einen ausgleichenden Effekt auf das Klima, sie wirken kühlend im Sommer und speichern die Wärme im Winter. Grünflächen reduzieren den sogenannten Hitze-Insel-Effekt durch Schattenwurf, Verdunstung und verbesserte Luftzirkulation. Dadurch wird der Energieverbrauch für Klimaanlagen, Kühlschränke und andere Geräte erheblich vermindert. Zusätzlich leisten die Pflanzen durch die Assimilierung von Kohlenstoff einen Beitrag zur Minderung des Energieverbrauchs. Von Bedeutung sind dabei sowohl grössere Flächen wie Parks oder Spielplätze als auch einzelne Elemente wie Bäume oder begrünte Dächer. Die Berücksichtigung von Gewässern und Grünflächen und ihren Ökosystemleistungen kann somit in der strategischen Planung einen erheblichen Beitrag zur Minderung von Emissionen in städtischen Gebieten leisten. Darüber hinaus können solche Flächen einen Beitrag zur lokalen Lebensmittelversorgung leisten, zur Regulierung von Naturgefahren wie Hochwasser sowie zur Erholung der städtischen Bevölkerung. Damit tragen urbane Ökosystemleistungen wesentlich zu Gesundheit und Wohlbefinden bei, gerade angesichts der Herausforderungen des Klimawandels (s. a. Kap. 2.8 Biodiversität und Ökosystemleistungen, S. 100).

Treibhausgasemissionen *(Zero Emission Buildings)* kann dazu beitragen, die Emissionen im Gebäudebereich um 50 bis 80 Prozent zu verringern im Vergleich zum Referenzniveau von 1990. Solche Gebäude können im Rahmen von globalen Strategien zur Sanierung von Stadtquartieren die Emissionen der energieintensiveren Gebäude kompensieren (UMEM 2011). Bei der Sanierung des Schweizer Gebäudeparks wird das Reglement des SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein) eine grosse Rolle spielen: Dieses misst der Energieeffizienz von Gebäuden und der Bekämpfung der Auswirkungen des Klimawandels eine immer grössere Bedeutung zu. Das SIA-Reglement kann langfristig dazu beitragen, die nationalen Ziele zur Verringerung der Treibhausgasemissionen zu erreichen. Zusätzlich zum SIA-Reglement sind jedoch weitere Massnahmen notwendig:

- eine höhere Energieeffizienz (Gebäudehülle, technische Anlagen),
- eine bessere Integration von erneuerbaren Energien in die Gebäude und Städte (thermische Solaranlagen, Photovoltaikmodule),
- eine höhere globale Effizienz der Gebäude und Infrastrukturen (Stadtplanung, Wärme- und/oder Kältenetz, Abnahme von Anlagen usw.),
- der Schutz vor Hitze durch das Verhindern von Sonneneinstrahlung und
- der Verzicht auf unnötige Dienstleistungen (Veränderung der Verhaltens- und Lebensweisen).

Abschliessend ist zu sagen, dass der Beitrag von Städten zur Minderung der Treibhausgasemissionen und des Energiekonsums mit grossen Unsicherheiten behaftet ist. Einerseits gibt es keine einheitlichen lokalen Erhebungsmethoden, die erlauben, die Unterschiede zwischen den Städten zu messen. Die Letzteren sind abhängig von der Stadtstruktur (kompakt oder weitläufig), der Infrastruktur (Strassennetz, Fuss- und Velowege, Alter der Gebäude), der Wirtschaftsstruktur (Industrie oder Dienstleistungen) und der demographischen Schichtung (Alter der Wohnbevölkerung, Durchmischung). Anderseits gibt es grosse Unsicherheiten in der Entwicklung der Städte. Dies erschwert die Voraussage des Einflusses von urbaner Form und Infrastruktur auf den Energiekonsum und die Treibhausgasemissionen massiv. *No-Regret-Strategien*, wie das «Climate-Proofing», welches die Tragfähigkeit von Massnahmen unter dem sich ändernden Klima prüft, sind dabei unentbehrlich, um die langfristige Anpassung der Städte an den Klimawandel zu sichern.

### Referenzen


BAFU (2012) **Anpassung an den Klimawandel in Schweizer Städten.** Schlussbericht, 16. August 2012, 68 pp.

BFS (2014) **Evolution future de la population – Données, indicateurs – Scénarios suisses.** www.bfs.admin.ch

BFS (2015) **Die Bodennutzung in der Schweiz – Auswertungen und Analysen.** www.bfs.admin.ch

GEA (2012) **Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future.** Cambridge University Press, Cambridge, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change (WGIII).** Chapter 12 « Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning». www.ipcc.ch/report/ar5/wg3

Metron (2014) **Dichte und Mobilitätsverhalten – Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Mobilitätsverhalten.** Ein neuer Blick auf den Mikrozensus. SVI-Veranstaltungsreihe, St. Gallen, 22.5.2014.

SSV (2016) **Statistik der Schweizer Städte.** Bern.

United Nations (2014) **World Organization Prospects.** United Nations.

Upadhyay G, Mauree D, Kämpf JH, Scartezzini J-L (2015) **Evapotranspiration model to evaluate the cooling potential in urban areas – A case study in Switzerland.** 14th International Conference of the International Building. Performance Simulation Association, Hyderabad, December 6-9, 2015.