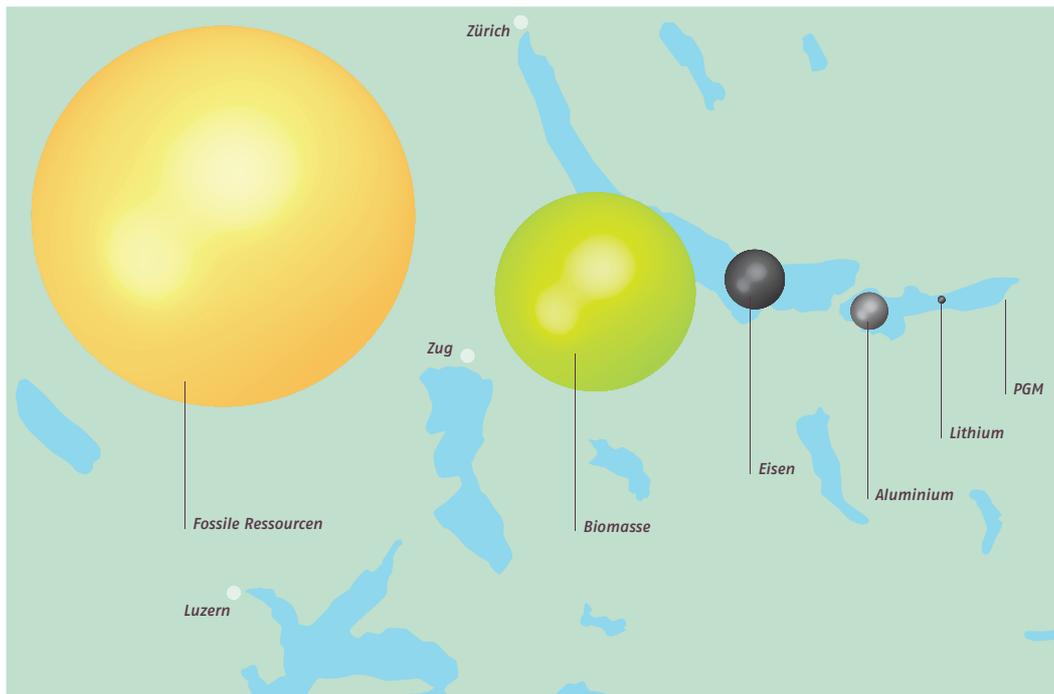
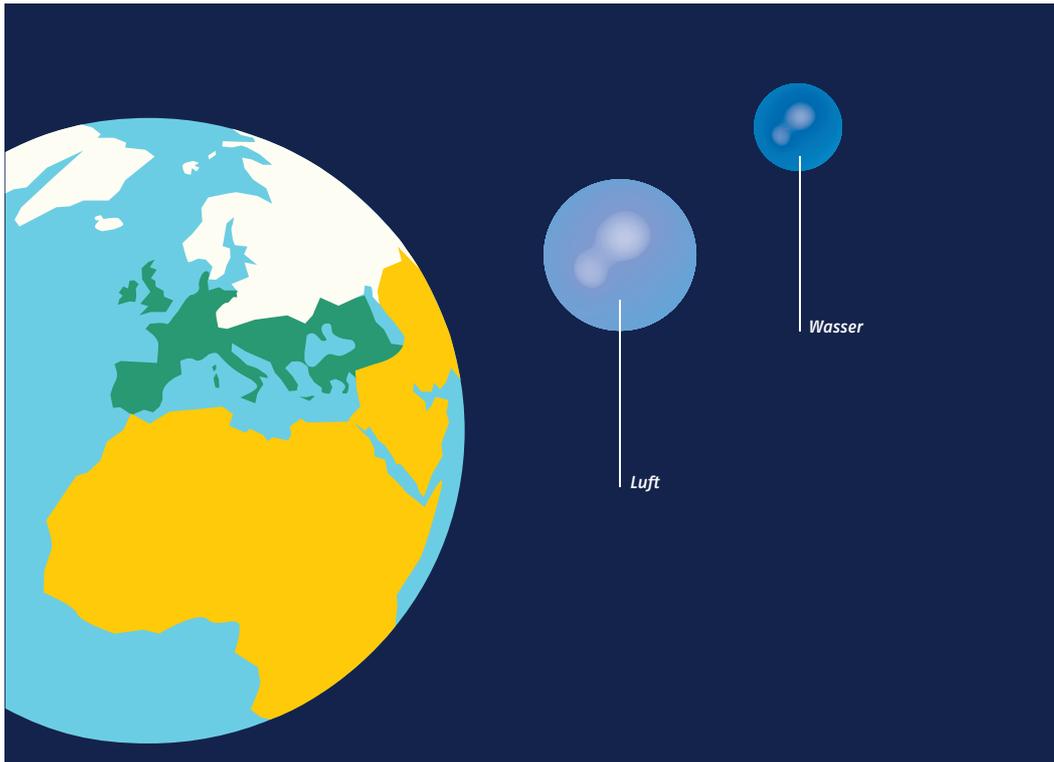


CLEANTECH RESSOURCENSTRATEGIE



Autoren:

Hans-Jörg Althaus

Jörg Duschmalé

Nicolas Fries

Publikation:

Wirtschaftsverband swisscleantech, Bern

Herausgeber:

FFGS Foundation for Global Sustainability, Zürich

Juni 2015

Publikation ist online erhältlich unter:

www.swisscleantech.ch/ressourcenstrategie

Die Autoren:

Hans-Jörg Althaus ist diplomierter Materialwissenschaftler und promovierter Umweltnaturwissenschaftler der ETH Zürich. Nach einigen Jahren in der angewandten Forschung und Entwicklung für Solarenergieanlagen hat er 14 Jahre im ETH Bereich als Wissenschaftler und wissenschaftlicher Gruppenleiter gearbeitet. Dort war Hans-Jörg Althaus massgeblich an der Entwicklung der ecoinvent Datenbank beteiligt und konzentrierte sich daneben auf Methodenforschung im Bereich Lebenszyklusanalyse (LCA), nachhaltige Ressourcennutzung und Modellierung. Dr. Althaus gehört dem Editorial Board des International Journal of Life Cycle Assessment an und ist Autor von über 25 wissenschaftlichen Zeitschriftenartikeln sowie von dutzenden Berichten und Büchern.

Jörg Duschmalé ist promovierter Chemiker. Nach seiner Dissertation im Bereich der Peptidchemie an der Universität Basel sowie der ETH Zürich bildete er sich an der St. Galler Business School weiter. Dr. Duschmalé ist Autor von mehreren Forschungsartikeln sowie eines Buchkapitels.

Nicolas Fries ist Masterabgänger der Universität St.Gallen und der Sciences Po Paris in International Affairs, Umwelt und Nachhaltiger Entwicklung. Seit seinem Abschluss 2012 arbeitet er für den Wirtschaftsverband swisscleantech im Bereich «Materialien & Ressourcen». Zu seinen Kernaufgaben zählen die Organisation und Durchführung thematischer Fokusgruppen, wissenschaftliche Grundlagenarbeit zu natürlichen Ressourcen, politische Interessensvertretung im Rahmen der Revision des Umweltschutzgesetzes sowie die Betreuung relevanter Stakeholder.

© Copyright FFGS Foundation for Global Sustainability

All Rights Reserved and Proprietary, in particular Translation, Re-Edition and Re-Print.

Though Excerpts and Quotations, inclusive of Charts and Visualizations, also for use in oral presentations, are welcome and permitted without prior consent from the copyright owners, this general authorization, however, is subject to the condition of the inclusion of a discernible source-reference, which rule is applicable as well for slide-shows in connection with oral presentations. The source-reference is to express: Copyright by FFGS Foundation for Global Sustainability/Published by Wirtschaftsverband swisscleantech»

Vorwort des Präsidenten

Was für die Energie gilt, ist auch für die Ressourcen richtig: Bitte wenden! Mit Freude und Stolz präsentieren wir deshalb die vorliegende Cleantech Ressourcenstrategie. Sie gibt Orientierung auf dem Weg, den wir in den nächsten Jahren gemeinsam mit der Wirtschaft, Politik und Bevölkerung gehen möchten. Ziel dieses Wegs ist eine Schweiz, die mit den natürlichen Ressourcen nachhaltig umgeht.

Die Bundesrätliche Antwort zur Initiative «Grüne Wirtschaft» der Grünen Partei lautete: Die Initiative ist zu ambitioniert, weil die Schweiz das darin enthaltene Ziel eines «Footprint 1» bis 2050 nicht erreichen können. Mit anderen Worten, wir Schweizer seien nicht in der Lage, 2050 nur so viele Ressourcen zu konsumieren, die unserem fairen Weltanteil entsprechen. Wir würden also, bis 2050 und auf unbestimmte Zeit darüber hinaus, mehr als einen Planeten beanspruchen. Im Moment bräuchte es vier Erden, wenn die ganze Welt so leben würde, wie wir in der Schweiz.

In vielerlei Hinsicht sind die letzten 250 Jahre unserer Entwicklung eine Erfolgsgeschichte. Von der ersten Dampfmaschine zur Stromerzeugung mit Photovoltaik Panels, von der ersten elektromechanischen Rechenmaschine zum Smartphone, welches die 1000 mal höhere Rechenleistung erbringt und gleichzeitig 1000 mal weniger Strom braucht – oder vom ersten Zug mit schnaubender Dampfmaschine zum leisen und energieeffizienten Elektromobil. Es sind diese Entwicklungen, die uns in der Schweiz und in anderen weitentwickelten Ländern, einen ungeahnt hohen Lebensstandard erlauben. Dieser Erfolg, das Wirtschaftswachstum in seiner heutigen Form, führt aber dazu, dass wir früher oder später an die physikalischen und biologischen Limiten unseres Planeten stossen.

Die bevölkerungsreichsten Teile unseres Planeten liegen punkto Wohlstand noch weit hinter uns und eine Milliarde Menschen leiden noch heute unter Hunger. Zudem wächst die Weltbevölkerung noch immer. Mehr von uns wollen also mehr konsumieren. Die meisten wollen erstmal mindestens so viel wie wir, und wir konsumieren dabei bereits weit mehr als uns nachhaltig zusteht. Ist also die Lage aussichtslos? Hat der Bundesrat somit recht in seiner Beurteilung zur Initiative «Grünen Wirtschaft»?

Wem ist nicht klar, dass wir nur einen Planeten zur Verfügung haben und uns auf absehbare Zeit die Kolonialisierung anderer Planeten nicht wirklich als Option zur Verfügung steht? Die Sache ist klar: Wir müssen handeln. Das schulden wir nicht zuletzt den kommenden Generationen.

Die Schweiz muss dabei nicht von vorne anfangen. Mit der Energiestrategie 2050, dem revidierten Raumplanungsgesetz und dem Masterplan Cleantech hat sie bereits eine Reihe von ersten Schritten zur Steigerung der Ressourceneffizienz unternommen. Der Bundesrat hat 2010 den Aktionsplan «Grüne Wirtschaft» initiiert, der mit 27 Massnahmen zu einer ressourcenschonenden Wirtschafts- und Konsumweise beitragen soll. Gemäss Bundesrätin Doris Leuthard «kann die Schweizer Wirtschaft nur gewinnen, wenn sie sich auf den Weg der «grünen Wirtschaft» begibt». Die Schweizer Bevölkerung ist Weltmeisterin im öffentlichen Verkehr, im Bio-Konsum und im Recycling und hat ein hohes Umweltbewusstsein.

Leider hilft uns die Wissenschaft in Sachen Timing und Gesamt-Zusammenhänge des notwendigen Wandels nur beschränkt weiter. Planetary Boundaries, Ökologischer Fussabdruck oder Umweltbelastungspunkte geben Anhaltspunkte, doch es fehlt, national wie international, eine nachhaltige Wachstumsstrategie, eine mit klaren Zeitvorgaben und einem Reduktionspfad für die Ressourcenbelastung insgesamt. Nur bei einem Footprint von 1 oder weniger entwickeln wir uns nachhaltig – nur dann leben wir vom «Zins» unseres Planeten und zehren nicht von dessen «Kapitalsubstanz». Bei einzelnen Ressourcen wie beim Klima wissen wir bereits Bescheid. Um die kritische 2-Grad Erwärmungsgrenze einzuhalten, müssen wir bis 2050 die globale CO₂ Belastung um 90% reduzieren.

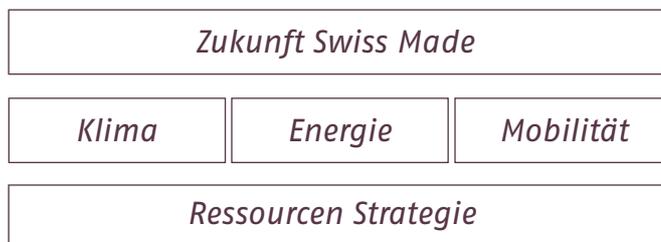
Es geht also primär um die Wachstumsfrage und da gehört die Wirtschaft mit an den Tisch. Sie setzt um, sie speist das Wachstum. Führt die Überschreitung planetarer Limiten zu Kosten, so stellt dies auch für die Wirtschaft ein Risiko dar. Müssen wir in Zukunft anders wachsen, ist das gerade für die Schweizer Wirtschaft eine Chance. Innovative Technologien und Systemlösungen müssen entwickelt und global angewendet werden. Anliegen wie die Modernisierung des Schweizer Umweltgesetzes (USG) sind daher auch von zentralem Wirtschaftsinteresse.

swisscleantech hat in der Wachstumsfrage vorgebaut und im Dezember 2014 «Zukunft Swiss made – wachsen mit Qualität» publiziert. Darin wird die Wachstumsfrage im Grundsatz adressiert, spezifisch auf die Bereiche Klima & Energie, Materialien & Ressourcen wie auch Mobilität eingegangen, sowie auch soziale und aussenpolitische Zusammenhänge erstellt. Mit der Publikation der Cleantech Ressourcenstrategie kommen wir nun einen grossen Schritt weiter. Wir können neue, wichtige Entwicklungszusammenhänge aufzeigen und zudem Konsequenzen analysieren und Massnahmen empfehlen.

So zeigt sich beispielsweise in der Klimapolitik, dass die Energiepolitik bei der Lösung des Klimaproblems eine massgebende Rolle spielt. Dies wiederum hat aber Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch, insbesondere bei Metallen und Halb-Metallen. Reicht denn das weltweite Silizium für all die vielen Solarpanels die es zur Umsetzung einer erneuerbaren Energieversorgung braucht? Gibt es genügend Lithium für die vielen Batterien die für lokale Energiespeicher und die Elektromobilität eingeplant sind?

Unsere Strategie zeigt diese und viele weitere Zusammenhänge auf, bringt konkrete Beispiele von Ressourcen bei denen Kritikalität zum Thema wird und schlägt grundsätzliche Stossrichtungen für Innovationen und den Bedarf an richtigen politischen Massnahmen vor – hin zu einer umfassenden Wachstumsstrategie, die mit einer nachhaltigen Entwicklungsstrategie auch 1-Planet-kompatibel ist. Ich hoffe, wir leisten mit der vorliegenden Studie dazu einen Beitrag. Wichtig wird vor allem deren schrittweise Umsetzung, und dabei in erster Linie die Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure sein.

Mit Sicherheit weist unsere Strategie bereits darauf hin, dass die Schweiz, trotz und wegen internationalen Ressourcenthemen, ein offenes und international eingebundenes Land bleiben soll, und dass eben genau dies massive Vorteile bringt!



Machen wir uns gemeinsam auf diesen weiten, schwierigen aber gangbaren Weg in Richtung nachhaltiger Entwicklung – er lohnt sich!

Nick Beglinger,
Präsident swisscleantech

Executive Summary

Die Bereitstellung der notwendigen Energie für einen Lebensstandard, wie denjenigen der Schweiz, ist, zusammen mit der Nahrungsproduktion, der Haupttreiber für den globalen Klimawandel und den rasanten Verlust von Wäldern, Böden und Biodiversität. Der Ökologische Fussabdruck, der die Landnutzung und den Klimawandel abdeckt kommt zum Schluss, dass wir bei einer nachhaltigen Nutzung etwas mehr als 1.5 Planeten bräuchten um den globalen Lebensstandard aufrecht zu erhalten. Ähnliches zeigen die «Planetarischen Grenzen» des Stockholm Resilience Centre:

Am deutlichsten werden die globalen Nachhaltigkeitsgrenzen überschritten bezüglich des Verlusts an Biodiversität, der Belastung von Wasser mit Stickstoff und Phosphor aus der intensiven Landwirtschaft, der Umwandlung und Nutzung von Land, sowie des Klimawandels

Auf diese Bereiche müssen wir also besonders achten, wenn wir über die nachhaltige Nutzung von Ressourcen sprechen. Neben den natürlichen Rohstoffen wie zum Beispiel Kies, Metallerze oder Rohöl zählen nämlich auch «Funktionen wie z.B. die Stabilität des Klimas, der Schutz vor schädlicher Strahlung durch die Ozonschicht, die Aufnahmefähigkeit für Schadstoffe, die Stabilität und Regenerationsfähigkeit natürlicher artenreicher Lebensräume oder die Solarstrahlung» (Schütz u. a. 2008) zu den natürlichen Ressourcen. Dies folgt aus der Definition des Begriffs der «natürlichen Ressourcen», die Helmut Schütz und Stefan Bringezu vom Wuppertal Institut für das Deutsche Umweltbundesamt formuliert haben:

«Natürliche Ressourcen umfassen im weiteren Sinne alle Funktionen des Ökosystems Erde sowie des Sonnensystems, die vom Menschen direkt oder indirekt genutzt werden oder genutzt werden können bzw. die die Grundlage seines (Über-)Lebens und Wirtschaftens und der Ko-Existenz mit der Natur darstellen.» (Schütz u. a. 2008).

Aus dieser Definition, der *swisscleantech Charta*, der dieser zu Grunde liegenden Definition der nachhaltigen Entwicklung sowie der ethischen Position, dass auch die Deckung der Bedürfnisse künftiger Generationen gewährleistet sein müssen, folgt, was unter «nachhaltiger Nutzung natürlicher Ressourcen» zu verstehen ist: Natürliche Ressourcen sollen so genutzt werden, dass alle Menschen – heute und in Zukunft – ihre Bedürfnisse befriedigen können, während den anderen, gleichberechtigten Lebewesen unseres Planeten genügend und adäquaten Lebensraum zugestanden wird.

Die Nutzung vieler natürlicher Ressourcen ist heute nicht nachhaltig. Wollen wir das ändern, müssen wir intelligenter damit umgehen als bis anhin. Ein Grund für die aktuelle Übernutzung natürlicher Ressourcen ist einerseits das Bevölkerungswachstum. Viel wichtiger aber ist, dass der Ressourcen hunger jedes einzelnen Menschen bis anhin immer grösser wurde und weiter stark zu wachsen droht. Pro Kopf werden jedes Jahr mehr Stahl, mehr Beton, mehr Autos oder auch mehr Elektronikgeräte produziert – alles Güter, die gleichzeitig Ausdruck und Ursache von einem steigenden Lebensstandard sind. So werden aber auch jedes Jahr grössere Mengen an natürlichen Rohstoffen wie zum Beispiel Sand, Metallerze oder fossile Energieträger verbraucht.

Der Abbau dieser Rohstoffe und die Produktion von Gütern daraus haben direkte und indirekte Auswirkungen auf andere Ressourcen. Zum Beispiel braucht die Produktion von Stahl nicht nur Eisenerz und Kohle sondern auch Land für den Abbau dieser Rohstoffe und sie verursacht (unter anderem) Treibhausgasemissionen. Daraus resultiert der Klimawandel, der zu einer Reduktion der

landwirtschaftlichen Produktivität, zu Wasserknappheit und zu weiterem Biodiversitätsverlust führt. Darum brauchen wir für unsere Ernährung zusätzliche Landwirtschaftsfläche. Eine solche Ausdehnung ist nur auf Kosten von Wald möglich, führt also zu Abholzung und damit zu Biodiversitäts- und Bodenverlust. Dies wiederum verstärkt den Treibhauseffekt und verringert die Bodenproduktivität weiter. Da diese Effekte nicht linear sind, dreht die Ressourcen-Negativspirale je länger desto schneller. Es braucht eine Trendwende.

Um die hohe Lebensqualität, die wir unserem erfolgreichen Wirtschaften verdanken, aufrecht zu erhalten, braucht es einen Paradigmenwechsel, eine «Clean Transformation».

Obschon viele heute noch skeptisch sind und dabei die offensichtliche Dringlichkeit und System-Dimension des notwendigen Wandels ausblenden, sind einige Veränderungen bereits im Gang. Wie bei der Klima- und Energiepolitik zeigt sich auch bei den Ressourcen, dass mit den richtigen Rahmenbedingungen und smarten Technologien Lösungen zur Verfügung stehen. Gerade das Beispiel der industriellen und post-industriellen Entwicklung zeigt, dass wir, trotz dieser Skepsis, zu Veränderungen fähig sind und, wenn wir den Nutzen daraus sehen, diese sogar aktiv umsetzen. So wurden zum Beispiel Anfangs des letzten Jahrhunderts die Pferdekutschen durch Autos ersetzt, weil Autos weniger laut und sauberer waren als Pferdekutschen. Heute sind wir dabei, die Verbrennungsmotoren der Autos durch Elektromotoren zu ersetzen, weil Elektroautos weniger laut und sauberer sind.

Eben diese Entwicklungen – von der Pferdekutsche zum Auto und vom Verbrennungs- zum Elektromotor – bieten Chancen für die Wirtschaft. In erster Linie für Firmen, die eine nachhaltige Entwicklungsstrategie umgesetzt haben und Lösungen anbieten. Da neue, integrale Lösungen oft effizienter sind als bestehende, ergeben sich auch neue Chancen für diejenigen, welche solche Lösungen anwenden. Diese Chancen gehen weit darüber hinaus, Elektromotoren oder Batterien herzustellen. Elektromobilität braucht auch neue Ladestationen und, damit diese Entwicklung tatsächlich weniger natürliche Ressourcen verbraucht als die herkömmliche Mobilität, zusätzlichen erneuerbaren Strom. Das wiederum braucht Hersteller und Installateure von Solarmodulen oder Windkraftanlagen und so weiter. Nebst vielen neuen Möglichkeiten und eingesparten Kosten zwingt der Ersatz von ressourcenintensiven Technologien und Geschäftsmodellen viele Unternehmen und Branchen sich anzupassen. Die fortschrittlicheren Unternehmen sind schon lange daran. Andere brauchen offensichtlich noch etwas Zeit. Entscheidend ist, dass in den nächsten Jahrzehnten eine absolute Entkopplung von Wohlstand und Ressourcenverbrauch stattfindet. Einer höheren Ressourceneffizienz kommt dabei eine entscheidende Rolle zu: Wir müssen mit einem verringerten Einsatz von natürlichen Ressourcen einen höheren Nutzen (Lebensstandard) erreichen.

Eine Ressourcenwende, also eine Reduktion des Verbrauchs an über-nutzten natürlichen Ressourcen auf ein langfristig verträgliches Mass, wird zu einem höheren Lebensstandard führen als die Fortführung des bisherigen Trends des Ressourcenverbrauchs

Wie die «Energie-» ist die «Ressourcenwende» eine wichtige Voraus-setzung für ein qualitatives Wirtschaftswachstum, also die Zunahme an Wirtschaftsleistung ohne negative Einflüsse auf Ökologie und Gesellschaft. Die Studie «Zukunft, Swiss Made. Wachsen mit Qualität» von swisscleantech (2014) zeigt auf, wie so ein Wachstum möglich ist. Gerade für die Schweiz und ihre Wirtschaft birgt diese Ressourcenwende praktisch nur Vorteile. Mit ihrer Wirtschaftsstruktur, ihrem hohen Ausbildungsniveau und ihrem innovativen Forschungs- und Werkplatz ist die Schweiz geradezu prädestiniert dafür, die für eine Ressourcenwende benötigten Lösungen zu entwickeln und global zur Anwendung zu bringen. Mit den richtigen Entscheidungen heute können wir unsere Lebensgrundlagen, unseren Wohlstand und unsere wirtschaftliche Prosperität langfristig sichern. Dazu müssen wir eine Vorreiterrolle einnehmen und zukunftsfähige Technologien und Wirtschaftsformen entwickeln, die der Schweiz und anderen Ländern als Basis dienen, und dabei Schweizer Unternehmen neue Chancen in internationalen Märkten eröffnen.

Gegenstand der vorliegenden Cleantech Ressourcenstrategie ist es, den gegenwärtigen Zustand der Ressourcennutzung aufzuzeigen und den zeitgerechten Weg hin zu einer nachhaltigen Entwicklung aufzuzeigen. Wir diskutieren zuerst die Rohstoffe (Materialien, Energieträger und Biomasse), danach die direkten Produktionsfaktoren dafür (Land und Wasser) und zum Schluss die Funktionen des Ökosystems (Luft, Klima, Biodiversität und erneuerbare Energie). Auf dieser Basis, und aufgrund von Überlegungen zu der gegenseitigen Beeinflussung der Nutzung verschiedener natürlicher Ressourcen werden in fünf Handlungsfeldern konkrete Empfehlungen bezüglich eines nachhaltigen Umgangs mit natürlichen Ressourcen erarbeitet. Die Handlungsfelder umfassen die Land- und Wassernutzung und die darauf basierende Bereitstellung von Nahrung Holz, und Pflanzenfasern, weil diese Bereiche essentiell sind für die Erhaltung der Ökosystemdienstleistungen und der Biodiversität. Weiter umfassen die Handlungsfelder auch die Bereitstel-lung von Energie (fossil und erneuerbar) und die Bereitstellung von abiotischen Rohstoffen. Energiebereitstellung ist der Haupttreiber des globalen Klimawandels und die Rohstoffbereitstellung kann ein wichtiger Treiber für Entwaldung sein, was sich negativ auf Biodiversität und Klima auswirkt. Rohstoffgewinnung ist auch ein wichtiger Faktor bei Luft- und Wasserverschmutzung und natürlich verlangt auch schon die begrenzte Verfügbarkeit einiger Rohstoffe eine über-legte Nutzung. Zuletzt werden in der vorliegenden Strategie politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen skizziert, mit denen eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen bis 2050 ermöglicht würde.

Daten zur physischen Verfügbarkeit der Rohstoffe können relativ einfach als Massen oder Volumen erfasst werden. Leider basiert die Datengrund-lage dafür bei vielen Rohstoffen vor allem auf Extrapolationen aus einer relativ kleinen Anzahl von Messpunkten. Wie viel eines Rohstoffs tatsächlich gewonnen werden kann, hängt neben der physischen Verfügbarkeit auch davon ab, wie aufwendig die Gewinnung und wie teuer der Rohstoff ist. Darum wird bei vielen Rohstoffen beobachtet, dass bei steigender Nachfrage und steigendem Preis die in der Natur verfügbaren Reserven nicht abnehmen. Klar ist, dass diese Mengen-ausweitung nicht unbegrenzt so weitergehen kann. Es ist schlicht nicht unendlich viel eines Rohstoffs vorhanden.

Massgeblich ist dabei, dass die meisten Rohstoffe bei ihrer Nutzung nicht verbraucht, sondern von einem natürlichen in ein technisches Lager überführt werden. So wird zum Beispiel aus Eisenerz zuerst Eisen und daraus Stahl hergestellt, der während einiger Jahren als Autos, Züge oder Schiffe benutzt wird und danach, mit nur geringen Verlusten, recycelt werden kann. Trotzdem können Rohstoffe, und daher die daraus gewonnenen Materialien, knapp oder sogar kritisch werden. Von einem knappen Rohstoff sprechen wir, wenn ein erhöhtes Risiko besteht, dass das Angebot des Rohstoffes dessen Nachfrage bestimmt. Kritisch ist ein Rohstoff dann, wenn er knapp und für die wirtschaftlichen Aktivitäten sehr wichtig ist. Knappheit und Kritikalität sind also keine absoluten Eigenschaften sondern hängen zum Beispiel davon ab welches Land und welchen Zeitrahmen man betrachtet oder wie man die Entwicklung der Nachfrage beurteilt.

Phosphor nimmt einen besonderen Platz unter den kritischen Elementen ein, da er als Düngerbestandteil essentiell für die Nahrungsmittelproduktion ist und in grossen Mengen ausgewaschen wird und das Wasser verschmutzt. Daher ist es doppelt naheliegend, Phosphor aus den Abwässern zu holen und aus dem Klärschlamm zurückzugewinnen. Andere viel diskutierte kritische Materialien werden vor allem in neuen Technologien verwendet. Beispiele sind Indium, das für Flachbildschirme oder in Solarzellen gebraucht wird oder die sogenannten «Seltenen Erden», eine Gruppe von Elementen, die zum Beispiel in Magneten von Elektromotoren, Generatoren oder auch von Harddiskspeichern benötigt werden. Auch die Platingruppenmetalle, die zur Schmuckproduktion aber auch für spezielle Anwendungen in der chemischen Industrie und in Katalysatoren verwendet werden, gelten als kritisch. Daneben gibt es noch weitere, eher unbekannt kritische Rohstoffe, die mehrheitlich in Elektronikgeräten verwendet werden.

Hingegen zeigt sich bei wissenschaftlicher Analyse, dass Lithium, das im Zusammenhang mit der Elektromobilität und den dafür benötigten Batterien in den Medien häufig als kritisch bezeichnete wird, eigentlich weder besonders knapp noch wirtschaftlich besonders wichtig ist und sein wird. Trotzdem brauchen viele der Technologien, die zum Erreichen einer Energie- und Ressourcennutzung nötig sind, kritische Elemente. Darum haben wir zum Beispiel untersucht, ob aus Sicht der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe eine ausreichende Nutzung von erneuerbaren Energien aus Solarzellen und Windgeneratoren und von Elektromotoren sowie Elektronikgeräten denn überhaupt möglich sei.

Sämtliche potenziell kritischen Rohstoffe, die zur Umsetzung der Cleantech Energiestrategie – und damit auch zur Begrenzung des Klimawandels – benötigt werden, sind ausreichend vorhanden um die ganze Weltbevölkerung mit genügend Energie für einen hohen Lebensstandard zu versorgen

Natürlich bedeutet das nicht, dass man sich gar keine Gedanken zum Umgang mit (kritischen) Rohstoffen machen muss. Einerseits wird es weiterhin Rohstoffe geben, die so knapp werden dass für sie oder ihre Anwendungen Substitutionen verwendet oder gefunden werden müssen, was bisher immer gelungen ist. Und Langfristig kann eine ausreichende Versorgung mit den aus allen natürlichen Rohstoffen gewonnenen Materialien nur sichergestellt werden, wenn die Materialverluste in allen Phasen des Lebenszyklus – also von der Rohstoffextraktion über die Material- und Produktherstellung bis zum Recycling am Lebensende des Produktes – minimal sind.

Bei der Nutzung dieser sogenannten abiotischen Rohstoffen ist zu beachten, dass diese immer auch andere natürliche Ressourcen verbraucht. Um Erze abzubauen, etwa, werden oft Wälder gerodet. Das wiederum schadet der Biodiversität und fördert die globale Erwärmung. Auch hat Ressourcenabbau

meist negative Wirkungen auf Wasser, erstens durch den direkten Verbrauch in Prozessen und zweitens durch die Verschmutzung mit Schwermetallen, welche die Biodiversität in Flüsse und Seen empfindlich schädigen kann. Ein anderer negativer Effekt von Rohstoffabbau und Aufbereitung ist die Luftverschmutzung, zum Beispiel durch Schwefeldioxidemissionen. Das kann schwere Gesundheitsschäden bei der lokalen Bevölkerung auslösen aber auch zur Versauerung von Böden und Gewässern in der Region beitragen. Doch es zeigt sich: Viele dieser Effekte sind weitgehend vermeidbar, sei es durch Aufforstungen als Kompensation für benötigte Kahlschläge in Wäldern, sei es durch Managementsysteme und Filtertechnologien – durch Cleantech eben.

Eine nachhaltige Nutzung von natürlichen Rohstoffen beinhaltet darum selbstverständlich die globale Anwendung der jeweils besten verfügbaren Technologie.

Für zwei Gruppen von natürlichen Rohstoffen, die **fossilen Energieträger** und die biotischen Rohstoffe, gilt das eben gesagte nicht. Bei den fossilen gibt es zwei wesentliche Unterschiede zu den nicht fossilen, abiotischen: Bei energetischer Nutzung werden diese Art Rohstoffe chemisch so umgewandelt, dass sie praktisch nicht recycelt werden können. Das bedeutet, dass diese Rohstoffe, wenn wir sie weiter verbrennen, irgendwann ganz ausser Reichweite sein werden.

Dies wurde unter dem Schlagwort «peak oil» seit den 1970er-Jahren lange Zeit als das grösstes Problem der fossilen Rohstoffe diskutiert. Inzwischen wissen wir aber, dass bei der Nutzung von Öl, Gas und vor allem auch Kohle nicht die Verfügbarkeit dieser Energieträger der limitierende Faktor ist sondern, die bei der Nutzung entstehende Emissionen von CO₂. Global trägt die Verbrennung fossiler Rohstoffe mit etwa 65% am meisten zu den Treibhausgasemissionen, die den Klimawandel verursachen, bei. Machen wir jedoch weiter wie bisher, erwartet uns in 80 Jahren eine Welt, die durchschnittlich um 3–6 ° wärmer sein wird als heute. Wir haben also nicht zu wenig, sondern zuviel Öl, Gas und Kohle. Für die Schweiz würde dies einen Temperaturanstieg von durchschnittlich etwa 5.2 °C bedeuten, was die Schneefallgrenze um fast 900 m ansteigen liesse.

Ein solches Klima-Szenario birgt grosse Risiken für Entwicklungen, deren Konsequenzen praktisch nicht abschätzbar wären, potenziell aber katastrophal sein könnten. Eine solche Entwicklung würde volkswirtschaftliche Kosten verursachen, die deutlich höher lägen als die Kosten um den **Klimawandel** auf ein erträgliches Mass zu reduzieren. Um diese Kosten und das Risiko zu minimieren hat sich die Weltgemeinschaft auf das sogenannte 2-Grad-Ziel geeinigt und die Schweiz hat dieses Ziel entsprechend im CO₂-Gesetz festgeschrieben. Das 2-Grad-Ziel besagt, dass die globale Durchschnittstemperatur bis zum Ende dieses Jahrhunderts um maximal 2° gegenüber der vorindustriellen Zeit ansteigen darf. Anders gesagt darf die Durchschnittstemperatur ab heute noch um 1.15 ° ansteigen.

Gerade aus der Perspektive der Ressourcen wird punkto Klimaemissionen klar, wie weitreichend Massnahmen eines Landes wie der Schweiz sein müssen. Die Ressourcenperspektive zeigt nämlich die «grauen» Emissionen die durch den Schweizer Konsum im Ausland entstehen – von Futtermittel bis Plastikspielzeug. Das Klimaziel (und die Klimabemühungen) eines Landes muss sowohl die nationalen wie auch die durch den nationalen Konsum **importierten Emissionen** einbeziehen (Importe, netto Exporte).

Um den Klimawandel auf ein erträgliches Mass zu begrenzen dürfen nur noch etwa ein Drittel der heute bewiesenen Reserven an Öl, Kohle und Erdgas verbrannt werden.

Doch Widerstand ist vorprogrammiert. Heute führen Rohstofffirmen fossile Brennstoffe im Wert von geschätzten 22 Billionen US Dollar in der Buchhaltung, die unter Einhaltung des 2-Grad Ziels nicht werden genutzt werden können. Dies entspricht einer ernst zu nehmenden Spekulationsblase, und wird als **«Carbon Bubble»** bezeichnet. Vor diesem Hintergrund ist klar, dass jede weitere Investition in Exploration von fossilen Energieträgern ein «stranded Investment» sein muss. So ist es auch nachvollziehbar, dass immer mehr Anleger nicht mehr in die entsprechenden Unternehmen investiert bleiben wollen. Entscheidend für Investitionsentscheide wird die UNFCCC Klimakonferenz COP21 in Paris.

Um den Klimawandel zu begrenzen, müssen neben der Reduktion der Treibhausgasemissionen der Energieproduktion die bestehenden Waldflächen erhalten werden und die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen – Lachgas aus der Verwendung von Dünger und Methan von der Reis- und Tierproduktion – insgesamt auf weniger als die Hälfte reduziert werden. Alle diese Quellen zusammen tragen heute etwa 25% zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei.

Über alle Sektoren müssen die globalen Emissionen von allen Treibhausgasen bis 2050 global um etwa 70% gesenkt werden und danach weiter bis auf praktisch null in 2100. Vergleicht man diese Vorgabe mit den bisherigen Absichtserklärungen für Reduktionen der Länder im Rahmen des UNFCCC, findet man einen deutlichen Gap zu dem was nötig wäre, um diese Ziel zu erreichen. Die **Reduktionsziele** der Länder mit einer langen Industrialisierungsgeschichte sind um mindestens einen Faktor 2 zu tief und die Schwellenländer wollen ihre Emissionen noch viel zu lange und auf viel zu hohe Werte steigen lassen.

Wir brauchen sowohl in der Schweiz als auch global deutlich ambitioniertere Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen um das 2-Grad-Ziel zu erreichen.

Für die **fossilen Energieträger** bedeutet das, dass wir deren Verbrennung global bis 2050 praktisch auf null reduzieren müssen. Das bedeutet für die Schweiz eine Reduktion des Verbrauchs um etwa 8% pro Jahr, was einer Reduktion um 95% bis 2050 entspricht. Diese 8% beziehen sich auf den Verbrauch fossiler Energieträger des Schweizer Konsums, der etwa doppelt so hoch ist wie die in der Schweiz verbrannten Mengen, da ein grosser Teil unserer Emissionen durch die Produktion der von uns konsumierten Güter entsteht.

Die Umsetzung der Cleantech Energiestrategie reduziert die Menge der in der Schweiz verbrauchten fossilen Energieträger so weit, dass diesbezüglich eine nachhaltige Situation erreicht wird.

Dank der vermehrten Nutzung von erneuerbaren Energieträgern anstelle von Kohle, Öl und Erdgas fallen automatisch auch die wichtigsten Quellen der **Luftverschmutzung** weg. Global verursacht die Luftverschmutzung mehrere Millionen Tote pro Jahr. Die WHO spricht von Schadstoffkonzentrationen in der Luft, die vielerorts um Faktoren 5 bis 10 zu hoch sind. In extremen Fällen werden die WHO-Grenzwerte sogar noch viel deutlicher überschritten, am schlimmsten in Delhi, wo zum Beispiel die Feinstaubkonzentration 15-Fach zu hoch liegt.

In der Schweiz ist die Situation vergleichsweise viel besser. Trotzdem sterben hier jedes Jahr mehrere tausend Menschen aufgrund von Luftverschmutzung frühzeitig. Hauptursachen sind die etwa 8 mal zu hohen Dieselrussmissionen – vor allem aus PKW's und leichten Lieferwagen – sowie die knapp 2 mal zu hohen Emissionen an anderen Partikeln und kanzerogenen

Substanzen sowie an Stickoxyden. Die für den Schweizer Konsum importierten Güter verursachen zudem im Ausland eine mindestens gleich hohe Luftverschmutzung wie die Inlandproduktion in der Schweiz.

Wie oben erwähnt verursachen Entwaldung sowie die Land- und Forstwirtschaft etwa ein Viertel der globalen Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig verbraucht die Landwirtschaft das weitaus meiste Wasser und Land und trägt, zusammen mit der Entwaldung, am meisten zum Verlust der Biodiversität und ihrer Ökosystemdienstleistungen bei. Auf der anderen Seite versorgen uns die Land- und Forstwirtschaft mit **biotischen Rohstoffen**, also mit Pflanzen und Tieren und somit allen Nahrungsmitteln, Holz und anderen Bioenergieträgern oder auch Textilfasern wie Wolle, Baumwolle oder Jute.

Die biotischen Rohstoffe unterscheiden sich prinzipiell von Metallerzen und Sand dadurch, dass sie nachwachsen. In diesem Rahmen können sie entsprechend nachhaltig genutzt werden. Nachhaltig bedeutet, dass die Produktivität des Bodens durch die Nutzung nicht reduziert werden darf, da sonst nur ein Teil der Rohstoffe tatsächlich nachwachsen kann.

Gemäss UNEP ist die globale Grenze der nachhaltigen Nutzung von pflanzlichen Rohstoffen heute noch nicht erreicht. Würde bei diesem Assessment den anderen Spezies mehr als das absolute Minimum zum Überleben zugestanden, wäre die Grenze jedoch erreicht. Und wenn der bestehende Trend anhält, wird auch die UNEP-Grenze in fünf bis zehn Jahren erreicht sein. Ein wichtiger Treiber für die immer stärkere Nutzung der pflanzlichen Rohstoffe liegt im Trend zu immer umfangreichem **Fleischkonsum**. Knapp 60% der global geernteten biotischen Materialien (also Holz, Fasern und Nutzpflanzen) und fast 80% der essbaren biotischen Materialien sind Futtermittel für Nutztiere. Und in diesen Zahlen ist das Weidegras, das ja nicht geerntet sondern direkt auf der Weide von Kühen und Schafen gefressen wird, noch nicht enthalten. Aus jeder Tonne Futtermittel werden aber nur etwa 100 kg Milch und 40 kg Fleisch produziert. Somit brauchen die Produktion von Milch und Fleisch den grössten Teil des landwirtschaftlich genutzten Landes. Ausserdem tragen die Nutztiere durch Methan- und Ammoniakemissionen 10 - 15% zum menschengemachten Klimawandel bei.

Bei der **landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion**, weltweit und in der Schweiz, besteht ein Zielkonflikt zwischen kurzfristig hohen Flächenerträgen dank hohem Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln und etwas geringerem Flächenertrag durch extensive Nutzungsformen. Langfristig betrachtet sind die extensiveren Methoden zu favorisieren, da nur so die Wasser- und Bodenqualität erhalten bleibt. So wird auch die Biodiversität gefördert, welche die Bodenproduktivität aufrecht erhält. Ein reduzierter Einsatz von Dünger in der extensiven Landwirtschaft spart zudem beträchtliche Mengen an Lachgasemissionen ein, und trägt so zum Klimaschutz bei. Wie gesagt, führt eine extensivere Nutzung kurzfristig zu einem tieferen Flächenertrag, was einen Anreiz zur Umnutzung von zusätzlichen Waldflächen bieten könnte. Die Reduktion kann aber auch kompensiert werden, indem man die extensivere Landwirtschaft mit einer mässigen Reduktion der Fleisch- und Milchproduktion auf Basis von Futtermitteln kombiniert. Diese Kombination reduziert gleichzeitig die in die Schweiz importierte Menge an Futtermitteln und reduziert den Schweizer Import an biotischen Rohstoffen, der heute um etwa 50% zu hoch liegt, auf ein nachhaltiges Niveau.

Die Lebensmittelabfälle von heute fast einem Drittel der Produktion können dank besserer Logistik und Information der Konsumenten deutlich reduziert werden. Zudem muss für eine nachhaltige Ernährung der Konsum von tierischen Produkten pro Kopf um 20-50% reduziert werden. So kann eine ausreichende Versorgung mit nachhaltig produzierten Nahrungsmitteln sichergestellt werden.

Landwirtschaftliche Produktion ist zwar die grösste Landnutzung, doch auch die Wälder und die Siedlungen sind besonders zu erwähnen. Global werden in rasantem Tempo Waldflächen zu Siedlungs- und Agrikulturflächen umgewandelt. Dies führt dazu, dass wir jedes Jahr 24 Milliarden Tonnen fruchtbaren Boden durch Erosion verlieren, was fast doppelt so viel ist wie die weltweit geerntete Biomasse von 13 Milliarden Tonnen pro Jahr. Die Entwaldung führt zudem zu einem grossen Biodiversitätsverlust und reduziert die Verfügbarkeit von Dienstleistungsfunktionen des Waldes wie zum Beispiel Holzproduktion, Wasserschutz oder Kohlenstoffspeicherung.

Entwaldung ist in der Schweiz kein Problem. Hier wächst der Wald sogar noch zu. Der Schweizer Wald ist, auch bezüglich des Managements, ein gutes Beispiel für nachhaltig genutztes Land und Schweizer Holz ist entsprechend ein gutes Beispiel für einen nachhaltigen biotischen Rohstoff.

Die globale Entwaldung muss möglichst sofort angehalten werden. Der Schweizer Wald hingegen wird nachhaltig genutzt und könnte sogar noch mehr Holz produzieren als heute.

Hingegen nimmt die Siedlungsfläche in der Schweiz, vor allem auf Kosten der Landwirtschaftsfläche, zu. Wenn dieser Trend weiter anhält, wird einerseits die landwirtschaftliche Produktion weiter sinken und damit würde die Verfügbarkeit von biotischen Rohstoffen reduziert. Eine Intensivierung der Produktion zur Kompensation dieser Ausfälle würde dem Schutz der Biodiversität widersprechen. Andererseits stellt die starke Zerstückelung des Schweizer Mittel-landes durch Siedlungen und Strassen bereits heute das Risiko dar, dass die dadurch beeinträchtigte Biodiversität wichtige Ökosystemdienstleistungen nicht mehr erbringen können. Zersiedelung führt immer auch zu einem höherem Mobilitätsbedarf mit den entsprechenden Kosten und negativen Auswirkungen.

Die Siedlungsfläche darf in der Schweiz ab sofort nicht mehr weiter wachsen. Zusätzlicher Bedarf an Gebäude- oder Infrastrukturflächen muss über Verdichtung befriedigt werden. Auch global muss der Trend zu grösseren Siedlungsflächen mittelfristig gestoppt werden.

Aber was bedeutet der mehrfach erwähnte Biodiversitätsverlust (cf. Glossar) eigentlich? Heute sterben jedes Jahr zwischen 100 und 1000 Arten pro Million vorhandener Arten aus. Das ist 1000 mal mehr als die natürliche Aussterbensrate ohne Zutun der Menschen wäre. Die mit dem Verlust an Biodiversität einhergehenden Kosten werden auf mehrere Billionen Dollar pro Jahr geschätzt. Um eine nachhaltige Versorgung mit Nahrung und anderen Ökosystemdienstleistungen zu gewährleisten, aber auch aus ethischen Gründen wie eingangs erwähnt, muss auch dieser Trend gebrochen werden – in erster Linie durch einen Entwaldungsstopp und eine deutlich ökologischere Landwirtschaft mit weniger Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz und kleinflächigeren Strukturen.

Als letzte, aber sicher nicht unwichtigste natürliche Ressource sei hier noch das Wasser erwähnt. Süsswasser wird vor allem für die landwirtschaftliche Produktion verbraucht und auch durch diese mit Nitraten und Pflanzenschutzmitteln verschmutzt. Die globale Verfügbarkeit von Wasser ist im Durchschnitt

zwar noch nicht problematisch, doch gibt es grosse regionale Unterschiede. Während Wasser zum Beispiel bei uns im Überfluss vorhanden ist, wird es in vielen Gebieten immer knapper. Der Klimawandel hat bereits zu Veränderungen von Niederschlagsmustern geführt und es wird für viele Regionen erwartet, dass durch weitere Veränderungen die Verfügbarkeit von Wasser reduziert wird. Das gilt auch für die Schweiz, obschon hierzulande trotz Klimawandel nur geringe und lokal begrenzte Verfügbarkeitsprobleme auftreten.

Unbefriedigend hingegen ist in der Schweiz, wie auch in vielen anderen Ländern, die **Wasserqualität**. Trotz Kläranlagen und deutlichen Verbesserungen in den letzten Jahrzehnten liegen die Schadstoffkonzentrationen in vielen Schweizer Gewässern deutlich über den Grenzwerten. Verantwortlich dafür ist neben der bereits erwähnten Landwirtschaft die Wasserbelastung mit chemischen Schadstoffen und insbesondere mit hormonaktiven Stoffen aus den Haushalten. International ist Wasserverschmutzung ein noch viel wichtigeres Thema als in der Schweiz. Das gilt sowohl für Süsswasser als auch für die Ozeane, die vor allem durch viel zu hohe Phosphor- und Stickstofffrachten übermässig belastet sind. Die Schweiz trägt über den Import von Gütern – vor allem von Futtermittel – dazu bei. Insgesamt verursacht die Produktion von Gütern im Ausland für den Schweizer Markt einen etwa 4.5 mal höheren Wasserverbrauch als die inländische Produktion. Ein grosser Teil dieses Verbrauchs geht auf Wasserverschmutzung zurück. Ein nachhaltiger Konsum wäre etwa 5 mal kleiner.

Wasser ist in der Schweiz ausreichend vorhanden und von relativ guter Qualität. Allerdings konsumieren wir durch Importe sehr viel Wasser im Ausland. Entsprechend kann die Schweiz ihren Wasserkonsum auf einen Fünftel – und damit auf ein nachhaltiges Mass – reduzieren, indem die Landwirtschaft extensiver und der Import von Futtermitteln reduziert wird.

Die vorliegende Cleantech Ressourcenstrategie skizziert die Ressourcenwende. Bereits sind viele Unternehmen unterwegs oder bereit, sich auf den Weg zu machen. Andere sind noch skeptisch gegenüber den nötigen Veränderungen. Es scheint, dass den Skeptikern noch nicht bewusst ist, dass profitables Wirtschaften und hoher Lebensstandard auf die lange Dauer ohne Nachhaltigkeit nicht möglich ist. Zwar könnte die Wirtschaftsleistung – durch die Kosten für die Reparatur von Schäden – weiter zunehmen, doch würde dadurch die Lebensqualität reduziert. Der notwendige Paradigmenwechsel besteht darin, dass wir dazu übergehen müssen, das Unerwünschte, Schaden Verursachende mit einem Preis zu versehen. Wer also Klimagase ausstösst, die Biodiversität oder Bodenqualität schädigt und wer Wasser verschmutzt soll dafür den richtigen Preis bezahlen. Erst der Einbezug aller externen Kosten, die durch die Nutzung natürlicher Ressourcen entstehen, in die Preise von Gütern und Dienstleistungen, wird es dem freien Markt erlauben, automatisch dafür zu sorgen, dass die Ressourcen optimal eingesetzt werden.

Eine praktikable Möglichkeit Kosten zu internalisieren liegt in Lenkungsabgaben auf Aktivitäten mit schädlichen Auswirkungen. Heute ist es aber so, dass Ressourcenverbrauch oft sogar noch subventioniert wird. Am auffälligsten ist das im Bereich der nicht-erneuerbaren Energieträger bzw. der entsprechenden Technologien. So wird gemäss dem Internationalen Währungsfond IWF 2015 fossile Energie mit 5.3 Billionen Dollar subventioniert. Das entspricht etwa 6.5% der globalen Wirtschaftsleistung.

Wir brauchen eine Internalisierung der Kosten natürlicher Ressourcen in den Preisen – zum Beispiel durch staatsquotenneutrale Lenkungsabgaben – und eine Abschaffung der Subvention von Ressourcenverbrauch.

Bei internalisierten Kosten werden die technologische Innovation und die effiziente Nutzung gefördert. Auch im Bereich der Infrastrukturen werden so die Investitionen in die besten verfügbaren Technologien erfolgen und ein lock-in durch falsche Investitionsentscheide wird vermieden. Richtige Preise helfen auch ein weiteres wichtiges Thema zu adressieren: den Reboundeffekt. Dieser besteht darin, dass Effizienzsteigerungen oft dazu führen, dass die Nachfrage steigt: Zwar ist das Auto effizienter, dafür werden mehr Kilometer gefahren. Steigt die Effizienz auf Grund von höheren Kosten, ist dieser Effekt deutlich kleiner. Innovation heisst dabei nicht nur Erfindung oder Patent, sondern Anwendung. Es braucht also Investition in Bildung und Forschung aber auch in die Umsetzung, in der Schweiz und in allen anderen Ländern.

Nachhaltiges Wachstum braucht effektive Innovation und die konkrete, breite Anwendung des heutigen Wissens ohne Rebound-Effekte.

Da die Bereiche «Wohnen» und «Mobilität» einen grossen Anteil am Schweizer Ressourcenverbrauch haben, können Innovationen in diesen Bereichen **national** besonders viel Wirkung erzielen. Ressourcenschonende Konzepte, Technologien, Bauteile und Materialien sind heute verfügbar. Nun gilt es, diese konsequent zu bekannt zu machen und zu Nutzen. Die Technologien dazu würden sich bei internalisierten Kosten der Nutzung natürlicher Ressourcen rascher durchsetzen. Bis eine solche Vollkostenrechnung auch vollständig umgesetzt ist, braucht es flankierende Massnahmen wie Standards oder gezielte Förderung. Grundsätzlich gilt es zu vermeiden, dass durch falsche Anreize fehlgeleitete Investitionen über Jahre und Jahrzehnte einen nachhaltigeren Umgang mit natürlichen Ressourcen blockieren.

Jedes neue Haus, das kein Plus-Energiehaus ist, und jedes Auto, das nicht mit erneuerbarem Strom fährt, ist eine verpasste Chance.

Wie das Beispiel Treibhausgasemissionen zeigt, fällt der Verbrauch natürlicher Ressourcen, der durch den Konsum der Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft verursacht wird, zum grösseren Teil im **Ausland** an. Darum tragen wir auch Verantwortung dafür, diesen Ressourcenverbrauch zu minimieren. Das soll keineswegs bedeuten, dass wir uns abschotten und auf Importe verzichten sollen. Vielmehr geht es darum, dass Schweizer Unternehmen, die im Ausland tätig sind, auch dort den Nutzen aus den verbrauchten Ressourcen maximieren. Und es geht darum, dass die Schweiz ihren Teil der Verantwortung für ein optimales Management von natürlichen Ressourcen wahrnimmt. Das kann durch eine Vorbildfunktion bei internationalen Klimaverhandlungen geschehen, durch den Transfer von Wissen und sauberen Technologien, oder durch Einsatz für den Abbau von Handelshemmnissen im Bereich der Landwirtschaftsprodukte. Auch die Gewährleistung, dass hier ansässige Firmen einen fairen Preis für den Verbrauch natürlicher Ressourcen in Entwicklungs- und Schwellenländern bezahlen, gehört dazu.

Die Erfahrung der letzten Jahrzehnte zeigt klar, dass eine nachhaltige Ressourcennutzung ohne die richtigen **Rahmenbedingungen**, im Inland und im Ausland, nicht erreicht werden kann. Diesen Rahmen müssen die Wirtschaft, die Verwaltung und die Zivilgesellschaft gemeinsam definieren. Die Basis muss dabei sein, dass alle akzeptieren, dass es bei Nachhaltigkeit im Kern um die Bedürfnisse

von Menschen geht und dass die natürlichen Ressourcen die Grundlage für die Befriedigung dieser Bedürfnisse darstellen. Der Wirtschaft und der Verwaltung fällt dabei die Rolle zu, die Befriedigung dieser Bedürfnisse angemessen zu sichern. Weil Wirtschaft und Verwaltung besser organisiert sind und in vielen Bereichen grösseren Einfluss haben als die Zivilgesellschaft, ist deren Ethik eine Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung. Auch in diesem Bereich soll die Schweizer Wirtschaft eine Vorreiterrolle anstreben. Die gute Nachricht: Es ist möglich. Die Schlechte: Wir stehen noch am Anfang und müssen schleunigst mit der Umsetzung beginnen. Die Cleantech Ressourcenstrategie will genau dafür einen Beitrag leisten.

Inhalt

<i>Vorwort des Präsidenten</i>	3
<i>Executive Summary</i>	7
<i>Inhalt</i>	19
<i>Glossar</i>	21
<i>Boxes</i>	37
<i>Praxisbeispiele</i>	38
<i>Figuren</i>	39
<i>Tabellen</i>	42
<i>Dank</i>	43
<i>Technische Zusammenfassung</i>	45
1 Einleitung und Definition des Ressourcenbegriffs	61
2 Grundsätze und Vorgehen	65
2.1 Wie gehen wir grundsätzlich vor?	65
2.2 Welche Ressourcen betrachten wir?	65
2.3 Welche Grundsätze wenden wir an, um Messsysteme zu definieren?	66
2.4 Wie bestimmen wir Verbrauch und Belastungsgrenzen?	67
2.5 Wie identifizieren und beurteilen wir Massnahmen?	72
3 Ressourcenverbrauch und seine Grenzen	73
3.1 Nicht fossile abiotische Rohstoffe	78
3.1.1 Worum geht es?	79
3.1.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	83
3.1.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	94
3.2 Fossile Rohstoffe	98
3.2.1 Worum geht es?	98
3.2.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	99
3.2.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	103
3.3 Biotische Rohstoffe	104
3.3.1 Worum geht es?	104
3.3.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	104
3.3.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	107
3.4 Land und Boden	113
3.4.1 Worum geht es?	113
3.4.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	114
3.4.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	116
3.5 Wasser	119
3.5.1 Worum geht es?	120
3.5.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	123
3.5.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	125

3.6	Luft	133
3.6.1	Worum geht es?	133
3.6.2	Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	134
3.6.3	Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	135
3.7	Klima	138
3.7.1	Worum geht es?	138
3.7.2	Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	142
3.7.3	Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	143
3.8	Biodiversität	146
3.8.1	Worum geht es?	147
3.8.2	Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	147
3.8.3	Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	151
3.9	Erneuerbare Energie	155
3.9.1	Worum geht es?	155
3.9.2	Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen	156
3.9.3	Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen	159
4	Handlungsfelder	162
4.1	Belastung natürlicher Ressourcen	162
4.2	Interdependenzen der Nutzung natürlicher Ressourcen	164
4.3	Ziele in 5 Handlungsfeldern	166
4.3.1	Landnutzung	166
4.3.2	Wassernutzung	167
4.3.3	Rohstoffgewinnung (Biotisch)	167
4.3.4	Energiebereitstellung	168
4.3.5	Rohstoffgewinnung (nicht fossile abiotische)	170
5	Rahmenbedingungen und generische Konzepte des Wirtschaftens zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs	172
5.1	Internalisierung externer Kosten	173
5.2	Mindestanforderungen, Normen und Verbote	177
5.3	Management und Stewardship	178
5.4	Standards, Labels und Zertifikate	180
5.5	Ecodesign für höhere Ressourceneffizienz	182
5.5.1	Produktspezifische Variablen	184
5.5.2	Phasenspezifische Variablen	185
5.5.3	Wirkungszusammenhänge zwischen den Lebensphasen	190
6	Trends und neue Konzepte des Wirtschaftens	192
6.1	Energiewende (Cleantech Energiestrategie)	193
6.2	Nachhaltige Beschaffung	196
6.3	Kreislaufwirtschaft	197
6.3.1	Kunststoffverwertung	201
6.4	Sharing & Services Economy	204
6.5	Umweltfreundliche Ernährung	206
6.5.1	Reduktion des Fleisch- und Milchproduktekonsums	206
6.5.2	Lokaler und saisonaler Konsum und Urban Farming	206
6.5.3	Reduktion von food waste	208
6.6	3D-Printing	208
6.7	Neue Arbeitsformen dank ICT	209
	Bibliographie	211

Glossar

AFOLU	Agriculture, Forestry and other Land Use
Abfall	Sachen, deren ökonomischer Wert für den Inhaber null oder negativ ist und deren sich der Inhaber entledigt oder deren Entsorgung im öffentlichen Interesse geboten ist.
Abiotische Rohstoffe	Abiotische Rohstoffe sind solche, die – im Gegensatz zu den biotischen – nicht aus Lebewesen stammen. Fossile Energieträger werden zu den abiotischen gerechnet, obwohl sie vor Jahrmillionen aus Biomasse entstanden sind.
Abraum (Bergbau)	Im Bergbau werden diejenigen Gesteinsschichten als Abraum bezeichnet, die zur Erschliessung von Erzkommen verfrachtet und ungenutzt deponiert werden.
Aktive Produkte	Produkte, die während ihrer Nutzungsphase einen signifikanten Verbrauch von Ressourcen verursachen. Beispiele sind Autos, Elektrogeräte oder Kleider (die gewaschen werden müssen).
Allmendgut	Natürliche Ressource im Gemeineigentum. (http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1070/allmenderessource-v7.html)
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kanton Zürichs
BAFU	Bundesamt für Umwelt (www.bafu.admin.ch)
Berner Konvention	Das Übereinkommen über die Erhaltung der europäischen wildlebenden Pflanzen und Tiere und ihrer natürlichen Lebensräume ist das wichtigste internationale Abkommen zum Schutz von Arten und Lebensräumen in Europa.
BFS	Bundesamt für Statistik (www.bfs.admin.ch)
Biodiversität (Biologische Vielfalt)	«Die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme» (Übereinkommen über die Biologische Vielfalt, abgeschlossen in Rio de Janeiro am 5. Juni 1992)
Bioreaktor	Ein Bioreaktor ist ein Behälter, in dem speziell herangezüchtete Mikroorganismen oder Zellen unter möglichst optimalen Bedingungen in einem Nährmedium kultiviert werden, um entweder die Zellen selbst, Teile von ihnen oder eines ihrer Stoffwechselprodukte zu gewinnen.
Biotische Rohstoffe	Biotische Rohstoffe sind solche, die – im Gegensatz zu den abiotischen – von Lebewesen stammen. Fossile Energieträger werden nicht zu den biotischen gerechnet, obwohl sie vor Jahrmillionen aus Biomasse entstanden sind.

Blue Water	Das in Seen, Flüssen und Grundwasserleitern gespeicherte Süßwasser.
BRIC / BRICS / BRIICS	Die aufstrebenden Volkswirtschaften Brasilien, Russland, Indien und China formen die BRIC-Staaten. Zusammen mit Südafrika sind es die BRICS und zusätzlich mit Indonesien die sogenannten BRIICS-Staaten.
BTO	Border Tax Adjustment. Erhebung einer Steuer auf Importe und gleichzeitige Entlastung von Exporten von dieser Steuer um den Preiseffekt von inländischen Steuern auszugleichen.
Carbon Bubble	Die Carbon Bubble bezeichnet die Überbewertung von Förderunternehmen fossiler Rohstoffe. Sollte die Weltgemeinschaft den Klimawandel ernsthaft bekämpfen wollen, können die Ölreserven der Firmen nicht mehr gefördert werden und müssten daher abgeschrieben werden.
Carbon Capture and Storage (CCS)	Fixierung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre (v.a. von CO ₂) mit dem Ziel diesen durch Einlagerung aus dem Kohlenstoffkreislauf zu entfernen.
CITES	The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Das Washingtoner Artenschutzübereinkommen hat zum Ziel, den internationalen Handel mit gefährdeten Wildtieren und Pflanzen sowie deren Produkte zu regeln. (www.cites.org)
CO₂	Chemische Formel von Kohlenstoffdioxid (kurz Kohlendioxid). CO ₂ ist das wichtigste anthropogene Treibhausgas.
CO₂-Äquivalente	CO ₂ -Äquivalente ist die Einheit, in welcher das Global Warming Potential (GWP) einer Treibhausgasemission ausgedrückt wird.
Convention on Biological Diversity (CBD)	Die Convention on Biological Diversity (CBD, zu Deutsch das Artenschutzabkommen) ist eine von drei Rio-Konventionen, die am «Rio Weltgipfel» in 1992 beschlossen wurden.
COP	Conference of Parties. Jährlich stattfindende Treffen verschiedener UN Conventions. Die bekannteste COP und gleichzeitig die, von der in diesem Dokument die Rede ist, ist die COP der Partner der UNFCCC. An der dritten COP in Kyoto wurden im «Kyoto-Protokoll» erstmals verbindliche Reduktionsziele für Treibhausgasemission in Industrieländern beschlossen.

Decarbonisierung	Unter Decarbonisierung versteht man die Reduktion beziehungsweise das Entfernen derjenigen Energieträger aus der Energieproduktion, deren Nutzung zur Produktion und Emission von Kohlendioxid führt.
DEZA	Die Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit ist die Agentur für internationale Zusammenarbeit im Eidgenössischen Departement für auswärtige Angelegenheiten (EDA). Zu ihren Zielen gehört die Armutsreduktion durch die Förderung der wirtschaftlichen und staatlichen Eigenständigkeit, die Verbesserung der Produktionsbedingungen, die Bewältigung von Umweltproblemen sowie den besseren Zugang zu Bildung und gesundheitlicher Grundversorgung.
Direkter Ressourcenverbrauch	Ressourcenverbrauch, der direkt durch eine Aktivität oder durch die Summe aller Aktivitäten einer Entität, z.B. eines Landes, verursacht wird. In diesem Dokument meint «direkter Ressourcenverbrauch» den Verbrauch in der Schweiz. Dabei bezieht sich der Begriff nur auf die direkte Wechselwirkung mit der natürlichen Umwelt. Entsprechend ist der direkte Verbrauch von fossilen Rohstoffen in der Schweiz Null, da die Entnahme aus der Natur nicht in der Schweiz geschieht.
Dissipation (von Stoffen)	Dissipation (aus lat. «dissipatio» für dt. «Zerstreuung») von Stoffen bezeichnet den Vorgang, bei dem konzentriert vorliegendes Material so in der Umwelt oder einem anderen technischen Medium verdünnt wird, dass es nicht mehr mit vertretbarem Aufwand konzentriert werden kann.
EAWAG	Die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz ist das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs. (www.eawag.ch)
Ecodesign	«die Berücksichtigung von Umwelterfordernissen bei der Produktgestaltung mit dem Ziel, die Umweltverträglichkeit des Produkts während seines gesamten Lebenszyklus zu verbessern» (EU Richtlinie von 2009)
Edelmetalle	Zu den Edelmetallen gehören Gold, Silber, Quecksilber, Rhenium, Platin, Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium und Iridium. Da Edelmetalle in elementarem Zustand sehr beständig sind, korrodieren sie an der Luft nicht und können in der Natur in elementarer Form vorliegen. Dieser Eigenschaft verdanken die Edelmetalle ihren Namen.
Eisenmetalle	Eisen und Eisenlegierungen, in welchen Eisen als Hauptkomponente vorhanden ist (zum Beispiel Stähle).
Energetische Verwertung	Die energetische Verwertung bezeichnet die Verwendung von Abfällen als Brennstoff oder als sonstiges Mittel der Energieerzeugung.
Energieholz	Holz, das für die Verbrennung aufbereitet wurde. Energieholz umfasst Stückholz, Schnitzel, Pellets und Briketts.

EVP (Erweiterte Produzenten- verantwortung)	Im Kontext der Kreislaufwirtschaft spielt der Ansatz der Erweiterten Produzentenverantwortung (EPV) eine zentrale Rolle. Zweck dieses Ansatzes ist es, die Verantwortung eines Produzenten über die eigentliche Nutzung eines Produktes im Sinne des Verursacherprinzips zu erweitern.
Entkoppelung	Die Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch bzw. Umweltauswirkungen bedeutet eine Abkehr von der linearen Korrelation vom Bruttoinlandprodukt mit dem Ressourcenverbrauch. Dies bedeutet, dass eine Einheit Bruttoinlandprodukt mit weniger Einheiten Ressourcenverbrauch erzeugt werden muss. Von einer absoluten Entkoppelung spricht man, wenn der Ressourcenverbrauch konstant bleibt (oder sogar sinkt) während die Wirtschaft wächst (Wachstum der Ressourceneffizienz > Wirtschaftswachstum).
Erneuerungsrate	Die Erneuerungsrate bezeichnet die Geschwindigkeit, mit welcher erneuerbare Ressourcen nach einer Entnahme regeneriert werden.
Extensive Landwirtschaft	Die extensive Landwirtschaft zeichnet sich durch einen geringen Einsatz von Dünger, Pflanzenschutzmitteln und Bewässerung aus. Während dadurch meist ein geringerer Ertrag pro genutzter Landfläche resultiert, ist die extensive Landwirtschaft generell umweltverträglicher als die intensive Landwirtschaft.
Externe Kosten	Externe Kosten sind Kosten, die ausserhalb eines betrachteten Systems anfallen. Hier verstehen wir unter dem Begriff Kosten, die zwar durch einzelwirtschaftliches Handeln entstehen, aber von der Allgemeinheit bzw. Dritten getragen werden. (http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/4544/externe-kosten-v10.htm)
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations. Als Unterorganisation der UNO hat die FAO 194 Mitgliedsstaaten. Hauptziele der FAO sind die Bekämpfung von Hunger und Nahrungsunsicherheit sowie die Stärkung der Nachhaltigkeit in Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft.
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe oder halogenierte Kohlenwasserstoffe. Klasse von chemischen Verbindungen, die teilweise starke Treibhausgase sind und ozonschichtabbauend wirken.
FFGS	Foundation for Global Sustainability, Stiftung zur Förderung der Nachhaltigkeit (www.ffgs.org) Die FFGS führt die Geschäfte des Wirtschaftsverbands swisscleantech.

Flüchtige organische Substanzen (VOC)	Flüchtige organische Substanzen (Englisch: volatile organic compounds, VOC) sind Kohlenstoffverbindungen mit einem verhältnismässig tiefen Siedepunkt. Durch Verdunstung oder unvollständige Verbrennung von Brenn- oder Treibstoffen gelangen diese in die Atmosphäre, wo sie z.B. bei der Ozonbildung eine Rolle spielen.
Fracking	Das Fracking ist eine Methode zur Gewinnung von Erdöl oder Erdgas aus unkonventionellen Quellen. Dabei werden die fossilen Rohstoffe durch den Einsatz von viel Energie, Wasser, Sand und Chemikalien aus bestimmten Vorkommen in Gesteinsschichten herausgelöst, die bisher nicht rentabel genutzt werden konnten. Durch die seit Mitte 2014 wieder stark gesunkenen Preise für Öl und Gas ist Fracking Anfang 2015 schon nicht mehr rentabel.
FSC	Forest Stewardship Council. Das FSC-Label bezeichnet Holzprodukte aus nachhaltiger Forstwirtschaft (ic.fsc.org)
Gesamtbetriebllichkeit (im Biolandbau)	Um die Gesamtbetriebllichkeit zu erfüllen muss ein Landwirtschaftsbetrieb eine Gesamtheit von Land, Gebäuden, Inventar und Arbeitskräften darstellen.
Global Warming Potential (GWP)	Das Global Warming Potential (Deutsch: Treibhauspotenzial) ist ein Mass, das die Klimaauswirkungen von Emissionen verschiedener Treibhausgase (Methan, Stickoxide etc.) vergleichbar macht. Dabei wird berechnet, welche Menge CO ₂ dieselbe Auswirkung in der Atmosphäre hat wie ein Kilogramm eines anderen Treibhausgases. Entsprechend ist die Einheit des GWP «CO ₂ -Äquivalente».
Green Water	Das «grüne Wasser» macht einen Teil des Wasserfussabdrucks aus und bezeichnet das auf Land fallende Niederschlagswasser, welches nicht abfließt oder ins Grundwasser eingeht sondern im Boden verbleibt und von Pflanzen aufgenommen wird.
Greenhouse Gases (GHG)	Englisch für → Treibhausgase (THG)
Gray Water	Das «graue Wasser» macht einen Teil des Wasserfussabdrucks aus und stellt ein Mass für die Verschmutzung von Wasser dar. 1 m ³ Gray water Bedarf bedeutet, dass verschmutztes Wasser theoretisch mit 1000 Liter sauberem Wasser verdünnt werden müsste, damit die Wasserqualität einen definierten Qualitätsstandard erfüllen würde.

Halbfabrikate	Erzeugnisse oder Waren, die schon verschiedene Fertigungsstufen hinter sich haben (also keine Rohstoffe mehr sind), gleichzeitig aber noch weitere Fertigungsstufen durchlaufen müssen (also noch keine Fertigprodukte sind).
IEA	International Energy Agency. Die Internationale Energieagentur ist eine autonome Einheit der → OECD, deren Hauptauftrag die Sicherung von zuverlässiger, bezahlbarer und sauberer Energie für ihre Mitgliedsstaaten und darüber hinaus ist. (www.iea.org)
ICT	Informations- und Kommunikationstechnologien
Indikator	«Anzeiger». Etwas (Umstand, Merkmal), was als (statistisch verwertbares) Anzeichen für eine bestimmte Entwicklung, einen eingetretenen Zustand o. Ä. dient.
Indirekter Ressourcenverbrauch	Ressourcenverbrauch, der durch den Konsum eines Gutes oder einer Dienstleistung bzw. der Summe aller Güter und Dienstleistungen einer Entität, z.B. eines Landes, in vor- oder nachgelagerten Prozessen verursacht wird. In diesem Dokument meint der Begriff den Ressourcenverbrauch, der ausserhalb der Schweizer Grenzen verursacht wird durch die Bereitstellung oder Entsorgung von Produkten oder Dienstleistungen, die in der Schweiz konsumiert werden.
Industrieholz	Holz, das nach der Ernte weder energetisch genutzt noch als Vollholz oder Schnittholz verarbeitet wird, sondern mechanisch zerkleinert oder chemisch aufgeschlossen wird (zum Beispiel für die Produktion von Span- oder Faserplatten, Papier etc.).
Intensive Landwirtschaft	Die intensive Landwirtschaft zeichnet sich durch den starken Einsatz von Dünger, Pflanzenschutzmitteln und zum Teil auch Bewässerung aus. Damit soll eine Maximierung des Flächenertrages erreicht werden.
Internalisierung (externer Kosten)	Zuordnung von externen Kosten beim Verursacher. Dabei führt die Internalisierung externer Effekte zur Übereinstimmung zwischen privater und gesamtwirtschaftlicher Rentabilitätsrechnung. (http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5320/internalisierung-externer-effekte-v8.html)
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change. Das IPCC ist ein von der UNEP und der World Meteorological Organization (WMO) eingesetzte Körperschaft, welche die wissenschaftlichen Fakten zum Klimawandel und dessen potenziellen sozio-ökonomischen- und Umwelteinflüssen zusammenstellen soll. Das IPCC besteht aus Tausenden von Wissenschaftlern von der ganzen Welt und macht keine Politikempfehlungen. Es publiziert seine Erkenntnisse in «Assessment Reports». 2013 / 2014 ist der fünfte Assessment Report erschienen.

ISO	International Organization for Standardization. Die Internationale Organisation für Normung ist eine unabhängige Organisation, deren Aufgabe es ist freiwillige internationale Standards zu entwickeln. (www.iso.org)
ITTO	International Tropical Timber Organization. Das ITTO ist eine UN-Unterorganisation mit dem Ziel, tropische Wälder und deren Ressourcen zu konservieren und nachhaltig zu bewirtschaften und zu nutzen.
IUCN	International Union for Conservation of Nature. Die Internationale Union zur Bewahrung der Natur und natürlicher Ressourcen ist die älteste weltweite Organisation im Umweltschutz. (www.iucn.org)
Knapp (knappe Ressource)	Als knapp bezeichnen wir diejenigen Ressourcen, bei denen ein erhöhtes Risiko besteht, dass das Angebot die Nachfrage limitiert.
Konservative Abschätzung	In einer konservativen Abschätzung werden Annahmen derart getroffen, dass das Resultat der Abschätzung «auf der sicheren Seite» liegt.
Kritisch / Kritikalität (kritische Ressource)	Als kritisch bezeichnen wir die wichtigen und unersetzlichen Ressourcen, bei denen ein erhöhtes Risiko besteht, dass das Angebot die Nachfrage limitiert.
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
Kyoto-Protokoll	Das Kyoto-Protokoll ist eine internationale Vereinbarung unter der UNFCCC, in welcher sich die Parteien zu international bindenden Reduktionszielen für Treibhausgasemissionen verpflichten.
Lebensdauer	Die Lebensdauer eines Produktes bezeichnet die Zeit, in welcher ein Produkt verwendet werden kann, also die Zeitspanne bis die altersbedingte Unzulänglichkeit (durch Abnutzung, Defekt etc.) das Produkt unbrauchbar macht. Die Nutzungsdauer ist definitionsgemäss kleiner oder maximal gleich lang wie die Lebensdauer.
Lebenszyklus	Zusammenstellung aufeinander folgender und miteinander verbundener Stufen eines Produktsystems – also eines Produktes oder einer Dienstleistung, das oder die eine oder mehrere definierte Funktionen erfüllt – von der Rohstoffgewinnung bis zur endgültigen Beseitigung.
Lebenszykluanalyse (LCA)	Synonym: Ökobilanz. Systematische Bestimmung von Umweltauswirkungen, die im Zusammenhang mit einem bestimmten Produkt (oder einer Dienstleistung) stehen. Die LCA nimmt eine ganzheitliche Perspektive ein, das heisst sie betrachtet alle relevanten Schritte in einer Produktion von der Wiege (Rohstoffabbau) bis zur Bahre (Entsorgung von Abfällen). Dabei werden auch indirekt beteiligte Prozesse wie zum Beispiel die Herstellung und der Betrieb des Lastwagens, der für den Rohstoffabbau benötigt wird, einbezogen. Die LCA betrachtet Produkte immer aus einer funktionellen Sicht. So beinhaltet die LCA eines Produktes neben dessen Herstellung immer

	auch dessen Nutzung und Verwertung am Lebensende. Zur Bestimmung der Umweltauswirkung eines Autos wird also der Autotransport (z.B. pro km) als Funktion betrachtet und die LCA umfasst die gesamte Produktion vom Eisenerzabbau über die Stahl- und Autoproduktion und von der Rohölförderung über die Raffinierung bis zum Transport zur Tankstelle. Natürlich werden auch die Emissionen im Betrieb des Autos einbezogen und die Entsorgung vom Fahrzeug an dessen Lebensende.
Lieferkettenmanagement	Unter Lieferkettenmanagement (Englisch: Supply Chain Management, SCM) versteht man den Aufbau und die Verwaltung integrierter Logistikketten über den gesamten Wertschöpfungsprozess, ausgehend von der Rohstoffgewinnung über die Veredelungsstufen bis hin zum Endverbraucher.
Massenmetalle	Als Massenmetalle werden alle Metalle bezeichnet, die in grossen Mengen abgebaut und verwendet werden. Beispiele sind Eisen, Kupfer, Aluminium.
Mikroschadstoffe	Bei Mikroschadstoffen im Abwasser handelt es sich um organische Substanzen wie Medikamente, Hormone oder Biozide, welche auch in tiefen Konzentrationen (Mikro- bis Nanogramm pro Liter) eine schädliche Wirkung für Wasserlebewesen haben oder die Trinkwasserressourcen beeinträchtigen.
Mineral Reserve	Eine Konzentration oder ein Vorkommen eines Stoffes von ökonomischem Interesse in der Erdkruste, welcher in einer derartigen Form, Güteklasse oder Qualität sowie in einer Menge vorliegt, dass dieser mit der heutigen Technologie sowie im gegenwärtigen Marktumfeld ökonomisch profitabel abgebaut werden kann. Siehe auch Box 3.
Mineral Resource	= Natürliches Lager: Eine Konzentration oder ein Vorkommen eines Stoffes von ökonomischem Interesse in der Erdkruste, der in einer derartigen Form, Güteklasse oder Qualität sowie in einer Menge vorliegt, dass eine vernünftige Aussicht auf einen letztendlich ökonomisch profitablen Abbau besteht. Siehe auch Box 3.
MSC	Marine Stewardship Council. Das MSC-Label bezeichnet Fisch und Meeresfrüchte aus zertifiziert nachhaltiger Fischerei (www.msc.org)
Mtoe	Megatonnen Öl Äquivalent. Die Einheit rechnet die Menge fossiler Energieträger mit unterschiedlichen Dichten und Energieinhalten in eine «Äquivalente Menge Erdöl» um. Basis für die Umrechnung ist der Energieinhalt der Energieträger.

**Nachhaltige
Entwicklung
(swiscleantech-
Definition)**

«Nachhaltige Entwicklung bedeutet, dass sich die Menschheit innerhalb der ökologischen Grenzen unseres Planeten weiterentwickelt, basierend auf ökologischen Rahmenbedingungen und indem gleichsam ein wesentlicher Teil der globalen Biosphäre den anderen Lebewesen überlassen wird. Zusätzlich werden soziale Rahmenbedingungen beachtet, die sich auf die Verbesserung der Lebensqualität aller Menschen heutiger und zukünftiger Generationen ausrichten. Innerhalb des transparent gesetzten, ökologischen und sozialen Rahmens kann sich eine Marktwirtschaft dynamisch und nachhaltig entfalten.»

**Nachhaltigkeit
(starke und
schwache)**

In der Diskussion um Nachhaltigkeit wird zwischen starker und schwacher Nachhaltigkeit unterschieden. Die starke Nachhaltigkeit stellt die Ökologie über die anderen Dimensionen (wie Ökonomie, Kultur, Soziales), da die natürlichen Ressourcen als Grundvoraussetzung aller anderen Entwicklungsfelder angesehen wird. Demgegenüber wird bei der schwachen Nachhaltigkeit davon ausgegangen, dass natürliche Ressourcen durch Human- und Sachkapital ersetzt werden können. Dabei ist z.B. auch ein Rückgang natürlicher Lebensräume solange nachhaltig, wie dieser durch einen Anstieg des Kapitals in den (als gleichberechtigt betrachteten) anderen Dimensionen ausgeglichen wird.

Natürliche Lager

Als natürliche Lager verstehen wir «mineral resources» (vgl. auch Box 3) gemäss folgender Definition des Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO): «Eine Mineralische Ressource ist eine ökonomisch interessante Konzentration oder ein entsprechendes Vorkommen eines festen Materials in oder auf der Erdkruste in einer Form beziehungsweise in einer Konzentration und Qualität, die eine begründete Aussicht auf eine schlussendlich ökonomische Ausbeutung darstellt. Dabei sind Ort, Menge, Konzentration und Qualität, Kontinuität und andere geologische Charakteristika einer mineralischen Ressource bekannt, abgeschätzt oder aus spezifischen geologischen Beweisen und Wissen, unter anderem Probenahmen, abgeleitet.» (CRIRSCO 2013; Übersetzung aus dem Englischen durch die Autoren)

**Natürliche
Ressourcen**

«Natürliche Ressourcen umfassen im weiteren Sinne alle Funktionen des Ökosystems Erde sowie des Sonnensystems, die vom Menschen direkt oder indirekt genutzt werden oder genutzt werden können bzw. die die Grundlage seines (Über-)Lebens und Wirtschaftens und der Ko-Existenz mit der Natur darstellen.» (Schütz and Bringezu 2008). In diesem Bericht verwenden wir manchmal nur den Begriff «Ressource» als Synonym für natürliche Ressource.

Natürliche Rohstoffe (im Gegensatz zu natürlichen Ressourcen)	Der Begriff «Natürliche Rohstoffe» bezeichnet nur die als Grundstoffe gewonnenen natürlichen Ressourcen. Zu den natürlichen Rohstoffen gehören also zum Beispiel Steine, Erze, Kohle, Rohöl, Sand oder sämtliche land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnisse. Nicht dazu zählen die unterstützenden oder regulierenden Ökosystemdienstleistungen wie zum Beispiel Klimaregulation, Abbau von Abfällen oder natürliche Wasserreinigung. Auch die eingestrahelte Solarenergie gilt nicht als Rohstoff.
NGO	Non-governmental organization. Englisch für Nicht-Regierungsorganisationen. Der Begriff umfasst Organisationen, die weder staatlich noch kommerziell privatwirtschaftlich sind.
Nicht-verbrauchende Nutzung (von Wasser)	Nutzung von Wasser so, dass es a) praktisch gleichzeitig mit der Nutzung, b) praktisch am selben Ort und c) in praktisch der selben Qualität in seine natürliche Umgebung zurückgespeist wird. Beispiele für Nicht-verbrauchende Nutzung sind Flusskraftwerke oder eine Nutzung als Kühlwasser, das oberhalb der Industrieanlage einem Fluss entnommen und unterhalb unverschmutzt und nur unwesentlich wärmer in den Fluss zurückgeführt wird.
Nichteisenmetalle	Nichteisenmetalle beinhalten diejenigen Metalle ausser Eisen und Eisenlegierungen, die in grossen Mengen produziert werden. Prominente Beispiele für Nicht-eisenmetalle sind Aluminium, Kupfer, Blei oder Zinn.
Nutzungsdauer	Die Zeit-Dauer, in der ein Produkt genutzt wird. Die Nutzungsdauer eines Produktes kann sehr viel kürzer sein als die Lebensdauer.
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development. Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung ist eine internationale Organisation mit 34 Mitgliedsstaaten mit dem Ziel, durch den Austausch zwischen Regierungen Strategien zu entwickeln um das weltweite wirtschaftliche und soziale Wohlergehen zu verbessern. (www.oecd.org)
Ökobilanz	Siehe Lebenszyklusanalyse (LCA)
Ökologischer Fussabdruck	Ergebnis einer Analyse, die den totalen Landflächenbedarf bestimmt, der von einem oder mehreren Produkten verursacht wurde. Dabei wird, analog zur → Lebenszyklusanalyse, der gesamte Lebenszyklus der Produkte betrachtet.
Ökologischer Rucksack	Summe aller Massenflüsse, die vom Lebenszyklus eines Produktes verursacht werden.

Ökosystem-dienstleistung	Unter Ökosystemdienstleistungen versteht man den Nutzen, der den Menschen durch die Leistungen ökologischer Systeme zukommt. Ökosystemdienstleistungen beinhalten Versorgungsleistungen (z.B. Nahrung, Wasser, Fasern, Treibstoffe, genetische Ressourcen etc.), Regulierungsleistungen (z.B. Klimaregulierung, Regulierung von Überschwemmungen und Krankheiten, Abbau von Schadstoffen etc.), kulturelle Leistungen (z.B. Ästhetik, spirituelle / religiöse / künstlerische Leistungen, Bildung, Erholung, Unterhaltung) und Unterstützungsleistungen (Nährstoffkreislauf, Bodenbildung, photosynthetische Primärproduktion).
Passive Produkte	Produkte, die während ihrer Nutzungsphase keinen signifikanten Verbrauch von Ressourcen verursachen. Beispiele sind Möbel oder Fahrräder.
peak-oil	Der Begriff peak-oil bezeichnet denjenigen Zeitpunkt, an welchem die jährliche Fördermenge an Erdöl ihren Maximalwert erreicht. Nach diesem Zeitpunkt nimmt die jährliche Fördermenge wegen der zunehmenden Erschöpfung der Ölvorkommen irreversibel ab. Die meisten konventionellen Ölfelder ausserhalb des mittleren Ostens haben den peak (Zenith) bereits überschritten. Global steigt die jährliche Fördermenge aufgrund der Nutzung unkonventioneller Vorkommen (Ölsand, Ölschiefer, Tiefseeöl, Öl aus Fracking, etc.) aber noch an.
Phytomining	Gewinnung von Metallen durch spezielle Pflanzen, die nicht nur auf metallbelasteten Böden gedeihen sondern die vorhandenen Metalle auch in ihrer Biomasse anreichern (sog. Hyperakkumulatoren).
Pigou-Steuer	Umweltsteuer, deren Zweck die Internalisierung von externen Kosten darstellt.
Planetary Boundary	Planetary boundaries bezeichnen die Grenzen des Planeten Erde, innerhalb welcher die Menschheit in Sicherheit agieren kann. Die Überschreitung einer oder gar mehrerer dieser Grenzen kann zu negativen oder gar katastrophalen Auswirkungen führen, da jenseits dieser Schwellenwerte abrupte, nicht-lineare Umweltveränderungen von kontinentalem bis globalem Ausmass erwartet werden müssen.
Polymetallische Erze	In polymetallischen Erzen liegen verschiedene Metallphasen zusammen im selben Erz. Vor allem sulfidische Erze liegen häufig in polymetallischer Form vor. Da es sich um ein Gemisch verschiedener Metalle im Erz handelt ist deren Isolierung nach dem Erzabbau sowohl aus technischen als auch aus ökonomischen Gründen erschwert.
Primärmaterial	= Natürlicher Rohstoff. Ein Primärmaterial wird zur menschlichen Nutzung einer natürlichen Quelle / einem natürlichen Vorkommen entnommen.
Primärwald	Primärwald ist von menschlicher Aktivität praktisch unbeeinflusster Wald (Urwald).

Produktumweltinformation	Unter Produktumweltinformation versteht man die Informationen zur Umweltbelastung eines Konsumgutes entlang des ganzen Lebenszyklus. Eine weitreichende und transparente Produktumweltinformation würde es Verbrauchern ermöglichen, umweltbewusste Kaufentscheidungen zu fällen.
PV	Abkürzung für Photovoltaik. PV steht für die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom.
Qualitatives Wachstum	Ein Wachstum des materiellen und immateriellen Wohlstands, das nicht auf Kosten von, sondern im Einklang mit der natürlichen Lebensgrundlage entsteht.
Ramsar-Übereinkommen	Die Ramsar-Konvention ist ein internationales Abkommen zum Schutz und der bewussten Nutzung von Feuchtgebieten und deren Ökosystemdienstleistungen. (www.ramsar.org)
Rebound-Effekt	Als Rebound-Effekt wird der Umstand bezeichnet, dass eine (technologische) Effizienzsteigerung zu steigendem Konsum führt, was den positiven Effekt der Effizienzsteigerung zumindest teilweise (weg-)kompensiert.
Recycling	Unter dem Begriff Recycling verstehen wir die stoffliche Wiederverwendung von Materialien aus Produkten, die ihre Lebensdauer erreicht haben. Ausserhalb dieses Dokuments wird der Begriff auch für das «energetische Recycling» verwendet, bei dem das Material am Lebensende nicht stofflich wiederverwertet wird sondern dessen Energieinhalt genutzt wird.
Ressource	Eigentlich bezeichnet der Begriff materielle oder immaterielle Güter, die es ermöglichen eine Handlung zu tätigen oder einen Vorgang zu initiieren und ablaufen zu lassen. Damit umfassen Ressourcen neben den natürlichen Ressourcen auch technische, technologische, finanzielle, humane und organisatorische (Beitrags-)Ressourcen. In diesem Bericht wird der Begriff Ressource, wenn nicht anders spezifiziert, als Synonym für natürliche Ressource verwendet.
Ressourcenwende	In Anlehnung an die Energiewende (Abkehr von nicht-erneuerbaren Energien) soll im Rahmen einer Ressourcenwende der zukünftige Ressourcenverbrauch weltweit nachhaltig gestaltet werden.
Rohstoffe	Der Begriff «Rohstoffe» bezeichnet neben den «natürlichen Rohstoffen» auch technische Rohstoffe, das heisst alle Grundstoffe, die als Ausgangsmaterial im Produktionsprozess gebraucht werden.
Sekundärmaterial	Ein Sekundärmaterial wird zur menschlichen Nutzung einem technischen Lager entnommen und aufbereitet. Es handelt sich also um eine Wiederverwendung des Materials.

Seltene Erden	Die Seltenen Erden sind eine Gruppe von Metallen im Periodensystem. Darunter fallen die 15 Lanthanoide sowie Scandium und Yttrium. Seltene Erden verdanken ihren Namen der Tatsache, dass diese in der Erdkruste sehr fein verteilt vorliegen, obwohl sie eigentlich nicht besonders selten sind. Seltene Erden werden für eine Reihe von technologischen Anwendungen benötigt (Magnete, Leuchtmittel etc.).
Senkenleistung	Unter Senkenleistung versteht man im Klimakontext die Möglichkeit von Landökosystemen mehr Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufzunehmen, als sie wieder an diese zurückgeben. Es handelt sich also um die Absorption von atmosphärischem CO ₂ . Das Kyoto-Protokoll erlaubt es, Senkenleistungen von Ökosystemen – zum Beispiel von Wäldern – an die Emissionsziele anzurechnen.
Sens	Die Stiftung SENS ist ein Schweizer Rücknahmesystem für Elektro- und Elektronikgeräte.
Sharing Economy	Die Sharing Economy umfasst Konzepte von gemeinsamer, zeitlich begrenzter Nutzung von Gütern oder Dienstleistungen, die nicht dauerhaft benötigt werden. Der Prozess findet entweder zwischen Konsumenten (peer-to-peer) oder durch den Intermediär eines Unternehmens statt.
Siedlungsflächen-Äquivalente	Bewertungsmöglichkeit von verschiedenen Landnutzungsformen aufgrund von Biodiversitätsaspekten, die einen direkten Vergleich ermöglicht. Eine auf gewisse Weise genutzte Fläche entspricht in Siedlungsflächen-Äquivalenten derjenigen Fläche, die dieselbe Biodiversität beherbergen kann, wie eine Siedlungsfläche gleicher ursprünglicher Grösse.
Spezialitätenmetalle	Unter dem Begriff Spezialitätenmetalle werden Metalle zusammengefasst, die weltweit zwar in nur relativ kleinen Mengen gefördert werden, die aber für gewisse technologische Anwendungen unabdingbar sind. Oft sind Spezialitätenmetalle geologisch relativ selten. Beispiele von Spezialitätenmetallen sind Indium, Gallium, Cadmium oder Germanium.
Stammholz	Stammholz bezeichnet den forstlich nutzbaren Holzteil eines Baumes – ohne Äste, Wipfel und Stumpf.
Steine und Erden	Unter Steinen und Erden werden alle nicht-metallischen, mineralischen abiotischen Rohstoffe zusammengefasst. Steine und Erden sind die Hauptbestandteile aller gängigen Baumaterialien.
Stewardship	Aktive und kooperative Gestaltung und Management der vernetzten sozioökologischen Systeme, die eine bestimmte Ressource oder Ökosystemdienstleistung zur Verfügung stellen, durch alle beteiligten Stakeholder (Unternehmen,

	Bevölkerung, Gemeinwesen, Behörden, Interessensvertreter, NGO's). Ziel des Stewardship-Ansatzes ist es die Verfügbarkeit einer Ressource für alle Stakeholder zu erhalten und so das menschliche Wohlergehen zu fördern und die individuellen Versorgungsrisiken zu vermindern.
Stoffkreislauf	Unter Stoffkreislauf versteht man die Sammlung und Trennung von Produkten an ihrem Lebensende, die Wiedergewinnung der darin vorhandenen Materialien und deren Wiedereinspeisung in die Produktionskette als Sekundärrohstoff.
Stoffliche Verwertung	Synonym: Recycling. Die stoffliche Verwertung bezeichnet die Nutzung der stofflichen Eigenschaften von Abfällen als Sekundärrohstoffe, im besten Fall zum Ersatz von Primärrohstoffen.
Strommix	Der Strommix gibt die Anteile verschiedener Energieträger bzw. verschiedener Erzeugungstechnologien bei der Stromerzeugung an (üblicherweise in Prozenten).
Substitution	Ersatz eines (kritischen) Elementes oder Materials in einem Produkt durch ein alternatives Material oder Ersatz eines Produktes, das zur Erbringung einer Dienstleistung benötigt wird, durch eine andere Art die Dienstleistung zu erbringen.
SWICO	Swico ist der Verband der ICT-Anbieter sowie weiterer verwandter Branchen in der Schweiz. Er setzt sich als Unternehmensverband für die Interessen seiner Mitglieder in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft ein und bietet ihnen überdies eine breite Palette von Business-Dienstleistungen. Eine davon ist SWICO Recycling, das freiwillige nationale Rücknahmesystem für Elektronik-Altgeräte in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein.
swisscleantech	Der Wirtschaftsverband swisscleantech vertritt die Interessen der nachhaltigen Wirtschaft («Cleantech») in Politik und Öffentlichkeit. Dazu bündeln der liberale und nachhaltige Wirtschaftsverband die Kräfte der Schweizer und Liechtensteiner Cleantech Unternehmen, vertritt ihre Interessen in der Politik und baut die Verbindung der Marke Schweiz mit Cleantech auf.
Technische Lager	Als technisches Lager bezeichnen wir die Vorkommen von Materialien in der technischen Welt, also zum Beispiel der Stahl, der in einem Auto gespeichert ist, der Beton in einem Gebäude oder der Kunststoff in einer Abfalldeponie.
Totholz	Totholz bezeichnet das im Wald belassene abgestorbene Holz, welches einer Vielzahl von Organismen (Vögel, Säugetiere, Insekten(-Larven), Rindenpilze, Bakterien, Moose und Flechten) als Lebensraum und Nahrungsquelle dient.

Treibhausgase (THG)	Gase in der Erdatmosphäre, die den Strahlungshaushalt der Erde beeinflussen und so zum Treibhauseffekt beitragen. Neben Wasserdampf ist Kohlendioxid (CO ₂) das wichtigste Treibhausgas. Andere wichtige Treibhausgase sind Methan, Lachgas, die sogenannten «F-Gase» (Fluorchlorkohlenwasserstoffe oder FCKW) sowie perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF ₆).
UN-Stat	UN-Stat ist die Statistikabteilung der Vereinten Nationen (http://unstats.un.org)
UNEP	United Nations Environment Programme. Die UNEP wurde 1972 gegründet und bezeichnet sich als «die Stimme der Umwelt innerhalb der UN».
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change. Die UNFCCC ist eine von 3 Rio-Konventionen, die am Rio Weltgipfel von 1992 beschlossen wurden. Die Konvention umfasst 195 Länder und ist in Kraft seit März 1994. Das Ziel der UNFCCC ist es, die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre auf einem Level zu stabilisieren, der eine gefährliche menschengemachte Klimaveränderung verhindert.
Urban Mining	Beim «Urban Mining» geht es darum, dass sämtliche Zivilisationsabfälle aus Städten und Siedlungen als Rohstofflager der Zukunft verstanden werden. Mehr dazu in Box 19 .
Verbrauchende Nutzung (von Wasser)	Nutzung von Wasser so, dass das Wasser entweder verdunstet oder in einen anderen Wasserkörper als den, woraus es entnommen wurde, zurückfließt. Verbrauchend wird auch eine Nutzung genannt, bei der die Qualität des Wassers massgeblich verändert wird (z.B. Verschmutzung)
Vermeidungskosten	Vermeidungskosten sind Kosten, die entstehen (würden) um Schäden – zum Beispiel durch technische Massnahmen – zu vermeiden.
Verursacherprinzip	Das Verursacherprinzip ist ein Grundsatz der Umweltpolitik, nach dem die gesamten sozialen Kosten einer ökonomischen Aktivität von denjenigen Wirtschaftssubjekten zu tragen sind, die sie verursacht haben. (http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1852/verursacherprinzip-v7.html)
Virtuelle Wasserströme	Unter virtuellem Wasser versteht man das zur Herstellung eines Produktes benötigte Wasser, welches nicht im Produkt selber gespeichert ist (Nahrungsmittel, Papier/Karton,...). Der Import/Export von Produkten führt somit zu einem virtuellen Wasserstrom vom Exportland ins Importland.
VOC	Siehe «Flüchtige organische Substanzen (VOC)»

WHO	World Health Organisation. Die Weltgesundheitsorganisation ist eine Organisation der Vereinten Nationen, deren Zweck die Führung und Koordination von Gesundheitsaspekten ist. Zu ihren Aufgaben gehören Führerschaft bei globalen Gesundheitsgesichtspunkten, das Formen der Gesundheitsforschung, das Setzen von Normen und Standards, das Formulieren von Strategien, die Unterstützung von Staaten sowie die Erfassung und Beurteilung von Gesundheitstrends. (www.who.int)
Willingness to accept	Die Entschädigung, die ein Geschädigter erhalten muss, damit er damit einverstanden ist, den Schaden zu akzeptieren.
Willingness to pay	Die Summe, die ein Geschädigter zu zahlen bereit wäre, um einen Schaden nicht zu erleiden.
WWF	World Wide Fund for Nature, eine Umweltschutzorganisation. (wwf.panda.org)
Zerstückelung von Lebensräumen (Fragmentierung, Zerschneidung)	Der Bau von Siedlungsraum oder Verkehrslinien, die für Tiere oder Pflanzen nicht oder ungenügend durchlässig sind, und vormals ökologisch zusammenhängende Lebensräume zerreissen. Dadurch werden Populationen in Teilpopulationen aufgeteilt. Wenn eine Population erloschen ist, besteht keine Möglichkeit der Wiederbesiedelung mehr. Auch für Tierarten mit grossen Raumsprüchen stellt die Zerstückelung ihrer Lebensräume ein Problem dar.

Boxen

<u>Box 1</u> Definitionen natürliche Ressourcen / natürliche Rohstoffe	62
<u>Box 2</u> Indikatoren und Indizes zur Ressourcenbelastung	73
<u>Box 3</u> Begriffserklärung «mineral resource» und «reserve» (CRIRSCO 2013)	80
<u>Box 4</u> Phytomining	82
<u>Box 5</u> Kritikalitätsmatrizen	92
<u>Box 6</u> Indium als Beispiel eines kritischen Metalls	93
<u>Box 7</u> Carbon Bubble	101
<u>Box 8</u> Preisentwicklung fossiler Rohstoffe	102
<u>Box 9</u> Alternative Proteinquellen	107
<u>Box 10</u> Landwirtschaftsinitiativen	118
<u>Box 11</u> Fossiles Wasser (Foster u. a. 2006)	120
<u>Box 12</u> Hormonaktive Stoffe	121
<u>Box 13</u> Wasserverbrauchsbilanz der Schweiz	128
<u>Box 14</u> Subventionen und Externe Kosten	174
<u>Box 15</u> Internalisierung, Lenkung und globale Gerechtigkeit	175
<u>Box 16</u> Erweiterte Produzentenverantwortung (EPV)	177
<u>Box 17</u> Transparenz im Label-Dschungel: Labelinfo von Pusch	182
<u>Box 18</u> Ecodesign – Nutzen 1., 2. und 3. Art	189
<u>Box 19</u> «Urban Mining»	199

Praxisbeispiele

<u>Praxisbeispiel 1</u> Water-Stewardship bei Nestlé	178
<u>Praxisbeispiel 2</u> Stewardship im Tropenwald durch Indena	179
<u>Praxisbeispiel 3</u> Deklaration von Flugtransporten bei Coop	182
<u>Praxisbeispiel 4</u> Reduktion der Umweltauswirkung dank geeigneter Materialwahl	185
<u>Praxisbeispiel 5</u> Prototyp-Leichtfahrzeug EOLAB von Renault	185
<u>Praxisbeispiel 6</u> Ikea setzt auf nachhaltige Beschaffung	186
<u>Praxisbeispiel 7</u> Energieeffiziente Produktion bei Ernst Schweizer AG	187
<u>Praxisbeispiel 8</u> USM Möbelbausysteme – zeitlos, langlebig und umweltschonend	188
<u>Praxisbeispiel 9</u> Energieeffiziente Haushaltgeräte von Dyson	188
<u>Praxisbeispiel 10</u> Cradle to Cradle Bürostühle von Giroflex	190
<u>Praxisbeispiel 11</u> Baustoffrecycling bei Eberhard	198
<u>Praxisbeispiel 12</u> Recycling von Elektronikschrott bei Immark	198
<u>Praxisbeispiel 13</u> Kühlschrankrecycling in Schwellenländern mit FairRecycling	199
<u>Praxisbeispiel 14</u> Kundenfreundliches Recycling mit Mr. Green	201
<u>Praxisbeispiel 15</u> Optimale Entsorgungslogistik mit swisslogix	201
<u>Praxisbeispiel 16</u> InnoRecycling schliesst Kunststoffkreisläufe	202
<u>Praxisbeispiel 17</u> Carsharing mit Mobility	204
<u>Praxisbeispiel 18</u> Vernetzte Sharing Economy	205
<u>Praxisbeispiel 19</u> Gemüse und Fisch aus der Stadt mit Urban Farmers	207
<u>Praxisbeispiel 20</u> Gedruckte Hörgeräte von Sonova	209
<u>Praxisbeispiel 21</u> Flexibel und ortsunabhängig arbeiten mit Swisscom	209

Figuren

<u>Figur 1</u> Definition (natürliche) Ressourcen und (natürliche) Rohstoffe	46
<u>Figur 2</u> Die bewiesenen Reserven an fossilen Rohstoffen (links), die aus deren Verbrennung entstehende Menge CO ₂ (rechts, grauer Zylinder) sowie zum Vergleich die innerhalb der Klimaziele bis 2050 emittierbare Menge CO ₂ (rechts, blassrotes Segment).	48
<u>Figur 3</u> Anteile (Gewichts-Prozente) einzelner Güterklassen an der landwirtschaftlichen Nahrungsproduktion der Schweiz im Jahr 2012.	49
<u>Figur 4</u> Jährliche Veränderung in Netto Waldflächen 1990 – 2010 (Quelle: FAO, Global Forest Resources Assessment 2010, Maps & Figures)	50
<u>Figur 5</u> Wasserflüsse der Schweiz (Blue, Green und Gray Water). Daten aus «Water Footprint Statistics»	51
<u>Figur 6</u> Veränderung der Erdoberflächentemperatur zwischen 1901 und 2012. Für die weissen Flächen war die Datenunsicherheit zu hoch um eine belastbare Aussage zu machen. (IPCC 2013a)	52
<u>Figur 7</u> Historische CO ₂ -Emission der Schweiz und des Schweizerischen Konsums sowie die 2°-kompatiblen Absenkpfade. Es ist zu beachten, dass hier nicht die CO ₂ -äquivalenten Treibhausgase sondern nur das CO ₂ dargestellt ist. Grund dafür ist, dass die zur Bestimmung des Absenkpfadens verwendete Methode – der sogenannte Budgetansatz – nur für CO ₂ anwendbar ist.	53
<u>Figur 8</u> Entwicklung der Biomasse von Wildtieren (Land- und Luft-Wirbeltiere), von Menschen und von Nutztieren. Quelle: Paul B. MacCready	54
<u>Figur 9</u> Entwicklung der Energieversorgung der Schweiz bis 2050 (Bolliger u. a. 2014)	55
<u>Figur 10</u> Der Ecodesign-Zyklus. Produkte werden aus einer ganzheitlichen Sicht optimiert. Im Vordergrund stehen die Funktionen des Produktes, die häufig auf unterschiedliche Arten erfüllt werden können. Ecodesign sucht die bezüglich Ressourcennutzung optimale Möglichkeit, diese Funktionen zu erbringen.	58
<u>Figur 11</u> Definition (natürliche) Ressourcen und (natürliche) Rohstoffe	62
<u>Figur 12</u> Bevölkerungs-Entwicklungs- und Wachstumsszenario der UN: Global (blau) 9.5 Milliarden Menschen in 2050, Schweiz (grün) 11 Millionen Menschen in 2050. Die Wahl dieser relativ starken Entwicklung der Schweizer Bevölkerung gemäss dem «hohen Szenario» des Bundesamtes für Statistik entspricht einer konservativen Abschätzung der pro Kopf zur Verfügung stehenden Mengen an natürlichen Ressourcen.	68
<u>Figur 13</u> Ressourcenverbrauch in der «Schweiz» bzw. durch die Schweiz	71
<u>Figur 14</u> Mineral Resources und Reserve. Englische Begriffe sind: «Inferred» für «abgeleitete», «indicated» für «abgeleitet» und «measured» für «gemessen».	80
<u>Figur 15</u> Periodensystem und Elemente, die in elektronischen und elektrischen Geräten verwendet werden (grün hinterlegt)	84

<u>Figur 16</u> Akkumulation von Eisen und Aluminium in Abhängigkeit des BIP. Regression aus einer Studie von J.N. Rauch (Rauch 2009)	89
<u>Figur 17</u> Kritikalitätsmatrix mit Versorgungsrisiko auf der einen und wirtschaftlicher Wichtigkeit auf der anderen Achse. Damit lassen sich Rohstoffe bezüglich ihrer Kritikalität prüfen. Quelle: (European Commission 2010)	92
<u>Figur 18</u> Importmengen von Metallen in die Schweiz im Jahr 2012. (Daten: (BFS 2014))	96
<u>Figur 19</u> Globaler energetischer und stofflicher Verbrauch der wichtigsten fossilen Rohstoffe in 2011. (IEA 2013)	100
<u>Figur 20</u> Entwicklung des nominalen und realen Rohölpreises in den letzten 40 Jahren. Jahresdurchschnittswerte, ausser für 2015 (Preis am 2.1.15).	102
<u>Figur 21</u> Jährlich geerntete Biomasse nach Nutzung	105
<u>Figur 22</u> Fleischkonsum in Abhängigkeit von Einkommen. Beachte, dass heute noch drei Viertel der Weltbevölkerung in der Grafik links unten liegen. Quelle: UNEP	106
<u>Figur 23</u> Anteile einzelner Güterklassen an der landwirtschaftlichen Nahrungsproduktion der Schweiz im Jahr 2012.	110
<u>Figur 24</u> Importierte Land- und Forstwirtschaftsprodukte	111
<u>Figur 25</u> Aufteilung der globalen Landfläche (13.4 Milliarden Hektaren)	115
<u>Figur 26</u> Expansion von globalen Agrarflächen und Nachhaltigkeitsgrenze im Netto- und Brutto-«business as usual» (BAU) Szenario (UNEP 2014)	116
<u>Figur 27</u> Jährlicher Durchschnitt der monatlichen Grund- und Oberflächenwasserknappheit in den wichtigsten Flusssystemen (1996–2005) (Hoekstra u. a. 2012)	123
<u>Figur 28</u> Wasserflüsse der Schweiz (Blue, Green und Gray Water). Daten aus «Water Footprint Statistics»	128
<u>Figur 29</u> Die atmosphärische Konzentration von Stickstoffdioxid (Quelle: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2004/10/Global_air_pollution_map_produced_by_Envisat_s_SCIAMACHY).	135
<u>Figur 30:</u> Veränderung der Erdoberflächentemperatur zwischen 1901 und 2021. Für die weissen Flächen war die Datenunsicherheit zu hoch für eine belastbare Aussage. (IPCC 2013b)	140
<u>Figur 31</u> Beobachtete Auswirkungen des Klimawandels (IPCC 2014a)	140
<u>Figur 32</u> Anstieg der Konzentration von CO ₂ in der Atmosphäre über die Zeit (IPCC 2013b)	141

<u>Figur 33</u>	
Totale anthropogene Treibhausgasemissionen verschiedener Sektoren in 2010. Der ganze Kreis zeigt die direkten Emissionen der Sektoren. Der Kreisbogen rechts zeigt, wie die indirekten Emissionen aus Strom- und Wärmeproduktion den Sektoren zugerechnet werden. (IPCC 2014,b)	
	142
<u>Figur 34</u>	
Historische CO ₂ -Emission der Schweiz und des Schweizerischen Konsums sowie die 2°-kompatiblen Absenkpfade. Es ist zu beachten, dass hier nicht die gesamten Treibhausgase sondern nur das CO ₂ dargestellt ist.	
	145
<u>Figur 35</u>	
Vom Aussterben bedrohte Arten. Während die Amphibien die am meisten vom Aussterben bedrohte Artengruppe darstellt, verzeichnet die Gruppe der Korallen die dramatischste Zunahme der Gefährdung. (IUCN 2012)	
	149
<u>Figur 36</u>	
Global installierte Kapazitäten der erneuerbaren Energien in Gigawatt (im Jahr 2013; Solarthermie 2012).	
	157
<u>Figur 37</u>	
Grobbeurteilung der Belastung natürlicher Ressourcen in der Schweiz	
	162
<u>Figur 38:</u>	
Graphische Auswertung der Kreuzwirkungsmatrix zeigt die Aktivität / Passivität der natürlichen Ressourcen. Das Achsenkreuz steht bei jeweils mittlerer Aktivität bzw. Passivität aller natürlicher Ressourcen.	
	166
<u>Figur 39</u>	
Der Ecodesign-Zyklus	
	184

Tabellen

<u>Table 1</u>	
Handlungsfelder und Ziele für eine nachhaltige Ressourcennutzung der Schweiz	56
<u>Table 2</u>	
Risiken von »business as usual« vs Chancen einer Transformation zu nachhaltiger Ressourcennutzung	63
<u>Table 3</u>	
Liste der wichtigsten Metalle, deren Hauptanwendungsgebiete, sowie die jeweiligen Vorkommen, Ressourcen und Förder- bzw. Produktionsmengen im Jahr 2012 (U.S. Geological Survey 2014)	86
<u>Table 4</u>	
Flächennutzung in der Schweiz 2004 / 09 (BFS Arealstatistik 2004 / 09).	117
<u>Table 5</u>	
Wasser-Fussabdruck-Hotspots des Schweizer Konsums von landwirtschaftlichen Produkten. Aus Gnem 2012 (Gnem 2012)	132
<u>Table 6</u>	
Ausgewählte globale Schadstoffemissionen in die Luft im Jahr 2000. Quelle: (Sleeswijk u. a. 2008)	134
<u>Table 7</u>	
Aktuelle und maximal zulässige Luftemissionen in der Schweiz. Quelle: (Frischknecht u. a. 2013a)	136
<u>Table 8</u>	
Kreuzwirkungsmatrix für natürliche Ressourcen. Die Matrix gibt an, wie stark sich die Nutzung der Ressourcen in den Zeilen direkt auf die Ressourcen in den Spalten auswirkt. Umgekehrt sieht man in den Spalten, wie stark eine Ressource direkt von der Nutzung anderer Ressourcen beeinflusst wird.	164
<u>Table 9</u>	
Relevanten Faktoren für eine sortenreine oder gemischte Kunststoffsammlung gegenüber anderen Entsorgungssystemen.	203

Dank

Die vorliegende Studie wäre nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung von vielen, ganz unterschiedlichen Seiten. Inhaltlich konnten wir viel von Experten und Vertretern von swisscelantech Mitgliedern lernen. Speziell bedanken möchten wir und bei den Leitern Patrick Geisselhardt und Andy Spörri sowie bei den Teilnehmenden der zwei Fokusgruppen «Kreislaufwirtschaft und Produktdesign» für deren Inputs zum generellen Konzept der Arbeit und zu verschiedenen thematischen Bereichen. In diesem Zusammenhang möchten wir insbesondere die wertvollen Inputs von Rainer Züst, Raphael Fasko, Raymond Schelker und Simon Schwarzenbach hervorheben. Ein grosser Dank geht auch an Carmenza Robledo und Detlef van Vuuren, die uns bei der Beschaffung und Interpretation von Hintergrunddaten aus dem fünften Assessment Report des IPCC unterstützt haben. In den Bereichen Landnutzung, Land- und Forstwirtschaft, Rohstoffe und Biodiversität durften wir auf die Expertise von Mireille Faist, Werner Müller, Thomas Nemecek, Jürgen Reinhardt, Carmenza Robledo, Alain Schilli und Rainer Zah zurückgreifen. Im Bereich von fossilen Energieträgern führten wir spannende Gespräche mit Daniele Ganser und bei Fragen zu erneuerbare Energien konnten wir uns im swisscleantech-Team an Rita Bolliger und Christian Zeyer wenden. Auch der Rest des swisscleantech-Teams hat uns immer wieder Inputs und Feedbacks gegeben. Speziell erwähnen möchten wir da neben Nick Beglinger, Christian Zeyer, Franziska Barmettler und Florian Nussbaumer vom Management, die immer wieder auf neue Themen hingewiesen und auch viele Inputs zum Text geliefert haben. Gedankt sei auch Tobias Sommer, der als Nachbar des «Ressourcentisches» oft die erste Anlaufstation für kurze Fragen und Diskussionen war. Ebenfalls speziell zu erwähnen ist die Arbeit von Darja Unold, die für die Gestaltung der Grafiken und das Layout des gesamten Dokuments zuständig war. Und nicht zuletzt hat Walt Beglinger in akribischer Kleinarbeit sich des Lektorats angenommen. Ihnen allen möchten wir ganz herzlich für die Unterstützung danken.

Ein ganz spezieller Dank geht auch an die zwei Stiftungen, die durch ihre grosszügige finanzielle Unterstützung die Erarbeitung dieser Strategie erst ermöglicht haben: Herzlichen dank an die Oak Foundation und an die Mava – Fondation pour la Nature.

Technische Zusammenfassung

Einleitung, Ressourcenbegriff und Vorgehen

Verschiedene Versuche den gegenwärtigen globalen Ressourcenverbrauch unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit zu beurteilen sprechen eine eindeutige Sprache: Unser aktueller Ressourcenbedarf zerstört auf Dauer die Grundlagen für ein Leben in Wohlbefinden und Wohlstand. Bei der Nutzung natürlicher Ressourcen zehren wir von der Substanz anstatt von den Zinsen zu leben. Und je länger wir das tun, desto geringer werden in Zukunft die Zinsen sein, von denen wir nachhaltig leben können. Langfristig haben wir nur zwei Möglichkeiten: wir können darauf warten, dass die Natur unseren Wohlstand reduziert und uns so in die Grenzen zwingt, oder wir können ein nachhaltiges Leben und Wirtschaften innerhalb natürlicher Grenzen bei hohem Wohlstand erreichen, indem wir eine Entkopplung von Wohlstand und Ressourcenverbrauch verwirklichen. Einer höheren Ressourceneffizienz kommt dabei eine entscheidende Rolle zu: wir müssen mit einem verringerten Einsatz von natürlichen Ressourcen einen höheren Nutzen (Wohlstand) erreichen.

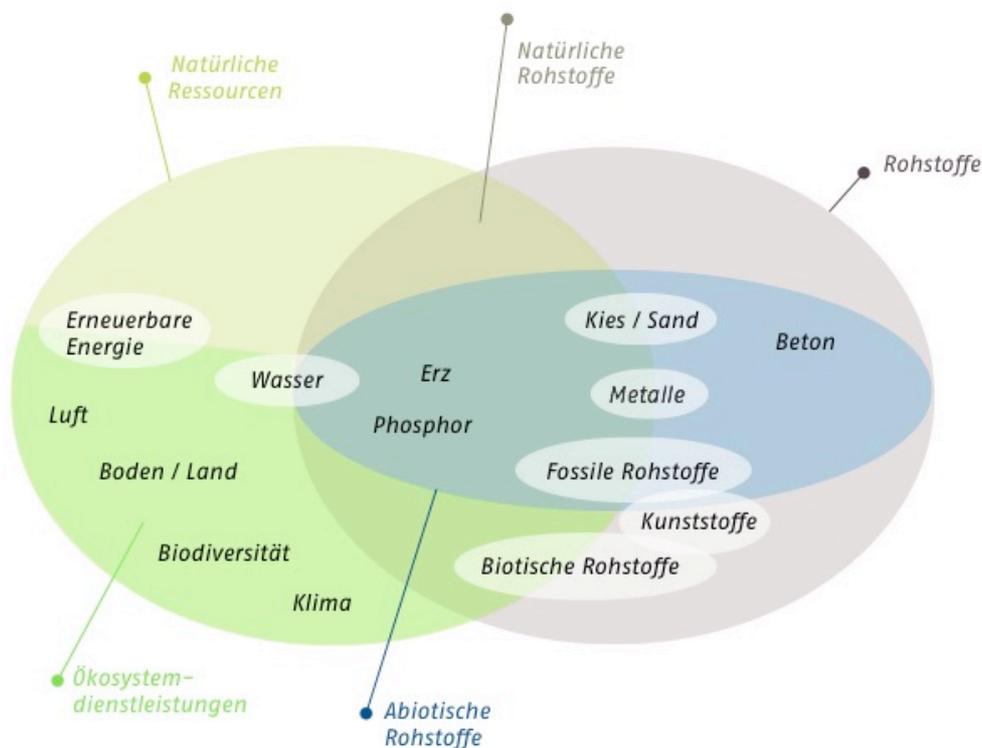
Gerade für ein Land wie die Schweiz birgt diese Ressourcenwende praktisch nur Vorteile. Mit ihrer Wirtschaftsstruktur, ihrem hohen Ausbildungsniveau und ihrem innovativen Forschungs- und Werkplatz ist die Schweiz geradezu prädestiniert dafür, die für eine Ressourcenwende benötigten Lösungen zu entwickeln. Mit den richtigen Entscheidungen heute können wir unsere Lebensgrundlagen und unseren Wohlstand langfristig sichern. Dazu müssen wir zukunftsfähige Rahmenbedingungen setzen unter denen sich Technologien und Wirtschaftsformen entwickeln, die der Schweiz und anderen Ländern als Basis dienen und Schweizer Unternehmen neue Chancen in internationalen Märkten eröffnen können.

Gegenstand der vorliegenden Cleantech Ressourcenstrategie ist es, den gegenwärtigen Zustand der Ressourcennutzung aufzuzeigen und Ziele für eine nicht allzu ferne Zukunft, konkret das Jahr 2050, zu entwickeln. Letztlich sollen konkrete Handlungsempfehlungen bezüglich eines nachhaltigen Umgangs mit natürlichen Ressourcen erarbeitet, sowie politische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen definiert werden. Dem zugrunde liegt die Vision einer Welt, in der natürliche Ressourcen nachhaltig genutzt werden, eine Welt also, in der alle Menschen – heute und in Zukunft – grundlegende Bedürfnisse befriedigen können, während den anderen, gleichberechtigten Lebewesen unseres Planeten ebenfalls genügend und adäquaten Lebensraum zugestanden wird.

In dieser Ressourcenstrategie verwenden wir die folgende Definition für den Begriff «Natürliche Ressourcen»: «Natürliche Ressourcen umfassen im weitesten Sinne alle Funktionen des Ökosystems Erde sowie des Sonnensystems, die vom Menschen direkt oder indirekt genutzt werden oder genutzt werden können bzw. die die Grundlage seines (Über-)Lebens und Wirtschaftens und der Ko-Existenz mit der Natur darstellen.» (Schütz u. a. 2008). *Figur 1* verbildlicht, was in diesem Sinne zu den natürlichen Ressourcen zählt und was nicht. Diese Definition natürlicher Ressourcen umfasst also neben natürlichen Rohstoffen (Steine, Erze, Kohle, Rohöl, land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse) auch Boden (Bodenqualität und Landfläche), Wasser (als Rohstoff, sowie die Wasserqualität), Luft, Klima, erneuerbare Energie sowie die Biodiversität und die durch sie zur Verfügung gestellten Ökosystemdienstleistungen (z.B. Klimaregulation und der Abbau von Schadstoffen). Nicht als natürliche Ressourcen gelten die Materialien, die durch Umwandlung von natürlichen Ressourcen gewonnen wurden, also zum Beispiel das Aluminium, das aus Bauxit hergestellt wurde.

Quantifizierung der Ressourcennutzung

Um die Ressourcennutzungen zu quantifizieren werden generell physikalische Grössen (Massen, Flächen oder Volumina) gewählt, da diese die – aus Ressourcensicht – relevanten Themen meist besser abbilden, als ökonomische Grössen (z.B. Preise). Ausserdem sind Verständlichkeit, Genauigkeit und Verfügbarkeit von Information (möglichst im internationalen Vergleich) weitere Kriterien für die Auswahl von Indikatoren. Der Ressourcenverbrauch und die Belastungsgrenzen bestimmen wir jeweils sowohl aus einer globalen als auch aus einer nationalen Sicht. Bei der Auswahl von Quellen wird auf Verlässlichkeit und Aktualität geachtet, während die Abschätzung von zukünftigen Entwicklungen wenn möglich auf wissenschaftlich fundierten Studien basiert.



Figur 1
Definition (natürliche) Ressourcen und (natürliche) Rohstoffe

Die Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen verstehen wir immer dann als nachhaltig, wenn eine solche nicht soweit geschädigt wird, dass dies die Möglichkeiten der künftigen Generationen wesentlich beschränken würde. Die Abschätzung des zukünftigen Ressourcenbedarfs basiert auf der Überlegung, wie viele Menschen zukünftig auf der Erde leben und welche Ressourcen sie zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse benötigen werden. Weiter müssen wir berücksichtigen, dass auch andere Spezies eine Existenzberechtigung haben und für ihr Überleben natürliche Ressourcen benötigen. Um zu bestimmen, was ein nachhaltiger Umgang mit den global vorhandenen natürlichen Ressourcen bedeutet, kommen wir um Annahmen nicht herum. Viele dieser Annahmen sind mit grossen Unsicherheiten behaftet. Entsprechend dürfen wir nicht erwarten, scharfe Gren-

zen formulieren zu können. Um Globale Grenzen auf die Schweiz herunter zu brechen, stellen wir uns auf den Standpunkt, dass der Ressourcenverbrauch letztlich überall auf der Welt etwa ausgeglichen sein sollte. Dies geschieht unter dem Gesichtspunkt der Gerechtigkeit sowie der globalen Stabilität. Letztlich definieren wir also den nachhaltigen Verbrauch natürlicher Ressourcen auf einer pro Kopf Basis. Würde man dann den Ressourcenverbrauch innerhalb nationalstaatlicher Grenzen betrachten, ergäbe das keine sinnvolle Verteilung, da einige Nationen sehr viel natürliche Ressourcen verbrauchen um Produkte für andere Länder herzustellen (zum Beispiel China), während Länder wie die Schweiz innerhalb ihrer Grenzen relativ wenig natürliche Ressourcen verbrauchen, aber dafür um so mehr Produkte importieren. Neben einer nationalen Sicht auf den Ressourcenverbrauch in der Schweiz (direkter Verbrauch) betrachten wir in dieser Strategie daher auch den Ressourcenverbrauch, der durch die Produktion von Gütern im Ausland verursacht wird, welche letztendlich in die Schweiz importiert und in der Schweiz konsumiert werden (indirekter Verbrauch).

Ressourcenverbrauch und seine Grenzen

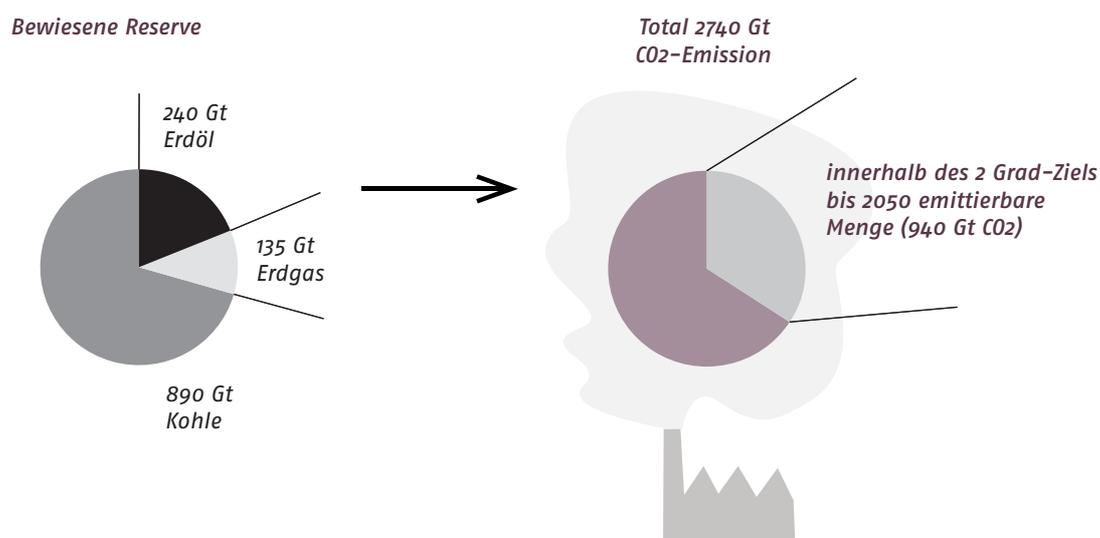
Nicht fossile natürliche Rohstoffe, die nicht von Lebewesen stammen, werden als **nicht fossile abiotische Rohstoffe** bezeichnet (z.B. Steine und Erden oder Metallerze). Neben Baustoffen wie Sand, Ton, Kalk und Kies spielen Phosphor und Metalle mengenmässig die grösste Rolle. Mittlerweile wird aber schon die Mehrheit aller auf der Erde vorkommenden chemischen Elemente für technische Anwendungen verwendet. Da diese Rohstoffe bei ihrer Nutzung nicht vernichtet werden, können sie theoretisch beliebig oft wiederverwendet werden. Langfristig wird die Nachhaltigkeit der Nutzung also durch die Effizienz der Rückgewinnung bestimmt. Allerdings kann die Rohstoffverfügbarkeit zeitlich und örtlich beschränkt sein. Es kann also eine Knappheit bestehen. Wenn das knappe Material gleichzeitig von einer hohen wirtschaftlichen Wichtigkeit ist, spricht man von Kritikalität. Als kritisch gelten heute insbesondere die Edelmetalle der Platingruppe (Platin, Palladium, Ruthenium, Osmium, Iridium und Rhodium), sowie für spezielle Technologien benötigte Metalle wie Lithium, Indium oder die seltenen Erden. Gerade bei solchen kritischen Metallen gilt es für die jeweiligen Anwendungen Alternativen zu finden (Substitution) sowie ein möglichst effizientes und konsequentes Recycling zu entwickeln.

Die Schweiz besitzt grosse natürliche Vorkommen an mineralischen Rohstoffen (Sand, Kies). Trotz Nutzungskonflikten mit Siedlungs- oder Landwirtschaftsflächen können diese als unkritisch bezeichnet werden. Phosphorminerale und Metallerze kommen in der Schweiz hingegen nur in geringen Mengen vor und werden nicht abgebaut, weshalb der gesamte Bedarf durch Importe oder Recycling gedeckt werden muss. Die Kritikalität dieser Rohstoffe ist für die Schweiz vergleichbar mit der Kritikalität für Europa oder die USA, weshalb man auch die entsprechenden Studien zur Beurteilung heranziehen kann.

Die Welt verbraucht jeden Tag 90 Millionen Fass Erdöl. Das entspricht der Ladung von 45 Supertanker. Dazu kommen fast so grosse Mengen an Kohle und Erdgas. Der grösste Teil dieser **Fossilen Rohstoffe** wird zur Energiegewinnung verbrannt. Weniger als 5% wird zu Kunststoffen und anderen Produkten verarbeitet (die am Lebensende oft auch verbrannt werden).

Fossile Rohstoffe können nach deren Verbrennung praktisch nicht wiederhergestellt werden¹. Dennoch ist mit einer Verknappung auf dem Weltmarkt gegenwärtig nicht zu rechnen. Durch die Förderung von Öl und Gas aus sogenannten unkonventionellen Lagern bestehen heute fossile Reserven, die selbst bei einem weiteren Anstieg des Konsums wie bisher noch mindestens 100 Jahre reichen würden. Hingegen führt die Verbrennung fossiler Rohstoffe durch die resultierenden Kohlendioxidemissionen zur Übernutzung einer anderen natürlichen Ressource – des Klimas. Bereits die heute bekannten Reserven an fossilen Rohstoffen sind viel grösser als die Menge, die zur Einhaltung des international vereinbarten Klimaziels noch verbrannt werden darf (**Figur 2**). Dieses Ziel verlangt, dass die Nutzung fossiler Rohstoffe in den nächsten 35 Jahren kontinuierlich reduziert wird und ab 2050 fast keine fossilen Ressourcen mehr verbrannt werden. Über zwei Drittel der vorhandenen fossilen Rohstoffe müssen also für immer ungenutzt bleiben.

In der Schweiz werden keine fossilen Rohstoffe gefördert. Da der inländische Bedarf vollständig durch Importe von verarbeiteten fossilen Rohstoffen gedeckt werden muss, verursacht die Schweiz nur indirekten Verbrauch dieser natürlichen Ressourcen.



Figur 2
Die bewiesenen Reserven an fossilen Rohstoffen (links), die aus deren Verbrennung entstehende Menge CO₂ (rechts) sowie zum Vergleich die innerhalb der Klimaziele bis 2050 emittierbare Menge CO₂.

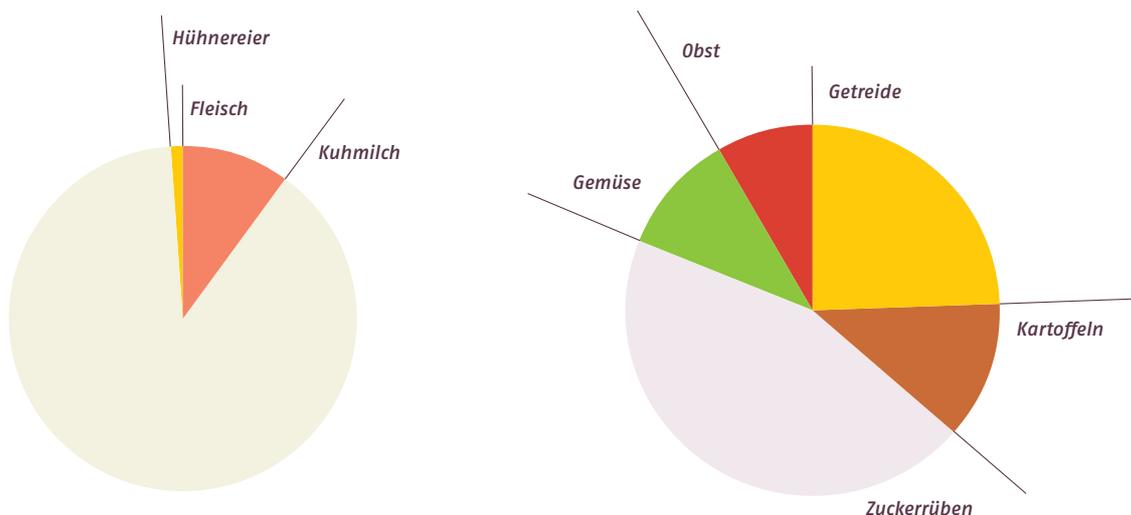
Unter **biotischen Rohstoffen** versteht man die Produkte von Pflanzen und Tieren, die weltweit in grossen Mengen für den menschlichen Verbrauch geerntet bzw. der Natur entnommen werden (als Nahrung, Baumaterialien, Textilien oder zur Energiegewinnung). Biotische Rohstoffe sind erneuerbar, sofern der Konsum die nachhaltige Produktion dieser Rohstoffe nicht übersteigt. Die direkte Nutzung

¹ Theoretisch wäre es möglich das CO₂ und das Wasser aus der Verbrennung von Erdöl oder Erdgas wieder zu Erdgas zu reduzieren. Dafür wäre aber ein Vielfaches der Energie nötig, die bei der Verbrennung genutzt werden kann.

in der Schweiz betrifft hauptsächlich die Land- und Forstwirtschaft, wobei in den nächsten Jahrzehnten keine grossen Änderungen an Intensität, Fläche und Ertrag zu erwarten sind (siehe **Figur 3** für die landwirtschaftliche Nahrungsmittelproduktion). Zusätzlich werden grosse Mengen an land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnissen importiert (vor allem Holz, Futtermittel, Getreide, Früchte, Gemüse).

55% aus tierischen Quellen

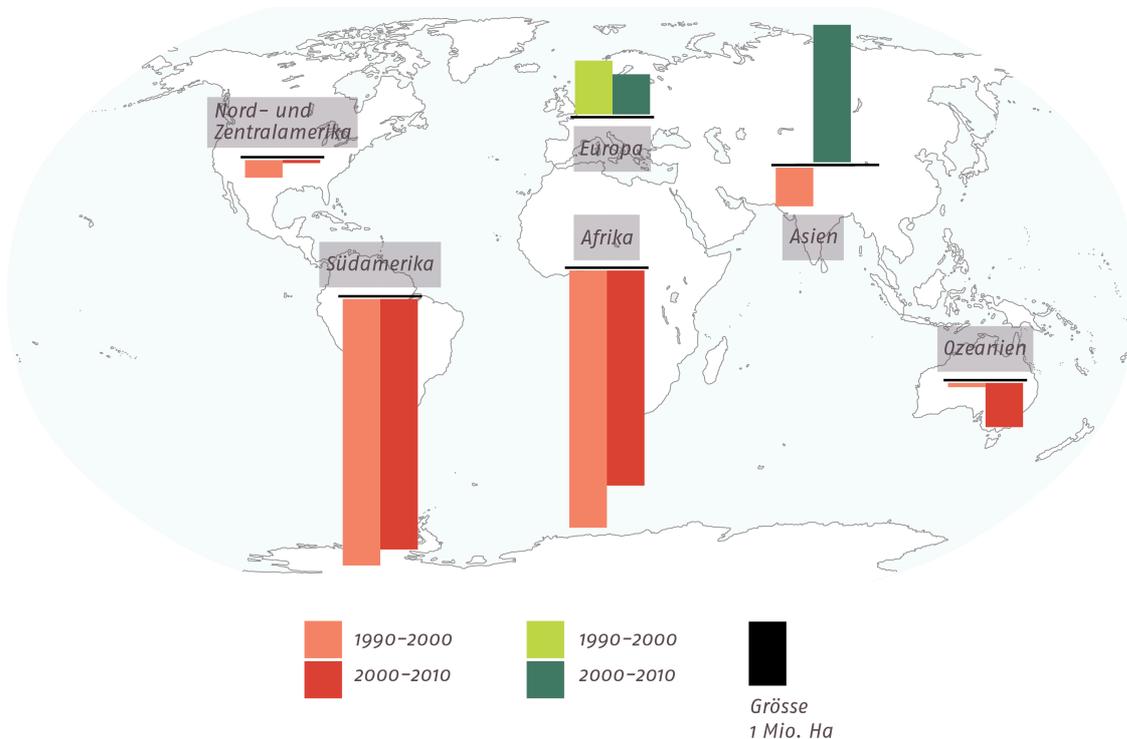
45% aus pflanzlichen Quellen



Figur 3
Anteile (Gewichts-Prozente) einzelner Güterklassen an der landwirtschaftlichen Nahrungsproduktion der Schweiz im Jahr 2012.

Bestimmende Faktoren der nachhaltigen Nutzung biotischer Ressourcen sind die Landnutzung, der Wasser-, Dünger- und Pestizideinsatz sowie die Überfischung. Diese Faktoren wirken sich auf die natürlichen Ressourcen Biodiversität, Land und Boden sowie Wasser aus.

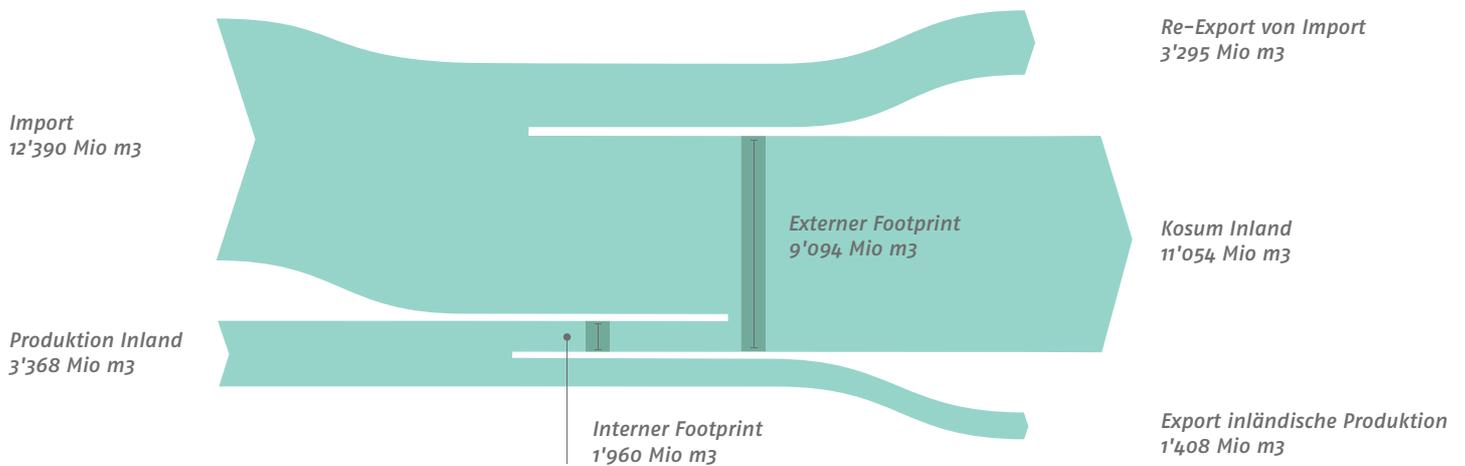
Die Beanspruchung der Ressource **Land und Boden** ist geprägt durch die Konkurrenz verschiedener Nutzungsformen (z.B. land- und forstwirtschaftliche Produktion, Lebensraum für Pflanzen und Tiere, Siedlungsraum, Erholungsraum, Verkehrsfläche, Infrastruktur etc.). Jede dieser Nutzungen verändert dabei Land und Boden in unterschiedlichem Ausmass. Global ist zu beobachten, dass Siedlungsflächen und Landwirtschaftsflächen auf Kosten von Waldflächen wachsen. Der Erhalt von naturnahen Wäldern stellt jedoch eine Grundvoraussetzung für den Erhalt der Biodiversität dar und ist zudem relevant als Kohlenstoffspeicher. Die Umwandlung von Wäldern zu Landwirtschafts- oder Siedlungsflächen (**Figur 4**) war in den letzten Jahren für etwa ein Viertel der gesamten menschgemachten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Daher müssen die noch bestehenden Flächen von Primärwald möglichst vollständig erhalten bleiben und das Wachstum der Landwirtschaftsflächen spätestens ab 2020 hat zu stagnieren. Da innerhalb der Schweiz vor allem die Siedlungsfläche auf Kosten von Land- und Alpwirtschaftsfläche wächst, ist im Inland eine Begrenzung der Siedlungsflächen auf heutigem Niveau anzustreben. Die Landnutzung im Ausland, die von in die Schweiz importierten Gütern verursacht wird, ist rund doppelt so hoch als der Wert, welcher der Schweiz zustehen würden. Diese indirekte Landnutzung ist künftig entsprechend zu reduzieren.



Figur 4
Jährliche Veränderung in Netto Waldflächen 1990 – 2010
 (Quelle: FAO, *Global Forest Resources Assessment 2010, Maps and Figures*²)

Bei der Nutzung der Ressource Wasser gilt es zwischen nicht-verbrauchender Nutzung (das Wasser geht unmittelbar nach der Nutzung wieder in das Gewässersystem ein; z.B. bei der Wasserkraft), verbrauchender Nutzung (z.B. Bewässerung) und der Belastung von Gewässern (mit Schadstoffen) zu unterscheiden. Während die globale Wasserverteilung durch den Klimawandel Veränderungen erfährt, wird gleichzeitig der weltweite Wasserbedarf markant zunehmen. Obwohl gegenwärtig insgesamt noch genügend Wasser vorhanden ist, sind schon heute weltweit 2.7 Milliarden Menschen von Wasserknappheit betroffen. Als Wasserschloss Europas verdient in der Schweiz eher die Wasserqualität als die Verfügbarkeit Aufmerksamkeit, da etliche unserer Gewässer Stoffkonzentrationen oberhalb der gesetzlichen Grenzwerte aufweisen und so auch zur Überdüngung der Ozeane beitragen. Durch den Import von Gütern verursacht die Schweiz zudem einen Wasserverbrauch im Ausland, der 3.6 mal höher ist als der direkte Verbrauch (**Figur 5**). Besondere Aufmerksamkeit verdienen dabei diejenigen Güter, die aus Gebieten stammen, die von Wasserknappheit betroffenen sind. Eine nachhaltige Nutzung von Wasser bedingt eine Reduktion der Wasserbelastung im Inland sowie eine Reduktion (um den Faktor 5) des im Ausland verursachten Wasserverbrauchs.

² <http://www.fao.org/forestry/4/1775/en/>



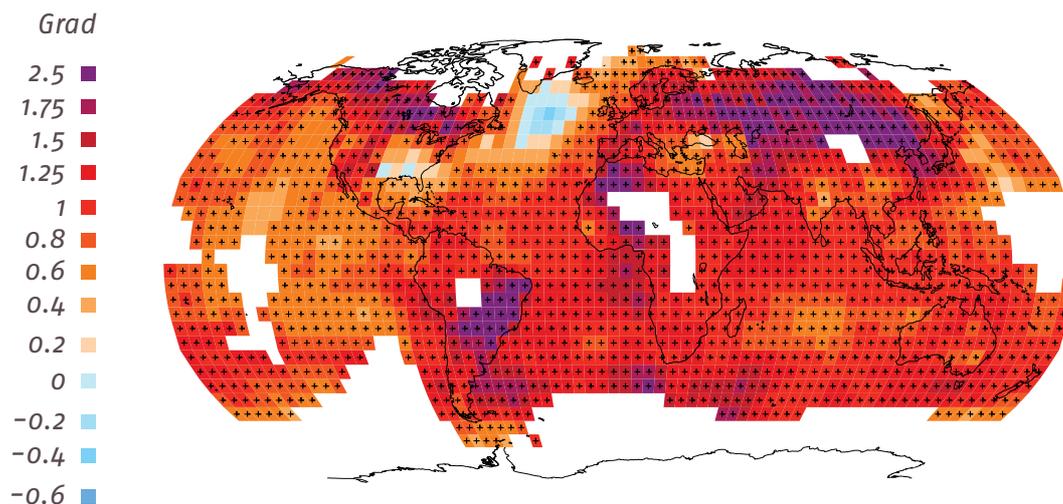
Figur 5
Wasserflüsse der Schweiz (Blue, Green und Gray Water).
 Daten aus «Water Footprint Statistics»³

Trotz grosser Fortschritte im Bereich von **Luft**-Qualität in den letzten 40 Jahren, sterben jährlich mehrere tausend Menschen in der Schweiz und Millionen von Menschen global an den Folgen der Luftverschmutzung. Um die Situation in der Schweiz zu verbessern, muss vor allem die Belastung durch Feinstaub und Ozon (Sommersmog), aber auch durch Stickoxide und Ammoniak, reduziert werden. In gewissen Regionen der Welt, in denen Rohstoffe und Güter für den Schweizerischen Konsum produziert werden, sind neben diesen Schadstoffen auch Luftemissionen wie Schwefeldioxid, flüchtige organische Verbindungen, Schwermetalle oder krebserregende organische Verbindungen von grosser Bedeutung. Die meisten Luftschadstoffe stammen direkt oder indirekt aus Verbrennungsprozessen, und die meisten davon aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Entsprechend wird die geforderte Reduktion dieser Energieträger automatisch zu einer besseren Luftqualität führen. Die übrigen Emissionen – zum Beispiel Schwefeldioxid und Schwermetalle aus der Kupferproduktion, Formaldehyd aus Holzwerkstoffen, oder VOC aus der Verwendung von Lösungsmitteln – müssen separat und lokal differenziert betrachtet werden.

Die Auswirkungen des durch die Emission von Treibhausgasen verursachten, menschengemachten Treibhauseffekts, sind vielfältig: Die Erdoberflächentemperatur steigt (0.85°C im letzten Jahrhundert, siehe **Figur 6**), Niederschlagsmuster verändern sich, Gletscher schmelzen. Haupttreiber dieser Veränderungen des **Klimas** ist der Ausstoss von CO₂ aus der Verbrennung von fossilen Rohstoffen. Daneben spielen auch Emissionen anderer Treibhausgase, vor allem von Methan und Lachgas (aus der Landwirtschaft) und in geringerem Ausmass einiger industrieller Gase eine Rolle. Trotz internationalen Bemühungen vor allem im letzten

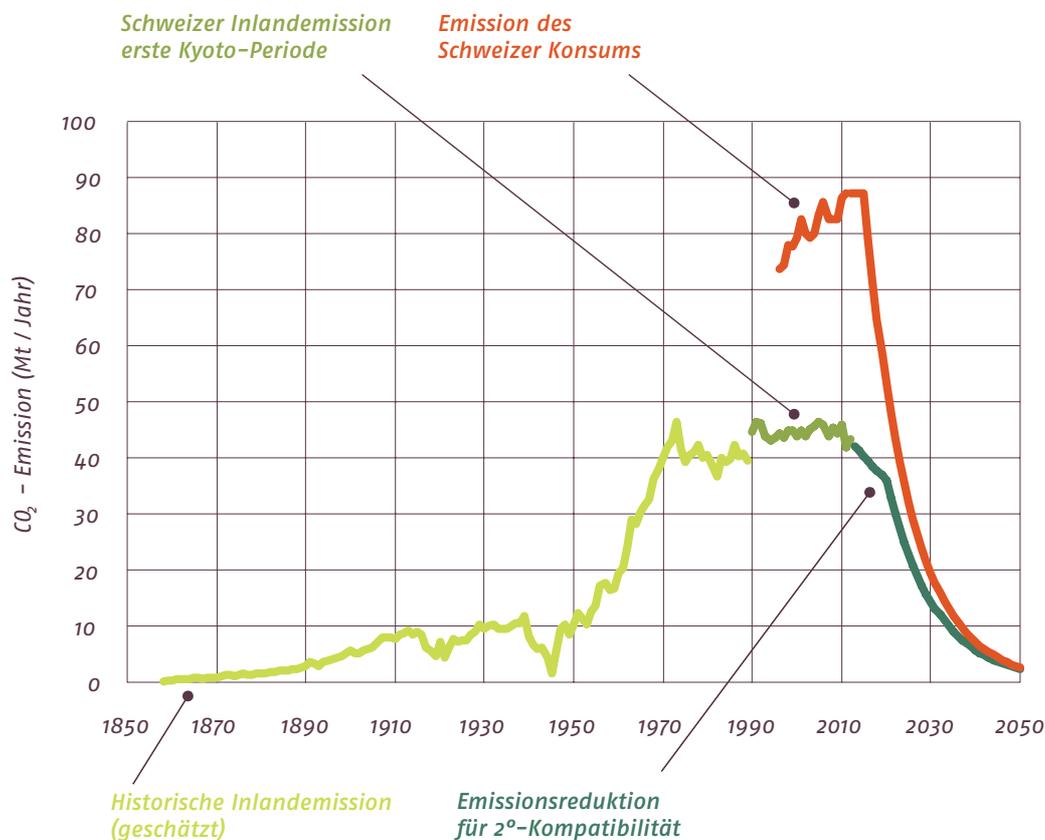
³ <http://waterfootprint.org/en/resources/water-footprint-statistics/#CP2>

Jahrzehnt, emittieren wir global immer schneller immer mehr. Vor dem Hintergrund, dass das Risiko eines «business as usual» Szenarios (mit einem globalen Temperaturanstieg bis 2100 von bis zu 4.5°C gegenüber 1870) untragbar gross ist, hat sich die Weltgemeinschaft 2009 darauf geeinigt, die Emissionen soweit zu reduzieren, dass die durchschnittliche globale Erwärmung mit grosser Wahrscheinlichkeit unter 2°C bleibt (2-Grad-Ziel). Dies bedeutet, dass wir in den 37 Jahren von 2013 bis 2050 global nur etwa so viel CO₂ ausstossen dürfen wie wir das in den letzten 20 Jahre getan haben (940 Mrd. Tonnen CO₂).



Figur 6
Veränderung der Erdoberflächentemperatur zwischen 1901 und 2012.
Für die weissen Flächen war die Datenunsicherheit zu hoch
um eine belastbare Aussage zu machen. (IPCC 2013a)

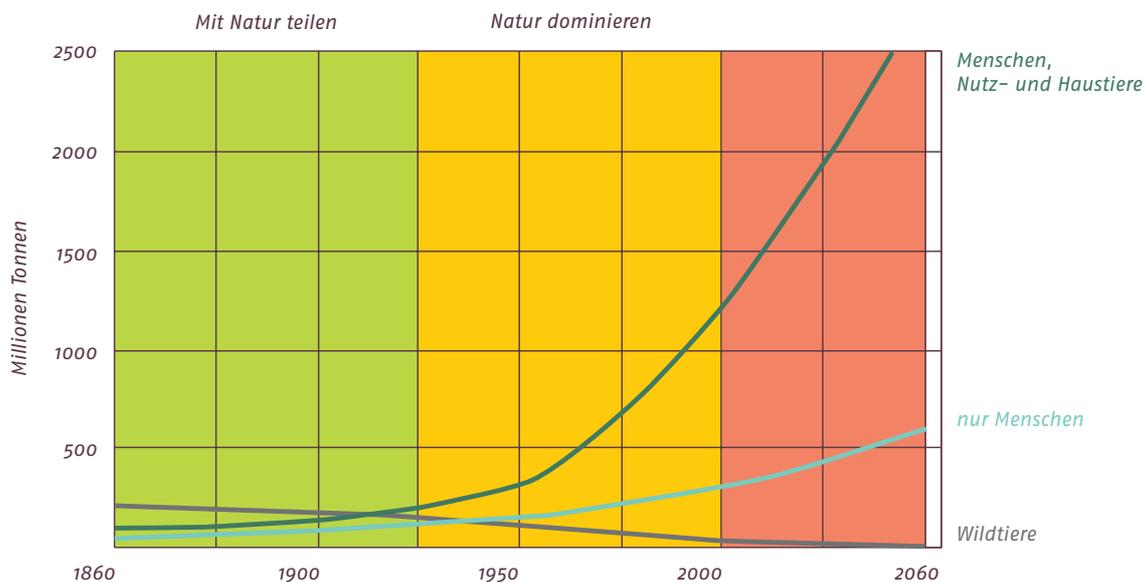
Innerhalb der Schweiz blieben die Treibhausgasemissionen in den letzten 24 Jahren praktisch konstant. Die durch den Konsum der Schweizer Bevölkerung verursachten Emissionen sind seit 1996 sogar um knapp 20% gestiegen. Um das im CO₂-Gesetz verankerte 2°C-Ziel zu erreichen, muss die Schweiz ihre Emissionen bis ins Jahr 2050 in der Grössenordnung von 85–95% reduzieren (siehe [Figur 7](#)). Global muss eine Reduktion um 50–70% erreicht werden. Der Klimawandel wirkt sich auch auf verschiedene andere Ressourcen aus: Als Treiber des Biodiversitätsverlusts, aufgrund der resultierenden Veränderung der weltweiten Wasserkreisläufe oder durch sich auswirkende Einflüsse auf die Produktion von biotischen Rohstoffen.



Figur 7

Historische CO₂-Emission der Schweiz und des Schweizerischen Konsums sowie die 2°-kompatiblen Absenkpfade. Es ist zu beachten, dass hier nicht die CO₂-äquivalenten Treibhausgase sondern nur das CO₂ dargestellt ist. Grund dafür ist, dass die zur Bestimmung des Absenkpades verwendete Methode – der sogenannte Budgetansatz – nur für CO₂ anwendbar ist.

Die Nutzung der **Biodiversität** als Ressource erfolgt als Beanspruchung der durch sie zur Verfügung gestellten Ökosystemdienstleistungen. Diese beinhalten Versorgungsleistungen (mit Nahrung, Wasser, Fasern etc.), Regulierungsleistungen (von Klima, Überschwemmungen, Schadstoffen etc.), kulturelle Leistungen (wie Bildung, Erholung etc.) und Unterstützungsleistungen (Nährstoffkreislauf, Bodenbildung etc.). Eine reichhaltige Biodiversität ist somit Voraussetzung für die Nutzung vieler anderer Ressourcen wie Wasser, Klima, Luft und biotische Rohstoffe. Die Biodiversität umfasst dabei drei Ebenen: die Vielfalt der Arten (Anzahl und Populationen) und innerhalb der Arten (genetische Variabilität) sowie der Reichtum unterschiedlicher Ökosysteme. Auf allen drei Ebenen ist derzeit – sowohl global als auch in der Schweiz – ein dramatischer Rückgang der Biodiversität zu verzeichnen (**Figur 8**).



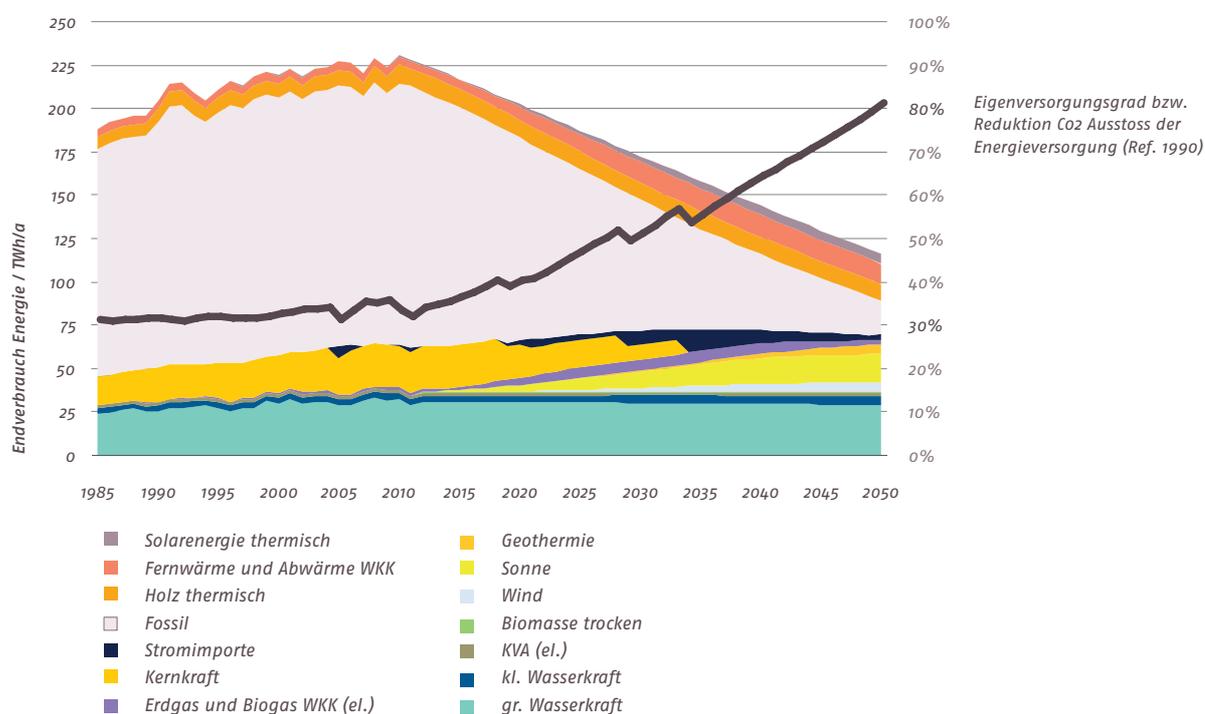
Figur 8
 Entwicklung der Biomasse von Wildtieren (Land- und Luft-Wirbeltiere),
 von Menschen und von Nutztieren. Quelle: Paul B. MacCready*

Haupttreiber dieses Rückgangs sind Verlust (in Anzahl und Qualität) sowie Fragmentierung von Lebensräumen, der Klimawandel, Schadstoffbelastungen, die Übernutzung biotischer Rohstoffe sowie das Einschleppen ortsfremder Arten. Um den Biodiversitätsrückgang einzudämmen, kommt der Erhaltung und dem Schutz von qualitativ hochstehenden zusammenhängenden Lebensräumen eine zentrale Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang sind in der Schweiz, wo die zunehmende Siedlungsfläche zu einer starken Fragmentierung von Lebensräumen führt, einschneidende Massnahmen nötig. So sollte die Siedlungsfläche auf dem heutigen Stand stagnieren und auch die von landwirtschaftlichen Bauten besetzte Fläche darf nicht weiter wachsen. Auch eine möglichst extensive Landwirtschaft ist unter Biodiversitätsgesichtspunkten zu begrüßen. Zusätzlich ist eine Reduktion der im Ausland durch den Schweizerischen Konsum bedrohten Tier- und Pflanzenarten um mindestens einen Faktor zwei nötig. Das kann vor allem erreicht werden, indem weniger nicht-nachhaltig produzierte Landwirtschaftsgüter importiert werden. Zuerst bietet sich da ein Verzicht auf Futtermittel an, was allerdings eine Reduktion des Konsumangebotes an tierischen Produkten bedeuten würde. Andererseits muss bei Konsumententscheidungen besser auf Biodiversitätsaspekte geachtet werden, was eine transparente Produktumweltinformation voraussetzt. Nicht zuletzt sollte sich die Schweiz auch im internationalen Kontext noch aktiver für den Schutz der Biodiversität einsetzen.

Obwohl **erneuerbare Energiequellen** nicht erschöpflich sind, können diese nur in dem Ausmass genutzt werden, wie der jeweiligen Quelle entzogene Energie regeneriert (erneuert) werden kann. Innerhalb der erneuerbaren Energieformen spielen heute weltweit die Bioenergie (in dieser Studie unter «Biotische Ressourcen») gefolgt von Wasserkraft, Sonnen- und Windenergie die grössten

* http://www.designfax.net/archives/o899/899trl_2.asp

Rollen. Die Geothermie und die Gezeitenkraft sind derzeit noch von untergeordneter Bedeutung. Die Nutzung erneuerbarer Energien unterliegt begrenzenden Faktoren, wie Landbedarf, Verfügbarkeit von, für gewisse Technologien benötigten, seltenen Rohstoffen, sowie weitere Einschränkungen (Biodiversitätsschutz, Landschaftsschutz etc.). Beispielsweise ist das Potenzial der Wasserkraft in der Schweiz heute bereits weitgehend ausgeschöpft. Mit der Reduktion fossiler Energieträger wird zukünftig sowohl in der Schweiz, als auch global mit einem signifikanten Anstieg der Nutzung erneuerbarer Energien gerechnet. Während für die Schweiz erwartet wird, dass die Wasserkraft und die Sonnenenergie die grösste Rolle spielen werden (*Figur 9*), hat die Windenergie global ebenfalls ein grosses Potenzial.



Figur 9
Entwicklung der Energieversorgung der Schweiz bis 2050 (Bolliger u. a. 2014)

Handlungsfelder für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen

Nicht alle natürlichen Ressourcen sind gleich stark übernutzt und die Nutzung einer natürlichen Ressource hat immer Auswirkungen auf mindestens eine andere natürliche Ressource. Unter Berücksichtigung dieser beiden Punkte wurden konkrete Ziele für die Schweiz in 5 Handlungsfeldern festgelegt (siehe *Tabelle 7*). Für andere Länder oder Regionen müssten die Ziele an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden, die Handlungsfelder hingegen sind von allgemeiner Gültigkeit. Werden diese Ziele erreicht, nutzt die Schweiz die ihr zustehenden natürlichen Ressourcen nachhaltig.

Tabelle 1

Handlungsfelder und Ziele für eine nachhaltige Ressourcennutzung der Schweiz

Landnutzung	<ul style="list-style-type: none">· keine weiteren Umwandlungen zu Siedlungsflächen· Verdichtung im bestehenden Siedlungsraum· Keine zusätzlichen Bauten innerhalb der Landwirtschaftszone
Wassernutzung	<ul style="list-style-type: none">· Minimaler Einsatz von Düngemittel· Minimaler Einsatz von Pestiziden und Herbiziden· Ersatz von hormonaktiven Chemikalien in Produkten
Rohstoff-gewinnung, biotische	<ul style="list-style-type: none">· Minimaler Einsatz von Düngemittel· Minimaler Einsatz von Pestiziden und Herbiziden· Kleinflächige Bewirtschaftungsstrukturen, Ausgleichsflächen und horizontale Strukturen auf Landwirtschaftsflächen fördern· Produktionsreduktion von Fleisch und anderen tierischen Nahrungsmitteln um 30-50%· Verzicht auf gentechnisch veränderte Organismen (GVO) in der Landwirtschaft· Reduktion von Nahrungsmittelabfällen· Produktion in Städte verlagern
Energie-bereitstellung	<ul style="list-style-type: none">· Effizienzpotenzial ausschöpfen· Reduktion des direkten und indirekten Verbrauchs fossiler Energieträger um 8% pro Jahr bis 2050. Danach auf Null bleiben· Konsequente Nutzung erneuerbarer Energien (unter Beachtung potenzieller negativer Nebeneffekte)
Rohstoff-gewinnung, nicht-fossile abiotische	<ul style="list-style-type: none">· Vermeiden von Kritikalität durch Monitoring des Verbrauchs kritischer Elemente und gegebenenfalls durch Substitution· Minimierung der Verluste in Gewinnung, Herstellung und Recyclingprozessen· Vermeiden von Entwaldung durch den Bergbau· Einhalten von internationalen Mindeststandards beim Abbau

Reduktion des Ressourcenverbrauchs – Generische Konzepte

Wie oben dargelegt ist sowohl weltweit als auch in der Schweiz in vielen Bereichen eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs angezeigt, um das Ziel eines nachhaltigen Wirtschaftens erreichen zu können. Vor diesem Hintergrund sollen hier einige generische Konzepte vorgestellt werden, die übergeordnete Gültigkeit haben und aus denen spezifische Massnahmen abgeleitet werden können. Im Zentrum steht dabei eine konsequente Internalisierung von externen Kosten unter Anwendung des Verursacherprinzips. Flankierend dazu können Labelling- oder Stewardshipprogramme, «Ecodesign» sowie Innovation und die Förderung gesellschaftlicher Trends, die in Richtung eines nachhaltigeren Umgangs mit natürlichen Ressourcen gehen, mithelfen, dieses Ziel zu erreichen.

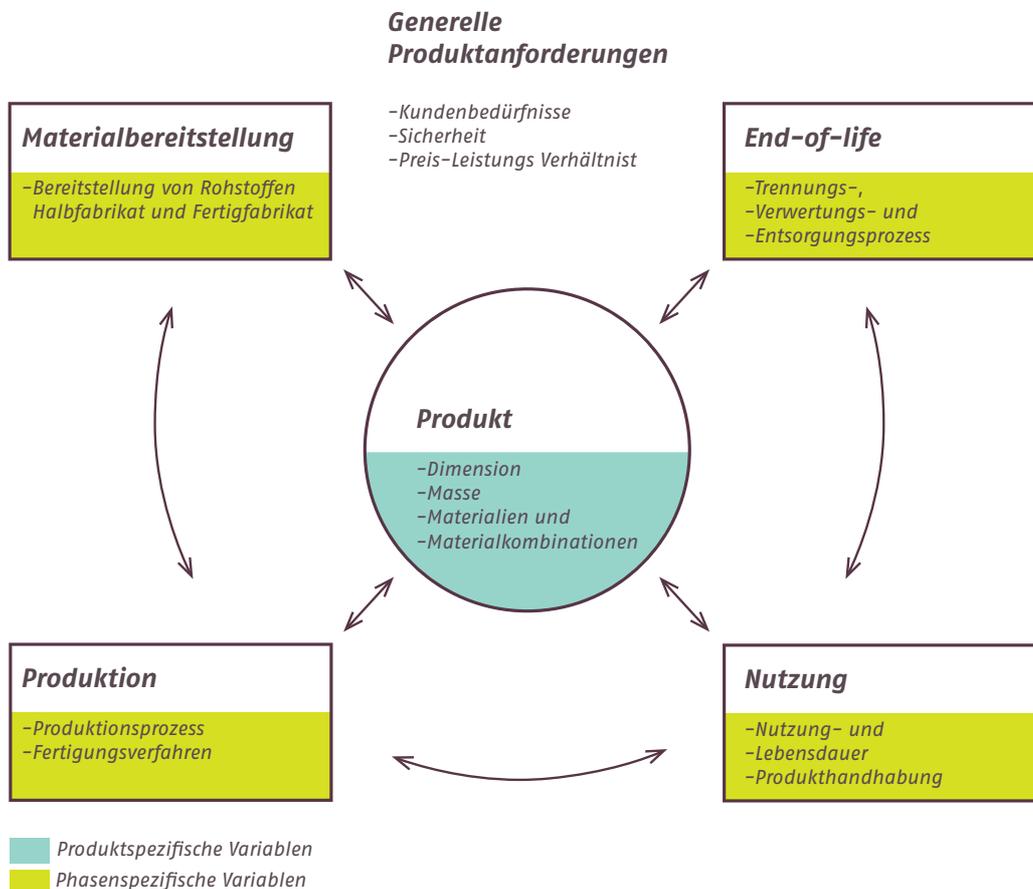
Wirtschaftliche Aktivitäten führen heute in den meisten Fällen direkt oder indirekt zu negativen Auswirkungen auf unbeteiligte Dritte, die Allgemeinheit oder die Umwelt. Sie verursachen also sogenannte **externe Kosten**, die nicht über Marktpreise abgegolten werden und so nicht in die Kostenkalkulation der Verursacher einfließen. Dadurch entsteht ein Marktversagen, das zur Übernutzung von Ressourcen führt. Dies gilt insbesondere für die Nutzung natürlicher Ressourcen, da diese häufig als Allmendegut kostenlos zur Verfügung stehen. Daher müssen die externen Kosten möglichst konsequent **internalisiert**, also zum Beispiel durch Gebühren oder Lenkungsabgaben dem Verursacher angelastet werden. Dies wird heute durch diverse Herausforderungen erschwert. So werden Versuche zur objektiven, korrekten Bestimmung anfallender externer Kosten oft von denjenigen, die vom aktuellen Marktversagen profitieren, heftig kritisiert. Dieselben Gruppen monieren in intensiver politischer Lobbyarbeit zudem standardmässig einen hohen administrativen Aufwand, den es zu Vermeiden gälte.

Trotzdem gibt es genügend Beispiele von effizienten Lenkungsabgaben oder anderen Internalisierungsmassnahmen, mit denen die nötigen Schritte zur Schonung der natürlichen Ressourcen erreicht werden konnten.

In einer von Wandel und Unsicherheit geprägten Welt reichen reine unternehmensinterne Effizienzbemühungen häufig nicht aus, um durch die Abhängigkeit von einzelnen Ressourcen verursachten Unternehmensrisiken entgegen-zutreten. Hier spielt der Ansatz des *Stewardship* eine entscheidende Rolle, wo in einem kooperativen Ansatz unter Einbezug aller involvierter Stakeholder (Unternehmen, Gemeinwesen, Behörden, Interessensvertreter, Konsumenten, NGO's etc.) Lösungen zu einem Ressourcenproblem entwickelt werden, die gleichermaßen ökologisch, wirtschaftlich und kulturell nachhaltig sind.

Aus Produzentensicht bieten *Standards* eine Reihe von Regeln, Anleitungen und Definitionen, die letztlich Verbesserungen der Umweltleistung von Unternehmen ermöglichen. Aus Umweltgesichtspunkten fällt in diesem Zusammenhang den Standards der ISO 14'000 Familie (Werkzeuge für ein systematisches Umweltmanagement) eine zentrale Bedeutung zu. Aus der Sicht von Konsumenten bieten *Labels* die Möglichkeit Verbesserungen durch informierte Kaufentscheide zu bewirken. Hersteller umweltschonender Produkte, können sich durch Labels am Markt differenzieren und so höhere Preise erzielen. Letztlich versteht man unter dem Begriff *Zertifikat* ein verbrieftes Recht natürliche Ressourcen nutzen zu dürfen (z.B. Emissionszertifikate). Nicht benötigte Zertifikate können verkauft werden, wobei eine hohe Nachfrage nach Zertifikaten eine Preissteigerung zur Folge hat, die einen Anreiz für ein ressourceneffizientes Handeln setzt. Unter Stromzertifikaten versteht man handelbare Herkunftsnachweise von Strom aus erneuerbaren Quellen.

Ecodesign verlangt vom Produktdesigner die Optimierung des Ressourcenverbrauchs seines Produktes mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus. Dabei müssen sämtliche Umweltauswirkungen eines Produktes von der Materialbereitstellung (über die gesamte Lieferkette vom Rohstoffabbau bis zur Bereitstellung von Bauteilen), über Entwicklung, Produktion und Nutzung bis zum Lebensende bedacht werden. Das Ziel besteht allerdings nicht in der Optimierung einzelner Phasen, sondern in der Maximierung der Ressourceneffizienz über alle Phasen. Wie eine solche Optimierung letztlich konkret aussieht, hängt sehr stark vom betrachteten Produkt ab, weshalb Ecodesign vielmehr ein Prozess (bzw. eine Denkhaltung) als ein standardisiertes Verfahren darstellt. Im Prozess der Optimierung sind die unterschiedlichen Aspekte produktspezifischer Variablen (wie Materialien, Materialkombinationen, Dimension, Masse) und phasenspezifischer Variablen (Materialbereitstellung, Produktion, Nutzung und End-of-life) – unter Berücksichtigung derer jeweiligen Wirkungszusammenhänge – zu beachten (*Figur 10*). Bei jeder Designentscheidung (z.B. der Materialwahl) müssen Vorteile (z.B. einfacheres Recycling am Lebensende) und potenzielle Nachteile (z.B. schwierigere Produktion) gegen einander abgewogen und unter Umweltgesichtspunkten bewertet werden.



Figur 10

Der Ecodesign-Zyklus. Produkte werden aus einer ganzheitlichen Sicht optimiert. Im Vordergrund stehen die Funktionen des Produktes, die häufig auf unterschiedliche Arten erfüllt werden können. Ecodesign sucht die bezüglich Ressourcennutzung optimale Möglichkeit, diese Funktionen zu erbringen.

Mehrere gegenwärtige gesellschaftliche und technische Trends haben einerseits das Potenzial, sich positiv auf die Nachhaltigkeit der Nutzung natürlicher Ressourcen auszuwirken, und bieten andererseits die Chancen neuer lukrativer Geschäftsmodelle für Schweizer Unternehmen. So spielen beispielsweise Statussymbole in Form von materiellen Gütern eine immer kleinere Rolle, während eine möglichst flexible Befriedigung von Bedürfnissen mit möglichst geringem zeitlichem und finanziellem Aufwand zunehmend wichtiger wird. Die moderne **Informationstechnologie** ist das ideale Mittel um diese Flexibilität zu ermöglichen. Dank den Möglichkeiten der Internettechnologie entstehen immer mehr virtuelle Verkaufs-, Teil- und Tauschbörsen. Solche Plattformen decken zum Beispiel das Bedürfnis nach Mitfahrgelegenheiten breit und sicher ab und haben Autostoppen fast zum Verschwinden gebracht. Konzepte dieser **sharing economy** eignen sich ganz besonders für Güter, die man nicht täglich oder täglich nur kurz braucht. Neben virtuellen Plattformen, welche das direkte Tauschen, Teilen und Verkaufen von Gütern und Dienstleistungen zwischen Konsumenten erlauben, können Unternehmen auch als Intermediär auftreten und so neue Geschäftsmodelle entwickeln. Dies gilt insbesondere bei kapital- und wartungsintensiven

Produkten (z.B. für Fahrzeuge, elektronische Geräte etc.), wo sich Unternehmen heute nicht mehr ausschliesslich als Produzenten und Verkäufer verstehen sondern zunehmend als Dienstleister. So bleibt zum Beispiel bei Renault die Batterie der Elektroautos im Besitz und in der Verantwortung (bzgl. Versicherung, Wartung, Reparatur, Entsorgung etc.) der Unternehmung, während der Kunde im Abonnement die Dienstleistung «Fahren» kauft. Dies führt zu einem sparsameren Umgang mit Ressourcen, da so für ein Unternehmen ein Anreiz besteht, sein Produkt in Bezug auf Haltbarkeit, Wartung, Lebensdauer und Adaptierfähigkeit zu optimieren. Ebenso bleibt das Herstellerunternehmen am Ende der Lebensdauer für das Produkt verantwortlich und kann so auf sein eigenes Lager an Sekundärrohstoffen zurückgreifen.

Da die Produktion von Nahrungsmitteln ein signifikanter Treiber des Ressourcenverbrauchs darstellt, kommt dem Bereich der **Ernährung** eine wichtige Rolle zu. Konkret muss die landwirtschaftliche Produktion optimiert werden, Nahrungsmittelverluste müssen reduziert werden und die anfallenden Nahrungsmittelabfälle müssen besser verwertet werden. Auch hier könnte eine Internalisierung von externen Kosten einen wichtigen Beitrag zu ressourcenschonenderem Handeln leisten. Die Konsumenten können zu einer Senkung des Ressourcenverbrauchs beitragen indem sie auf Saisonalität und Lokalität von Nahrungsmitteln achten und weniger tierische Produkte verlangen. Doch eine nachhaltige Ernährung soll vor allem auch Freude machen und genau da setzt der neue Trend zu **Urban Farming** an. Das bezeichnet den Anbau von Nutzpflanzen und die Zucht von Nutztieren in städtischen Gebieten. Urban Farming kann dazu beitragen, den Bezug der Stadtbevölkerung zur Lebensmittelproduktion zu stärken und so Nahrungsmitteln wieder einen anderen Wert zu geben. Daneben trägt Urban Farming natürlich auch direkt zu einer erhöhten Nahrungsmittelproduktion bei, ohne dass zusätzliche Agrarflächen benötigt werden. Weitere Vorteile des Urban Farming sind die Schaffung von Raum für die städtische Biodiversität, die Verwertung von städtischen Abfällen als Kompost, kürzere Transportwege und der Zugang zu frischen Nahrungsmitteln in der Stadt.

Verschiedene technologische Weiterentwicklungen bieten ein tiefgreifendes Veränderungspotenzial hin zu einem sparsameren Umgang mit Ressourcen. So kann beispielsweise die Technologie des **3D-Printings** Produktionsabfälle minimieren und zentrale durch dezentrale Produktion ersetzen (Ersatzteile können dereinst bei Bedarf vor Ort gedruckt werden, womit Transporte vermieden werden). Auch neue **Informations- und Kommunikationstechnologien** ermöglichen ressourcenfreundlichere Arbeitsformen. So könnten diese zum Beispiel das tägliche Pendeln zum Arbeitsplatz oder das Reisen zu internationalen Treffen drastisch reduzieren. Allerdings müssen Rebound Effekte – also der Umstand, dass gesteigerte Effizienz oft durch zusätzlichen Verbrauch zumindest teilweise kompensiert wird – bei solchen Trends immer kritisch beobachtet – und im Sinne eines nachhaltigen Umgangs mit natürlichen Ressourcen – vermieden werden.

1 Einleitung & Definition des Ressourcenbegriffs

Der Cleantech Ressourcenstrategie liegt die Vision einer Welt zugrunde, in der natürliche Ressourcen (Definition siehe Box 1) nachhaltig genutzt werden. Darunter verstehen wir eine Nutzung, die langfristig erlaubt die Bedürfnisse aller Menschen so weit zu befriedigen, wie das unter Berücksichtigung von ökologischen Rahmenbedingungen möglich ist, und gleichzeitig den anderen Lebewesen genügend Raum für deren Leben bietet. Davon sind wir im Moment noch weit entfernt! Es gibt verschiedene Methoden, die versuchen den globalen Ressourcenverbrauch oder auch den von Nationen zu messen und in Relation zu einem langfristig vertretbaren Verbrauch zu stellen (siehe **Box 2**). Die Resultate unterscheiden sich in Details, je nach dem, auf welche Ressourcen die jeweilige Methode fokussiert und welcher Verbrauch als «vertretbar» angenommen wird. Einig sind sich aber alle Methoden in einem: Die Welt zehrt in Bezug auf natürliche Ressourcen von der Substanz statt von den «Zinsen» zu leben. Und nicht nur das: wir belasten die natürlichen Ressourcen immer schneller immer stärker. Das heisst, dass unser aktueller Ressourcenbedarf auf Dauer die Grundlagen für ein Leben in Ordnung und Wohlstand zerstört. «Weiter wie bisher» kann also keine Option sein. Wir müssen den längst anstehenden Paradigmenwechsel durchführen und Wohlstand vom Ressourcenverbrauch entkoppeln. Nur wenn es gelingt eine wirtschaftliche Entwicklung zu erreichen, die nicht auf der Ausbeutung billiger natürlicher Ressourcen basiert, kann eine nachhaltige Welt Realität werden.

So strebt die Cleantech Ressourcenstrategie ein qualitatives Wachstum an, also eine Zunahme an Wirtschaftsleistung ohne negative Einflüsse auf Ökologie und Gesellschaft. Dazu muss eine Verbesserung der Ressourceneffizienz⁵ erreicht werden. Natürlich könnte aus einer nationalen Perspektive der Ressourcenverbrauch auch ohne Effizienzsteigerung reduziert werden, indem die ressourcenintensiven Produktionsschritte in ein anderes Land verschoben werden. Das mag in speziellen Fällen angebracht sein, zum Beispiel wenn eine stromintensive Produktion in ein Land verschoben wird, in dem umweltfreundlicher erneuerbarer Strom günstiger und in grossen Mengen zur Verfügung gestellt werden kann. Allerdings verschiebt man damit auch Arbeitsplätze und Wertschöpfung ins Ausland, was aus einer nationalen Perspektive natürlich als trade-off berücksichtigt werden muss. In den meisten Fällen ist es aber auch aus Sicht der Schonung natürlicher Ressourcen nicht zielführend, den Ressourcenverbrauch nur geographisch oder zeitlich zu verschieben. Die geforderte Entkopplung von Ressourcenverbrauch und Wohlstand muss ganzheitlich – in einer globalen Dimension – stattfinden. Es braucht also eine Lebenszyklusperspektive, in der die Ressourcenverbräuche über die ganze Versorgungskette der Produktion und noch weiter über den Gebrauch der Güter und deren Verwertung oder Entsorgung am Lebensende mit einbezogen werden.

Eine Erhöhung der Ressourceneffizienz kann für Länder oder Regionen, die von der Förderung von natürlichen Rohstoffen leben, bedeuten, dass sie Alternativen für Ihre wirtschaftliche Aktivität suchen müssen. Oder sie können dank steigenden Rohstoffpreisen bei geringerer Produktion den Ertrag stabil halten. Das mag eine Herausforderung sein, doch müsste dieser Schritt spätestens dann sowieso erfolgen, wenn der Rohstoff (lokal) erschöpft ist. Eine frühzeitige Umstellung bietet die Chance eines geplanten Umbaus, der gegebenenfalls auch Korrekturen und Adaptionen erlaubt. Für ein Land wie die Schweiz, das nur sehr begrenzt über natürliche Rohstoffe verfügt, bringt eine Verbesserung der Ressourceneffizienz hingegen praktisch nur Vorteile. Der Verbrauch von importierten Gü-

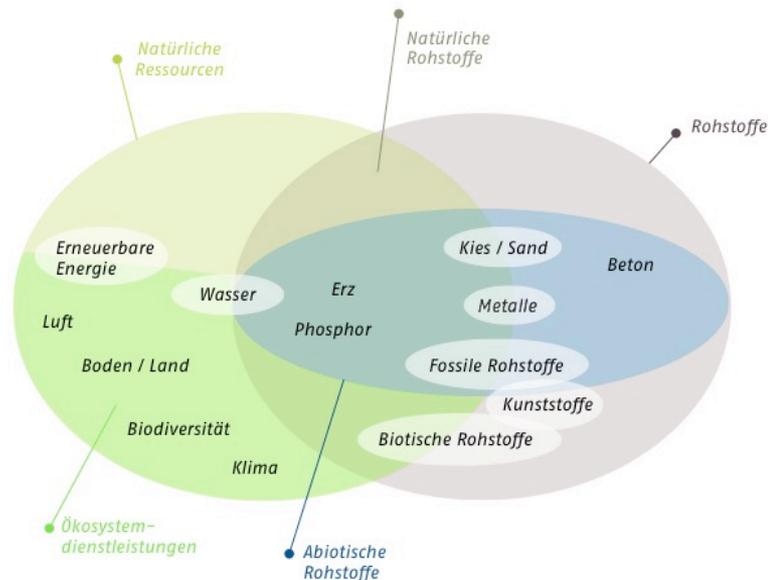
⁵ Unter Ressourceneffizienz verstehen wir das Verhältnis von erreichtem Nutzen (Wohlfahrt) zu der dazu eingesetzten Menge an Ressourcen.

tern, deren Ressourcenverbrauch im Ausland liegt, trägt nämlich kaum direkt zur Wertschöpfung in der Schweiz bei. Im Gegenteil: Höhere Ressourceneffizienz führt direkt zu einer geringeren Nachfrage nach Importen, was sich positiv auf unser Bruttoinlandprodukt auswirkt.

Box 1
Definitionen natürliche Ressourcen / natürliche Rohstoffe

Der Begriff «natürlichen Ressourcen» umfasst neben Land, Wasser und Rohstoffen für die Energie- und Materialbereitstellung auch die Ökosystemdienstleistungen⁶, die Grundlage für unser Leben und Wirtschaften sind. Schütz und Bringe zu definieren den Begriff so: «Natürliche Ressourcen umfassen im weiteren Sinne alle Funktionen des Ökosystems Erde sowie des Sonnensystems, die vom Menschen direkt oder indirekt genutzt werden oder genutzt werden können bzw. die die Grundlage seines (Über-)Lebens und Wirtschaftens und der Ko-Existenz mit der Natur darstellen.» (Schütz u. a. 2008).

Der Begriff «Natürliche Rohstoffe» bezeichnet nur die als Grundstoffe gewonnenen natürlichen Ressourcen. Dazu gehören also zum Beispiel Steine, Erze, Kohle, Rohöl oder sämtliche land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnisse. Nicht dazu zählen die unterstützenden oder regulierenden Ökosystemdienstleistungen wie zum Beispiel Klimaregulation, Abbau von Abfällen oder natürliche Wasserreinigung. Auch die eingestrahlte Solarenergie gilt nicht als Rohstoff.



Figur 11
Definition (natürliche) Ressourcen und (natürliche) Rohstoffe

⁶ Ökosystemdienstleistungen beinhalten Versorgungsleistungen (mit Nahrung, Wasser, Fasern etc.), Regulierungsleistungen (von Klima, Überschwemmungen, Schadstoffen etc.), kulturelle Leistungen (wie Bildung, Erholung, Kunst, etc.) und Unterstützungsleistungen (Nährstoffkreislauf, Bodenbildung etc.).

Eine Ressourcenwende verlangt nach Lösungen, die zu entwickeln die Schweiz mit ihrer Wirtschaftsstruktur, mit ihrem hohen Ausbildungsstand und mit ihrem innovativen Forschungs- und Werkplatz prädestiniert ist. Der anstehende Paradigmenwandel und die Umstellung auf einen nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen stellt für die Schweiz eine wichtige Chance dar, dank der wir unsere «pole position» im internationalen Vergleich werden halten und festigen können. Ein Umdenken und Umlenken heute führt uns zu einer tripple-win-situation, in der wir erstens langfristig unsere Lebensgrundlage und zweitens unseren Wohlstand sichern können. Drittens können wir ein zukunftsfähiges Entwicklungsmodell präsentieren, das Schweizer Unternehmen neue Chancen eröffnen wird.

Tabelle 2

Risiken von »business as usual« vs Chancen einer Transformation zu nachhaltiger Ressourcennutzung

<i>Risiken vom <u>business as usual</u> Pfad</i>	<i>Chancen von Übergang zu nachhaltiger Ressourcennutzung</i>
<i>Zerstörung des natürlichen Lebensraumes</i>	<i>Sicherung der Natürlichen Lebensgrundlage</i>
<i>Umweltrisiken, Kritikalität</i>	<i>Investitionssicherheit</i>
<i>Steigende Preise</i>	<i>Starke Positionierung und Wettbewerbsfähigkeit</i>
<i>Hohe Auslandsabhängigkeit</i>	<i>Reduktion von Importen, Versorgungssicherheit</i>

In der vorliegenden Cleantech Ressourcenstrategie wollen wir den Status quo und unsere Ziele für 2050 bezüglich Ressourcennutzung aufzeigen und soweit wie möglich auch quantifizieren. Weiter entwickeln wir konkrete Handlungsempfehlungen für unterschiedliche Akteure und diskutieren diese bezüglich ihren potenziellen trade-offs und co-benefits. Im Fokus steht, wie verschiedene Wirtschaftssektoren und wie die Konsumenten zu einem nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen beitragen können und welche (politischen und wirtschaftlichen) Rahmenbedingungen die richtigen Anreize dazu schaffen.

2 Grundsätze und Vorgehen

2.1 Wie gehen wir grundsätzlich vor?

Die Cleantech Ressourcenstrategie will die Vision eines nachhaltigen Umgangs mit natürlichen Ressourcen auf messbare Ziele herunterbrechen und daraus ableiten, wie eine nachhaltige Ressourcennutzung in der Schweiz bzw. durch die Schweiz bis 2050 erreichbar wäre. Es sollen also Schritte identifiziert werden, mit deren Umsetzung heute begonnen werden muss, damit dieses Ziel erreichbar wird. Dazu folgt die Cleantech Ressourcenstrategie einem mehrstufigen Verfahren:

1. Wir bestimmen geeignete Indikatoren um die Verfügbarkeit, Qualität⁷ oder Kritikalität⁸ der natürlichen Ressourcen zu messen.
2. Wir analysieren den aktuellen globalen Verbrauch an natürlichen Ressourcen sowie den Schweizer Verbrauch aus Produktions- und Konsumperspektive.
3. Wir analysieren die zu erwartende Entwicklung des Ressourcenverbrauchs bis 2050.
4. Wir definieren die globalen Grenzen für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen und leiten daraus Grenzwerte für die Schweiz ab.
5. Wir analysieren welche natürlichen Ressourcen relevant⁹ sind und identifizieren Handlungsfelder, Massnahmen und deren Potenzial zur Einsparung von Ressourcenverbrauch unter Berücksichtigung von möglichen trade-offs und co-benefits.

Die grundlegenden Annahmen und Werthaltungen sowie das grundsätzliche Vorgehen für die Schritte 1 bis 5 werden in den folgenden Unterkapiteln (2.2 bis 2.5) dargelegt. In den Unterkapiteln von Kapitel 3 folgen die inhaltlichen Beschreibungen von Indikatoren, Verbrauch, Trends und Grenzen für jede einzelne natürliche Ressource.

2.2 Welche Ressourcen betrachten wir?

Mit Bezug auf die Definition von natürlichen Ressourcen, die wir in dieser Arbeit anwenden, werden die folgenden Kategorien näher betrachtet:

Mit der Boden / Land Kategorie meinen wir einerseits die Landfläche, andererseits auch die Bodenqualität, die einen Einfluss auf die Produktivität des Landes hat. Analog meinen wir mit Wasser den eigentlichen Rohstoff wie auch dessen Qualität. Bei Luft hingegen sprechen wir nur von der Qualität. Der Sauerstoff in der Luft ist zwar ein wichtiger Produktionsfaktor in Verbrennungsprozessen, der aber nie ein knappes Gut werden wird. Entsprechend darf die Betrachtung hier vereinfacht werden. Bei der Ressource «Klima» geht es um die Stabilität des Klimasystems, bei deren Verlust mit weitreichenden Konsequenzen

⁷ Ein Qualitätsmerkmal wäre zum Beispiel wie aufwändig die Nutzung einer Ressource ist (ein Erz mit hoher Metallkonzentration ist qualitativ besser als ein Erz desselben Typs mit tiefer Metallkonzentration). Bei Betrachtung von Ökosystemen als Ressource steht Qualität für die Fähigkeit Dienstleistungen zu erbringen.

⁸ Kritisch sind die wichtigen und unersetzlichen Ressourcen, bei denen ein erhöhtes Risiko besteht, dass das Angebot die Nachfrage limitiert.

⁹ relevant in Bezug auf existierende oder potenzielle Knappheit der Ressource.

für sämtliche Ökosystemdienstleistungen gerechnet werden müsste. Ähnliches gilt für die Biodiversität, die nicht nur ihres intrinsischen Wertes wegen wichtig ist, sondern auch die Basis des gesamten Ökosystems bildet und den daraus gewonnenen Nutzen für die Menschheit sichert. Mit der Ressource der erneuerbaren Energie meinen wir Solar-, Wind, Gezeiten- und geothermische Energie, die wir technisch nutzen können. In Biomasse (z.B. Holz) gespeicherte erneuerbare Energie hingegen fällt unter die Kategorie der biotischen Rohstoffe.

2.3 Welche Grundsätze wenden wir an, um Messsysteme zu definieren?

Das Ergebnis einer Messung hängt immer wesentlich davon ab, welches Messsystem man verwendet. Viele Statistiken messen zum Beispiel Importe von Gütern in Masse während andere Statistiken dieselben Importe in Geldwerten angeben. Natürlich hat zum Beispiel der Import von Gold gegenüber dem Import von Kohle ein ganz anderes Gewicht, je nach dem ob man Importe in Masse oder in Geldwert misst¹⁰. Dasselbe gilt für die Messung von allen natürlichen Ressourcen. Man kann zum Beispiel fossile Energieträger in Masse, in Volumen, in Energieeinheiten oder in Geldwerten messen und zeichnet jeweils ein anderes Bild. Die Auswahl des Messsystems an sich beinhaltet also schon eine unvermeidbare, nicht objektive Wertung.

Mit dieser Tatsache vor Augen wählen wir das Masssystem für alle Ressourcen so, dass es die – aus Ressourcensicht – relevanten Themen vernünftig abbildet. Grundsätzlich tun das physikalische Grössen wie Massen, Flächen oder Volumen eher besser als ökonomische. Der Preis für Materialien oder Energieträger ist zwar aus Sicht der Unternehmungen, die diese Materialien benötigen sehr relevant. Er wird aber von zu vielen Faktoren beeinflusst, die mit der Knappheit oder negativen Auswirkungen der Produktion dieser Güter nichts zu tun haben. Entsprechend sind Preise von Gütern meist keine guten Indikatoren um Aussagen über deren Einfluss auf natürliche Ressourcen zu machen.

Ein zweiter Punkt bei der Auswahl von Indikatoren ist, dass sie möglichst einfach verständlich sind. Gleichzeitig sollen sie aber auch mit möglichst geringen Unsicherheiten behaftet sein. Das ist oft ein Zielkonflikt. Je einfacher verständlich Indikatoren sind, desto schwieriger ist deren Bestimmung. Damit werden deren Unsicherheiten immer grösser. In solchen Fällen gilt es Verständlichkeit gegen Genauigkeit abzuwägen und einen guten Kompromiss zu finden.

Eine wichtige Einschränkung bei der Auswahl von Indikatoren ist immer auch die Verfügbarkeit von international vergleichbarer Information. So gibt es zum Beispiel eine Reihe von guten und wichtigen Indikatoren um Biodiversität zu beschreiben. Mit solchen Indikatoren kann man – auch wieder als Beispiel – Veränderungen im Zustand eines spezifischen Gebietes beobachten, oder man kann die Zustände von zwei spezifischen Gebieten miteinander vergleichen. Leider gibt es aber nur für relativ wenige, kleine Gebiete quantitative Werte für diese Indikatoren. Eine Aussage über den Zustand eines ganzen Landes oder sogar der Welt anhand dieser Indikatoren ist also nicht möglich. Auf dieser Ebene müssen wir aufgrund der Datenverfügbarkeit auf gröbere Indikatoren oder Proxys zurückgreifen, wie zum Beispiel die Nutzung von Landflächen.

¹⁰ In 2011 importierte die Schweiz knapp 2'700 t Gold im Wert von rund 96'000 Millionen Franken. Im selben Jahr importierte die Schweiz rund 210'000 t Kohle im Wert von rund 10 Millionen Franken.

Im folgenden **Kapitel (3)** zu den einzelnen Ressourcenklassen beschreiben wir jeweils im ersten Unterkapitel «worum geht es?», aufgrund welcher Überlegungen wir die Indikatoren für die Klasse gewählt haben.

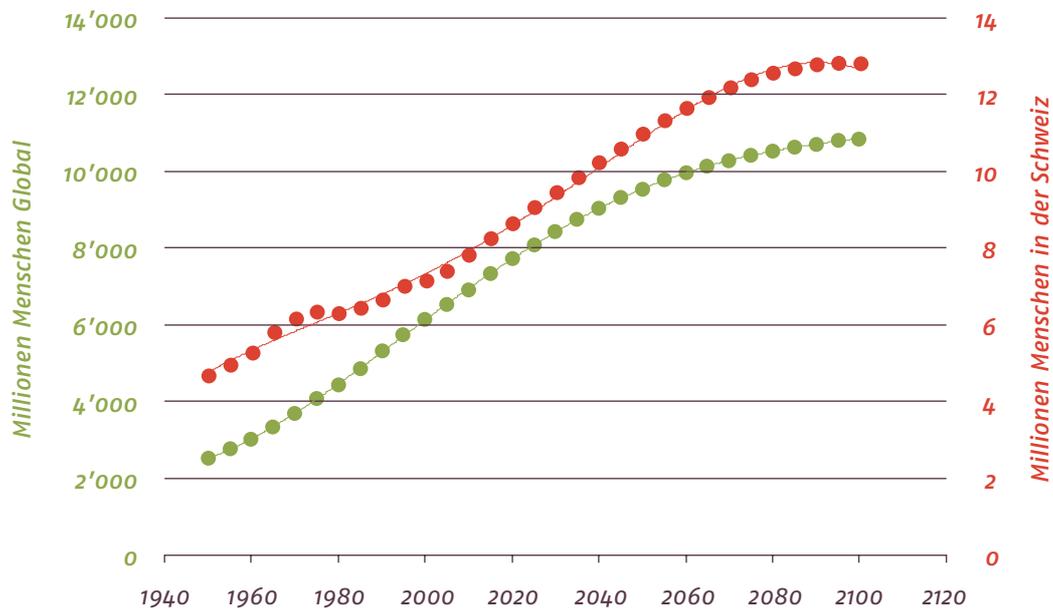
2.4 Wie bestimmen wir Verbrauch und Belastungsgrenzen?

Den Ressourcenverbrauch und die Belastungsgrenzen bestimmen wir jeweils aus globaler und aus nationaler Sicht. Für die Bestimmung des Verbrauchs beziehen wir uns wenn möglich auf offizielle Statistiken von UN-Unterorganisationen (FAO, UN-STAT, WHO, etc.) oder anderen internationalen Körperschaften wie der Internationalen Energie Agentur (IEA), oder auch vom Statistischen Amt der Schweiz (BFS). Liessen sich von diesen Quellen keine geeigneten Daten beschaffen, haben wir uns auf solche von Verbänden oder Nichtregierungsorganisationen (NGO), die sich spezifisch mit einer Ressource oder Ressourcenkategorie befassen, abgestützt. Grundsätzlich haben wir möglichst aktuelle Daten gewählt, jedoch immer auch darauf geachtet, dass diese nicht aufgrund eines aussergewöhnlichen Einflusses verzerrt sind. So könnte zum Beispiel ein aussergewöhnlich warmer Winter in der Schweiz den Energiebedarf signifikant verringert haben oder eine lange Schlechtwetterperiode im Sommer den Ertrag von Solarenergieanlagen beeinträchtigt haben.

Für die Abschätzung von zukünftigen Entwicklungen des Verbrauchs natürlicher Ressourcen bezogen wir uns wenn immer möglich auf vorhandene Studien. Falls keine geeigneten Informationen gefunden wurden, haben wir aufgrund von Trends in den letzten Jahren und eigenen Einschätzungen von relevanten künftigen Entwicklungen versucht, die Tendenzen einzuschätzen.

Um Grenzen für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen festzulegen braucht es zuerst ein durchführbares Konzept von Nachhaltigkeit und nachhaltiger Entwicklung. Die swisscleantech-Definition von nachhaltiger Entwicklung (verbatim im Glossar aufgeführt) basiert grundsätzlich auf der sogenannten Brundtland Definition (World Commission on Environment and Development 1987). Diese Definition ist im Grundsatz kaum bestritten, doch gibt es verschiedene Auslegungen, wenn es um die Operationalisierung geht. Zwei viel diskutierte konkurrierende Konzepte sind die «starke» versus die «schwache» Nachhaltigkeit. Starke Nachhaltigkeit geht davon aus, dass Ressourcen nur sehr beschränkt substituierbar sind, während für die schwache Nachhaltigkeit jede Ressource praktisch vollständig durch eine andere ersetzt werden kann. Beide Konzepte erweisen sich, konsequent zu Ende gedacht als schwierig:

Wir wählen einen pragmatischen Weg zwischen den Extremen, auf dem wir eine gewisse Substituierbarkeit unterschiedlicher Ressourcen zulassen aber immer darauf achten, dass dabei keine natürliche Ressource soweit genutzt oder eben gar geschädigt wird, dass dies die Möglichkeiten für künftige Generationen wesentlich beschränken würde. Dieser Ansatz ist im Prinzip vergleichbar mit dem «schwache Nachhaltigkeit plus» Ansatz des Schweizer Bundesrates.



Figur 12
 Bevölkerungs-Entwicklungs- und Wachstumsszenario der UN¹¹:
 Global (grün) 9,5 Milliarden Menschen in 2050, Schweiz (rot) 11 Millionen Menschen in 2050. Die Wahl dieser relativ starken Entwicklung der Schweizer Bevölkerung gemäss dem «hohen Szenario» des Bundesamtes für Statistik entspricht einer konservativen Abschätzung der pro Kopf zur Verfügung stehenden Mengen an natürlichen Ressourcen.

¹¹ Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2012 Revision

Dieser Logik folgend, überlegen wir, wie viele Menschen es in Zukunft geben wird (*Figur 12*) und welche natürlichen Ressourcen (in Menge und in Qualität) dem entsprechend benötigt werden, um deren Grundbedürfnisse nach gesunder Atemluft, gesundem Trinkwasser, gesunder Ernährung, Schutz und einem intakten sozialen Umfeld zu befriedigen. Auf dieser Basis sowie unter Berücksichtigung, dass der Mensch nicht die einzige Spezies ist, die natürliche Ressourcen benötigt, legen wir globale Grenzen fest, die eine lebenswerte Zukunft sichern sollen.

Um die globalen Grenzen auf die Schweiz herunter zu brechen kommt man nicht darum herum sich über Ressourcengerechtigkeit Gedanken zu machen. In Anlehnung an die Theorie der Gerechtigkeit (Rawls 1999) stellen wir uns auf den Standpunkt, dass jeder Mensch grundsätzlich dasselbe Recht auf natürliche Ressourcen hat. Das bedeutet letztendlich, dass der Ressourcenverbrauch pro Kopf überall auf der Welt in etwa ausgeglichen sein sollte. Natürlich soll, kann und muss nicht eine vollständig ausgeglichene Situation angestrebt werden. So kann der Nutzen einer Ressource zum Beispiel stark vom geographischen und kulturellen Kontext abhängen und damit Unterschiede im Verbrauch gewisser Ressourcen nicht nur rechtfertigen, sondern geradezu verlangen¹². Aber damit können die heute im globalen Kontext bestehenden Unterschiede – aus wirtschaftsethischer Sicht – nicht gerechtfertigt werden. Etwa ein Viertel der Menschheit verbraucht heute rund drei Viertel der natürlichen Ressourcen¹³. Damit diesbezüglich in den nächsten Jahrzehnten ein Ausgleich approximiert werden kann, sind den Entwicklungsländern viel mehr Ressourcen zuzugestehen – für den Aufbau, der Infrastruktur, die eine nachholende Entwicklung erst möglich macht. Ohne dass sich Wohlstand und Lebensqualität dieser Länder annähern, muss mit einer weiteren Zunahme von sozialen Unruhen und gewalttätigen Auseinandersetzungen gerechnet werden, was einer kurzfristigen Verknappung von Rohstoffen Vorschub leisten kann und langfristig auch die reichen Regionen destabilisieren würde. Allerdings besteht andererseits die Gefahr, dass eine zu rasche Reduktion des Ressourcenverbrauchs in den reichen Volkswirtschaften zu einem Kollaps des globalen Wirtschaftssystems führt, was wiederum auch die Behinderung einer angemessenen Entwicklung der ärmeren Regionen zur Folge hätte. Entsprechend müssen Entwicklungspfade ausgehandelt werden, auf denen der Ressourcenverbrauch der reichen Ökonomien einem konkret festgelegten Absenkpfad folgt, während derjenige von Entwicklungsländern noch steigen darf. Dieser Pfad muss auch aus Sicht der Entwicklungsländer gerecht und die Angehensweise vor allem glaubwürdig sein. Er muss nicht nur die Grenzen der natürlichen Ressourcen berücksichtigen, sondern auch die Grenzen der Adaptionfähigkeit des Wirtschaftssystems. Der vorgezeichnete Weg gibt den Unternehmen eine Planungssicherheit, dank der die ambitionierten Ziele erreichbar werden, ohne dass das Vorgehen zu einer disruptiven Entwicklung ausartet. Dank der kontinuierlichen Senkung des Verbrauchs in den reichen Weltregionen stehen so immer mehr Ressourcen für die Entwicklung der ärmeren Regionen zur Verfügung. Dieses Vorgehen wird durch den reduzierten Verbrauch von natürlichen Ressourcen in den reichen Ländern ermöglicht. Das birgt Chancen für diejenigen Länder, die proaktiv ihre Wirtschaft auf Cleantech umstellen und dadurch einen hohen Wohlstand erhalten können. Nationen hingegen, welche die Zeichen der Zeit nicht erkennen und die Rahmenbedingungen für ihre wirtschaftliche Entwicklung nicht den neuen Herausforderungen entsprechend anpassen, werden weiterhin in

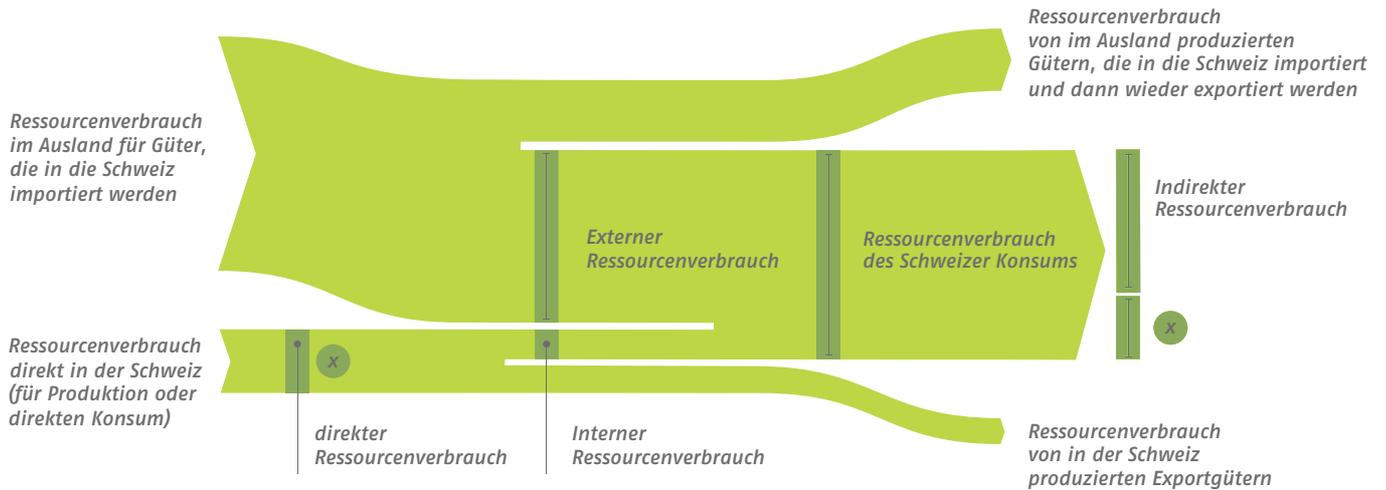
¹² Zum Beispiel ist die Bedeutung von Walfleisch in der Schweizer Küche eine ganz andere als auf dem Speiseplan der Inuit in Grönland.

¹³ Andere Quellen sprechen sogar von einem Fünftel, der vier Fünftel verbraucht.

nicht zukunftsfähige Technologien und Infrastrukturen investieren. Diese Länder werden sich in ein oder zwei Jahrzehnten gezwungen sehen, sehr rasche Adaptationen zu machen, die viel schmerzhafter und kostspieliger sein werden als ein geordnetes, frühzeitiges Vorgehen.

Aufgrund der Forderung nach Ressourcengerechtigkeit, die direkt den Prinzipien der nachhaltigen Entwicklung folgt, müssen Grenzwerte für den Verbrauch natürlicher Ressourcen also auf einer pro Kopf Basis definiert werden. Das impliziert, dass die Messung des Ressourcenverbrauchs innerhalb von nationalen Grenzen nicht genügt. Die Verbräuche, die mit Importen und Exporten zusammenhängen, müssen mit in die Rechnung einbezogen werden. Da aber aus einer Wirtschafts- und Politikperspektive die nationale Sicht ebenfalls sehr wichtig ist, betrachten wir die Situation der Schweiz aus beiden Blickwinkeln (*Figur 13*): Aus der nationalen Sicht beobachten wir den «direkten Ressourcenverbrauch», also den Verbrauch, der innerhalb der Schweizer Grenzen stattfindet. Ein Teil dieses Ressourcenverbrauchs wird mit den exportierten Gütern ins Ausland verschoben. In der Schweiz bleibt der «interne Ressourcenverbrauch». Gleichzeitig wird der Ressourcenverbrauch von importierten Gütern aus dem Ausland in die Schweiz verschoben. Auch von den Importierten Gütern wird ein Teil wieder exportiert. Damit wird der daran hängende Ressourcenverbrauch ebenfalls ins Ausland zurückgeschoben. Der Ressourcenverbrauch, der von den Importen in der Schweiz bleibt, nennen wir den «externen Ressourcenverbrauch». Interner und externer Ressourcenverbrauch ergeben zusammen den Ressourcenverbrauch des Schweizer Konsums. Die Unterscheidung von Ressourcenverbrauch aus Exporten von in der Schweiz produzierten Gütern und Re-exporten von importierten Gütern ist in der Praxis oft kaum möglich. Darum sind neben dem direkten Ressourcenbedarf oft nur Informationen zum Ressourcenverbrauch von Importen und den gesamten Exporten verfügbar. In diesen Fällen kann neben dem direkten auch der «indirekte Ressourcenverbrauch» berechnet werden. Dieser entspricht der Summe vom direktem Ressourcenverbrauch und demjenigen der Importe abzüglich des Ressourcenverbrauchs der Exporte. So ergeben auch der direkte und der indirekte Ressourcenverbrauch zusammen den Ressourcenverbrauch des Schweizer Konsums.

Während gemessene Daten für den direkten Ressourcenverbrauch für die Schweiz für die letzten Jahre beim Bundesamt für Statistik erhältlich sind, muss die Bestimmung des indirekten Ressourcenverbrauchs aus einer holistischen Perspektive erfolgen und auch die Allokation von global verbrauchten Ressourcen auf den Schweizerischen Konsum, beziehungsweise auf die Schweizer Verantwortlichkeit beinhalten.



Figur 13
Ressourcenverbrauch in der «Schweiz» bzw. durch die Schweiz

2.5 Wie identifizieren und beurteilen wir Massnahmen?

Mögliche Massnahmen zur Reduktion des Verbrauchs natürlicher Ressourcen wurden in Expertenworkshops und Fokusgruppen erarbeitet. Ausserdem wurde die wissenschaftliche aber auch die praxisnahe Literatur diesbezüglich durchsucht. Die Massnahmen liegen oft in den Bereichen Lieferkettenmanagement, Effizienzverbesserung (in einzelnen oder allen Phasen des Lebenszyklus eines Produktes), Verwertung von Produktionsabfällen und Produkten nach deren Lebensende oder Vermeidung von unnötigen Verpackungen. Alle diese Massnahmen können unter dem Thema «ecodesign» zusammengefasst werden. Ein anderer Massnahmenswerpunkt ist die bessere Ausnutzung oder gar das Vermeiden von Produkten oder Dienstleistungen. Beispiel dafür sind «teilen statt besitzen» Netzwerke, in denen zum Beispiel Privatfahrzeuge, die im Normalfall nur etwa eine Stunde pro Tag effektiv benutzt werden, von vielen Nutzern geteilt und so viel besser ausgelastet werden. Einiges Potenzial zur Reduktion, aber auch zur Erhöhung des Ressourcenbedarfs haben auch neue innovative Produkte¹⁴. So ist zum Beispiel vorstellbar, dass durch die Verbreitung von 3D Druckern die Produktion vieler Güter von industriellen Betrieben in die Haushalte verschoben wird. Durch 3D Druck könnten so neben der Produktion von Abfall auch Transporte reduziert werden. Natürlich kann eine solche Innovation aber auch zu negativen Effekten führen, zum Beispiel dass mit 3D Druck Nippfiguren von der ganzen Familie produziert werden, die nach ein paar Wochen auf dem Fensterbrett ihren Weg in die Müllverbrennung finden. Nicht zu vergessen sind natürlich auch Management- und Stewardshipssysteme, die nicht direkt bei Produkten ansetzen sondern mit denen Unternehmungen ihren Ressourcenbedarf durch interne Massnahmen langfristig sichern oder sogar externe Partner bei der Schonung einer für die Unternehmung wichtigen Ressource unterstützen.

Damit solche Massnahmen aus der Nische der Freiwilligkeit herauskommen und in der Breite Anwendung finden braucht es neue Rahmenbedingungen. Dabei geht es primär darum, den Verbrauch an natürlichen Ressourcen über das Setzen von ökonomischen Anreizen zu optimieren. Das kann prinzipiell durch eine Internalisierung externer Kosten oder durch Lenkungsabgaben geschehen. Allerdings ist eine objektive Bestimmung externer Kosten nicht möglich. Auch würde ein globaler Preis für eine Ressource in vielen Fällen dazu führen, dass das globale ökonomische Ungleichgewicht weiter zunimmt, was aus einer Nachhaltigkeitsperspektive nicht erwünscht ist (siehe dazu **Box 15**). Darum ist die Lenkungsabgabe von grösserer praktischer Relevanz. Sie kann beliebig differenziert werden um spezifische Ziele zu erreichen. Zum Beispiel könnte mit einer nationalen Lenkungsabgabe auf Treibhausgase effizient eine nationale Reduktionsverpflichtung erreicht werden oder es kann mit einer zeitlich und örtlich fein aufgelösten Verkehrsabgabe (mobility pricing) eine differenzierte Lenkung bei der individuellen Mobilität erreicht werden. In einigen Fällen – zum Beispiel wenn ein Ressourcenverbrauch möglichst vollständig vermieden werden muss – kann auch ein Verbot (z.B. Emission von Ozonabbauenden Substanzen) oder eine Technologievorschrift (z.B. Katalysatorpflicht) als Alternative zu ökonomischen Instrumenten sinnvoll sein.

¹⁴ Als in den späten 1960er Jahren das erste Computer-Netzwerk operativ wurde, hat wohl manch einer die Möglichkeit von einfacher globaler Kommunikation vermisst. Aber kaum jemand hätte damals jeden seiner Schritte mit Bildern dokumentieren und diese mit der ganzen Welt teilen wollen. Heute braucht das Internet (ohne die privaten Anschlüsse) mehr Strom als ganz Deutschland. Auch die Endgeräte sind ressourcenrelevant: ein Handy enthält rund 0.4 Gramm Gold und hat damit eine rund hundert mal höhere Konzentration von Gold als ein gutes, abbauwürdiges Erz.

3 Ressourcenverbrauch und seine Grenzen

Zur Messung von Ressourcenverbräuchen oder Ressourcenbelastungen wurden verschiedenste Methoden angewendet oder entwickelt. Auf der einen Seite stehen dabei Mengengrössen, welche eine präzise Messung eines einzelnen spezifischen Verbrauchs bzw. einer einzelnen spezifischen Belastung ermöglichen. So können zum Beispiel der Abbau von Kupfererz in Tonnen gefördertem Kupfer, die Wasserbelastungen durch einen Schadstoff in Gramm pro Liter oder der Zustand der Biodiversität in Artenzahlen ausgedrückt werden. Zusätzlich wurden verschiedene Indikatoren entwickelt, welche das Ziel verfolgen, einen bestimmten Aspekt vom Ressourcenverbrauch abzubilden oder sogar einen (bewerteten) Vergleich verschiedener Ressourcennutzungen zu ermöglichen. Einige Beispiele solcher Indikatoren sind in **Box 2** kurz erwähnt. Wie in **Kapitel 2**, bzw. insbesondere in **Kapitel 2.3** dargelegt, greifen wir nicht auf einen solchen aggregierenden Indikator oder Index zurück sondern betrachten die einzelnen Kategorien natürlicher Ressourcen separat und quantifizieren deren Verbrauch.

Box 2

Indikatoren und Indizes zur Ressourcenbelastung

Ecological Footprint

Der ökologische Fussabdruck (Borucke u. a. 2013) addiert alle biologisch produktiven Flächen, die zur Produktion von biotischen Rohstoffen (aus Landwirtschaft, Viehwirtschaft, Fischerei und Forstwirtschaft) benötigt werden. Dazu zählt er noch die Waldfläche, die nötig wäre, um die von Menschen verursachte Emission von Kohlendioxid zu assimilieren. Dieser Wert kann mit der tatsächlich vorhandenen Biokapazität (ebenfalls in Landflächen ausgedrückt) verglichen werden. Der Fussabdruck lässt sich sowohl für die Welt berechnen als auch auf kleinere Einheiten (vom Nationalstaat bis hin zum Individuum) herunterbrechen. Dabei wird der Konsum von Gütern und Dienstleistungen als Basis für die Berechnung des Ökologischen Fussabdrucks verwendet. Seit den 1970er-Jahren besteht global ein sogenannter Overshoot. Das bedeutet, dass der Ressourcenverbrauch (in Flächeneinheiten) höher ist als zu dessen Regeneration Fläche zur Verfügung steht. Dies bedeutet, dass die Welt von der Substanz der natürlichen Ressourcen zehrt anstatt von den «Zinsen» zu leben.

Living Planet Index

Der Living Planet Index (WWF u. a. 2014) ergibt sich aus 10'380 Wildtierpopulationen, bestehend aus 3'038 Arten von Wirbeltieren (Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere), deren Bestände während vieler Jahre verfolgt wurden. Die Artenzahlen werden durch Gewichtung mit der Gesamtgrösse der jeweiligen Artengruppe, sowie der Normierung auf die Populationsgrösse vom Jahr 1970 zum Index aggregiert. Dieser zeigt einen Gesamtrückgang von 52% seit 1970. Dieser Rückgang ist derzeit in tropischen Regionen (-56%) stärker ausgeprägt als in den gemässigten Zonen (-36%). Ausserdem scheinen Süsswassersysteme (-76%) vor terrestrischen und maritimen Habitaten (beide -39%) die am stärksten bedrohten Lebensräume zu sein.

Planetary boundaries

Unter den Planetary Boundaries (Rockström u. a. 2009) versteht man definierte Grenzen, innerhalb welcher menschliche Handlungen mit grosser Wahrscheinlichkeit als sicher bezeichnet werden können. Ein Überschreiten einer oder mehrerer dieser Grenzen hingegen birgt das Risiko von nicht-linearen, abrupten Umweltveränderungen von kontinentalem bis globalem Ausmass. Von den 9 vorgeschlagenen Grenzen sind bisher zwei auf globaler Ebene nicht quantifizierbar (atmosphärische Aerosolkonzentrationen und chemische Verschmutzung), drei sind bereits signifikant überschritten (Biodiversitätsverlust, Klimawandel sowie Stickstoff- und Phosphorzyklen), während in den verbleibenden Gebieten (Landnutzungsänderung, Versauerung der Ozeane, stratosphärische Ozonkonzentration und Wasserverbrauch) eine rasche Annäherung an die Grenzen beobachtet wird.

UBP

Bei der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht u. a. 2013a) werden Ressourcennutzungen durch sogenannte Umweltbelastungspunkte (UBP) ausgedrückt. UBPs sind das Ergebnis einer Ökobilanz (nach ISO 14'040/44) und können so für einzelne Produkte oder Dienstleistungen, für Unternehmungen oder für ganze Nationen bestimmt werden. Sie basieren jeweils auf einer gesamtheitlichen Betrachtung, die Produktion, Nutzung und Entsorgung von Gütern umfasst. Dabei wird ein Ressourcenverbrauch oder eine Ressourcenbelastung mit um so mehr UBPs bewertet, je weiter der Zustand der entsprechenden Ressource von einem politisch vorgegebenen Zielwert (z.B. nationale Grenzwerte bei Emissionen) entfernt liegt.

Energie

Ein System (z.B. ein Ökosystem, ein Material, etc.), welches nicht im thermodynamischen Gleichgewicht ist, kann bei der Rückkehr in den Gleichgewichtszustand Arbeit verrichten. Diese Arbeit bezeichnet man als Exergie (Bösch u. a. 2007). Da eine Nutzung von Ressourcen meist nicht in deren Gleichgewichtszustand erfolgt, enthalten letztere einen Exergiegehalt. Durch die Exergie lassen sich die Qualität von Ressourcen und Ressourcennutzungen quantitativ bewerten.

Graue Energie

Unter der Grauen Energie eines Produktes versteht man die Summe des Energieaufwandes, der zur Herstellung eines Produktes (inkl. aller vorgelagerten Prozesse vom Rohstoffabbau über Transporte bis zum Produktionsprozess) benötigt wurde. Sie bezeichnet also den vom Konsumenten gekauften nicht sichtbaren Energiegehalt eines Produktes. Graue Energie basiert, wie UBP und Carbon Footprint, auf der Methode der Ökobilanzierung (ISO 14'040/44).

Carbon Footprint

Der Carbon Footprint misst die Klimaauswirkungen eines Produktes oder einer Dienstleistung bzw. einer Unternehmung. Betrachtet wird die Summe der Emissionen und Absorptionen von Treibhausgasen, bei einem Produkt während dessen gesamten Lebenszyklus. Diese werden als Global Warming Potential in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt. Wie UBP und Graue Energie basiert auch dieser Indikator auf der Methode der Ökobilanzierung (ISO 14'040/44). Da in diesem Fall aber nur der Beitrag zum Klimawandel interessiert, kann eine vereinfachte Form der Ökobilanz angewendet werden (ISO 14'067).

Water Footprint

Der Water Footprint (Water Footprint Network 2014) ist ein Indikator für den Wasserverbrauch. Er kann auf verschiedenen Ebenen (einzelne Produkte, Konsumenten und Konsumentengruppen oder Unternehmen) bestimmt werden und ist definiert als das Volumen Süsswasser, welches pro Zeiteinheit direkt verbraucht oder zur Herstellung der auf der betrachteten Ebene konsumierten oder verwendeten Güter oder Dienstleistungen benötigt wurde. Dabei finden sowohl die in ein Produkt eingehende Wassermenge als auch die im Herstellungsprozess verschmutzte Menge Wasser Beachtung.

Nicht fossile abiotische Rohstoffe (z.B. Steine und Erden oder Metallerze) sind für Infrastruktur und Technologie unabdingbar. Diese Rohstoffe können theoretisch beliebig oft wiederverwendet werden. Langfristig wird die Nachhaltigkeit der Nutzung also durch die Effizienz der Rückgewinnung bestimmt. Allerdings kann die Verfügbarkeit zeitlich und örtlich beschränkt – knapp – sein. Wenn das betrachtete Material gleichzeitig von einer hohen wirtschaftlichen Wichtigkeit ist, spricht man von Kritikalität. Als kritisch gelten insbesondere die Edelmetalle der Platingruppe (Platin, Palladium, Ruthenium, Osmium, Iridium und Rhodium), sowie für spezielle Technologien benötigte Metalle wie Lithium, Indium oder die seltenen Erden. Gerade bei solchen kritischen Metallen gilt es, für die jeweiligen Anwendungen Alternativen zu finden, sowie ein möglichst effizientes und konsequentes Recycling zu entwickeln.

Fossile Rohstoffe (Erdöl, Erdgas und Kohle) werden in riesigen Mengen zur Energiegewinnung verbrannt. Nur ein sehr kleiner Teil wird zu Kunststoffen verarbeitet. Trotzdem würden bei einem weiteren Anstieg des Konsums wie bisher die fossilen Reserven noch etwa 100 Jahre reichen. Die Verbrennung fossiler Rohstoffe führt jedoch durch die resultierenden Kohlendioxidemissionen zum globalen Klimawandel. Um das international vereinbarte Klimaziel, zu dem sich auch die Schweiz verpflichtet hat, zu erreichen, darf insgesamt nur noch etwa ein Viertel der heute bekannten Reserven an fossilen Rohstoffen verbrannt werden. Der grösste Teil der bekannten, noch vorhandenen fossilen Rohstoffe muss also für immer ungenutzt bleiben.

Unter **biotischen Rohstoffen** versteht man Pflanzen und Tiere, die für den menschlichen Verbrauch geerntet bzw. der Natur entnommen werden (als Nahrung, Baumaterialien, Textilien oder zur Energiegewinnung). Biotische Rohstoffe sind erneuerbar, sofern der Konsum die nachhaltige Produktion dieser Rohstoffe nicht übersteigt. Bestimmender Faktor der nachhaltigen Nutzung biotischer Ressourcen ist die Auswirkung von deren Produktion auf die Biodiversität (z.B. Überfischung, Landumwandlung, Dünger- und Pestizideinsatz etc.), Land und Boden (Flächenbedarf, Bodenqualität) sowie Wasser (Bewässerung, Wasserbelastung).

Die Beanspruchung der Ressource **Land und Boden** ist geprägt durch die Konkurrenz verschiedener Nutzungsformen (z.B. land- und forstwirtschaftliche Produktion, Lebensraum für Pflanzen und Tiere, Siedlungsraum, Erholungsraum, Verkehrsfläche, Infrastruktur etc.). Jede dieser Nutzungen verändert dabei die Qualitäten von Land und Boden in unterschiedlichem Ausmass. Global ist zu beobachten, dass Siedlungs- und Landwirtschaftsflächen auf Kosten von Wald wachsen. In der Schweiz wächst vor allem die Siedlungsfläche auf Kosten von Landwirtschaftsfläche. In den letzten Jahren wurde auch ein leichter Zuwachs der Waldfläche auf Kosten von Alpwirtschaftsfläche festgestellt. Der Erhalt von ausreichend grossen und ausreichend vernetzten naturnahen Flächen (extensive Forst-, Land- und Alpwirtschaftsflächen, Auen, Moore, etc.) stellt eine Grundvoraussetzung für den Erhalt der Biodiversität dar und muss daher gesichert werden.

Bei der Nutzung von **Wasser** gilt es zwischen nicht-verbrauchender Nutzung (z.B. bei einem Fließwasserkraftwerk), Verbrauchender Nutzung (z.B. Bewässerung) und der Belastung von Gewässern (mit Schadstoffen) zu unterscheiden. Auch ist es wichtig zu berücksichtigen, aus welcher Quelle das Wasser stammt. Die Nutzung von Regenwasser ist im Allgemeinen als nachhaltig zu betrachten, während die Nutzung von fossilem Wasser, also Wasser aus erneuerbaren Reservoirs, als sehr kritisch beurteilt werden muss. Zukünftig wird die globale Wasserverteilung durch den Klimawandel Veränderungen erfahren. Gleichzeitig wird der weltweite Wasserbedarf markant zunehmen. Schon heute sind, obwohl insgesamt noch genügend Wasser vorhanden ist, weltweit 2.7 Milliarden Menschen von Wasserknappheit betroffen. Als Wasserschloss Europas erfordert in der Schweiz eher die Wasserqualität als die Verfügbarkeit Aufmerksamkeit. Durch den Import von Gütern für ihren Konsum verursacht die Schweiz zudem einen Wasserverbrauch im Ausland – zum Teil aus Gegenden, in denen Wasser sehr knapp ist – der rund fünf mal höher ist als der inländische Verbrauch.

Trotz grossen Fortschritten bezüglich der Qualität der Luft sterben jährlich tausende Menschen in der Schweiz und Millionen Menschen global an den Folgen der Luftverschmutzung. Um die Situation in der Schweiz zu verbessern, muss vor allem die Belastung durch Feinstaub und Ozon (Sommersmog), aber auch durch Stickoxide und Ammoniak, reduziert werden. In anderen Regionen der Welt, in denen Rohstoffe und Güter für den Schweizerischen Konsum produziert werden, sind neben diesen Schadstoffen auch Luftemissionen wie Schwefeldioxid, flüchtige organische Verbindungen, Schwermetalle oder krebserregende organische Verbindungen von grosser Bedeutung. Damit von einer nachhaltigen Situation gesprochen werden kann, ist an vielen Orten mindestens eine Halbierung der schädlichen Luftemissionen nötig.

Die Auswirkungen des menschengemachten Treibhauseffekts sind vielfältig: die Erdoberflächentemperatur steigt (0.85°C im letzten Jahrhundert), Niederschlagsmuster verändern sich, Gletscher und Permafrost schmelzen. Haupttreiber dieser Veränderungen des **Klimas** ist der Ausstoss von CO₂ aus der Verbrennung von fossilen Rohstoffen. Daneben spielen auch Emissionen anderer Treibhausgase, vor allem von Methan und Lachgas (aus der Landwirtschaft) eine wichtige Rolle. Trotz internationalen Reduktionsbemühungen emittieren wir global immer schneller immer mehr. In der Schweiz blieben die Treibhausgasemissionen seit 1990 trotz Reduktionsverpflichtungen praktisch konstant. Die durch den Konsum der Schweizer Bevölkerung im In- und Ausland verursachten Emissionen sind seit 1996 sogar um knapp 20% gestiegen. Um das international vereinbarte und in der Schweiz gesetzlich verankerte 2°C-Ziel zu erreichen, muss die Schweiz ihre Treibhausgasemission bis ins Jahr 2050 in der Grössenordnung von 85–95% reduzieren. Global muss eine Reduktion um 50–70% erreicht werden. Wenn es

gelingt – wie das die vom IPCC verwendeten Modelle voraussetzen – ab 2020 die globale Emission von CO₂ zu reduzieren, muss diese bis etwa 2050 auf null reduziert werden¹⁵. Das bedeutet, dass in 35 Jahren weltweit keine fossilen Brenn- und Treibstoffe mehr verwendet werden dürfen¹⁶.

Eine reichhaltige **Biodiversität** ist Voraussetzung für die Nutzung vieler anderer Ressourcen wie Wasser, Klima, Luft und biotische Rohstoffe. Sowohl global als auch in der Schweiz war in den letzten 100 Jahren ein dramatischer Rückgang der Biodiversität zu verzeichnen. Haupttreiber dieses Rückgangs sind Verlust sowie Fragmentierung von Lebensräumen, der Klimawandel, Schadstoffbelastungen, die Übernutzung biotischer Rohstoffe sowie das Einschleppen ortsfremder Arten. Um den Biodiversitätsrückgang einzudämmen, kommt der Erhaltung und dem Schutz von qualitativ hochstehenden zusammenhängenden Lebensräumen eine zentrale Bedeutung zu. So muss die Expansion der Siedlungs- und Landwirtschaftsflächen gestoppt werden und die Landwirtschaft ist unter Biodiversitätsgesichtspunkten zu extensivieren.

Obwohl **erneuerbare Energiequellen** nicht erschöpflich sind, können diese nur in dem Ausmass genutzt werden, wie die der jeweiligen Quelle entzogene Energie regeneriert (erneuert) werden kann. Innerhalb der erneuerbaren Energieformen spielen heute weltweit Wasserkraft, gefolgt von Sonnen- und Windenergie, die wichtigsten Rollen. Die Geothermie und die Gezeitenkraft sind derzeit noch von untergeordneter Bedeutung. Die Nutzung erneuerbarer Energien unterliegt begrenzenden Faktoren wie Landbedarf, Verfügbarkeit von für gewisse Technologien benötigten seltenen Rohstoffen sowie weiteren Einschränkungen (Biodiversitätsschutz, Landschaftsschutz etc.).

¹⁵ Andere Treibhausgase, zum Beispiel Methan und Lachgas aus der Landwirtschaft, dürfen in diesem Szenario noch bis etwa 2100 emittiert werden. Gelingt es vor 2020 den Anstieg der CO₂-Emissionen zu stoppen, bleibt etwas mehr Zeit. Steigt die globale CO₂-Emission aber nach 2020 weiter an, müsste danach umso schneller reduziert werden, was auf jeden Fall deutlich höhere Kosten verursachen würde als ein rascher Ausstieg.

¹⁶ Ausser wenn «carbon capture and storage» (CCS) bis dann technisch und wirtschaftlich möglich wäre, was aber als eher unwahrscheinlich gilt.



3.1 Nicht fossile abiotische Rohstoffe

Aus der Natur gewonnene, nicht erneuerbare Rohstoffe, die weder von Lebewesen stammen noch fossilen Ursprungs (Erdöl, Erdgas, Kohle) sind, werden als nicht fossile abiotische Rohstoffe bezeichnet. Dazu gehören Steine und Erden sowie Metallerze. Baustoffe wie Sand und Kies, Phosphorminerale für die Landwirtschaft, Massenmetalle wie Eisen oder Kupfer sowie für technologische Anwendungen benötigte Spezialitätenmetalle wie Seltene Erden oder Indium werden weltweit in grossen Mengen aus natürlichen Rohstoffvorkommen gewonnen. Mittlerweile wird die Mehrheit aller auf der Erde vorkommenden Elemente für technische Anwendungen gebraucht (siehe *Figur 15*). Zwar sind die Vorkommen dieser natürlichen Rohstoffe erschöpflich, die gewonnenen Materialien werden aber bei der Nutzung nicht vernichtet und können theoretisch unendlich oft wiederverwertet werden. Die Verfügbarkeit solcher Rohstoffe kann jedoch zeitlich und örtlich beschränkt sein. Der Rohstoff ist dann im Kontext knapp. Wenn das entsprechende Material gleichzeitig von einer hohen wirtschaftlichen Bedeutung ist, spricht man von einer Kritikalität.

Langfristig muss die Nachhaltigkeit einer Nutzung nicht fossiler abiotischer Ressourcen also daran gemessen werden, wie viel des Materials durch die Nutzung so verloren geht, dass es praktisch nicht mehr zur Verfügung steht. Kurz- und Mittelfristig muss die Kritikalität von Materialien in die Nachhaltigkeitsüberlegungen miteinbezogen werden.

Die Schweiz besitzt grosse natürliche Vorkommen an mineralischen Rohstoffen (Sand, Kies). Praktisch gibt es bezüglich dieser Materialien einige Nutzungskonflikte mit Siedlungs- oder Landwirtschaftsflächen aber sie können hier trotzdem als unkritisch betrachtet werden. Phosphorminerale und Metallerze werden in der Schweiz hingegen nicht abgebaut, weshalb der gesamte Bedarf durch Importe oder Sekundärmaterialien gedeckt werden muss. Die Massenmetalle wie Stahl oder Aluminium sind für die Schweiz aber trotz des hohen Verbrauchs unkritisch. Als kritisch gelten hingegen Phosphor, die Edelmetalle der Platingruppe (Platin, Palladium, Ruthenium, Osmium, Iridium und Rhodium) sowie Spezialitätenmetalle wie Indium, Germanium oder die Seltenen Erden. Gerade bei solchen kritischen Elementen gilt es für die jeweiligen Anwendungen Alternativen zu finden (Substitution) sowie ein möglichst effizientes und konsequentes Recycling zu entwickeln.

Eine Substitution oder Effizienzsteigerung in der Nutzung von Rohstoffen sowie eine Wiederverwertung in der Schweiz kann die Auslandsabhängigkeit sowie die Risiken von Versorgungsengpässen verringern. Da allerdings viele der Prozesse, die zum Recycling von Metallen benötigt werden, grosse und sehr komplexe Anlagen benötigen, ist es im Allgemeinen sinnvoller, diese Prozesse weiterhin dort durchzuführen, wo bereits heute die nötige Infrastruktur und das nötige know-how vorhanden ist, als zu versuchen, diese Prozess in der Schweiz neu zu etablieren. Bei Phosphor hingegen kann eine Rückgewinnung vor allem aus Klärschlamm auch in der Schweiz etabliert werden, was vor dem Hintergrund, dass Phosphor nicht substituierbar ist, besonders wichtig ist.

Die Gewinnung und Aufbereitung abiotischer Rohstoffe kann zu erheblichen Auswirkungen auf andere natürliche Ressourcen führen (z.B. durch Waldrodungen und damit verbundenen Biodiversitätsverlust, Treibhausgasemissionen oder Schadstoffverschmutzung von Wasser, Boden oder Luft). Diese Auswirkungen können aber durch ein gutes Prozessmanagement auf ein erträgliches Mass begrenzt werden und limitieren die nachhaltig mögliche Nutzung nicht fossiler abiotischer Rohstoffe nicht prinzipiell, aber in einigen Fällen doch stärker als die eigentliche Verfügbarkeit dieser Rohstoffe.



3.1.1 Worum geht es?

Zu den Abiotische Rohstoffen zählen alle aus der Natur gewonnenen nicht erneuerbaren Rohstoffe, also die, die nicht von Lebewesen stammen. Dazu gehören unbestritten die Erze und sonstige mineralische Rohstoffe, wie zum Beispiel Sand, Kies oder Phosphor. Wir zählen – in Anlehnung an eine weit verbreitete Praxis – fossile Energieträger ebenfalls zu den abiotischen Rohstoffen, obwohl sie ursprünglich aus Lebewesen gebildet wurden. Trotzdem behandeln wir sie separat in [Kapitel 3.2](#). Auch separat betrachten wir Wasser und Land, die ebenfalls als abiotische Ressourcen gesehen werden könnten. Während die mineral resources (der Begriff ist in Box 3 definiert) von nicht fossilen abiotischen Rohstoffen (zum Beispiel ein Eisenerzvorkommen) endlich sind, verschwinden die Materialien (also zum Beispiel das gewonnene Eisen) im Allgemeinen nicht¹⁷, sondern werden in technischen Lagern (zum Beispiel in Eisenbahnschienen) gespeichert. Solche Materialien können also theoretisch unendlich lange verwendet bzw. unendlich oft wiederverwendet werden. Natürlich führt in der Praxis jeder Verarbeitungsschritt und jede Verwendung von Materialien dazu, dass ein Teil des Materials für eine weitere Nutzung verloren geht. Zum Beispiel wird bei der Gewinnung und Anreicherung von Eisenerz ein Teil des Eisens – konkret etwa 20% – mit dem Abraum wieder deponiert. Die Konzentration von Eisen in diesem Abraum ist dabei so tief, dass eine Gewinnung des Metalls daraus ökonomisch (und ökologisch) nicht sinnvoll wäre. Im metallurgischen Prozess zur Stahlherstellung gehen nochmals etwa 20% des Eisens verloren. Ebenso entsteht aufgrund der Nutzung des Eisens als Eisenbahnschiene eisenhaltiger Staub, der von der Luft verfrachtet wird. Auch dieses Eisen lässt sich praktisch nicht zurückgewinnen. Natürlich ist auch ein völlig verlustfreies Sammeln und Wiederverwerten in der Praxis nicht möglich. Das heißt, dass die in natürlichen und technischen Lagern vorhandene Masse an nutzbaren Materialien durch solche Verluste mit der Zeit immer kleiner wird. Andererseits können mit der Zeit auch neue natürliche Lager entdeckt werden, oder Vorkommen, die früher nicht nutzbar waren, können durch verbesserte Fördertechnologien oder auch aufgrund eines gestiegenen Metallpreises plötzlich ökonomisch interessant werden. Trotzdem ist klar, dass eine kontinuierliche Nutzung von nicht erneuerbaren Rohstoffen früher oder später zwangsläufig zu deren Erschöpfung führen wird. Aus einer starken Nachhaltigkeitssicht heraus dürften diese Rohstoffe also nicht genutzt werden, da sie einer späteren Generation nicht mehr zur Verfügung stehen würden. Eine operationalisierbare Nachhaltigkeitsperspektive für die Nutzung nicht erneuerbarer abiotischer Rohstoffe muss entsprechend eher darauf basieren, ob zur Zeit und in vorhersehbarer Zukunft genügend Rohstoffe vorhanden sind um den globalen Bedarf danach zu decken. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Bedarf nach vielen Rohstoffen bei drohender Knappheit abnehmen kann, weil diese substituiert werden. Darum verwenden wir Knappheit und Kritikalität als Indikatoren um die Nachhaltigkeit der Nutzung nicht fossiler abiotischer Rohstoffe zu messen. Materialien werden knapp, wenn die natürlichen Lager nicht mehr ausreichen den Bedarf zu decken, sowie wenn die in technischen Lagern vorhandenen Materialien nicht für andere Anwendungen zur Verfügung stehen¹⁸. Falls ein entsprechendes Material für wichtige Anwendungen unersetzbar ist, ist es nicht nur knapp sondern kritisch.

¹⁷ Ausnahmen sind energetisch genutzte spaltbare Metallerze (Uran, Thorium) und Materialien, die ins Weltall geschossen werden.

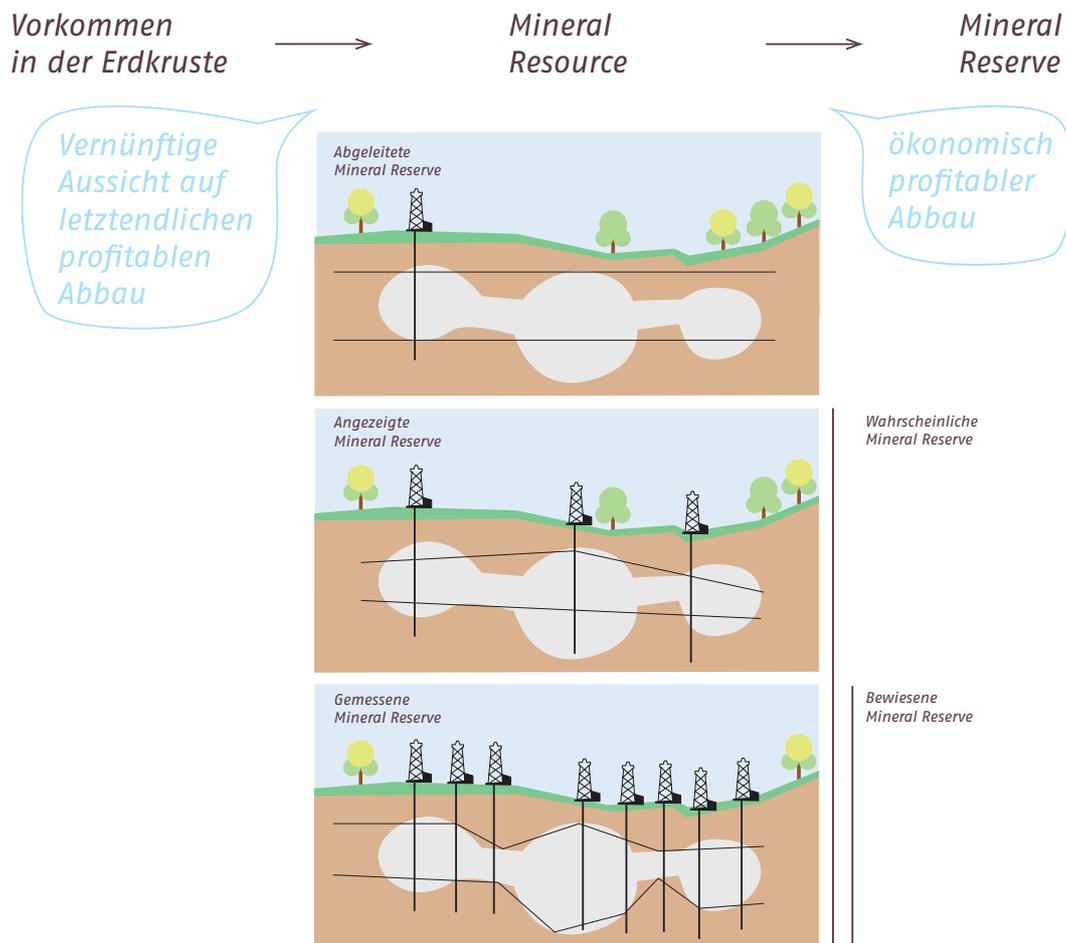
¹⁸ Wir sprechen von Knappheit, wenn das Angebot an Materialien (aus natürlichen und technischen Lagern) deren Nachfrage begrenzt.



Box 3
Begriffserklärung «mineral resource» und «reserve» (CRIRSCO 2013)

Um die global vorhandenen Mengen eines mineralischen Rohstoffes anzugeben gibt es verschiedene Begriffe, die sich je nach dem verwendeten Blickwinkel (Geologie und/oder Ökonomie) unterscheiden.

Die physikalische Obergrenze eines Rohstoffes bildet die auf dem Planeten Erde vorhandene Menge des Stoffes, welche an einem den Menschen prinzipiell zugänglichen Ort lagert (d.h. innerhalb der Erdkruste). Allerdings stellt der Gehalt eines Elements in der Erdkruste nicht die realistischere nutzbare Menge eines Rohstoffes dar, da der grösste Teil davon üblicherweise so fein verteilt ist, dass eine Gewinnung nicht möglich ist. Abgebaut werden können nur die Vorkommen in Erzen, bei denen geologische Prozesse in der Erdgeschichte dazu geführt haben, dass gewisse Elemente in angereicherten Form vorliegen.



Figur 14
Mineral Resources und Reserve. Englische Begriffe sind: «Inferred» für «abgeleitete», «indicated» für «angezeigt» und «measured» für «gemessen».



Um den abbaubaren Teil der Rohstoffvorkommen zu beschreiben, wird häufig der Begriff «mineral resource» benutzt. Eine mineral resource ist definiert als eine Konzentration oder ein Vorkommen eines Stoffes in der Erdkruste, der in einer derartigen Form, Güteklasse oder Qualität sowie in einer Menge vorliegt, dass eine vernünftige Aussicht auf einen letztendlichen ökonomisch profitablen Abbau besteht. Somit enthalten die resources auch diejenigen bekannten Vorkommen eines Rohstoffes, welche erst zukünftig aufgrund von technologischen Fortschritten sowie Preis- und Marktentwicklungen genutzt werden können. Dennoch müssen bei mineral resources der Ort, die vorhandene Menge, die Qualität des Erzes, die Kontinuität des Vorkommens und andere geologische Charakteristika bekannt sein oder aufgrund von geologischen Hinweisen und vereinzelter Probenahme abgeschätzt werden können. Innerhalb der mineral resources wird zwischen abgeleiteten, angezeigten und gemessenen resources unterschieden. Bei abgeleiteten resources sind geologische Hinweise zwar vorhanden, aber in Ausmass und Qualität noch nicht ausreichend, um die Charakteristika des Vorkommens genau genug zu bestimmen. Es kann aber üblicherweise angenommen werden, dass weitere Untersuchungen aus abgeleiteten resources angezeigte resources machen (wenn auch vielleicht mit einer Korrektur der angegebenen Menge). Bei den angezeigten resources können Menge, Güteklasse oder Qualität, Dichten, Form und physikalische Eigenschaften des Vorkommens mit genügender Sicherheit abgeschätzt werden, sodass erste Minenplanungen und ökonomische Analysen gemacht werden können. Es wurden bereits genügende und verlässliche Untersuchungen, Beprobungen und Tests durchgeführt, um eine Kontinuität zwischen den Messpunkten anzunehmen. Bei gemessenen mineral resources haben letztendlich weitere Untersuchungen diese Kontinuität untermauert, sowie weitere Daten zu den geologischen Charakteristika geliefert.

Der Begriff der «mineral reserve» bezeichnet denjenigen Teil der angezeigten oder gemessenen resources, welcher mit der heutigen Technologie sowie im gegenwärtigen Marktumfeld ökonomisch profitabel abgebaut werden kann. Dabei ist ein Vorkommen erst dann den reserves zuzuordnen, wenn Machbarkeitsstudien vorliegen, die ergeben, dass ein Abbau zum jetzigen Zeitpunkt vernünftig begründbar ist. Das bedeutet allerdings nicht, dass bereits entsprechende Infrastruktur vorhanden oder operativ sein muss. Während wahrscheinliche mineralische reserves den heute abbaubaren Teil der angezeigten und der gemessenen resources darstellen, bezeichnet der Begriff bewiesene mineralische reserve ausschliesslich den abbaubaren Teil der gemessenen resources. Letzterer ist daher definitionsgemäss die mindeste Menge eines Rohstoffes, die gegenwärtig einer Nutzung zugänglich ist.

Knappheit und Kritikalität sind gemäss dieser Definition nicht absolute Zustände sondern haben einen zeitlichen und einen geographischen Kontext. Ein Rohstoff kann in einem Land knapp, im Ursprungsland aber gleichzeitig reichlich verfügbar sein. Eine solche Situation ist zum Beispiel denkbar, wenn die Handelsbeziehungen von der einen oder anderen Seite her beschränkt werden¹⁹.

¹⁹ Es gilt zu beachten, dass die Weltproduktion von gewissen Metallen auf einige wenige Fördernationen konzentriert ist. Unter den weltweiten Hauptfördergebieten sind China, Afrika (Südafrika, Kongo), Russland und Südamerika (Brasilien, Chile) zu nennen. Für viele Metalle (vor allem der Edelmetall- und der Spezialitätenmetallgruppen) gilt es ausserdem zu beachten, dass häufig eine einzige Fördernation den Grossteil des weltweiten Bedarfs abdeckt (so war z.B. China lange Zeit Produzent von mehr als 90% des weltweiten Bedarfs an seltenen Erden). Solche Konzentrationen bergen Gefahren für die weltweite Versorgungssicherheit mit Metallen (was im Fall der seltenen Erden dazu geführt hat, dass einige Nationen in den letzten 5 Jahren die Förderung (wieder) aufnahmen).



Ein Rohstoff kann auch kurzfristig knapp sein, zum Beispiel wenn die Nachfrage rasch gestiegen ist aber die Eröffnung von neuen Förderstätten für die Ressource 10 bis 20 Jahre in Anspruch nimmt. In beiden Fällen kann die Knappheit mittelfristig wieder verschwinden. Oder ein Rohstoff ist knapp, bis eine neue Gewinnungstechnologie gefunden wird, die bisher nicht nutzbare Lager plötzlich ökonomisch machen. Phytomining könnte ein Beispiel für so eine Entwicklung werden (siehe **Box 4**).

Box 4
Phytomining

Die Nutzung metallischer Rohstoffe führt zwangsläufig zu deren Verteilung auf der Welt (Dissipation). Da sehr fein verteilte Metalle mit konventionellen Abbaumethoden nicht gewonnen werden können, müssen die so entstandenen Verluste selbst unter der Annahme eines quantitativen Recyclings durch die (erschöpfliche) Primärproduktion gedeckt werden. Eine potenzielle Möglichkeit zukünftig auch Lager, in denen Metalle in sehr geringer Konzentration vorliegen, zugänglich zu machen, stellt das sogenannte «Phytomining» dar.

Unter Phytomining versteht man die Gewinnung von Metallen durch spezielle Pflanzen, die nicht nur auf metallbelasteten Böden gedeihen sondern die vorhandenen Metalle auch in ihrer Biomasse anreichern (sog. Hyperakkumulatoren). Ursprünglich wurden solche Pflanzen erforscht um schwermetallkontaminierte Böden zu sanieren. Auch in der Schweiz wurden entsprechende Forschungen, zum Beispiel auf dem durch die ehemaligen Buntmetallwerke stark schwermetallbelasteten Boden der Gemeinde Dornach, SO, durchgeführt. Bisher wurden Hyperakkumulatoren für verschiedene Metalle wie Nickel, Zink, Cadmium, Blei, Kobalt, Mangan, Chrom oder Selen gefunden. Anstelle der reinen Dekontamination von belasteten Böden könnten die in der Biomasse angesammelten Metalle aber auch geerntet werden. Nach der Verbrennung der Biomasse bleibt eine stark mit Metallen angereicherte Asche zurück, aus welcher diese isoliert werden können. In einem Versuch konnten aus 500 kg Asche eines Nickel akkumulierenden Strauchgewächs 100 kg Nickel gewonnen werden.

Die potenzielle Hauptanwendung des Phytominings besteht in der Nutzung vom Abraum im Bergbau, der immer noch signifikante Mengen der gewünschten Metalle enthält, jedoch in einer zu geringen Konzentration um mit konventionellen Methoden gewonnen werden zu können. Gerade für seltene Metalle, die nur in kleinen Mengen in den Erzen anderer Metalle vorkommen und daher häufig gar nicht isoliert werden, sondern direkt in den Abraum eingehen (z.B. Molybdän, Indium, Gallium oder Selen) könnte Phytomining eine interessante Rohstoffquelle darstellen. Aber auch beim Recycling von Metallabfällen und anderen technischen Lagern von Metallen kann Phytomining zukünftig eine Rolle spielen. Gegenwärtig sind solche Bestrebungen allerdings noch im Stadium der Grundlagenforschung und es ist noch nicht möglich belastbare Aussagen darüber zu machen, welche Mengen an welchen Rohstoffen mit diesem Verfahren dereinst verfügbar gemacht werden könnten. Forschungsbedarf besteht insbesondere noch darin, Hyperakkumulatoren zu finden, welche gleichzeitig eine schnelle Biomassenproduktion aufweisen, weitere Metalle akkumulieren oder noch bessere Selektivitäten zugunsten einzelner Metalle aufweisen. (Krause 2014) (Hunt u. a. 2014)



Angebotsseitig hängen Knappheit und Kritikalität nicht nur von den natürlichen Lagern ab sondern ebenfalls von den technischen Lagern. Entsprechend hat es einen Einfluss auf die Kritikalität eines Materials, ob dieses in Anwendungen benutzt wurde, die ein Recycling erlauben oder nicht. Auch macht es einen Unterschied, ob die Anwendungen kurz- oder langlebig sind. Der Stahl einer Blechdose steht nach vielleicht einem Jahr für andere Anwendungen zur Verfügung. Die über 10'000 Tonnen Stahl für den Eiffelturm hingegen können seit über 125 Jahren und wohl noch für eine lange Zeit für nichts anderes verwendet werden.

Zur Beurteilung von Kritikalität muss man immer auch die zukünftige Nachfrage in Betracht ziehen, die von Innovationen und von Substitutionseffekten beeinflusst wird. Geht man beispielsweise davon aus, dass der Bedarf nach Kupfer pro Kopf weltweit dereinst so hoch liegen wird, wie er das heute in den Industrieländern ist, wird Kupfer sehr viel kritischer zu beurteilen sein als wenn man von einer Entkoppelung des Bedarfs von der wirtschaftlichen Entwicklung, zum Beispiel durch Verwendung von Glasfasern statt Kupfer für die Datenübertragung, ausgeht.

Die Gewinnung und Aufbereitung abiotischer Rohstoffe kann zu sehr erheblichen Auswirkungen auf andere natürliche Ressourcen führen. Zum Beispiel werden für die Gewinnung von Metallen oft grosse Flächen Wald gerodet und grosse Mengen an Treibhausgasen emittiert. Bei der Herstellung einiger Metalle gelangen zudem grosse Mengen an Schwermetallen oder an Schwefeldioxid in die Umwelt und belasten Wasser, Boden und Luft. Diese Effekte werden von Indikatoren für andere Ressourcen in Betracht gezogen.

3.1.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen

Mineralische Rohstoffe, vor allem gängige Baustoffe wie Sand und Kies, werden weltweit in grossen Mengen benötigt und stellen global die grösste Gruppe der geförderten nicht fossilen abiotischen Rohstoffe dar. Sand und Kies sind die Hauptbestandteile von Zement und Beton, die jährlich in riesigen Mengen verbaut werden. Über die weltweiten Fördermengen sind keine Zahlen bekannt. Schätzungen gehen jedoch von einer Grössenordnung von mehr als 40 Milliarden Tonnen aus, was etwa der doppelten Menge des von den Flüssen transportierten Sediments entspricht (UNEP Global Environmental Alert Service 2014). Wüstensand, obwohl reichlich vorhanden, kann nicht zu Bauzwecken verwendet werden, da die Sandkörner durch Winderosionsprozesse zu sehr abgerundet wurden. Daher findet ein Grossteil des Sandabbaus in Form von Meeressand statt. Die grossen, unkontrolliert und zum Teil illegal gewonnenen Mengen, kombiniert mit oft ungenügender (Umwelt-)Regulation und Korruption, haben signifikante Auswirkungen auf die Biodiversität und führen zu weiteren Problemen, wie beispielsweise einer zunehmenden Küstenerosion. Aufgrund des schnellen wirtschaftlichen Wachstums, vor allem in Asien, wächst der Sand und Kiesbedarf weltweit weiterhin exponentiell (UNEP Global Environmental Alert Service 2014).

Obwohl in bedeutend kleineren Mengen benötigt als mineralische Baustoffe, spielen die in der (industriellen) Landwirtschaft als Düngemittel verwendeten Elemente Stickstoff und Phosphor eine entscheidende Rolle für die weltweite Nahrungsversorgung. Phosphor stellt dabei hinter Stickstoff den zweitwichtigsten Pflanzennährstoff dar. Während Stickstoff aus der Atmosphäre gewonnen werden kann, ist die einzige nutzbare natürliche Quelle von Phosphor mineralisches Phosphatgestein. Im Jahr 2012 wurden weltweit 217 Millionen Tonnen Phosphatgestein abgebaut. Dabei ist der Abbau geographisch relativ weit gestreut, wobei die Hauptförderregionen China (95.3 Mio Tonnen), die Vereinigten Staaten (30.1 Mio Tonnen), Marokko und die West-Sahara (28.0 Mio Tonnen) und



Grundsätzlich lässt sich eine Einteilung der Metalle in Eisen- und Nichteisenmetalle, Edelmetalle sowie Spezialitätenmetalle vornehmen (**Tabelle 3**) (UNEP 2011).

Bei den *Eisenmetallen* handelt es sich einerseits um Eisen selbst, sowie andererseits um Metalllegierungen, in denen Eisen als Hauptkomponente vorhanden ist. Mengenmässig machen Eisen und die Eisenmetalle den Grossteil der geförderten Metalle aus (**Tabelle 3**). Im Jahr 2012 wurden weltweit 2.93 Milliarden Tonnen nutzbares Eisenerz abgebaut. Hauptfördernationen waren dabei China (45%), Australien (18%), Brasilien (14%), Indien (5%) und Russland (4%). Eisenmetalle, allen voran die verschiedenen Stahlsorten, sind integraler Bestandteil der menschlichen Zivilisation, wo sie als Werkstoffe praktisch in allen Bereichen vorkommen. Der Verbrauch pro Kopf an fertigen Stahlprodukten betrug im Jahr 2012 im weltweiten Durchschnitt 222 kg, wobei dieser sehr ungleich verteilt ist.

So liegt z.B. der durchschnittliche Prokopfverbrauch in Afrika bei 40.8 kg, in der Europäischen Union bei 276.8 kg – in einzelnen Nationen, wie zum Beispiel in Katar, wird sogar ein Verbrauch von 1197.8 kg erreicht (worldsteel 2013). Im Vergleich zu den Mengen an Eisen und Stahl, die in Gebrauch sind, muten diese Zahlen verschwindend klein an. In Ländern mit einer langen Industrialisierungsgeschichte wie der USA, Deutschland oder England sind pro Person zwischen 11 und 16 Tonnen in Gebrauch. In diesem Bereich liegt auch der Wert für die Schweiz. In Ländern, deren Industrielle Entwicklung erst später begann (z.B. Südkorea oder Portugal), liegen pro Person etwa 6 bis 10 Tonnen Eisenmetalle in den technischen Lagern. (Pauliuk u. a. 2013)

Auch die *Nichteisenmetalle* werden in grossen Mengen genutzt. Allerdings ist die entsprechende Fördermenge bereits um Grössenordnungen kleiner als diejenige der Eisenmetalle (**Tabelle 3**). Unter den Nichteisenmetallen wird Aluminium quantitativ am meisten produziert (45.5 Millionen Tonnen im Jahr 2012). Wiederum ist, vor Russland (6%) und Kanada (5%), China (44%) mit grossem Abstand das Hauptproduktionsland. Viele der Nichteisenmetalle finden ebenfalls Anwendung in der Stahlproduktion, wo sie als Legierungselemente für die Eigenschaften der einzelnen Stahlsorten verantwortlich sind. Zusätzlich werden allerdings viele der Nichteisenmetalle auch für weiterführende Verwendungen benötigt (z.B. Kupfer in der Elektronik oder Blei für Batterien, siehe **Tabelle 3**) (U.S. Geological Survey 2014).

Aufgrund ihrer relativen Seltenheit können die *Edelmetalle* nur in deutlich geringeren Mengen als die Eisen- und Nichteisenmetalle beschafft werden (**Tabelle 3**). Wegen ihres hohen Wertes ist aber die Erschliessung von Erzen mit nur sehr geringer Edelmetallkonzentration, oft auch in Form von polymetallischen Erzen (meist in Kombination mit Nickel, Kupfer, Blei oder Zink), ökonomisch gleichwohl rentabel. Hauptförderländer der Edelmetalle sind China (Gold und Silber), Russland (Gold und Platingruppenelemente), Mexiko und Peru (Silber), Australien und die USA (Gold) sowie Südafrika (Platingruppenelemente). Trotz den relativ geringen Fördermengen sind die Edelmetalle äusserst wichtig für eine Vielzahl von Anwendungen. Gold und Silber sind unter anderem zentral für Elektronikanwendungen, während zum Beispiel Palladium und Platin für den Einsatz in Fahrzeugkatalysatoren unentbehrlich sind.

Zur Gruppe der *Spezialitätenmetalle* wird der grösste Teil der Metalle gezählt. Spezialitätenmetalle werden zwar meist nur in kleinen bis mittleren Mengen und oft auch nur als Nebenprodukte der Förderung anderer Metalle produziert. Da die Mengen und die Erträge von diesen Metallen nur einen kleinen Anteil an den gesamten Fördermengen und Erträgen einer Mine ausmachen, bedeutet das, dass die Produktion dieser Metalle oft kaum auf eine steigende Nachfrage reagiert. Spezialitätenmetalle sind aber, aufgrund ihrer jeweiligen



speziellen Eigenschaften, für gewisse Technologien unabdingbar. So werden sie für eine breite Anwendungspalette von Elektronik, über Optik, Photovoltaik und Medizintechnik bis hin zur Produktion von Magneten benötigt. Wegen der grossen Zahl verschiedener Spezialitätenmetalle sowie den verhältnismässig kleinen Fördermengen, gibt es in vielen Fällen keine verlässlichen Angaben zu den vorhandenen mineral resources (vgl. **Tabelle 3**). Dies erschwert eine Einschätzung der Knappheit des entsprechenden Materials und stellt in sich selbst ein Versorgungsrisiko dar.

Tabelle 3

Liste der wichtigsten Metalle, deren Hauptanwendungsgebiete, sowie die jeweiligen Vorkommen, Ressourcen und Förder- bzw. Produktionsmengen im Jahr 2012 (U.S. Geological Survey 2014)

Metall	Hauptverwendung	Vorkommen in der Erdkruste in Tonnen	Förder- bzw. Produktionsmenge in Tonnen (im Jahr 2012) ^a	Mineral resources in Tonnen ^a
Eisenmetalle:				
Eisen	Hauptkomponente von Eisen- und Stahlprodukten	$1.5 \cdot 10^{18}$	$1.1 \cdot 10^9$	$2.3 \cdot 10^{11}$
Stahl	Infrastruktur, Bauwesen, Transport	--	$1.6 \cdot 10^9$	--
Ferrochrom	Stahlproduktion	--	$9.6 \cdot 10^6$ ^b	--
Ferrosilizium	Stahlproduktion	--	$7.8 \cdot 10^6$ ^b	--
Ferromangan	Stahlproduktion	--	$6.1 \cdot 10^6$ ^b	--
Ferronickel	Stahlproduktion	--	$2.0 \cdot 10^6$ ^b	--
Nichteisenmetalle:				
Aluminium	Bauwesen, Transport, Verpackung	$1.9 \cdot 10^{18}$	$4.6 \cdot 10^7$	$1.4 \cdot 10^{10}$
Chrom	Stahlproduktion, Oberflächenbehandlung	$3.4 \cdot 10^{15}$	$2.6 \cdot 10^7$	$1.2 \cdot 10^{10}$
Kupfer	Elektronik, Bauwesen	$1.6 \cdot 10^{15}$	$1.7 \cdot 10^7$	$1.8 \cdot 10^9$
Mangan	Stahlproduktion, Trockenbatterien	$2.6 \cdot 10^{16}$	$1.6 \cdot 10^7$	Keine Angaben
Zink	Galvanisierung, Zinklegierungen	$1.9 \cdot 10^{15}$	$1.4 \cdot 10^7$	$1.9 \cdot 10^9$
Titan (metallisch)	Transport, medizinische Anwendungen	$1.6 \cdot 10^{17}$	$> 2 \cdot 10^5$ ^c	$> 2.0 \cdot 10^9$
Blei	Bleibatterien	$2.4 \cdot 10^{14}$	$5.2 \cdot 10^6$	$2.0 \cdot 10^9$
Nickel	Superlegierungen	$2.1 \cdot 10^{15}$	$2.2 \cdot 10^6$	$> 1.3 \cdot 10^8$
Magnesium	Bauwesen, Transport	$7.0 \cdot 10^{17}$	$> 8 \cdot 10^5$ ^c	Sehr gross
Molybdän	Stahlproduktion, Superlegierungen	$2.6 \cdot 10^{13}$	$2.6 \cdot 10^5$	$1.4 \cdot 10^7$



Tabelle 3 ff:

Liste der wichtigsten Metalle, deren Hauptanwendungsgebiete, sowie die jeweiligen Vorkommen, Ressourcen und Förder- bzw. Produktionsmengen im Jahr 2012 (U.S. Geological Survey 2014)

Metall	Hauptverwendung	Vorkommen in der Erdkruste in Tonnen	Förder- bzw. Produktionsmenge in Tonnen (im Jahr 2012) a	Mineral resources in Tonnen a
Nichteisenmetalle:				
Zinn	Dosen, Container, Lötens und Elektronik	$5.3 \cdot 10^{13}$	$2.4 \cdot 10^5$	Sehr gross
Kobalt	Superlegierungen, Katalysatoren und Batterien	$7.2 \cdot 10^{14}$	$1.0 \cdot 10^5$	$2.5 \cdot 10^7$
Vanadium	Stahlproduktion, Legierungen	$4.6 \cdot 10^{15}$	$7.4 \cdot 10^4$	$6.3 \cdot 10^7$
Niobium	Stahlproduktion, Superlegierungen	$4.1 \cdot 10^{14}$	$5.0 \cdot 10^4$	Mehr als hinreichend für vorhersehbaren Bedarf
Edelmetalle:				
Silber	Elektronik, Industrie (Katalysatoren, Batterien, Spiegel), Schmuck	$1.9 \cdot 10^{12}$	$2.6 \cdot 10^4$	Keine Angaben
Gold	Elektronik, Schmuck, Münzen, Zahnmedizin	$1.4 \cdot 10^{10}$	$2.7 \cdot 10^3$	Keine Angaben
Platin-gruppen-elemente	Fahrzeugkatalysatoren, Prozesskatalysatoren, Elektronik, Schmuck	$1.1 \cdot 10^{12}$	$3.8 \cdot 10^2$ (nur Platin und Palladium) ^d	$>1.0 \cdot 10^5$
Spezialitätenmetalle:				
Bor	Glass, Keramik, Magnete	$2.1 \cdot 10^{14}$	$>4.4 \cdot 10^6$ ^c	Hinreichend für vorhersehbaren Bedarf
Strontium	Pyrotechnik, Elektronik	$8.6 \cdot 10^{15}$	$2.3 \cdot 10^5$	1'000 Millionen
Antimon	Brandschutzmittel, Batterien	$4.8 \cdot 10^{12}$	$1.7 \cdot 10^5$	Keine Angaben
Germanium	Nachtsichtinfrarotlinsen, Polymerisationskatalysatoren, Faseroptik, Elektronik und Solaranwendungen	$3.4 \cdot 10^{13}$	$1.5 \cdot 10^5$	Keine Angaben
Seltene Erden (Scandium, Yttrium, Lanthanoide)	Batterien, Katalysatoren, Keramik, Glass, Magnete, Leuchtmittel, Verstärker in der Faseroptik, Computertomographie	$5.2 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^5$ ^e	Keine Angaben



Tabelle 3 ff:

Liste der wichtigsten Metalle, deren Hauptanwendungsgebiete, sowie die jeweiligen Vorkommen, Ressourcen und Förder- bzw. Produktionsmengen im Jahr 2012 (U.S. Geological Survey 2014)

Metall	Hauptverwendung	Vorkommen in der Erdkruste in Tonnen	Förder- bzw. Produktionsmenge in Tonnen (im Jahr 2012) ^a	Mineral resources in Tonnen ^a
Spezialitätenmetalle:				
Wolfram	Hartmetallschneidewerkzeuge	2.6 · 10 ¹³	>7.5 · 10 ⁵	Keine Angaben
Arsen	Halbleitertechnologie (Elektronik und Photovoltaik), Legierungen, Glass, Holzschutzmittel	5.0 · 10 ¹³	4.7 · 10 ⁴	1.1 · 10 ⁷
Lithium	Batterien	4.1 · 10 ¹⁴	>3.5 · 10 ⁴ ^c	4.0 · 10 ⁷
Cadmium	Legierungen, Beschichtungen, Pigmente, (Batterienf),	3.6 · 10 ¹²	>2.1 · 10 ⁴ ^c	Keine Angaben
Barium	Bohrflüssigkeiten, Füllstoff (Plastik, Farbe, Gummi)	8.2 · 10 ¹⁵	9.2 · 10 ³ ^g	7.4 · 10 ⁸ ^g
Bismut	Metallurgie und Legierungen	6.0 · 10 ¹¹	8.2 · 10 ³	Keine Angaben
Zirkonium	Nuklearreaktoren	3.1 · 10 ¹⁵	>1.5 · 10 ³ ^c	6.0 · 10 ⁷
Indium	Flachbildschirme, Elektronikkomponenten	3.8 · 10 ¹²	7.8 · 10 ²	Keine Angaben
Tantal	Kondensatoren	4.1 · 10 ¹³	>6.7 · 10 ² ^c	Hinreichend für vorhersehbaren Bedarf
Gallium	Elektronik	4.6 · 10 ¹⁴	3.8 · 10 ²	1.0 · 10 ⁶ (in Bauxit, aber nur wenig ist abbaubar)
Beryllium	Elektronik	4.6 · 10 ¹³	2.5 · 10 ²	8.0 · 10 ⁴
Rhenium	Superlegierungen, Katalysatoren	6.2 · 10 ¹⁰	5.3 · 10 ¹	1.1 · 10 ⁴
Hafnium	Nuklearreaktoren, Elektronik	7.9 · 10 ¹³	Keine Angaben	Keine Angaben
Selen	Glass, Leuchtdioden, Photovoltaik, Infraroptik	1.2 · 10 ¹²	Keine Angaben	Keine Angaben
Tellur	Additiv für Stahl, Solarzellen, Thermoelektronik	2.3 · 10 ¹⁰	Keine Angaben	Keine Angaben

^a (U.S. Geological Survey 2014)

^b Angaben für das Jahr 2011;

^c Wert ohne die nicht bekanntgegebene US-Produktion;

^d Nur Platin und Palladium;

^e Als Oxide;

^f In der Schweiz sowie der EU dürfen Batterien,

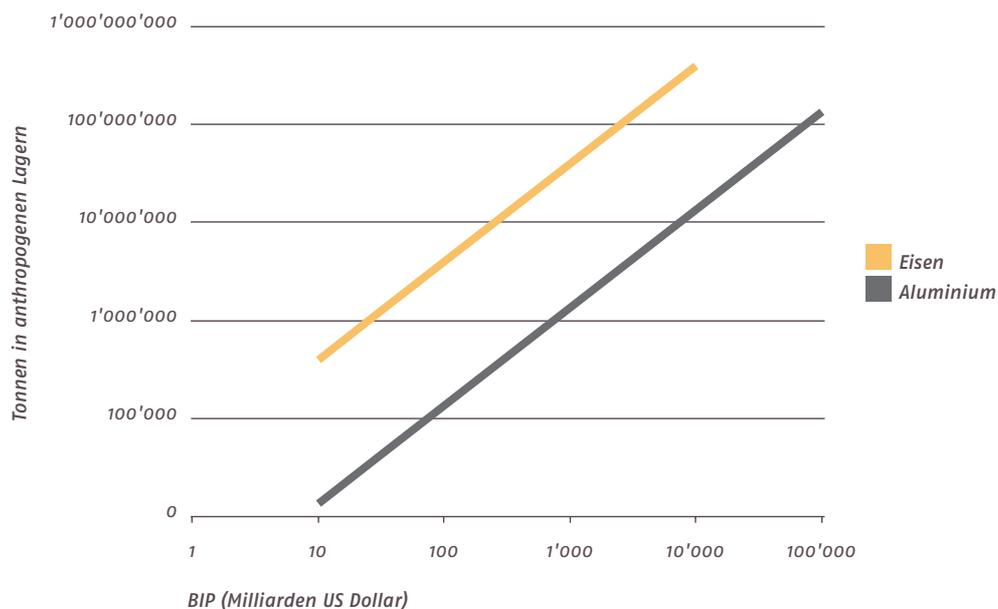
die Cadmium enthalten (>20 mg pro kg) nicht mehr in Verkehr gebracht werden

^g Als Baryt (BaSO₄)



Zusätzlich zu den oben genannten Anwendungen von Metallen in Bauwesen, Industrie und Technologie spielen radioaktive Metalle, in erster Linie Uran, eine Rolle bei der Energieumwandlung in Kernkraftwerken. Im Jahr 2013 wurden weltweit 59'630 Tonnen Uran gefördert. Kasachstan (38%), Kanada (16%) und Australien (11%) sind dabei die Hauptfördernationen (World Nuclear Association 2014). In Zukunft könnte Thorium vielleicht einmal für die nukleare Energieumwandlung eine gewisse Rolle spielen. Eine technische Nutzung ist im Moment und für die nächsten 30 Jahre aber nicht absehbar.

Eine Abschätzung der erwarteten zukünftigen Entwicklung des Rohstoffbedarfs zeigt, dass dieser durch zwei zentrale Aspekte bestimmt wird. Vor Allem sind Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum die Treiber des zukünftigen Bedarfs. Dabei wird eine erhöhte Wirtschaftsleistung gerade in heute weniger entwickelten Regionen zu einer erhöhten Nachfrage, speziell nach Eisen- und Nichteisenmaterialien, führen, welche unter anderem zum Aufbau von Infrastruktur unabdingbar sind (*Figur 16*). Neben diesem generellen Anstieg des Rohstoffbedarfes zeichnet sich aber ein überproportionales Wachstum des Bedarfs an Edel- und Spezialitätenmetalle ab, welche, in (aus heutiger Sicht) vielversprechenden Zukunftstechnologien breite Verwendung finden werden.²⁰



Figur 16
Akkumulation von Eisen und Aluminium in Abhängigkeit des BIP.
Regression aus einer Studie von J.N. Rauch (Rauch 2009).

²⁰ So wird beispielsweise im Jahr 2030 allein für die Anwendung in Zukunftstechnologien ein Bedarf an Gallium (für Dünnschichtphotovoltaik, integrierte Schaltkreise, LED), Neodym (Permanentmagnete, Lasertechnik), Indium (Displays, Dünnschichtphotovoltaik), Germanium (Glasfaserkabel, Infrarottechnologien), Scandium (Festoxidbrennstoffzellen, Aluminiumlegierungen), Platin (Brennstoffzellen, Katalysatoren) oder Tantal (Mikrocondensatoren, Medizintechnik) erwartet, der die gesamte heutige Weltproduktionsmenge (bis zu einem Faktor 6!) übersteigt (Angerer u. a. 2009).



Die in der Erdkruste vorliegende Menge eines Rohstoffes bildet grundsätzlich eine quantitative Obergrenze für dessen Nutzung. Allerdings liegt der Grossteil der in der Natur vorkommenden Rohstoffe in zu geringer Konzentration vor um genutzt werden zu können. Zusätzlich verhindert eine schwer zugängliche Lage (z.B. bei einer Lagerstätte zu tief in der Erdkruste, am Meeresgrund oder in der Arktis) eine ökonomisch sinnvolle Nutzung von Vorkommen. Daher ist der Begriff *mineral resource* (siehe *Box 3*) in diesem Zusammenhang definiert als die Vorkommen in einer Konzentration und Form, die eine ökonomische Nutzung in Aussicht stellen (*Kapitel 3.1.1*) (CRIRSCO 2013). So ist beispielsweise Eisen mit etwa 5 Gewichts% das vierthäufigste Element der Erdkruste (was einer Masse von ca. $2.4 \cdot 10^{13}$ Tonnen entsprechen würde), die globalen *mineral resources* betragen aber «nur» knapp ein Prozent davon (230 Milliarden Tonnen) (U.S. Geological Survey 2014). Die so definierte Ressourcenmenge erlaubt eine grundsätzliche Abschätzung von in der Erdkruste zugänglichen Mineralien und Metallen. Allerdings ist der Begriff «*mineral resources*» nicht mit Verfügbarkeitsgrenzen im absoluten Sinn gleichzustellen: Laufend werden neue *resources* entdeckt, oder neue Technologien bzw. steigende Metallpreise schaffen neu die Aussicht auf Nutzung bisher unrentabler Vorkommen. So hat in den letzten Jahrzehnten trotz gestiegenem Rohstoffverbrauch die Menge an *mineral resources* meist nicht ab- sondern zugenommen.²¹ Daher wird auch nicht von einer baldigen geologischen Knappheit metallischer und mineralischer Rohstoffe aufgrund von zu geringen natürlichen *resources* ausgegangen (European Commission 2010; Wittmer u. a. 2011).

Eine viel grössere Gefahr für die Versorgungssicherheit sind Unterbrechungen der Lieferkette oder auch Marktunsicherheiten z.B. durch Kriege oder Umweltkatastrophen (Erdmann u. a. 2011). Eine tiefgehende Abschätzung der Kritikalität eines Rohstoffs bedingt dabei immer eine mehrdimensionale Angehensweise (siehe *Box 5*). Neben der Versorgungssicherheit in der einen Dimension, spielt in der anderen Dimension auch die wirtschaftliche Wichtigkeit eine zentrale Rolle. Um als kritisch eingestuft zu werden, muss ein Rohstoff also einerseits durch eine erhöhte Versorgungsunsicherheit und andererseits durch eine zentrale ökonomische Rolle gekennzeichnet sein (Erdmann u. a. 2011). Neuere Studien berücksichtigen zusätzlich die Umweltbelastung der Produktion als dritte Dimension der Kritikalität (Graedel u. a. 2015).

Die Mehrheit der Studien, die sich mit der Kritikalität von metallischen Rohstoffen befassen, befinden in Übereinstimmung Edelmetalle und Spezialitätenmetalle für kritischer als die Eisen- und Nichteisenmetalle. Besonders häufig werden die Edelmetalle der Platingruppenelemente (Platin, Palladium, Ruthenium, Osmium, Iridium und Rhodium), sowie die Spezialitätenmetalle (Lithium, Beryllium, Niobium, Wolfram, Indium) (siehe *Box 6*), Gallium, Germanium, Antimon, Scandium und Yttrium sowie die übrigen Elemente der seltenen Erden) genannt (Erdmann u. a. 2011).²²

²¹ Beispielsweise sind die globalen Kobaltressourcen von 11 Mio Tonnen im Jahr 1994 auf 15 Mio Tonnen in 2001 und 25 Mio Tonnen im Jahr 2012 gestiegen, obwohl die jährliche Fördermenge im gleichen Zeitraum um über 550% gewachsen ist (von 18'500 Tonnen in 1994 auf 103'000 Tonnen in 2012) (U.S. Geological Survey 2014).

²² Gerade bei den besonders kritischen Edel- und Spezialitätenmetallen sind zudem häufig die Mengen der *mineral resources* nicht bekannt (siehe *Tabelle 3*). Die Tatsache, dass die vorhandenen abbaubaren Mengen (*mineral resource*) nicht bekannt sind, erhöht zusätzlich das Risiko von zukünftigen Versorgungsschwierigkeiten.



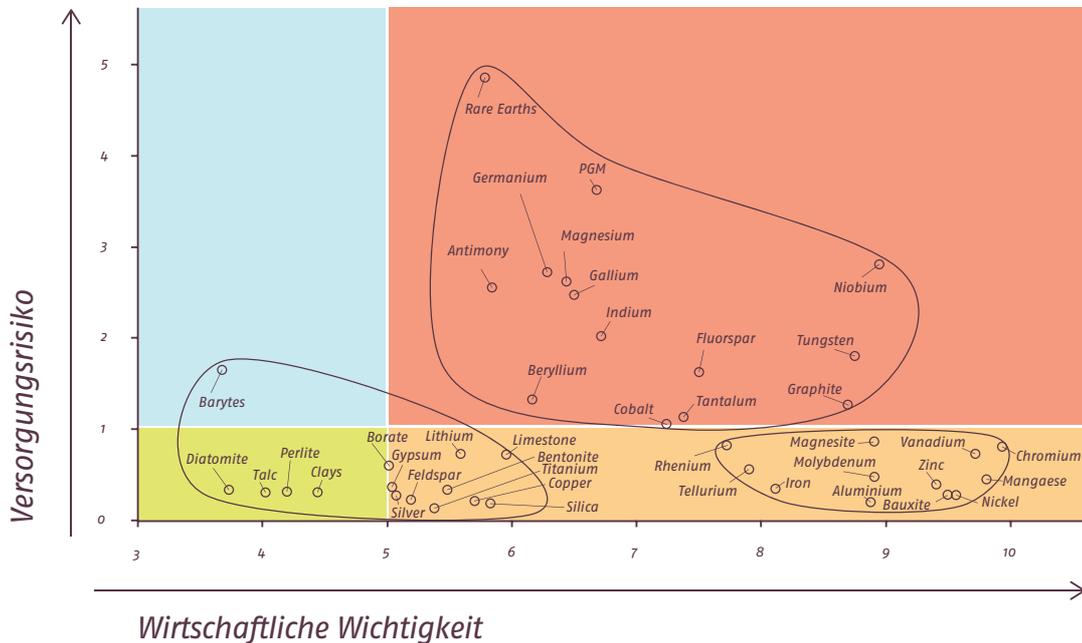
Den kritischsten Elementen ist dabei gemein, dass sie praktisch immer in geringen Mengen in Vorkommen von anderen Metallen gefunden werden und nur mit diesen Wirtmetallen zusammen produziert werden können (Graedel u. a. 2015; Nassar u. a. 2015).

Ein konsequentes Recycling könnte die Kritikalität vieler Metalle entschärfen. Signifikante Mengen der bisher abgebauten Metallvorkommen liegen heute in Deponien in Form von Abraum aus dem Bergbau (oft in ähnlicher Größenordnung wie die vorhandenen in Erzen vorliegenden mineral resources), sowie in Form von Altmetall oder weggeworfenen Produkten. Leider sind die vorhanden Daten über Orte und Mengen solcher anthropogener Rohstofflager heute noch sehr begrenzt (UNEP 2010). Eine weitere Schwierigkeit, gerade beim Recycling auf der Produktstufe, ist die dissipative Nutzung vieler Metalle. Oft werden (vor allem die Edel- und Spezialitätenmetalle) in nur kleinen Mengen in komplexen Produkten eingesetzt, oder sie werden während der Nutzungsphase (z.B. durch Abrieb) so fein verteilt, dass ein Recycling ökonomisch nicht lohnend ist. Daher werden heute viele Metalle – besonders solche die in pyrometallurgischen Prozessen leicht oxidieren und in die Schlacke gelangen – praktisch nicht rezykliert. Signifikante Recyclingraten ergeben sich hingegen für diejenigen Metalle, die in grösseren Mengen in Anwendungen genutzt werden, wo sie für einfaches Recycling zugänglich bleiben (dies gilt hauptsächlich für die Eisenmetalle, für Legierungskomponenten wie Chrom, Mangan, Kobalt, Nickel oder Zink, sowie für Aluminium, Titan, Kupfer und Blei). Andererseits werden auch die Edelmetalle rezykliert, bei welchen der hohe Wert kompliziertere Recyclingprozesse rechtfertigt (Gold, Silber, Platingruppenelemente) (UNEP 2011).



Box 5
Kritikalitätsmatrizen

Durch die Abschätzung der Kritikalität eines Rohstoffes anhand der zwei Dimensionen – Versorgungssicherheit und wirtschaftliche Wichtigkeit – eignet sich zu deren Veranschaulichung eine Matrixdarstellung. Ein Beispiel einer solchen Kritikalitätsmatrix ist in **Figur 17** abgebildet (European Commission 2010). Anhand der Figur lassen sich drei Cluster von Metallen erkennen. Links unten sind diejenigen Rohstoffe mit einer hohen Versorgungssicherheit und einer relativ geringen wirtschaftlichen Wichtigkeit. Rechts unten finden sich die ökonomisch wichtigen Stoffe, deren Zugänglichkeit aber als gesichert betrachtet werden kann. Das dritte Cluster beinhaltet diejenigen Rohstoffe, bei welchen ein erhöhtes Versorgungsrisiko (hier: Geringe Anzahl und Stabilität von Produktionsländern, geringe Substituierbarkeit durch andere Materialien in den Hauptanwendungen, geringe Rezyklierbarkeit) gepaart mit einer grossen Anfälligkeit der Wirtschaft auf allfällige Engpässe (hier: der Anteil der Rohstoffverwendung in einem bestimmten Sektor, sowie die wirtschaftliche Wichtigkeit des jeweiligen Sektors) eine Einstufung als kritisch rechtfertigen. Es gilt zu beachten, dass solche und ähnliche (Graedel et al. 2012; National Research Council (U.S.) et al. 2008; U.S. Department of Energy 2010) Ansätze zur Bestimmung der Kritikalität von Materialien wegen Unterschieden in der Ausgangsperspektive, der Systemabgrenzung, der Wahl und Aggregation von Indikatoren, sowie der betrachteten Materialien, zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.



Figur 17
Kritikalitätsmatrix mit Versorgungsrisiko auf der einen und wirtschaftlicher Wichtigkeit auf der anderen Achse. Damit lassen sich Rohstoffe bezüglich ihrer Kritikalität prüfen.
Quelle: (European Commission 2010)



Box 6
Indium als Beispiel eines kritischen Metalls

Das Spezialitätenmetall Indium gilt häufig als kritisch. Im Jahr 2012 wurden weltweit rund 780 Tonnen Indium aus der Primärproduktion gewonnen. Die Produktion stieg in den letzten 15 Jahren um das 3,5-Fache (U.S. Geological Survey 2014). Anders gesagt wurden rund 80% des bisher geförderten Indiums nach 1980 produziert. Das erhöhte Versorgungsrisiko von Indium wird von verschiedenen Faktoren geprägt. Einerseits liegen für Indium keine gesicherten Daten über die abbaubare Menge vor. Andererseits kommt Indium nur als Begleitmetall in den Erzen anderer Metalle vor. Das hergestellte Indium stammt hauptsächlich aus sulfidischen Zinkerzen (meist Sphalerit), wo es im Bereich von einigen Prozent-Tausendstel vorliegt. Entsprechend ist die Gewinnung des Metalls sehr aufwendig und somit produzieren nur einige wenige der im Zinkabbau tätigen Unternehmen Indium. So werden nur 25–30% des im abgebauten Zinkerz vorhandenen Indiums genutzt, während der Rest im Abraum deponiert wird. Der Verkauf von Indium macht allerdings nur rund 3% des Gesamtumsatzes der kombinierten Produktion aus. Daher ist eine Erhöhung der Indiumproduktion nur dann ökonomisch rentabel, wenn das dadurch zusätzlich geförderte Zink vermarktet werden kann (Chapman u. a. 2013). Die Produktionsmenge des kritischen Elements Indium wird also durch die Marktdynamik des Primärproduktes Zink bestimmt. Ferner stammen knapp drei Viertel der globalen Indiumproduktion aus China und Südkorea (U.S. Geological Survey 2014), was zu einer erhöhten Abhängigkeit von diesen Ländern führt. Entsprechend hoch war in den letzten Jahren auch die Preisvolatilität des Rohstoffes.

Neben dem Versorgungsrisiko wird die Kritikalität von Indium auch durch seine hohe Wichtigkeit bestimmt. Hauptanwendungsgebiete sind Flachbildschirme (56%), Lötmittel (10%), Solarzellen (8%), Wärmeleitmaterialien (6%), Batterien (5%), Verbindungen und Legierungen (4%) sowie Halbleiter und LED (3%) (Chapman u. a. 2013). Auffällig ist der hohe Anteil des Indiumbedarfs für Zukunftstechnologien. So kommt Indium hauptsächlich in Form von Indiumzinnoxid (indium tin oxide, ITO) in transparenten Leitschichten zum Einsatz. Transparente Leitschichten werden sowohl in Flachbildschirmen, Displays und Touchscreens als auch als Kontaktschichten in der Photovoltaik benötigt. Ausserdem ist das Element Bestandteil von Dünnschicht-Solarzellen (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid, CIGS) und – als Indiumgalliumnitrid – von weissen Leuchtdioden. Im Rahmen des anstehenden Ausbaus der Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen und eines fortschreitenden Einsatzes von Bildschirmen und Displays, sowie von LED-Leuchtmitteln, ist zukünftig mit einem signifikant erhöhten Indiumbedarf zu rechnen. Schätzungen gehen davon aus, dass bis ins Jahr 2030 alleine für Zukunftstechnologien eine mehr als dreimal höhere Indiumproduktion nötig sein wird (Angerer u. a. 2009).

In Anbetracht der Wichtigkeit von Indium, gepaart mit einer ungewissen Versorgungssicherheit, kommen dem Recycling und der Substitution eine hohe Wichtigkeit zu. So kann beispielsweise ITO für transparente Leitschichten mit gewissen Leistungseinbussen durch verschiedene andere Materialien (z.B. Aluminium dotiertes Zinkoxid) ersetzt werden. Auch das Recycling von Indium ist technologisch möglich und wird bereits angewandt. So wurde beispielsweise bereits im Jahr 2009 in Japan eine grössere Menge Indium aus Sekundärquellen denn aus Primärquellen verbraucht (EU Policy on Natural Resources 2012).



3.1.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.1.3.1 Direkt

Der direkte Ressourcenverbrauch beinhaltet nur die unmittelbare Gewinnung aus natürlichen Lagern und ist in der Schweiz relativ gering, da viele Materialien als solche importiert und nicht in der Schweiz abgebaut und produziert werden.

Der direkte Ressourcenverbrauch der Schweiz an nicht fossilen abiotischen Rohstoffen beschränkt sich auf Industriemineralien (Steinsalz, Gips) sowie im Bauwesen benötigte Steine und Erden (Natursteine, Kalke und Mergel, Sande und Kiese, Tone, Fest- und Hartgesteine). Im Jahr 2012 wurden in der Schweiz beispielsweise 8.4 Millionen Tonnen Kalk- und Gipsstein, 1.5 Millionen Tonnen Ton und Kaolin, 520'000 Tonnen Steinsalz, 160'000 Tonnen Hartgesteine und 151'000 Tonnen Kreide und Dolomit abgebaut (BFS 2014). Die inländische Produktion an Sand und Kies betrug 2012 beträchtliche 32.8 Millionen Tonnen, was immerhin fast 80% des inländischen Bedarfs deckte (BFS 2014). Der Grossteil der geförderten Mengen von Sand und Kies wurde für die Zement- und Betonproduktion und somit im Bauwesen verwendet. Auch wenn die genauen Vorkommen in der Schweiz nicht bekannt sind, so kann doch davon ausgegangen werden, dass die inländischen Vorkommen an Bau- und Industriemineralien generell weitreichend sind. Allerdings bestehen einschränkende Wechselbeziehungen zur Nutzung anderer Ressourcen. Der freien Nutzung der abiotischen Rohstoffe stehen so beispielsweise der Landschaftsschutz, der Grundwasserschutz, alternative Bodennutzung (z.B. Landwirtschaft oder Siedlungsraum) etc. gegenüber. So dürfen beispielsweise Kies und Sand bei einem zur Wassergewinnung geeigneten Grundwasservorkommen nicht unterhalb des Grundwasserspiegels abgebaut werden (Gewässerschutzgesetz GSchG, Art. 44, §2b). Ausserdem muss nach der Schliessung einer Abbaustätte – vielfach zwingend – Wert auf die Renaturierung gelegt werden.

Obwohl die Schweiz über mehr als 1'000 bekannte Metallerzvorkommen verfügt, welche bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts, sowie während der Rohstoffknappheit der Weltkriege, auch genutzt wurden, spielen diese gegenwärtig aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und des Landschaftsschutzes keine Rolle mehr (Beres u. a. 2013). Daher stellt das Recycling von Metallen die einzige inländische Quelle dieser Rohstoffe dar. Im Jahr 2012 wurden in der Schweiz noch 25'000 Tonnen sekundäres Aluminium produziert (U.S. Geological Survey 2012), was einen Anteil von etwa 12% am Schweizerischen Aluminiumverbrauch darstellte²³. Allerdings wurde das letzte Werk, in dem Aluminiumschrott aus kommunalen Sammlungen eingeschmolzen wurde, 2012 geschlossen. Ebenfalls wurden im Jahr 2013 1.64 Millionen Tonnen an verwertbaren Eisen- und Stahlschrottsorten gesammelt, wovon 62% in Schweizer Werken genutzt wurden (Verband Stahl-, Metall- und Papier-Recycling Schweiz 2013). Auch der Rücklauf und das Recycling von Elektro- und Elektronikgeräten stellt in der Schweiz potenziell eine direkte Rohstoffquelle dar. So wurden beispielsweise im Jahr 2013 rund 55'300 Tonnen solcher Geräte mit einem Gesamtinhalt von fast 23'000 Tonnen Metall gesammelt (SENS u. a. 2014).

²³ Der Netto-Aluminium-Einsatz in der Schweiz lag bei 213'700 Tonnen in 2011 (<http://www.alu.ch/download/diverses/Zahlen2012.pdf>)



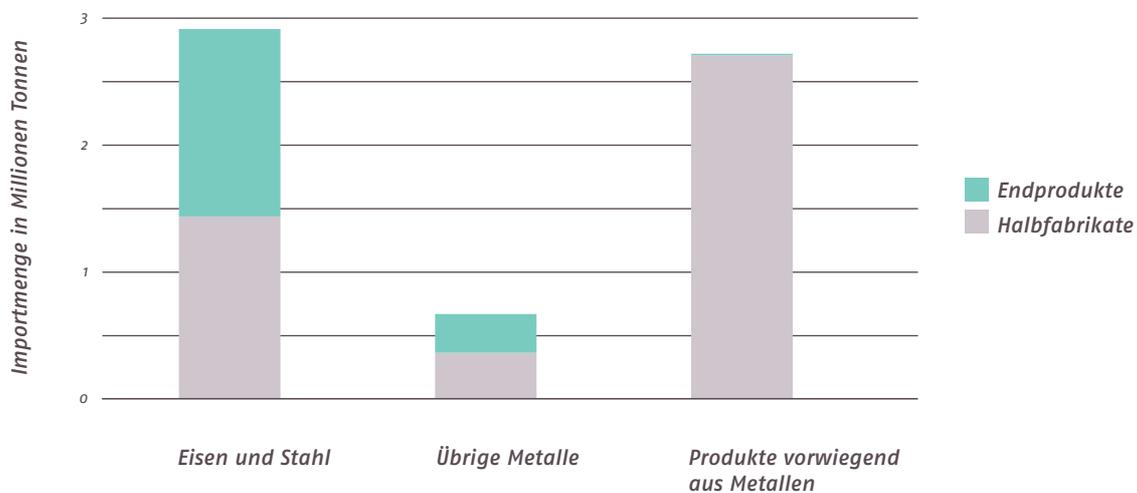
Allerdings werden diese Wertstoffe in der Schweiz heute nur gesammelt und sortiert, die eigentliche Aufbereitung und Wiedergewinnung der Metalle findet im Ausland statt. Die Grenzen für eine direkte inländische Nutzung von metallischen Rohstoffen, werden somit von der Wirtschaftlichkeit und dem Landschaftsschutz (in der Primärproduktion), sowie von der Menge an Rohstoffen aus dem Recycling (Sekundärproduktion) gesetzt.²⁴

3.1.3.2 Indirekt

Aufgrund des relativ geringen direkten Verbrauchs an nicht fossilen abiotischen natürlichen Rohstoffen in der Schweiz, wird der Grossteil des Schweizerischen Verbrauches durch Import von Materialien oder von Produkten gedeckt und fällt als indirekter Ressourcenverbrauch an. Mit dieser grossen Importabhängigkeit verlagert die Schweiz jedoch einen substantiellen Teil des Verbrauchs an natürlichen Ressourcen, generiert von Konsum und Industrie, ins Ausland. Daten zum Import von Rohstoffen und Gütern können dabei den publizierten Materialflusskonten des Bundesamtes für Statistik entnommen werden (BFS 2014). Im Jahr 2012 importierte die Schweiz rund 6.3 Millionen Tonnen an Metallen und 13.7 Millionen Tonnen an nichtmetallischen Mineralien (jeweils in unterschiedlichen Verarbeitungsstufen). Bei den Metallen machen Produkte, die vorwiegend aus nicht weiter bestimmten Metallen bestehen, fast die Hälfte der Importe aus (2.7 Millionen Tonnen). Am Rest der importierten Metalle haben Eisen und Stahl mit 2.9 Millionen Tonnen einen mehr als viermal höheren Anteil als alle übrigen Metalle (ca. 0.7 Millionen Tonnen). Die meistimportierten übrigen Metalle sind Aluminium (76%) und Kupfer (17%). Während der Anteil von Rohmaterialien an den importierten metallischen Gütern jeweils weniger als 1% beträgt, halten sich die Anteile an Halbfabrikaten und Endprodukten in etwa die Waage (Figur 18).²⁵

²⁴ In Abwesenheit von nutzbaren natürlichen Rohstoffvorkommen stellt die Sekundärnutzung von Metallen und Baumineralien eine wichtige zukünftige Quelle für den direkten Schweizer Ressourcenverbrauch dar. Der historisch hohe Rohstoffkonsum von reichen Ländern wie der Schweiz bewirkte eine Akkumulation von Rohstoffen in anthropogenen Lagern. Aufgrund einer weltweit beobachteten linearen Korrelation zwischen dem heutigen Bruttosozialprodukt und der Grösse dieser angehäuften Lager (siehe *Figur 16*) lassen sich diese für eine jeweilige Wirtschaftseinheit abschätzen. Die Schätzungen der Schweizer-Lager bewegen sich in den Grössenordnungen von 76 Millionen Tonnen Eisen, 2.6 Millionen Tonnen Aluminium, 1.6 Millionen Tonnen Kupfer und 1.0 Millionen Tonnen Zink (Rauch 2009). Es gilt jedoch zu bedenken, dass ein erheblicher Teil dieser Lager gegenwärtig in Gebrauch ist und dass sie deshalb erst nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer zugänglich werden. In diesem Zusammenhang verdient die potenziell grosse Menge an Sekundärmetall in Anwendungen, welche nicht mehr genutzt werden, aber noch nicht als Abfall weggeworfen wurden, eine besondere Beachtung (vor allem Edel- und Spezialitätenmetalle in Elektronikgeräten).

²⁵ Allerdings greifen die reinen Importmengen zu wenig weit, um den indirekten Ressourcenverbrauch der Schweiz abzuschätzen. Bei der Erzgewinnung und der Produktion von Metallen daraus fallen nämlich Verluste der metallischen Rohstoffe im Bereich von 20–50% an. Entsprechend liegt der Bedarf an Eisen im Erz für die Gewinnung von einem Kilogramm metallischem Eisen bei ca. 1.3 Kilogramm. Daneben verursacht die Produktion von Metallen – wie von allen anderen Gütern – auch sogenannten versteckten Flüsse. Durch ihre ressourcenaufwendige Gewinnung und Verarbeitung sind Metalle und Metallprodukte für einen höheren Beitrag zu den versteckten Flüssen verantwortlich als andere Rohstoffe. Obwohl deren Anteil an den Gesamtimporten der Schweiz im Jahr 2012 nur 12% betrug, war diese Güterkategorie für 55% der geschätzten versteckten Flüsse verantwortlich (BFS 2014). Das bedeutet, dass die importierten 6.3 Millionen Tonnen Metalle und Metallprodukte ein Total von 93 Millionen Tonnen an versteckten Flüssen auslösten.



Figur 18
Importmengen von Metallen in die Schweiz im Jahr 2012.
Daten: (BFS 2014)

Auch beim hauptsächlich in Düngemitteln verwendeten Phosphor wird der Schweizerische Bedarf grösstenteils durch Importe gedeckt. Eine für das Jahr 2006 durchgeführte Stoffflussanalyse kam zu dem Ergebnis, dass bedeutend grössere Mengen Phosphor in die Schweiz eingeführt werden als durch Exporte und in Form von löslichen Phosphorverbindungen über die Gewässer das Land verlassen. Es besteht also ein jährlicher Zuwachs des Phosphorlagers in den Böden und in Deponien. Bei einer Wiederverwertung dieses Phosphors kommt der Abfallwirtschaft eine entscheidende Rolle zu. So wird der Gehalt an Phosphor in den bei der Wiederaufbereitung des Abwassers anfallenden Klärschlämmen auf etwa 5'800 Tonnen pro Jahr geschätzt, was ziemlich exakt der in den importierten Mengen landwirtschaftlicher Minereraldünger enthaltenen Menge Phosphor (5'900 Tonnen) entspricht. Heute werden solche Klärschlämme verbrannt und die Asche in Reaktordeponien entsorgt (Binder u. a. 2009). Eine Phosphorrückgewinnung aus solchen Klärschlämmen würde also nicht nur einen schonenden Umgang mit den im Ausland liegenden Primärressourcen darstellen, sondern auch die Importabhängigkeit von Düngemitteln reduzieren und eine inländische direkte Rohstoffquelle schaffen.²⁶

²⁶ Aus diesem Grund soll in der Totalrevision der Technischen Verordnung über Abfälle die Rückgewinnung und die stoffliche Verwertung des Phosphors aus Klärschlamm vorgeschrieben werden. Die Schwierigkeit bei der Wiedergewinnung des Phosphors besteht einerseits darin diesen von den im Klärschlamm vorhandenen Schadstoffen (z.B. Krankheitserreger, Schwermetalle und Medikamentenrückstände) zu trennen, sowie die Verfügbarkeit des gewonnenen Phosphors für Pflanzen zu erhöhen. Für beide Herausforderungen stehen heute entsprechende Technologien zur Verfügung (Jarosch 2014), deren Praxistauglichkeit allerdings unterschiedlich bewertet wird.



Im Allgemeinen muss bei den meisten metallischen Rohstoffen global nicht von einer baldigen geologischen Knappheit ausgegangen werden (vgl. **Kapitel 3.1.2**). Grenzen für den Schweizerischen Import von Metallen und Metallprodukten werden daher durch deren Kritikalität (Versorgungssicherheit und wirtschaftliche Wichtigkeit) sowie durch ökologische und soziale Aspekte in den jeweiligen Förder- und Produktionsländern bestimmt. Einerseits bedingt dies seitens der produzierenden Wirtschaft eine genaue Prüfung ihrer Rohstoffe und Halbfabrikate auf Kritikalität sowie, wenn nötig und möglich, eine Umstellung auf weniger kritische Materialien. Andererseits sind von der Schweiz aus Bestrebungen zu unternehmen, die negativen sozialen und ökologischen Auswirkungen des Rohstoffabbaus in den Fördernationen zu minimieren.

In diesem Zusammenhang kommt einer effizienteren Nutzung von Rohstoffen eine entscheidende Bedeutung zu. Ein geringerer Verbrauch stellt sowohl eine Reduktion der Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen, als auch eine Verminderung der Auswirkungen des Rohstoffabbaus dar. Generell ist eine Entkopplung von Wohlstand und Materialverbrauch anzustreben. Eine Effizienzsteigerung um einen Faktor zwischen 2, und 10 bis ins Jahr 2050, wird in diesem Zusammenhang als möglich erachtet (World Resources Forum 2011).



3.2 Fossile Rohstoffe

Die fossilen Rohstoffe, hauptsächlich Erdöl, Erdgas und Kohle, werden weltweit in grossen Mengen gefördert. In der Schweiz werden keine fossilen Rohstoffe gefördert, weshalb wir zur Versorgung unseres direkten Bedarfs ausschliesslich auf Importe angewiesen sind. Global wie in der Schweiz, wird der allergrösste Teil der fossilen Rohstoffe energetisch genutzt, d.h. zwecks Energiegewinnung zu Kohlendioxid (CO₂) und Wasser verbrannt. Weniger als 5% dieser Rohstoffe wird materiell (z.B. zur Kunststoffherstellung) genutzt und am Lebensende verbrannt oder deponiert. Durch die energetische Nutzung werden die endlichen fossilen Rohstoffe verbraucht. Trotzdem ist mit einer ernsthaften Verknappung fossiler Rohstoffe auf dem Weltmarkt gegenwärtig nicht zu rechnen, da, selbst bei einem globalen Anstieg des Konsums wie wir ihn aus der Vergangenheit kennen, die bekannten Reserven – also der Teil der bekannten Ressource, der wirtschaftlich abgebaut werden kann (vgl. Box 3) – noch mindestens 100 Jahre reichen würden. Hingegen führt die Verbrennung fossiler Rohstoffe durch die damit assoziierte Emission von Kohlenstoffdioxid zum globalen Klimawandel. Bereits die heute bekannten Vorkommen fossiler Rohstoffe sind drei bis vier mal grösser als die Menge, die zur Einhaltung des international vereinbarten Klimaziels noch verbrannt werden darf. Dieses Ziel gibt vor, dass die globale Nutzung fossiler Energien in den nächsten 35 Jahren um mindestens 70% reduziert werden muss²⁷. Das heisst gleichzeitig, dass ein grosser Teil der bekannten fossilen Rohstoffe für immer ungenutzt bleiben muss. Diese Perspektive macht klar, dass jede Investition in die Prospektion oder Förderung neuer Vorkommen eine Fehlinvestition ist. Diverse grosse Anleger haben das verstanden und sich aus diesem Geschäft zurückgezogen.

3.2.1 Worum geht es?

Unter fossilen Rohstoffen versteht man hauptsächlich Erdöl, Erdgas und Kohle, die durch Abbauprozesse aus den Überresten von Pflanzen und Tieren, die vor Jahrmillionen auf der Erde gelebt haben, unter ganz bestimmten physikalischen Bedingungen entstanden sind. Fossile Rohstoffe können materiell, zum Beispiel als Kunststoffe, oder energetisch genutzt werden. Bei der materiellen Nutzung gilt ähnlich wie bei nicht fossilen abiotischen Rohstoffen, dass die Materialien in technischen Lagern gespeichert werden. Bei der energetischen Nutzung, die viel relevanter ist als die materielle, wird der Rohstoff nach relativ kurzer Zeit in einem technischen Lager verbrannt und dabei im Wesentlichen in Kohlendioxid (CO₂) und Wasser umgewandelt und als solche in die Luft emittiert.²⁸ Eine energetische Nutzung ist also nur einmal möglich, was zu einem raschen Verbrauch der Rohstoffe führt. Aber «die Steinzeit ist nicht zu Ende gegangen, weil es zu wenig Steine gab und auch die Ölzeit wird nicht zu Ende gehen weil es zu wenig Öl gibt».²⁹ Inzwischen ist klar, dass eine anhaltende Verbrennung von Kohle, Öl und Gas lange vor dem Verschwinden der fossilen Ressourcen zu einer

²⁷ Vorausgesetzt, dass die globale Treibhausgasemission zwischen 2012 und 2020 nicht weiter ansteigt. Im Moment muss allerdings davon ausgegangen werden, dass der Anstieg der Emission in dieser Zeit nicht angehalten werden kann. Trifft dies zu, muss die Reduktion nach 2020 umso rascher erfolgen, sodass ab 2050 wohl überhaupt keine fossilen Rohstoffe mehr verbrannt werden dürfen.

²⁸ In Zukunft wird das CO₂ von Verbrennungsprozessen möglicherweise aufgefangen und gespeichert werden können (carbon capture and storage, CCS). Damit würde es nicht in die natürliche Umwelt entlassen, sondern in ein technisches Lager überführt werden.

²⁹ Scheich Ahmed Yamani, saudischer Ölminister 1962 – 1986



massiven Veränderung des globalen Klimas führen würde. Es muss davon ausgegangen werden, dass dies katastrophale Folgen für die Menschen und viele andere Lebewesen auf der Erde hätte. Entsprechend ist aus Nachhaltigkeitssicht die energetische Nutzung von fossilen Ressourcen primär durch die Absorptionskapazität des Ökosystems für Kohlendioxid beschränkt (siehe Kapitel 3.7: Klima). Diese Einschränkung könnte dereinst mit Kohlenstoffspeicherungstechnologien (Carbon Capture and Storage, CCS) überwunden werden. Allerdings besteht im Moment in der Wissenschaft kein breiter Konsens, dass solche Technologien mittelfristig marktreif werden (IPCC 2014b). Wenn überhaupt, wäre CCS nur für grosse stationäre Anlagen sinnvoll. Kohlendioxidemissionen aus mobilen Quellen können damit also nicht vermieden werden. Der Ersatz von fossilen Treibstoffen für LKWs, Lastschiffe und Flugzeuge ist aber technisch sehr viel schwieriger, als in stationären Anlagen die fossilen Brennstoffe zu ersetzen. Darum muss damit gerechnet werden, dass CSS bis 2050 kaum eine (und auch bis Ende des 21 Jahrhunderts nur eine subsidiäre) Rolle spielen wird. Entsprechend muss eine potenzielle Knappheit oder Kritikalität der fossilen Ressourcen an sich nicht weiter betrachtet werden. Im schlimmsten Fall könnte die geopolitische Situation kurzfristig zu einer Verknappung und damit zu einer Verteuerung der fossilen Ressourcen führen. Mehr als eine vorübergehende Kritikalität ist aber nicht zu erwarten.

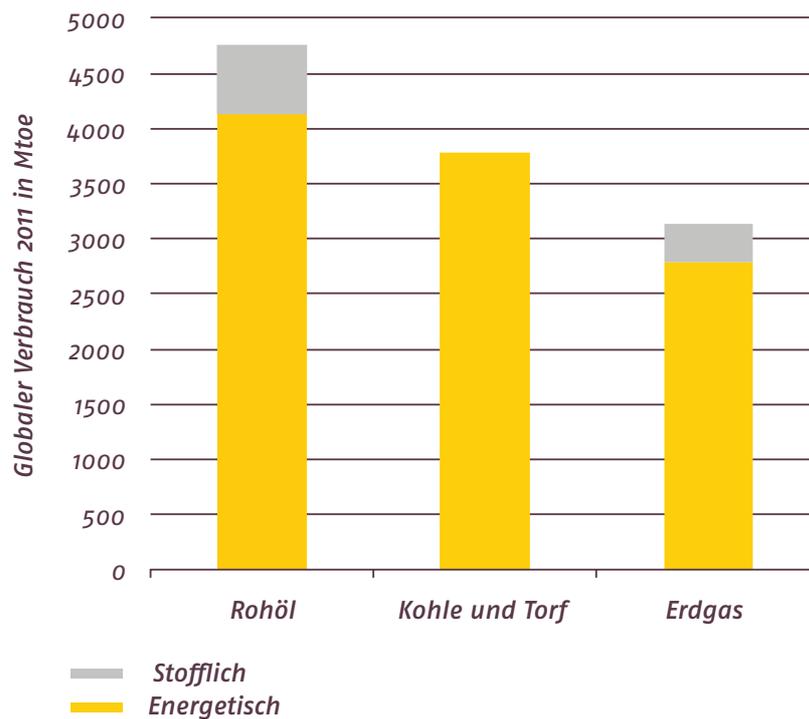
3.2.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen

Fossile Rohstoffe werden zu über 95% energetisch genutzt, sprich verbrannt. Für Kohle liegt dieser Wert bei praktisch 100%, für Erdgas bei etwa 88% und für Erdöl bei knapp 85%. Die folgenden Zahlen basieren, falls nicht anders vermerkt, auf einer Publikation der Internationalen Energie Agentur (IEA 2013). Wie [Figur 19](#) zeigt, war in 2011 Rohöl der mengenmässig wichtigste fossile Rohstoff für die Energieproduktion (4131 Mtoe³⁰), unmittelbar gefolgt von Kohle und Torf (3777 Mtoe). Erdgas spielte eine deutlich weniger wichtige Rolle (2793 Mtoe).

Rohöl wurde in 2012 zu 32.5% im mittleren Osten produziert und zu 21.7% in den OECD Staaten. Die Europäischen nicht-OECD Staaten produzierten etwas mehr als 16%, Afrika 10%, die Amerikanischen nicht-OECD Staaten knapp 10%, China 5% und das restliche Asien etwas mehr als 4% der gesamten Rohölproduktion. Die Ölproduktion ist in den letzten 40 Jahren in allen Regionen ähnlich gewachsen. Nur China zeigt ein deutlich überdurchschnittliches Wachstum. Vor allem in den USA wurde dieser Produktionsanstieg nur durch die Nutzung unkonventioneller Quellen möglich (z.B. durch «Fracking»³¹).

³⁰ Mtoe = Megatonnen Öl Äquivalente. Diese Einheit bezeichnet die Masse an Öl, die dem Energieinhalt der Masse des jeweiligen Energieträgers entspricht.

³¹ Beim sogenannten «Fracking» werden Öl oder Gas mit grosse Mengen von Wasser oder Wasserdampf aus den relativ dichten, ölhaltigen Gesteinsformationen herausgedrückt. Das braucht einerseits viel Wasser und Energie, aber auch Sand und Chemikalien, und erlaubt andererseits aber die Förderung von Öl aus Quellen, die bisher als unrentabel galten. Es ist schon aufgrund des hohen Energiebedarfs offensichtlich, dass diese Fördermethode teurer ist und grössere negative Umweltauswirkungen hat, als die herkömmliche Produktion. Ob es darüber hinaus noch weitere schädliche Auswirkungen gibt, wird in der Wissenschaft derzeit diskutiert und untersucht.



Figur 19
Globaler energetischer und stofflicher Verbrauch der wichtigsten fossilen Rohstoffe in 2011.
(IEA 2013)

Der führende Produzent von Kohle war 2012 China mit über 45% der Weltproduktion, gefolgt von den OECD Staaten, die 26% produzierten. Während der Zuwachs in den OECD Staaten in den letzten 40 Jahren knapp 20% betrug, ist die Produktion in China und im restlichen Asien in derselben Zeit um einen Faktor von über 8 gestiegen.

Beim Erdgas führen die OECD Staaten mit 36% die Produzentenliste an. Darauf folgen die nicht OECD Staaten Europas und Eurasiens mit mehr als 25% und des Mittleren Ostens mit knapp 16% der Weltproduktion. Der Rest der Welt (China, Asien, Afrika und nicht-OECD Amerika) trugen zwar total nur knapp einen Viertel zum globalen Erdgasmarkt bei, aber die Zuwachsraten lagen in diesen Regionen und im mittleren Osten deutlich über den Zuwachsraten der grossen Produzenten.

Wie in [3.2.1](#) dargelegt, verursacht die energetische Nutzung von fossilen Ressourcen Emissionen von Kohlendioxid, die einen schädlichen Einfluss auf das globale Klima haben. Im Jahre 2010 wurden durch die Verbrennung fossiler Energieträger 32 Milliarden Tonnen CO₂ freigesetzt, was 65% der totalen Treibhausgasemission entspricht. Die Verbrennungsprozesse waren in den letzten 40 Jahren für etwa 78% des Emissionsanstiegs verantwortlich, sind also deutlich überproportional zu den anderen Treibhausgasen, beziehungsweise Treibhausgasquellen, gestiegen (IPCC 2014b).



Die zukünftige Nutzung fossiler Rohstoffe hängt wesentlich davon ab, ob die internationale Staatengemeinschaft sich auf bindende Reduktionsziele für die Emission von Treibhausgasen einigen kann oder nicht. Oxford Economics ging 2010 von einem jährlichen Verbrauchsanstieg von 1.2% bis 2020 aus (Oxford Economics 2010). Diese Entwicklung wird mit einem realen Preisanstieg von etwa 2.25 % pro Jahr assoziiert. Während die Verbrauchsprognose für die letzten 4 Jahre einigermaßen zutraf, lag die Preisprognose deutlich zu hoch, sind doch die realen Ölpreise seit 2010 gesunken (siehe **Box 8**). Nach 2020 wird mit einer Abnahme der Wachstumsrate auf etwa 1% pro Jahr gerechnet. Ein solcher Trend würde gemäss den Szenarien des IPCC zu einem durchschnittlichen globalen Temperaturanstieg von 3 bis 4 Grad führen, ein Zustand, der gemäss einer Erklärung der internationalen Staatengemeinschaft³² nicht akzeptabel wäre, weil er ein erhebliches Risiko für eine katastrophal verlaufende Umweltentwicklung beinhalten würde.

Damit ist klar, dass die Nutzung von fossilen Rohstoffen in den nächsten Jahrzehnten nicht von absoluter Knappheit begrenzt sein wird, und dass auch die zu erwartenden Rohstoffpreise den Verbrauch nicht wesentlich bremsen werden. So stellt also die in der «peak-oil» Diskussion thematisierte beschränkte geologische Verfügbarkeit von fossilen Ressourcen keine relevante Grenze für deren nachhaltige Nutzung als Energieträger dar. Allerdings ist zu erwarten, dass aufgrund des zunehmenden Anteils an unkonventionellen Rohstoffen (aus Teersanden, Fracking oder Tiefseelagern) in Zukunft der Energiebedarf und die Umweltauswirkungen der Rohstoffgewinnung deutlich stiegen werden. Wie bereits in 3.2.1 erwähnt, limitiert der durch CO₂ Emissionen verursachte Klimawandel die zulässige Verbrennung von fossilen Rohstoffen.³³ Das bedeutet auch, dass Investitionen in Prospektion sich nicht mehr lohnen und dass fossile Reserven massiv an Wert verlieren werden, sobald sich abzeichnet, dass die Staatengemeinschaft mit der Eindämmung des Klimawandels ernst macht – eine Entwicklung, welche als «carbon Bubble» bezeichnet wird (siehe **Box 7**).

Box 7 **Carbon Bubble**

Die Kohlenstoffblase ergibt sich daraus, dass zur Einhaltung des international vereinbarten 2°-Klimaziels nur noch ein Bruchteil der bisher bekannten fossilen Ressourcen verbrannt werden dürfen. Das bedeutet, dass kapitalisierte Reserven, die einen guten Teil des Wertes von Unternehmen der Energiewirtschaft ausmachen, nicht liquidiert werden können und abgeschrieben werden müssen. Da sieben der zehn grössten Unternehmen der Welt im Bereich fossiler Energie tätig sind und damit von der carbon bubble direkt betroffen sind, handelt es sich um die wohl grösste Spekulationsblase je. Viele grosse Investoren halten entsprechend einen Absturz des Börsenkurses grosser Erdölkonzerne in den nächsten Jahren für denkbar.

³² Decision 2/CP.15 Copenhagen Accord,
<http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf>

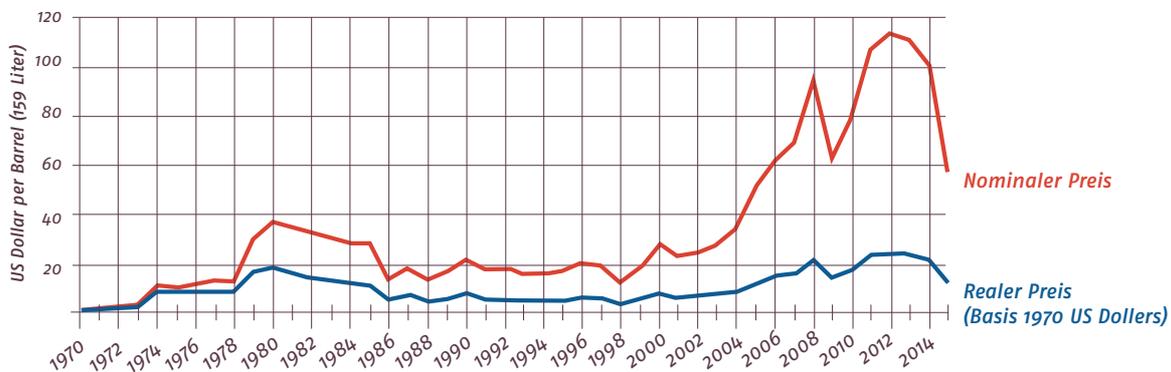
³³ Um von einem CO₂ Emissionsbudget auf die Begrenzung der Nutzung von fossilen Rohstoffen zurückzurechnen, muss beachtet werden, dass (bei vollständiger Verbrennung) für jedes Kilogramm Kohlenstoff (C), das im fossilen Rohstoff enthalten ist, 3.66 kg CO₂ emittiert werden. Zum Beispiel wiegt ein Liter Diesel 0.83 kg und besteht zu 87% aus Kohlenstoff. Wenn das Emissionsbudget aus der Verbrennung von Diesel pro Person und Jahr bei 200 kg CO₂ liegen würde, entspräche dies also einem Dieselbudget von 76 Litern.



Box 8
Preisentwicklung fossiler Rohstoffe

Trotz der stark gestiegenen Nachfrage nach fossilen Brenn- und Treibstoffen, ist deren realer Preis (kaufkraftbereinigt) über das ganze zwanzigste Jahrhundert tendenziell gesunken. Auch seit der ersten Ölkrise in den frühen 1970er Jahren sank der reale Preis bis 1998 nochmals (Figur 20). Der zwischenzeitlich höhere Preis in den frühen 1980er Jahren war ein Resultat von Förderausfällen und der Verunsicherung der Märkte aufgrund der Islamischen Revolution im Iran und des Ausbruchs des Iran-Irak Krieges. Der Preisanstieg kann auch teilweise durch die ausgeprägte Schwäche des US Dollars in der Zeit erklärt werden.

Seit Anfang des 21. Jahrhunderts zeigte der Trend bis 2012 nach oben. Der Preis ist seither aber wieder drastisch gefallen und steht Anfangs 2015 etwa auf dem Stand von 2005. Auch in dieser letzten Zeit des Anstiegs zeigte sich der US Dollar wieder sehr schwach. Dieser Anstieg fällt aber auch zeitlich zusammen mit einem signifikanten Wachstum des Verbrauchs in China, sowie mit andauernden Konflikten in ölproduzierenden Ländern, wie z.B. dem Krieg gegen den Terror und der Intervention der USA in Afghanistan, dem (dritten) Golfkrieg oder dem Libyenkrieg. Der Zugang zu knapper werdenden billigen Ölressourcen dürfte in vielen dieser Auseinandersetzungen durchaus eine Rolle spielen. Aus heutiger Perspektive ist es jedoch schwierig zu beurteilen, was bei diesen Konflikten Ursache und was Wirkung war.



Figur 20
Entwicklung des nominalen und realen Rohölpreises in den letzten 40 Jahren.³⁴Jahresdurchschnittswerte, ausser für 2015 (Preis am 2.1.15).

³⁴ Bis 2012 aus OECD Factbook 2014: Economic, Environmental and Social Statistics – Version 1, ab 2013 aus www.infomine.com (Nominaler Preis) und <http://stats.areppim.com> (Umrechnung realer Preis)



3.2.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.2.3.1 Direkt

In der Schweiz werden keine fossilen Rohstoffe gefördert. Entsprechend muss der gesamte Ressourcenverbrauch der Schweiz in dieser Kategorie als indirekt betrachtet werden. Ein Teil der Verbrennung der Ressource, passiert aber in der Schweiz.

3.2.3.2 Indirekt

Wie in 3.2.3.1 erklärt, kann der ganze Schweizer Verbrauch an fossilen Rohstoffen als indirekt betrachtet werden, da keine fossilen Rohstoffe in der Schweiz gefördert werden.

In der Schweiz wurden gemäss Gesamtenergiestatistik des BFE³⁵ im Jahr 2013 knapp 11 Millionen Tonnen (11 Mtoe) Erdölprodukte, 34'000 GWh Gas (2.9 Mtoe) und 230'000 Tonnen (0.14 Mtoe) Kohle verbraucht. Der Transportbereich ist vor Haushalten, Industrie und dem Dienstleistungssektor der grösste Verbraucher. Der totale Verbrauch zeigt einen steilen Anstieg bis in die frühen 1970er Jahre. Als Folge der ersten Ölkrise wurde der Trend gebrochen. Nach einem kurzen Rückgang hat sich der Verbrauch ab 1975 bis etwa 2000 stabilisiert. Seit Anfang des 21. Jahrhunderts ist ein leicht rückgängiger Trend im Verbrauch zu beobachten.

Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Trend anhält. Im Bereich der Brennstoffe wird sich der relativ deutliche Reduktionstrend fortsetzen. Im Bereich Verkehr besteht Grund zur Hoffnung, dass sich der, auch im letzten Jahrzehnt noch deutlich steigende Verbrauch aufgrund von effizienteren Fahrzeugen mittelfristig stabilisieren kann. Längerfristig darf, dank fortschreitender Elektrifizierung des Individualverkehrs, mit einer Abnahme des fossilen Energieverbrauchs im Verkehrsbereich gerechnet werden.

Neben den 596'000 TJ (14 Mtoe) fossilen Energieträgern, die pro Jahr in der Schweiz verbrannt werden, verursacht die Schweiz durch ihren Konsum von importierten Gütern den Verbrauch von mindestens der gleichen Menge fossiler Rohstoffe im Ausland. Das ist zum Beispiel die Kohle, die im Hochofen in China verbrannt wurde als der Stahl für den Schweizer Markt produziert wurde. Oder das Schweröl und Diesel, das im Ozeandampfer und LKW verbrannt wurde, mit denen die Bananen in die Schweiz kamen.

Sowohl die in der Schweiz, als auch die im Ausland verbrannten fossilen Energieträger müssen bis 2050 um 95% reduziert werden um den Klimawandel auf ein erträgliches Mass zu begrenzen.

³⁵ http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_208577679.pdf



3.3 Biotische Rohstoffe

Unter biotischen Rohstoffen versteht man die Produkte von Pflanzen und Tieren, die weltweit in grossen Mengen für den menschlichen Verbrauch geerntet bzw. der Natur entnommen werden (als Nahrung, Baumaterialien, Textilien oder zur Energiegewinnung). Biotische Rohstoffe sind also die Produkte der Versorgungsleistungen des Ökosystems. Sie sind erneuerbar, sofern der Konsum die nachhaltige Produktion dieser Rohstoffe nicht übersteigt. Das bedeutet zum Beispiel, dass pro Jahr den Wäldern nur so viel Holz entnommen werden sollte, wie innerhalb derselben Zeitperiode nachwächst.

Die direkte Nutzung biotischer Rohstoffe innerhalb der Schweiz beschränkt sich auf die forst- und landwirtschaftliche Produktion, wobei in den nächsten Jahrzehnten keine grossen Änderungen in Intensität, Fläche und Ertrag zu erwarten sind. Neben der inländischen Produktion werden auch grosse Mengen an landwirtschaftlichen Erzeugnissen (vor allem Getreide, Früchte, Gemüse, wie auch Zuckerwaren) importiert.

Die Nutzung biotischer Rohstoffe beeinflusst ihrerseits diverse andere Ressourcen. Dabei sind vor allem die Biodiversität (z.B. Überfischung, Landumwandlung, Dünger- und Pestizideinsatz etc.), Land und Boden (Flächenbedarf, Bodenqualität) sowie Wasser (Wasserentnahme zur Bewässerung, Belastung von Gewässern durch Dünger oder Pestizide) zu nennen. Ein nachhaltiger Verbrauch an biotischen Ressourcen wird durch die Restriktionen in diesen drei natürlichen Ressourcen begrenzt.

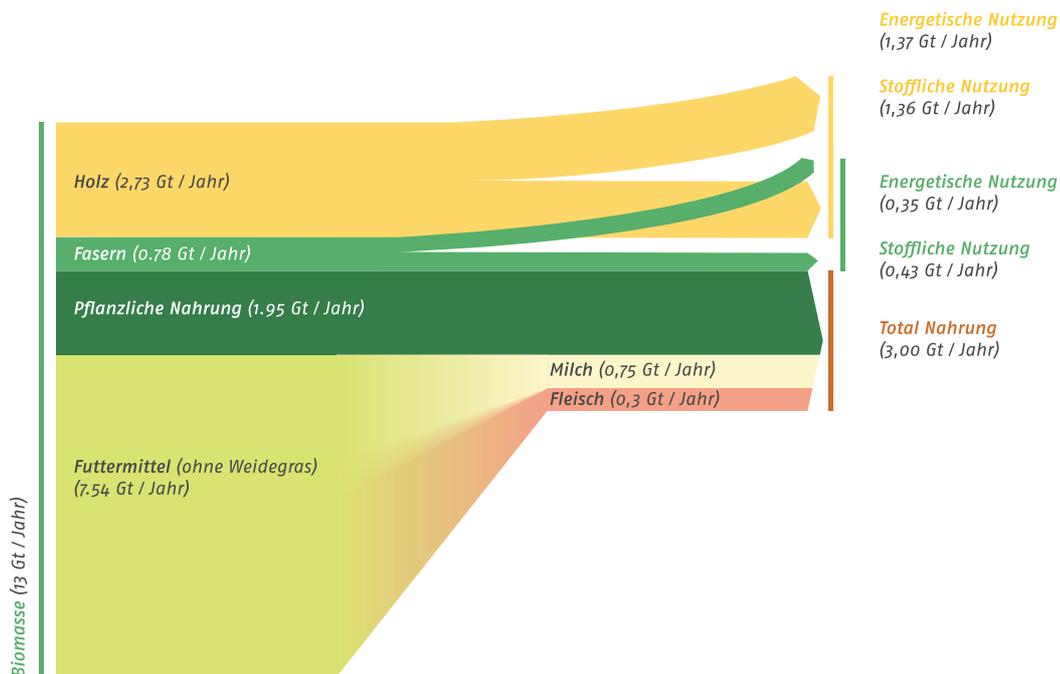
3.3.1 *Worum geht es?*

Biotische Rohstoffe sind die Biomasse, bzw. die Pflanzen und Tieren. Anders ausgedrückt sind sie die Produkte der Versorgungsleistungen des Ökosystems. Grundsätzlich kann man biotische Rohstoffe stofflich (zum Beispiel Holz in Gebäuden oder Möbeln) oder energetisch (z.B. Holzheizung) nutzen. Eine spezielle Form der energetischen Nutzung ist die Nutzung als Nahrung für Mensch und Tier. Biotische Rohstoffe sind erneuerbar, solange die Produktionsbedingungen dafür erhalten bleiben. Entsprechend darf der Konsum die nachhaltige Produktion dieser Rohstoffe nicht übersteigen. Nachhaltige Produktion bedeutet dabei, dass die Produktion die natürlichen Produktionsfaktoren (Boden, Wasser, Luft, Klima und Biodiversität) in deren Qualität erhält. Eine Bewertung der Nachhaltigkeit der Nutzung von biotischen Rohstoffen muss daher auf Basis der Bewertung der Boden- und Wassernutzung vorgenommen werden.

3.3.2 *Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen*

Pro Jahr werden heute total zirka 13 Milliarden Tonnen an Biomasse geerntet. 58% davon (7.5 Milliarden Tonnen) sind Futtermittel³⁶ (Raschka u. a. 2012) für die Produktion von 0.3 Milliarden Tonnen Fleisch und 0.75 Milliarden Tonnen Milch (FAO 2014). Etwa 21% (2.7 Milliarden Tonnen) sind Holz, das etwa je zur Hälfte stofflich und energetisch genutzt wird. Nahrungsmittel machen etwa 15% (knapp 2 Milliarden Tonnen) aus. Die letzten 6% sind andere nachwachsende Rohstoffe wie zum Beispiel Textilfasern, die zu etwa 55% stofflich und zu 45% energetisch genutzt werden (Raschka u. a. 2012).

³⁶ Weidegras ist in dieser Zahl nicht enthalten



Figur 21
Jährlich geerntete Biomasse nach Nutzung

Die mengenmässig wichtigsten Landwirtschaftsprodukte sind Zuckerrohr, Mais, Reis, Weizen, Milch, Kartoffeln, Zuckerrüben und Gemüse. Aus ökonomischer Sicht belegen Reis und tierische Produkte (Milch, Fleisch) die ersten 5 Plätze der Rangliste. Darauf folgen Weizen, Sojabohnen und Tomaten (FAO 2014).

Die totale landwirtschaftliche Produktion stieg in den letzten 20 Jahren in Asien und Afrika um etwa einen Faktor 2 und in den Amerikas und in Ozeanien um knapp ein Drittel an. In Europa war die Produktion in dieser Zeitspanne etwa stabil. Die globale Produktion von Getreide ist seit 1992 um etwa 30% gestiegen, diejenige von Fleisch um über 60% (FAO 2014). Die Intensivierung der Landwirtschaft, der diese Erhöhung zum grössten Teil zu verdanken ist, hat aber auch zu einer Reduktion des Bodens (top-soil) und der Biodiversität geführt. Dieser Verlust hängt zusammen mit ausgedehnten Monokulturen einerseits, aber auch mit dem breiten Einsatz von Pestiziden. Pestizide und Dünger werden auch in Oberflächen und Grundwasser ausgewaschen und führen so zu einer Beeinträchtigung der Wasserressourcen und der aquatischen Biodiversität. Ausserdem führt der Einsatz von Dünger zu einer steigenden Emission von Lachgas³⁷ und trägt damit zum Klimawandel bei.

Es wird erwartet, dass die globale Nahrungsproduktion bis 2050 um 70% steigen muss. Einerseits verursacht das Bevölkerungswachstum an sich einen höheren Nahrungsmittelbedarf. Andererseits wird davon ausgegangen, dass es mit zunehmendem Wohlstand zu einer Veränderung der Ernährungsmuster – hin zu mehr tierischen Produkten – kommen wird (siehe **Figur 22**), was eine

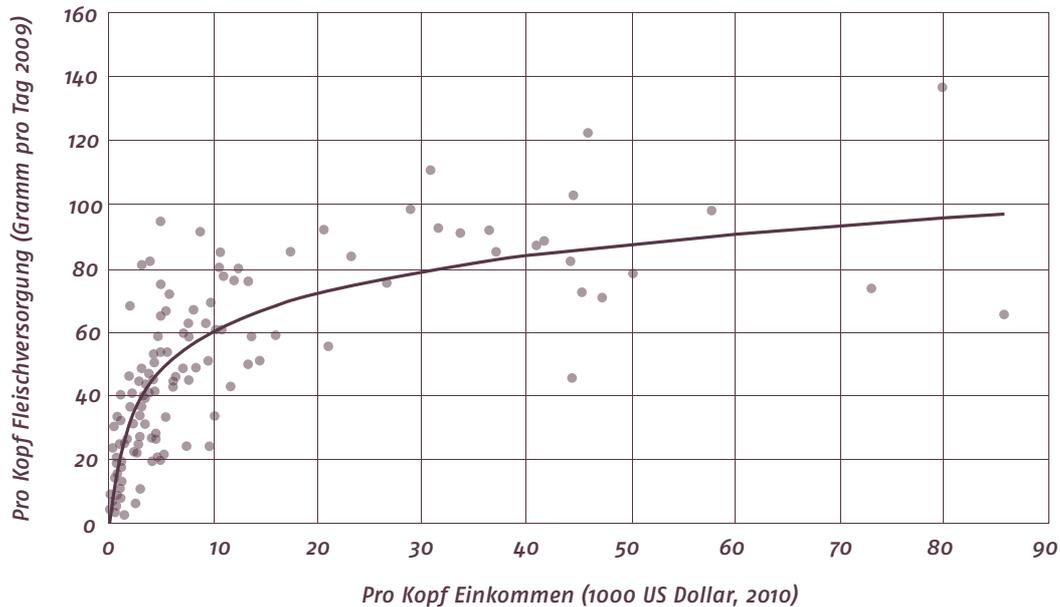
³⁷ Lachgas aus der Landwirtschaft trug im Jahr 2000 2.8 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalente (6%) zur globalen Emission bei.



erhöhte Futtermittelproduktion verursachen wird. In Entwicklungsländern dürfte es sogar nötig sein, die Nahrungsproduktion zu verdoppeln. Problematisch dabei ist, dass die Verfügbarkeit von geeignetem Land und Wasser in diesen Regionen besonders kritisch ist (FAO 2011b). In diesem Zusammenhang können alternative Proteinquellen (z.B. Insekten) oder die Produktion von Fleisch im Bioreaktor (Tuomisto u. a. 2010, 2014) künftig vielleicht einen Beitrag zu einer ressourcenschonenderen Nahrungsmittelproduktion leisten.

Die oberste Grenze für die nachhaltige Nutzung biotischer Rohstoffe liegt bei der Erneuerungsrate des jeweiligen Rohstoffes. Am Beispiel von Holz bedeutet dies, dass man pro Jahr so viel Holz brauchen darf, wie in den Wäldern nachwächst. Der Nutzungswert hängt also davon ab, wie viel Wald vorhanden ist. Analoges gilt für landwirtschaftliche Produkte. Das bedeutet, dass die Grenzen für die Nutzung biotischer Rohstoffe im Kontext der Grenzen für die Landnutzung festgelegt werden müssen.

Aber auch Überlegungen zum Erhalt der Biodiversität haben mit der Nutzungsgrenze von biotischen Rohstoffen zu tun. Zu Beispiel ist Totholz in einem Wald ein wichtiger Bestandteil des Habitats für Spinnen, Insekten, Moose und Mikroorganismen. Würden, zum Beispiel für die Produktion von Bioethanol oder Biogas, neben dem Stamm von Bäumen auch die dünneren Äste oder die Wurzelstöcke geerntet, hätte dies einen klar negativen Einfluss auf die Biodiversität im Wald. Ähnliches gilt für die Landwirtschaft: auch auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist es wichtig, dass ein Teil der Biomasse vor Ort bleibt und eine Nahrungsgrundlage für Mikroorganismen bildet.



Figur 22
Fleischkonsum in Abhängigkeit von Einkommen. Beachte, dass heute noch drei Viertel der Weltbevölkerung in der Grafik links unten liegen. Quelle: UNEP³⁸

³⁸ http://na.unep.net/geas/getUNEPPageWithArticleIDScript.php?article_id=92



Unter der Voraussetzung, dass aus Gründen der Biodiversitätserhaltung die bestehende Waldfläche und –struktur unverändert bleiben, weist das international Resource Panel der UNEP (UNEP 2014) ein globales nachhaltiges Potenzial von 5.6 Milliarden Kubikmeter Holz pro Jahr aus. Projiziert auf eine Weltbevölkerung von 9.5 Milliarden in 2050 bedeutet das 0.59 Kubikmeter pro Person und Jahr. Energetisch entspricht das etwa 100 Liter Heizöl.

3.3.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.3.3.1 Direkt

In der Schweiz wurden in den letzten 20 Jahren pro Jahr zwischen 4.5 und 5.5 Millionen Kubikmeter Holz geerntet³⁹. Nur im Jahr 2000 lag der Wert deutlich höher. Das war aber keine freiwillige Ernte sondern die Folge des Sturms «Lothar», der Ende Dezember 1999 grosse Waldschäden anrichtete. Vom total geschlagenen Holz ist heute gut die Hälfte Stammholz, etwa ein Drittel Energieholz, und nur wenig Industrieholz. Der Anteil an Energieholz nahm in den letzten 10 Jahren auf Kosten des Stammholzes um etwa 60% zu. Der totale Holzvorrat der Schweiz beträgt knapp 450 Millionen Kubikmeter⁴⁰. In extensiv genutzten Wäldern werden Bäume im Alter von 60–120 Jahren geerntet. Entsprechend kann mit einem Bestand von 450 Millionen Kubikmeter pro Jahr zwischen 3.8 und 7.5 Millionen Kubikmeter Holz nachhaltig geschlagen werden

Die Schweizer Landwirtschaft produziert seit 20 Jahren mit leicht steigender Tendenz jährlich um die 4 Millionen Tonnen Milch. Die jährliche Fleischproduktion stieg von gut 400'000 auf knapp 500'000 Tonnen deutlicher an.

Box 9

Alternative Proteinquellen

Auf der einen Seite erfordern die steigende Weltbevölkerung sowie das zunehmende Bedürfnis nach einer eiweissreichen Ernährung hauptsächlich aus tierischen Quellen, zukünftig eine erhöhte landwirtschaftliche Produktion. Auf der anderen Seite sind einer weiteren Intensivierung der Landwirtschaft aus Sicht der Verfügbarkeit von Land und Wasser, eines schonenden Umgangs mit der Biodiversität, sowie des Klimaschutzes zunehmend Grenzen gesetzt. Vor dem Hintergrund dieses Konfliktes stellt sich die Frage, wie der zukünftige Proteinbedarf aus tierischen Quellen gedeckt werden kann. Dabei könnte die Ergänzung des Speiseplans um bisher wenig genutzte Eiweissquellen einerseits, sowie die Lebensmitteltechnologie andererseits eine Rolle spielen.

Essbare Insekten (FAO 2013)

Bereits heute stehen, hauptsächlich in Lateinamerika, Afrika und Asien Insekten auf dem traditionellen Speiseplan von etwa 2 Milliarden Menschen. Insekten sind sehr nahrhaft und zeichnen sich durch hohe Protein-, Fett- und Mineralstoffgehalte aus. Es ist festzuhalten, dass

³⁹ BAFU, Forststatistik 2013:

<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/35660.pdf>

⁴⁰ http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/04/blank/key/ho_l_vor.html



Insekten dabei meist nicht aus Gründen der Nahrungsknappheit, sondern wegen ihres Geschmacks verzehrt werden. Auch wenn in der westlichen Welt die Vorstellung sich von Insekten zu ernähren noch häufig Ekel auslöst, sprechen eine Reihe von Vorteilen für die Nutzung dieser Tiere als Eiweissquelle. Als Kaltblüter verbrauchen Insekten sehr viel weniger Energie zur Aufrechterhaltung ihrer Körpertemperatur, weshalb sie eine sehr hohe Effizienz in der Umwandlung von Futtermitteln zu Fleisch aufweisen. So können Insekten im Durchschnitt aus 2 kg Futter 1 kg Insektenmasse aufbauen (Rinder benötigen 8 kg Futter für 1 kg Körpermasse). Ausserdem wird davon ausgegangen, dass Insekten deutlich weniger Treibhausgase produzieren als die konventionelle Tierhaltung. Auch der Wasser- und Landbedarf ist bei der Insektenzucht deutlich geringer. Insekten können auf biologischen Abfällen (Lebensmittelabfälle, Kompost, tierische Abfälle) kultiviert werden und diese in hochwertige Proteine umwandeln, die von Menschen oder Nutztieren verzehrt werden können. Auch die relativ einfache Verarbeitung von Insekten zu Pasten oder Mehl ist als potenzieller Vorteil zu nennen. So stellen die Insekten häufig eine nachhaltigere und billigere Alternative zur konventionellen Fleischproduktion dar. Damit diese allerdings einen signifikanten Beitrag zur Ernährung der Weltbevölkerung leisten können, ist noch einiges an Forschung und Entwicklung nötig. So fehlen noch grösstenteils die nötigen Technologien zur Massenproduktion (Senkung der Produktionskosten). Zusätzlich sind von Seiten des Gesetzgebers rechtliche Anpassungen nötig. Heute dürfen Insekten in der Schweiz nur im privaten Rahmen produziert und verzehrt werden. Eine Anpassung der Schweizer Lebensmittelverordnung ist aber in Arbeit und könnte bereits 2016 erfolgen. Letztlich ist eine Anstrengung in der Konsumentenbildung erforderlich um die Akzeptanz des Verzehrs von Insekten zu erhöhen. Obwohl in Mitteleuropa in diesem Zusammenhang noch hohe kulturelle Hürden bestehen, können sich Ernährungsgewohnheiten besonders in einer globalisierten Welt relativ schnell ändern.

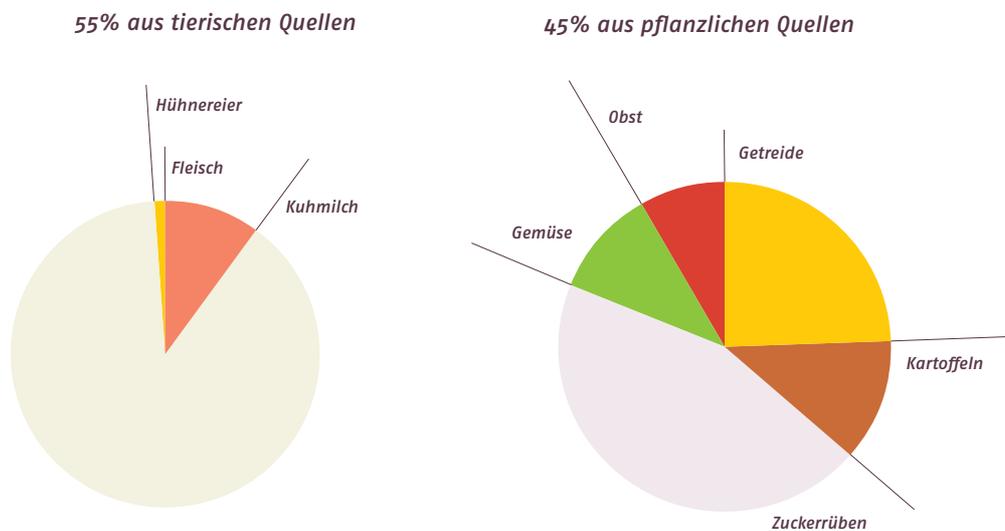
Fleisch aus dem Bioreaktor

In Anbetracht der Herausforderungen der konventionellen Fleischproduktion erscheint die Herstellung von «Fleisch» aus tierischen Zellen in einem Bioreaktor sehr attraktiv (geringerer Wasser-, Energie- und Landverbrauch, Ersatz der Massentierhaltung, Vermeidung von Gülle und Mist etc.). Auch aus tierethischen Gesichtspunkten gefällt die Vorstellung, dass ein Nutztier gleichzeitig leben und (nach der Entnahme und Vervielfältigung seiner Zellen) gegessen werden kann. Zahlreiche Fortschritte auf den Gebieten der Biotechnologie, Zellkultur und Gewebezüchtung haben in den letzten Jahren dazu geführt, dass die Utopie der künstlichen Fleischproduktion heute technologisch realisierbar ist (Post 2014; van der Weele u. a. 2014; Post 2012). In der Tat wurde im Sommer 2013 der erste künstlich hergestellte Hamburger präsentiert.⁴¹ Allerdings steckt die künstliche Fleischerzeugung im Bioreaktor noch in den Kinderschuhen und es bleiben diverse Fragen, die durch intensive (Grundlagen-) Forschung geklärt werden müssen, bevor eine signifikante Menge des weltweiten Fleischbedarfs aus «künstlichen Quellen» gedeckt werden kann. So gehen beispielsweise

⁴¹ Tages-Anzeiger vom 6. August 2013: «Erster Biss in den Labor-Burger»



die Meinungen über die zur Kultivierung zu verwendenden Zellen (Stammzellen oder Muskelzellen, embryonale oder adulte Stammzellen) noch immer auseinander. Auch sind die Zellteilungszyklen von tierischen Zellen bedeutend langsamer als zum Beispiel von Bakterien, weshalb eine Kultur sehr lange Zeit in Anspruch nimmt. Bei der zur Zellkultur benötigten Nährlösung bestehen weitere unbeantwortete Fragen (Zusammensetzung, Herkunft der Nährstoffe). Letztlich wird sich auch noch zeigen müssen, ob die heutigen vielversprechenden Ansätze im Grossmassstab technologisch umsetzbar sind und ob dieser Prozess zu einem annehmbaren Preis möglich ist. Unklar ist ebenfalls, ob so produziertes Fleisch in Form und Textur sowie vor allem im Geschmack das konventionelle Produkt für die Konsumenten befriedigend zu imitieren vermag. So ist das heute technologisch herstellbare Fleisch auf relativ kleine Stücke beschränkt, da in der Gewebezucht bei grösseren Zellaggregaten das Innere nicht mehr mit Nährlösung versorgt werden kann (hierbei mag die Technologie des 3D-Drucks möglicherweise eine Lösung bieten). Ausserdem kann die komplexe Textur eines Steaks (Fasern, Blutgefässe etc.) heute nicht künstlich erzeugt werden, weshalb sich die Anwendung der Technologie wohl in absehbarer Zukunft auf Fleischerzeugnisse wie Hackfleisch, Chicken-Nuggets oder Würste beschränken wird, wobei für diese Produktkategorien eigentlich aus der konventionellen Fleischproduktion bereits heute genügend Restfleisch zur Verfügung steht. Weitere heute noch schwer imitierbare Eigenschaften wie Farbe, Nährstoffgehalt oder Geschmack (der Geschmack von Rindfleisch wird bestimmt durch das Zusammenspiel von hunderten von Molekülen, die zum Teil erst durch Abbauprozesse nach der Schlachtung gebildet werden) von natürlichem Fleisch werden letztlich über die Konsumentenakzeptanz von Fleisch aus dem Bioreaktor entscheiden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob vor dem Hintergrund des geringen heutigen Marktanteils von pflanzlichen Fleischersatzprodukten (Tofu, Quorn etc.) eine hohe Akzeptanz für im Reaktor erzeugtes Fleisch erwartet werden kann.



Figur 23
Anteile einzelner Güterklassen an der landwirtschaftlichen Nahrungsproduktion der Schweiz im Jahr 2012.

Die Produktion der wichtigsten pflanzlichen Nahrungsmittel in der Schweiz beträgt seit 1985 jeweils knapp 3 Millionen Tonnen pro Jahr⁴². Während dieser 30 Jahren ist ein deutlicher Rückgang der Produktion von Kartoffeln (von knapp 0.9 auf knapp 0.5 Millionen Tonnen pro Jahr) und ein leichter Rückgang von Getreide (von etwas mehr als einer auf knapp eine Million Tonnen pro Jahr) zu verzeichnen. Andererseits ist im gleichen Zeitraum die Produktion von Zuckerrüben von deutlich unter einer auf über 1.5 Millionen Tonnen pro Jahr gestiegen.

Die jährliche Schweizer Früchte- und Gemüseproduktion liegt jeweils in der Größenordnung von 170'000 bis 200'000 Tonnen⁴³.

Wir gehen davon aus, dass die kommende Verteuerung von fossilen Energieträgern zu einer besseren Wirtschaftlichkeit von Holz als Energieträger führen wird. Da die Waldflächen in der Schweiz tendenziell eher zunehmen, kann daher bei der Produktion von Holz in Zukunft mit einer leichten Steigerung gerechnet werden.

⁴² BFS, basierend auf Schweizer Bauernverband
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/03/blank/ind24.indicator.240302.2403.html>

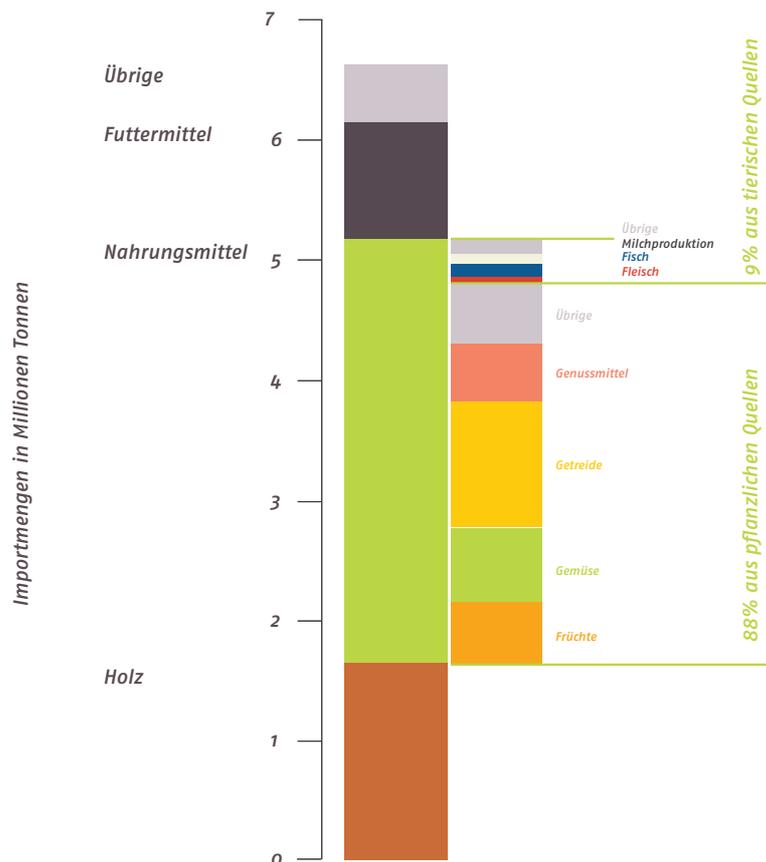
⁴³ Foliensatz_LID_2010.pdf



Bei der Landwirtschaftlichen Produktion gehen wir davon aus, dass sie weiterhin etwa stabil bleiben wird. Selbst wenn die Bevölkerung die «Initiative zur Ernährungssicherheit» annähme, wäre keine signifikante Erhöhung der Landwirtschaftlichen Produktion zu erwarten. Die Initiative verlangt einerseits eine Stabilisierung der Landwirtschaftsflächen und andererseits eine Stärkung der Nachhaltigkeit der Produktion. Entsprechend dürfte sicher keine weitere Intensivierung der Landwirtschaft stattfinden. Somit würden Fläche und Intensität und damit Ertrag konstant bleiben. Allenfalls eine eher geringfügige graduelle Steigerung aufgrund von einer Zunahme von «Urban Farming»

3.3.3.2 Indirekt

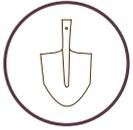
Die Schweiz importierte im Jahr 2012 grosse Mengen an Gütern aus biotischen Quellen (Schweizerischer Bauernverband 2013). Neben Holz (in Form von Holz, Holzkohle und Holzwaren) mit 1.6 Millionen Tonnen im Jahr 2012, und Futtermitteln für die Tierhaltung (ca. 1 Million Tonnen), spielen Nahrungsmittel für den menschlichen Bedarf die grösste Rolle. Dabei stellen Nahrungsmittel aus pflanzlichen Quellen (darunter Getreide, Früchte, Gemüse und Genussmittel) einen deutlich grösseren Anteil als solche aus tierischen Quellen (Fleisch, Fisch und Milchprodukte) (Schweizerischer Bauernverband 2013).



Figur 24
Importierte Land- und Forstwirtschaftsprodukte



Die Schweiz exportierte im Jahr 2012 vor allem Milchprodukte (ca. 175'000 Tonnen pro Jahr, davon mehr als 60'000 Tonnen Käse) und Schokolade (etwas mehr als 100'000 Tonnen pro Jahr). Obwohl diese Güter kaum in der Schweiz produziert werden, wurden 2012 über 50'000 Tonnen Kaffee, Tee und Gewürze exportiert. Der Vergleich des Kilopreises des importierten und des exportierten Kaffees (5.40 Fr./kg versus 34.60 Fr./kg) legt nahe, dass ein Grossteil der knapp 49'000 Tonnen exportierten Kaffees die Schweiz als Kaffeekapseln verlassen. Mit Blick auf die Schweizer Produktion weniger erstaunlich sind die relativ hohen Exportmengen von Fleisch und Zucker (je ca. 30'000 bzw. 35'000 Tonnen)



3.4 Land und Boden

Land ist sozusagen die Produktionsinfrastruktur für biotische Rohstoffe und gleichzeitig die Grundlage für unseren Siedlungs- und Kulturraum. Boden hingegen bezeichnet mehr die Qualität des Landes um unterstützende Ökosystemdienstleistungen sowie Versorgungsleistungen zu erbringen. Das global verfügbare Land ist von seiner Fläche her praktisch konstant, wird aber durch verschiedene Nutzungsarten in seiner Qualität verändert. Hingegen geht jedes Jahr 24 Milliarden Tonnen Boden durch Erosion verloren⁴⁴. Diverse Nutzungsformen (z.B. land- und forstwirtschaftliche Produktion, Lebensraum für Pflanzen und Tiere, Siedlungsraum, Erholungsraum, Verkehrsfläche, Infrastruktur etc.) konkurrieren um weltweit knappe Landressourcen. Dabei war in den letzten Jahrzehnten zu beobachten, dass Siedlungsflächen und Landwirtschaftsflächen auf Kosten von Waldflächen wachsen. Waldflächen sind aber ein wichtiger Kohlenstoffspeicher und deren Verlust führt somit zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes. Auch sind möglichst naturnahe Wälder eine Voraussetzung für den Erhalt der Biodiversität. Um also das Risiko von irreversiblen Veränderungen des Erdsystems zu minimieren, müssen die noch bestehenden Flächen von Primärwald möglichst vollständig erhalten bleiben und das Wachstum der Landwirtschaftsflächen muss spätestens ab 2020 stagnieren.

Innerhalb der Schweiz ist es vor allem die Siedlungsfläche, welche mit einer Geschwindigkeit von 3'500 Fussballfeldern pro Jahr, insbesondere auf Kosten der Land- und Alpwirtschaftsfläche, wächst. Auch die Waldfläche ist in der Schweiz am Wachsen. Daher ist im Inland eine Begrenzung der Siedlungsflächen auf heutigem Niveau anzustreben. Auch die in die Schweiz importierten Güter verursachten Landnutzungen im Ausland, die überproportional hoch sind und die in Zukunft reduziert werden müssen.

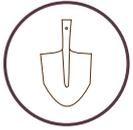
3.4.1 Worum geht es?

Das global verfügbare Land ist von seiner Fläche her praktisch unveränderlich⁴⁵, wird aber durch seine Nutzung in der Qualität verändert. Darum kann Land ähnlich betrachtet werden wie stofflich genutzte abiotische Ressourcen. Zum Beispiel hat ein Landnutzungswandel von Wald zu Landwirtschaftsfläche eine gewisse Analogie mit der Umwandlung von Eisenerz im Boden zu Eisen in Bahnschienen. Für die Diskussion eines nachhaltigen Umgangs mit Land ist dabei relevant, wie diese Nutzungsänderung das Potenzial des Landes verändert, relevante Ökosystemdienstleistungen zu erbringen und ob das Land nach einer Umwandlung jemals wieder in seinen natürlichen Zustand zurückfinden könnte, wenn es lange genug ungenutzt bliebe. Dies ist zum Beispiel nicht der Fall, wenn nach einer Umwandlung von Regenwald zu Weideland die Humusschicht durch Erosion verloren geht und das Land permanent zu einer Steppe oder Wüste verkommt. So wächst zum Beispiel die Sahara heute noch um mehrere Kilometer pro Jahr in südlicher Richtung, wo die Entwaldungsraten weltweit zu den höchsten gehören⁴⁶.

⁴⁴ Gemäss IASS Potsdam (<http://www.iass-potsdam.de/de/forschungscluster/globaler-gesellschaftsvertrag-fuer-nachhaltigkeit-gcs/news/global-soil-week-2710>). Zum Vergleich: Die globale land- und forstwirtschaftliche Produktion liegt bei 13 Milliarden Tonnen pro Jahr!

⁴⁵ Selbst ein Anstieg des Meeresspiegels um einen Meter würde ohne Gegenmassnahmen nur etwas mehr als ein Promille der gesamten globalen Landfläche (15 Mio. ha) überfluten.

⁴⁶ <http://web.mit.edu/africantech/www/articles/Deforestation.htm>,



Wie bereits in den voranstehenden Kapiteln angeführt, wird zur Bereitstellung der meisten Ressourcen Landfläche benötigt. So stehen zum Beispiel folgende Nutzungen zum Teil direkt in Konkurrenz zueinander:

Ein und dieselbe Fläche kann aber auch gleichzeitig mehreren Nutzungen dienen. Ein Wald kann zum Beispiel Holz produzieren, Kohlenstoff speichern, Schutz vor Lawinen oder Erdbeben bieten und Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie ein Erholungsgebiet für Menschen darstellen. Mit weiter steigender Bevölkerungszahl und wachsender Nachfrage nach Nahrung, Futtermitteln sowie biogenen Materialien und Energieträgern ist es naheliegend, solche Synergien gezielt zu suchen und zu fördern. Dabei müssen aber potenzielle Trade-offs mitberücksichtigt werden. Man muss also zum Beispiel den geringeren Ertrag an landwirtschaftlichen Produkten von biologisch bebautem Land im Vergleich zu konventionellem Anbau, dem besseren Lebensraum für Insekten und anderen Tieren gegenüber stellen.

Prozesse, wie zum Beispiel eine Erweiterung der Siedlungsfläche in der Schweiz, wirken sich direkt auf den Schweizer Landverbrauch aus. Der Konsum von Gütern bewirkt in vielen Fällen Landnutzung und -Umwandlung in anderen Ländern. In solchen Fällen ist es wichtig einen Indikator zu haben, der die Art und die Dauer der Landnutzung für die Produktion des Gutes messen und im Vergleich zu anderen Landnutzungsarten bewerten kann. Ein Indikator, der diese Anforderungen erfüllt sind die sogenannten Siedlungsflächen-Äquivalente (Frischknecht u. a. 2013a). Basierend auf dem Biodiversity Damage Potential (BDP) wird jede Nutzung einer gewissen Fläche in einen tieferen oder höheren Bedarf an Siedlungsflächen-Äquivalenten umgerechnet, je nachdem ob eine relativ zur Siedlungsfläche biodiversitätsfördernde (z.B. Waldfläche) oder eine biodiversitätsmindernde Nutzung (z.B. intensiv genutztes Ackerland) vorliegt.⁴⁷ Die Biodiversität eignet sich dabei besonders als Vergleichskriterium, da alle Landnutzungsarten einen (positiven oder negativen) Einfluss auf die Biodiversität zeigen.⁴⁸

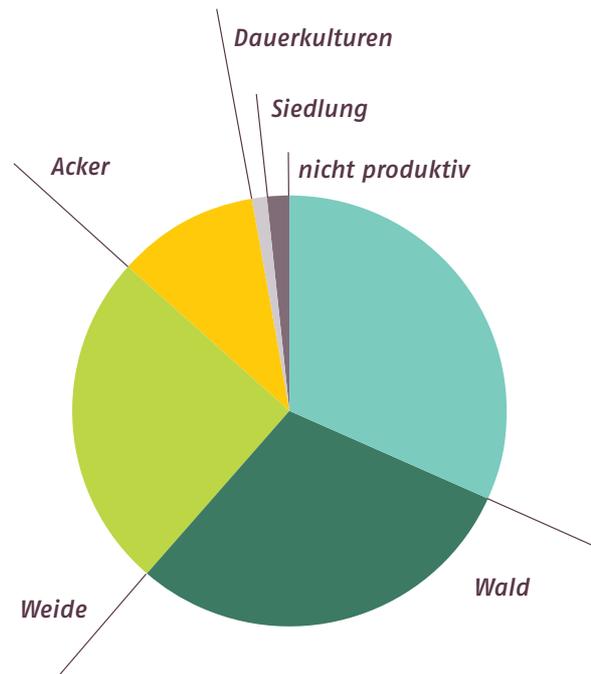
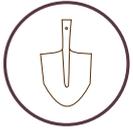
3.4.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen

Von der globalen Landfläche von ca. 13.4 Milliarden Hektaren sind etwa 4.3 Milliarden Hektaren nicht produktives Land (Berge, Wüsten, etc.), knapp 4 Milliarden Hektaren Wald und etwa 5 Milliarden Hektaren Agrarfläche, von der knapp 70% als Weideland, knapp 30% für Ackerbau und knapp 3% für Dauerkulturen genutzt werden (FAO 2014; Raschka u. a. 2012). Gerade mal 0.73% der totalen Agrarfläche wird für Biolandbau genutzt, und knapp 7% ist für künstliche Bewässerung ausgerüstet (FAO 2014). Die von Infrastruktur belegte Fläche beträgt etwa 0.2 Milliarden Hektaren (Raschka u. a. 2012).

http://atlas.caladan.com/?page_id=58

⁴⁷ So kann zum Beispiel eine Fläche von 100 m² je nach Nutzungsart 100 m² Siedlungsflächen-Äquivalenten (als Haus), 10 m² Siedlungsflächen-Äquivalenten (als Wald), 27 m² Siedlungsflächen-Äquivalenten (als Weide) oder gar 140 m² Siedlungsflächen-Äquivalenten (als Ackerland) entsprechen.

⁴⁸ Weitere mögliche Kriterien, welche verschiedene Landnutzungstypen unterschiedlich beeinflussen sind zum Beispiel CO₂-Freisetzung, Unterbrechung von Wasser- oder Nährstoffkreisläufen und der Verlust von fruchtbarem Boden.



Figur 25
Aufteilung der globalen Landfläche (13.4 Milliarden Hektaren)

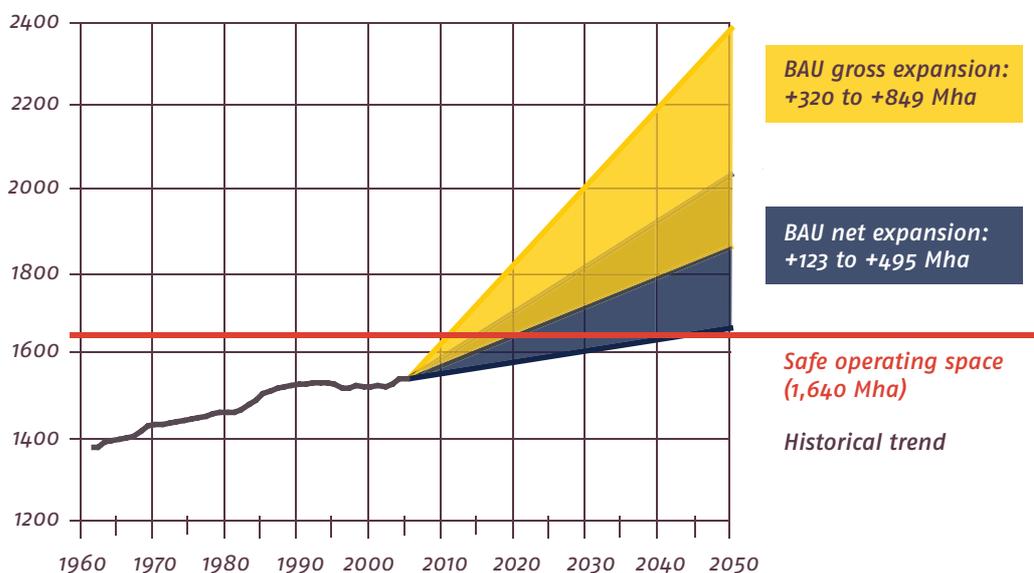
Gemäss FAO nahm die globale Waldfläche zwischen 1990 und 2010 um durchschnittlich 6.6 Millionen Hektaren pro Jahr ab (FAO 2011a). Über die letzten 50 Jahre gemittelt, lag der jährliche Waldflächenverlust sogar noch bei rund 13 Millionen Hektaren pro Jahr (UNEP 2014). Dabei ist zu beachten, dass diese Zahlen den Nettoverlust an Waldflächen darstellen, darin also Aufforstungen in Plantagen mitberücksichtigt sind. Der effektive Verlust an Naturwaldflächen ist etwa doppelt so hoch. Das ist von besonderer Bedeutung, da Naturwälder bezüglich Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen sehr viel wertvoller sind als Plantagen, die meist aus einer einzigen schnellwachsenden Spezies (zum Beispiel Eukalyptus) bestehen. Die Ackerbaufläche nahm seit 1990 um 0.75 Millionen Hektaren pro Jahr ab. Dafür nahm die Fläche für Weiden und Wiesen um rund 2 Millionen Hektaren pro Jahr und die der Dauerkulturen um eine Million Hektaren pro Jahr zu (FAO 2014). Das bedeutet, dass knapp 4.3 Millionen Hektaren pro Jahr zu Siedlungsflächen umgewandelt und / oder anderweitig degradiert werden. Der Ausbau von Siedlungsflächen geht dabei oft zu Lasten von relativ fruchtbarem Land und findet in starkem Masse in Entwicklungsländern statt.

Der für die nächsten 25 Jahre benötigte Anstieg der Nahrungsproduktion vor allem in Entwicklungsländern wird den Druck auf die in diesen Ländern oft schon heute knappen geeigneten Landwirtschaftsflächen weiter steigern. Veränderungen von Niederschlagsmustern, die durch den Klimawandel verursacht werden, dürften die Situation weiter verschärfen. Aber auch Versuche, den Klimawandel zu verlangsamen oder zu vermeiden indem Biotreibstoffe oder Biomaterialien als Alternativen zu fossilen Treibstoffen oder Kunststoffen gefördert werden, erhöhen den Druck auf Landreserven.

Bei der global für die Agrarproduktion zur Verfügung stehenden Ackerfläche wurde von der UNEP vorgeschlagen, dass diese die Gesamtfläche von 1'640 Millionen ha nicht überschreiten sollte, um mit grosser Wahrscheinlichkeit innerhalb der sicheren Grenzen zu bleiben, welche plötzliche und irreversible Veränderungen des Erdsystems zu verhindern vermögen. Gemäss dem historischen Wachstum der weltweiten Ackerfläche, dürfte dieser Wert etwa im Jahr 2020



erreicht sein, wonach kein weiterer Zuwachs mehr dazukommen dürfte. 1'640 Millionen ha Ackerland entsprechen 2'296 Millionen ha Siedlungsflächen-Äquivalenten (Frischknecht u. a. 2013a) oder bei einer erwarteten Weltbevölkerung von 9.5 Milliarden Menschen im Jahr 2050 einem Ackerflächenbedarf von 0.24 ha Siedlungsflächen-Äquivalenten pro Person.⁴⁹ Heute liegt der Ackerflächenbedarf in globalen Mittel bei 0.3 ha Siedlungsflächen-Äquivalenten pro Person. Es braucht also eine Reduktion um 20%. Um dem Biodiversitätsverlust Einhalt zu gebieten, (siehe Kapitel 3.8) müssen zudem weltweit die noch bestehenden Flächen an Primärwald erhalten bleiben (UNEP 2014). Daher sind die zusätzlich notwendigen Ackerflächen in Konkurrenz zum Flächenbedarf der menschlichen Siedlungs- und Infrastrukturausdehnung zu gewinnen, was eine grosse Herausforderung darstellen dürfte.



Figur 26
Expansion von globalen Agrarflächen und Nachhaltigkeitsgrenze im Netto- und Brutto-«business as usual» (BAU) Szenario (UNEP 2014)

3.4.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.4.3.1 Direkt

Die Schweiz hat eine Fläche von 4'128'457 m², was bei der aktuellen Nutzung einer Siedlungsflächen-Äquivalenten Fläche von 1'370'432 m² entspricht. 25% davon ist unproduktives Land, 31% ist bewaldet, 25% sind Wiesen und Weiden, 10% ist Ackerland und 1% sind sonstige Landwirtschaftsflächen. 7% der Schweiz ist Siedlungsfläche. **Tabelle 4** gibt die Zahlenwerte für die effektiven Flächen sowie für die Siedlungsflächen-Äquivalenten Flächen. Total verbraucht die Schweiz also knapp 14'000 Quadratkilometer Siedlungsflächen-Äquivalente.

⁴⁹ Allerdings ist hier zu bedenken, dass sich der Indikator der Siedlungsflächen-Äquivalente auf die Ökosysteme der gemässigten Zonen bezieht und aus Biodiversitätsgesichtspunkten Primärwald in tropischen Gebieten noch wertvoller (mind. Faktor 2) ist als Primärwald in der gemässigten Zone.



In der Schweiz wächst die Siedlungsfläche im Schnitt der letzten Jahre mit 0.8 m² pro Sekunde oder über 3500 Fussballfelder pro Jahr. Aber auch der Wald wächst, vor allem auf Kosten von Land- und Alpwirtschaftsflächen. In seiner «Strategie Nachhaltige Entwicklung» schlägt der Schweizerische Bundesrat vor, den Siedlungsraum in der Schweiz auf 400 m² pro Person zu begrenzen (Schweizerischer Bundesrat 2012). Die Definition einer Grenze pro Kopf ist allerdings nicht zielführend, da dabei der zur Verfügung stehende Siedlungsraum mit der Bevölkerung unbegrenzt wachsen dürfte. Daher soll die Hochrechnung dieser 400 m² pro Person auf die Schweizer Bevölkerung im Jahr 2010 als statische Begrenzung des Siedlungsraums dienen. Unter diesen Voraussetzungen stehen in der Schweiz 3'115 km² Fläche für Siedlung zur Verfügung, von welchen bereits heute über 99% bebaut sind (**Tabelle 4**). In Bezug auf die Siedlungsfläche bewegt sich die Schweiz also bereits heute im Bereich der Grenzen. Somit muss das Wachstum der benötigten Fläche gestoppt werden. Da in der Schweiz die Landwirtschaftsfläche bereits heute zugunsten von Wald- und Siedlungsfläche abnimmt, resultiert keine Notwendigkeit, für die Ausdehnung dieser Fläche eine Begrenzung zu definieren.

Tabelle 4
Flächennutzung in der Schweiz 2004 / 09
(BFS Arealstatistik 2004 / 09).

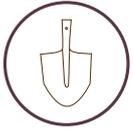
	Total km ² Fläche	Total km ² Siedlungsflächen-Äquivalente
Siedlung	3'079	2'446 ⁵⁰
Landwirtschaft, Acker	4'071	5'699
Landwirtschaft, Wiesen	10'236	3'561
Landwirtschaft, Übriges	510	482
Bestockte (Wald)	12'931	1'516
Unproduktive	10'459	0 ⁵¹

3.4.3.2 Indirekt

Jährlich in die Schweiz importierte Güter verbrauchen im Ausland gut 25'000 Quadratkilometer Siedlungsflächen-äquivalentes Land (Frischknecht u. a. 2014). Exporte aus der Schweiz sind verantwortlich für den Verbrauch von etwa 12'000 Quadratkilometer. Netto besetzt der Schweizer Konsum im Ausland also knapp gleichviel Land wie im Inland. Die Grenzen des indirekten Schweizerischen Landverbrauchs bestimmen wir ausgehend von der globalen Grenzen der Ackerflächen pro Kopf in 2050 von 0.24 ha Siedlungsflächen-Äquivalenten (vgl. **Kapitel 3.4.2**). Im Jahr 2050 wird eine Schweizerin gemäss oben stehenden Überlegungen einen Flächenverbrauch in der Schweiz von rund 0.15 ha Siedlungsflächen-Äquivalenten aufweisen. Die Differenz zwischen der global zur Verfügung stehenden Fläche und der in der Schweiz genutzten Fläche, also 0.9 ha, ergibt nun einen Richtwert für die Grenze des indirekten Landverbrauchs. Gemessen am heutigen indirekten Landverbrauch von 1.7 ha Siedlungsflächen-Äquivalenten pro Person muss also die Landnutzung im Ausland um etwa die Hälfte sinken, um innerhalb der so definierten Grenzen zu verbleiben.

⁵⁰ Die in der Arealstatistik des Bundesamtes für Statistik in der Kategorie Siedlung ausgewiesene Fläche beinhaltet neben Gebäudearealen auch Verkehrsflächen, Industrieareale sowie Erholungs- und Grünanlagen. Aufgrund dieser Zusammensetzung sind die totale Fläche und ihre Entsprechung in Siedlungsflächen-Äquivalenten nicht identisch.

⁵¹ Obwohl unproduktive Flächen ebenfalls Biodiversität beherbergen, können diese nicht in Siedlungsflächen-Äquivalenten bewertet werden, da entsprechende Daten fehlen.



Box 10
Landwirtschaftsinitiativen

Zur Zeit (2015) stehen nicht weniger als vier eidgenössische Volksinitiativen zum Thema Landwirtschaft und Ernährung an. Alle vier Initiativen sprechen sowohl soziale, wie auch ökologische Missstände der globalen und schweizerischen Nahrungsmittelproduktion und des Konsums an. Ihre Schwerpunkte liegen auf:

- 1. der Erhöhung der Ernährungssicherheit angesichts des globalen Bevölkerungswachstums, des Klimawandels und der Ressourcenverknappung, sowie dem Erhalt der inländischen Nahrungsmittelproduktion durch Schweizer Bauern (Initiative für «Ernährungssicherheit»).*
- 2. dem Stopp von Nahrungsmittelspekulationen, die zu steigenden Nahrungsmittelpreisen führen (Initiative «Keine Spekulation mit Nahrungsmitteln»).*
- 3. der Steigerung der ökologischen und sozialen Anforderungen an Nahrungsmittel und der Vermarktung und Verarbeitung regionaler Produkte zur Reduktion der Transportwege und der Lebensmittelverschwendung (Initiative «für gesunde, sowie umweltfreundliche und fair hergestellte Lebensmittel»).*
- 4. der Steigerung der Ernährungssouveränität der Schweiz und der Gewährleistung einer vielfältigen und gentechnikfreien Landwirtschaft, ausgezeichnet durch faire Preise für Bäuerinnen und Bauern und durch mehr Transparenz (Initiative «für Ernährungssouveränität. Die Landwirtschaft betrifft uns alle»).*

Die Produktion und der Konsum von Nahrungsmitteln gehen mit dem Verbrauch an Wasser, Boden, Energie und Materialien einher und sind ein wesentlicher Treiber von vielen Umweltproblemen. Daher begrüsst der Wirtschaftsverband swisscleantech diejenigen Vorstösse, die in Richtung eines umweltfreundlicheren Umgangs mit Nahrungsmitteln gehen. Da die Schweiz nur 64% des inländischen Nahrungsbedarfs (Bundesamt für Statistik, Stand 2011) selbst deckt und damit ein wesentlicher Bestandteil der Umweltauswirkungen des Inlandkonsums im Ausland stattfindet, ist eine Abkehr vom Territorialprinzip nötig. Die Berücksichtigung der Auswirkungen im Ausland setzt aber einen systematischen Einbezug der vorgelagerten Produktionsketten durch Schweizer Firmen voraus. Grundsätzlich sind auch die Erhöhung der Ernährungssouveränität der Schweiz und das Setzen auf lokale Nahrungsmittel im Sinne einer höheren inländischen Wertschöpfung und geringerer Transportemissionen zu begrüßen. Der anzustrebende Grad an Selbstversorgung muss jedoch immer im Zusammenhang mit der inländischen Verfügbarkeit von Kulturland und dem damit verbundenen Biodiversitätsverlust betrachtet werden.



3.5 Wasser

Obwohl das für menschliche Bedürfnisse nutzbare Süsswasser nur etwa 8 Promille des global vorkommenden Wassers ausmacht, besteht beim Wasserverbrauch global noch etwas Spielraum bis zu den Nutzungsgrenzen. Dieser dürfte jedoch aufgrund des zunehmenden Wasserverbrauchs sowie wegen des Klimawandels, der zu häufigeren Dürren und Überschwemmungen führen wird, rasch aufgebraucht sein. Entscheidend ist aber nicht nur die globale Situation sondern auch der Umstand, dass die Verfügbarkeit von Wasser lokal und zum Teil temporal stark variiert. So ist Wasser an gewissen Orten immer knapp, an anderen Orten nur zu einer bestimmten Jahreszeit, und an wieder anderen nie. Weltweit sehen sich 2.7 Milliarden Menschen mit Wasserknappheit konfrontiert.

Als Wasserschloss Europas hat die Schweiz genügend Wasser für den direkten Verbrauch. Doch verbrauchen Schweizerinnen und Schweizer durch importierte Güter im Ausland fast 4 mal mehr Wasser als in der Schweiz selber. Hauptverursacher für den grossen Wasserverbrauch der Schweiz im Ausland sind importierte Futtermittel und andere Landwirtschaftsprodukte. Besondere Aufmerksamkeit verdienen dabei natürlich diejenigen Güter, welche aus Gebieten in Entwicklungs- und Schwellenländern importiert werden, die ihrerseits mit Wasserknappheit konfrontiert sind. Allerdings ist der Wasserverbrauch für die Produktion der Re-exportierten Güter praktisch gleich hoch wie der direkte Verbrauch im Inland, von dem wiederum etwa 40% für Exportgüter aufgewendet wird.

Ein beträchtlicher Teil des ausgewiesenen Wasserverbrauchs, sowohl im In- wie auch im Ausland, basiert auf der Verschmutzung von Wasser. Trotz grossen Fortschritten in den letzten 20 Jahren, und obwohl die Schweiz diesbezüglich eine Spitzenposition inne hat, besteht hierzulande bei natürlichen Gewässern nach wie vor Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Wasserqualität. Auch der Beitrag der Wasserverschmutzung in der Schweiz zur Überdüngung der Ozeane ist zu hoch.

Um in der Schweiz einen nachhaltigen Konsum von Wasser zu erreichen, muss einerseits die Wasserbelastung – vor allem durch Nitrate und Phosphate sowie Pflanzenschutzmittel aus der Landwirtschaft – reduziert werden. Andererseits muss der im Ausland verursachte Wasserbedarf um einen Faktor 5 gesenkt werden, damit die Schweiz im globalen Vergleich keinen zu hohen Wasserverbrauch verursacht.

Die Ressource Wasser weist Kreuzabhängigkeiten mit biotischen Rohstoffen (Wasserbedarf, Wasserbelastung), mit dem Klima (Veränderung von Niederschlagsmustern) sowie mit der Biodiversität (Lebensraum, Wasserbelastungen etc.) auf.



3.5.1 Worum geht es?

Der grösste Teil des global vorhandenen Wassers ist Salzwasser in Ozeanen (96.5%), Salinen (0.93%) und Salzseen (0.007%) und damit für eine Nutzung in der Landwirtschaft, aber auch in den meisten industriellen Prozessen, nicht geeignet. Auch das zweitgrösste Wasserlager, die Eiskappen der Pole, Gletscher und Firne (zusammen 1.74%) und der Permafrost (0.022%) sind technisch nicht verfügbar. Im Folgenden benutzen wir den Ausdruck «Wasser» für die etwa 8 Promille Süsswasser, von dem knapp 90% als Grundwasser vorkommt. Etwa 9% des Wassers sind Seen, der Rest Sümpfe und Flüsse sowie Wasser in der Atmosphäre und in Lebewesen (Zahlen aus Inclusive Wealth Report⁵²). Betrachtet man nicht, wie viel Wasser gespeichert ist, sondern wie viel Wasser durch Verdunstung und Niederschlag im Kreislauf geführt wird (zu nicht im Kreislauf geführtem, sogenannt fossilem Wasser, siehe **Box 11**), ergibt sich folgendes Bild. Global verdunsten pro Jahr etwa 485'000 km³ Wasser, wovon etwa 110'000 km³ auf Land niederschlägt. Zwei Drittel davon verdunstet in situ und etwa ein Drittel fliesst in Flüsse. So kommt es, dass die Wassermenge, die jährlich durch Flüsse fliesst etwa 20 mal grösser ist als die Menge, die zu jeder Zeit in Flüssen gespeichert ist. Dieses Fließgleichgewicht bestimmt, wie viel Wasser als Ressource für Produktionsprozesse (landwirtschaftliche und technische) zur Verfügung steht.

Box 11

Fossiles Wasser (Foster u. a. 2006)

Unter dem Begriff des «fossilen Wassers» versteht man Wasser, welches während historischen Feuchtperioden vor zwischen einigen Zehntausend bis Millionen von Jahren in unterirdischen Hohlräumen unter bestimmten geologischen Voraussetzungen eingeschlossen wurde und seither kaum im Austausch mit dem sich im Wasserkreislauf befindenden Wasser stand. Die globalen Vorkommen an fossilem Wasser sind zwar relativ gross (in der Grössenordnung von Zehntausenden Kubikkilometern). Da aber aus diesen Vorkommen gewonnenes Wasser auf der Zeitskala menschlicher Aktivität nicht auf natürliche Weise ersetzt wird, muss man von einer nicht erneuerbaren Ressource sprechen. Zum Beispiel finden sich grosse Mengen an fossilem Wasser unter Wüstenregionen in Nordafrika (Sahara) und auf der arabischen Halbinsel. In diesen Regionen wird der Grossteil des Wasserbedarfs für Haushalte und die Landwirtschaft aus diesen Quellen gedeckt. Allerdings führt die grosse Menge des entnommenen Wassers bei einigen dieser Wasservorkommen bereits heute zur Erschöpfung, beziehungsweise zu Qualitätsverlusten (z.B. durch Einflüsse von Salzwasser oder verschmutztem Wasser). Auch ausserhalb von Wüstenregionen bestehen Vorkommen an fossilem Wasser. Da allerdings eine klare Unterscheidung von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Grundwasservorkommen nicht immer einfach ist, ist häufig unklar, ob ein erschlossener Grundwasserkörper erschöpflich ist oder nicht.

⁵² <http://cl.ly/1r3v2V3P3T1h422S1225/download/Inclusive-Wealth-Report-2012-UNU-IHDP-UNEP-High-Res-updated-5-July.pdf>



Die physische **Wasserverfügbarkeit** variiert lokal und zum Teil temporal stark. An gewissen Orten ist Wasser immer knapp, an anderen Orten nur zu einer bestimmten Jahreszeit, und an wieder anderen nie. So verfügen 9 Länder⁵³ über 60% der weltweiten Süßwasserreserven (World Business Council for Sustainable Development 2005). Bei der Verfügbarkeit von Wasser wird, analog zum Verbrauch, zwischen Oberflächen- und Grundwasser (blaues Wasser / blue water) und Niederschlagswasser (grünes Wasser / green water) unterschieden.

Auch die **Wasserqualität** kann sehr unterschiedlich sein. Oft korreliert eine physische Wasserknappheit mit einer schlechten Wasserqualität, was aber andersrum nicht heisst, dass ein Überfluss an Wasser auch eine gute Wasserqualität bedeutet. Wasserqualität beeinflusst natürlich die Nutzbarkeit von Wasser, zum Beispiel als Trinkwasser oder zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen. Wichtige Schadstoffe, welche die Wasserqualität beeinträchtigen sind Schwermetalle, Nitrate, Phosphate und hormonaktive Substanzen (mehr dazu in **Box 12**). Weltweit ist eine Verschlechterung der Wasserqualität festzustellen, welche sich in Form hoher Schadstoffgehalte (auch Mikroschadstoffe aus der Medizin) oder tiefer Sauerstoffwerte, negativ auf die menschliche Gesundheit und die Ökosystemdienstleistungen der Gewässer auswirkt. Krankheiten, Epidemien, das Aussterben von Fischbeständen oder die Verbreitung invasiver Spezies sind die direkten Folgen. Jährlich sind rund 3.5 Millionen Todesfälle auf eine unzureichende Wasserversorgung und mangelnde Wasserhygiene zurückzuführen. Eine Grossteil dieser Todesfälle betrifft Entwicklungsländer (WWAP 2012). Wasserverschmutzung, vor allem mit Nitraten und Phosphaten sind auch für die Ozeane ein grosses Problem. Vielerorts hat die Überdüngung bereits zu beträchtlichem Biodiversitätsverlust geführt und bedroht die Fisch- und Meeresfrüchteproduktion.

Box 12

Hormonaktive Stoffe

Ein bekanntes Problem im Umgang mit Abwasser, das in den vergangenen Jahren stark mediatisiert wurde, ist die Zunahme synthetischer hormonaktiver Stoffe im Oberflächenwasser. Dafür verantwortlich sind zum einen die zunehmende Anwendung der Antibabypille, und zum anderen der Einsatz synthetischer Substanzen, die in der Industrie, der Landwirtschaft oder in Konsumgütern eingesetzt werden oder als Nebenprodukte anfallen. Heute noch verwendet werden solche Substanzen als Grundsubstanzen oder Weichmacher in Kunststoffen, als Flammschutzmittel in Kunststoffen oder Textilien, in industriellen Reinigungsmitteln und in Sonnenschutzmitteln (BAG 2012). Trotz Abwasserbehandlung in Kläranlagen gelangen diese hormonaktiven Stoffe ins Oberflächenwasser und werden durch Nahrungsmittel oder Trinkwasser vom Menschen eingenommen. Diese Aufnahme hat klare Auswirkung auf den menschlichen Organismus. Ob sie aber für den menschlichen Organismus eine Gefahr darstellen konnte trotz weltweiter Untersuchungen bislang nicht bestätigt werden (BAG 2012). Klare Anzeichen der negativen Auswirkungen hormonaktiver Stoffe auf natürliche Organismen konnten hingegen bereits bei Fischen nachgewiesen werden. Männliche Fische aus kontaminierten Gewässern weisen eine deutlich höhere Anzahl an weiblichen Eizellen auf als ihre unbelasteten Artgenossen. Dieses Phänomen, welches «intersex» genannt wird, wurde bei Fisch-

⁵³ Brasilien, Russland, China, Kanada, Indonesien, U.S.A., Indien, Kolumbien und die Demokratische Republik Kongo



beständen des Thunersees von der EAWAG identifiziert. Inwiefern hormonaktive Substanzen an der drastischen Reduktion der Fortpflanzungsfähigkeit junger Männer in den letzten 20 Jahren beteiligt sind, ist aber noch offen (Suter o. J.).

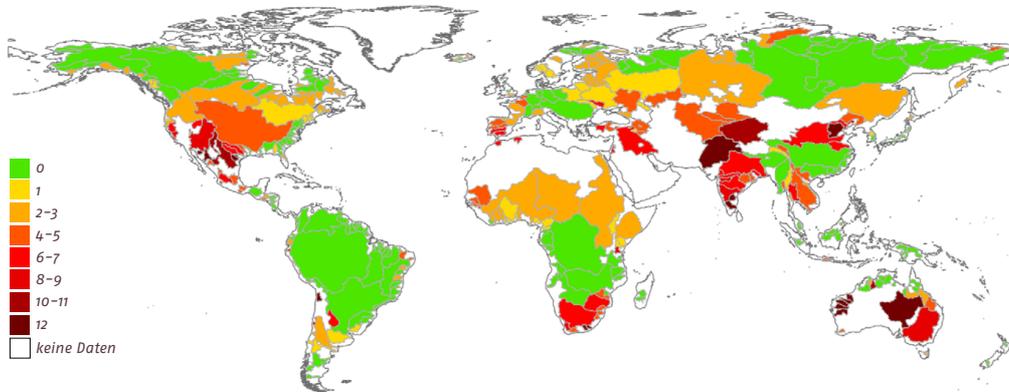
Das gängigste System, um die **Verbrauchende Nutzung**⁵⁴ oder kurz den **Wasserverbrauch** zu beschreiben, ist der sogenannte Wasserfussabdruck oder water footprint⁵⁵. Mit diesem System lassen sich die physischen Wasserverbräuche aufgrund ihrer Quellen unterscheiden. Der Blue Water Footprint umfasst die verbrauchende Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser (Seen und Flüsse) während der Green Water Footprint sich auf die verbrauchende Nutzung von Niederschlagswasser während eines Produktionsprozesses (insb. in der Land- und Waldwirtschaft) bezieht. Zusätzlich wird der Qualitätsverlust durch die Nutzung des Wassers durch den Gray Water Footprint ausgedrückt. Dieser gibt an, wie viel Wasser benötigt würde, um das verschmutzte Wasser soweit zu verdünnen, dass geltende Qualitätsstandards bezüglich der Schadstoffkonzentration erreicht würden. Dieser Footprint steht also für die Reduktion der Wasserqualität und entspricht einem hypothetischen Wasserverbrauch.

Die von der UN Organisation FAO zur Verfügung gestellte Datenbank «Acquastat» betrachtet im Gegensatz zum Water Footprint nur die verbrauchende Nutzung von Blue Water. Dabei verwendet Acquastat auch eine leicht andere Definition von «Verbrauchende Nutzung» als der Water Footprint. In dieser Studie folgen wir den Definitionen vom Water Footprint.

Der Water Scarcity Index schliesslich kombiniert den Verbrauch und die Verfügbarkeit von Wasser in einem Knappheitsmass. Hoekstra et al. haben auf der Grundlage des Blue water scarcity index, der das periodische Verhältnis zwischen Blue Water Verbrauch und Blue Water Verfügbarkeit errechnet, weltweit rund 405 Wassereinzugsgebiete untersucht, die insgesamt 66% der gesamten Landfläche und 65% der Weltbevölkerung mit Wasser versorgen. 204 Wassereinzugsgebiete wiesen jährlich seriöse Anzeichen von Knappheit auf. Bei diesen Gewässern überstieg der monatliche Wasserverbrauch die kritische Grenze von 40% der monatlichen natürlichen Abflussmenge. 182 Wassereinzugsgebiete wiesen gar während 12 Monaten Anzeichen einer geringen Wasserknappheit auf (weniger als 20% der monatlichen natürlichen Abflussmenge). Global sind es jährlich 2.7 Milliarden Menschen, die ihren Wasserbedarf aus einem Wassereinzugsgebiet schöpfen, das mindestens während einem Monat im Jahr einen knappen Wasserbestand aufweist (Hoekstra u. a. 2012). Davon betroffen sind insbesondere südostasiatische Regionen, Teile Chinas und der Mongolei, Australien und Mittelamerika, sowie Länder des Sub-Saharagürtels (siehe **Figur 27**).

⁵⁴ Die verbrauchende Nutzung umfasst den physischen Verbrauch von Wasser hinsichtlich Menge und Qualität, reduziert also die Menge und / oder die Qualität des verfügbaren Wassers. Man spricht auch von verbrauchender Nutzung, wenn Wasser zum Beispiel im Sommer in einem Staudamm gespeichert wird um im Winter Strom zu erzeugen. In solchen Fällen können Reduktionsfaktoren eingeführt werden, um zu berücksichtigen, dass die Nutzung nicht zu einem vollständigen Verlust der Ressource führt, sondern nur eine Beeinträchtigung darstellt. Im Gegensatz zur verbrauchenden Nutzung findet bei der nicht-verbrauchenden Nutzung kein mengenmässiger Verbrauch von Wasser und auch keine Qualitätsbeeinträchtigung statt. Mit anderen Worten wird die Wasserverfügbarkeit durch nicht-verbrauchende Nutzung nicht reduziert. Die nicht-verbrauchende Nutzung bezieht sich beispielweise auf ein Flusskraftwerk, wo das verwendete Wasser unmittelbar nach der Nutzung wieder in das ursprüngliche Gewässersystem zurückgespeist wird.

⁵⁵ <http://waterfootprint.org>



Figur 27
Durchschnittliche Anzahl Monate pro Jahr mit Grund- und Oberflächenwasserknappheit in den wichtigsten Flusssystemen (1996–2005) (Hoekstra u. a. 2012)

3.5.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen

Gemäss der «Water Footprint Statistics»⁵⁶, liegt der globale Wasserverbrauch in der Periode von 1996 bis 2005 bei durchschnittlich 8525 km³/Jahr. Pro Kopf entspricht dies einem Wert von 1'385 m³ pro Jahr oder rund 25 Badenwannen pro Person und Tag. Mit 74% macht der Green Water Footprint den grössten Verbrauch aus, gefolgt von Gray Water (15%) und Blue Water (11%) Footprint. Der riesige Anteil des Green Waters am gesamten Water Footprint erklärt sich dadurch, dass global rund 92% des Wassers in der Landwirtschaft verbraucht wird und nur je 4% in Industrie und durch kommunale Nutzung.

Bemerkenswert ist auch, dass die Wasserverschmutzung (Gray Water) die natürliche Ressource stärker belastet, als der tatsächliche Verbrauch von Grund- und Oberflächenwasser (Blue Water). Insbesondere Schwellen- und Entwicklungsländer weisen einen hohen Gray Water Footprint auf. Weltweit werden nur 55% der kommunalen Abwässer in Kläranlagen gesammelt. Die restlichen 45% gelangen entweder direkt in Flüsse, Seen oder Meere, oder werden in unbehandelter Form für die Irrigation von Feldern eingesetzt.⁵⁷ Kritisch ist auch die diffuse Verschmutzung der Gewässer durch die Landwirtschaft (Pestizide und Dünger). Da die Wasserqualität in der Regel direkt von der vorhandenen Wassermenge abhängt, hat die Übernutzung erneuerbarer Wasserreserven durch die Landwirtschaft in weiten Gebieten Nordafrikas und der arabischen Peninsula zu einer höheren Konzentration der Verschmutzung und damit zu einer Abnahme der Wasserqualität geführt. Eine weitere wichtige Verschmutzungsquelle von Grund- und Oberflächengewässer stellt der Bergbau dar. Durch den unkontrollierten Einsatz chemischer Substanzen im Abbau und der Trennung von Mineralien und fossilen Brennstoffen gelangen Giftstoffe ins Grundwasser oder in Fließgewässer, deren Wasser stromabwärts vielerorts für landwirtschaftliche oder kommunale Zwecke

⁵⁶ <http://waterfootprint.org/en/resources/water-footprint-statistics/#CP2>

⁵⁷ Aquastat: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm



benötigt werden. Davon sind insbesondere afrikanische und südamerikanische Länder betroffen.

Mehrere Entwicklungen deuten auf eine markante Zunahme des weltweiten Wasserverbrauchs in den nächsten Jahrzehnten hin. Die anwachsende Weltbevölkerung (9.1 Milliarden bis 2050) wird den Druck auf die weltweiten Wasserreserven erhöhen. Der steigende Wohlstand löst eine allmähliche Ernährungsverlagerung vom Konsum stärkebasierter Nahrungsmittel hin zu wasserintensiven Fleisch- und Milchprodukten aus. Rockström et al. erwähnen eine 5% Zunahme der Nutzung von Green Water in der Landwirtschaft bis 2030, und eine 25–50% Erhöhung des Wasserbedarfs (Blue Water) für die Bewässerung (Rockström u. a. 2009). Während die Produktion von 1 Kilogramm Reis 3'500 Liter Wasser erfordert, benötigt 1 Kilogramm Rindfleisch 15'000 Liter Wasser. Der Klimawandel wird sich zunehmend in Form von stärkeren und häufigeren Dürren und Überschwemmungen auswirken und dabei die globale Wasserverteilung (insbesondere diejenigen von Green Water) beeinflussen. Das immer wichtiger werdende Phänomen des internationalen Landzukaufs durch Regierungen oder Firmen in grossem Stil («land grabbing») wird beispielsweise zur Umwandlung grosser Gebiete zu Landwirtschaftsflächen führen, was die lokalen Wasserreserven unweigerlich unter Druck setzen wird. Auch die zunehmende Nachfrage nach Energie beeinflusst den Wasserverbrauch. Einerseits wird Wasser in grossen Mengen für die Förderung und Verarbeitung primärer Energieträger (Rohöl, Kohle, Erdgas, Uran, Biomasse) benötigt. So sind beispielsweise für die Gewinnung von einem Liter Rohöl aus konventionellen Quellen ca. 35 Liter Wasser erforderlich. Bei unkonventionellen Quellen (zum Beispiel Fracking) kann der Wasserbedarf sogar bei bis zu 140 Liter pro Liter Rohöl liegen. Andererseits wird Wasser vermehrt für die Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken oder für die Stromgewinnung durch Wasserkraft benötigt (WWAP 2012).

Gemäss Prognosen der OECD wird die globale Nachfrage nach Wasser zwischen 2000 und 2050 um 55% anschwellen (OECD 2012). Dieser Nachfrageanstieg wird im Wesentlichen von der Landwirtschaft (+400%) getrieben. Die Nachfrage für den Gebrauch zur Stromgewinnung (+140%) und für den kommunalen Einsatz (+130%) steigen vergleichsweise moderat. Während der Wasserverbrauch in den OECD Ländern leicht sinken wird, ist eine deutliche Zunahme in den BRIICS⁵⁸ Staaten zu erwarten. Eine Verschlechterung der Wasserqualität ist insbesondere bei Oberflächengewässern in Entwicklungsländern aufgrund von Schadstoffströmen aus der Landwirtschaft und mangelnder Abwasserbehandlung kaum zu vermeiden. Trotzdem prognostiziert die OECD eine Verbesserung des weltweiten Zugangs zu sauberem Trinkwasser. Von den heute 783 Millionen Menschen, die keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser haben, werden es im Jahr 2050 aber immer noch 240 Millionen sein (OECD 2012).

In den vergangenen Jahrzehnten wurden Probleme der Verfügbarkeit, Nutzung und Bewirtschaftung von Süsswasser weitgehend auf einer lokalen und nationalen Ebene angegangen. Die Erkenntnis, dass Süsswasserressourcen von globalen Entwicklungen abhängen und damit in einen globalen Gesamtkontext gestellt werden müssen, besteht erst seit jüngerer Zeit. Insgesamt existieren 276 grenzübergreifende Wassereinzugsgebiete in 148 verschiedenen Ländern⁵⁹. Anstatt die nationale Nachfrage mit dem nationalen Süsswasserangebot decken zu wollen, müssen Regierungen Massnahmen vermehrt auf globale Nachfrage- und Angebotsstrukturen abstützen. Dafür spricht auch der Umstand, dass der

⁵⁸ BRIICS: Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, China und Südafrika

⁵⁹ UN Water.org



Wasserverbrauch einiger Länder durch den Import wasserintensiver Güter zunehmend ins Ausland verlagert wird. Rund 20% des Wasserverbrauchs werden durch sogenannte virtuelle Wasserströme verursacht, also von derjenigen Wassermenge, die für die Produktion von Exportgütern benötigt wird. Mit 76% des totalen Volumens virtueller Wasserströme stellt der Pflanzenanbau den grössten virtuellen Wasserstrom dar, gefolgt vom Handel mit tierischen und industriellen Produkten (12%) (Mekonnen u. a. 2011). Solange nationale Regierungen diesen indirekten Wasserverbrauch vernachlässigen, können sie ihre Auslandsabhängigkeit und konsumbedingten Umweltauswirkungen kaum abschätzen und adäquat angehen.

Der Umgang des Menschen mit Wasser wirkt sich auf die Nahrungsmittelproduktion, die menschliche Gesundheit sowie auch auf Ökosystemdienstleistungen (z.B. die Gewährleistung von Lebensräumen) aus. Die Gefahren, die für den Menschen mit einer Verschlechterung der globalen Wasserressourcen einhergehen, sind damit vielfältig: Der Verlust von Bodenfeuchtigkeit (Green Water) gefährdet zum Beispiel die Produktion von Biomasse und deren Funktion als Senke für Kohlenstoffdioxid, und fördert ausserdem die Erosion. Die Veränderung der Muster von Fließ- und Oberflächengewässer (Blue Water) durch exzessiven Verbrauch, kann das lokale Wasservorkommen und damit den Zustand der aquatischen Ökosysteme beeinträchtigen. Zudem können auch lokale und regionale Niederschlagsmuster (Green Water Flows) von den sich ändernden Wasserströmen geographisch beeinträchtigt werden (Rockström u. a. 2009).

Grenzen im Umgang mit Wasser müssen folglich so gesetzt werden, dass die Green Water Flows, die für den Erhalt der Bodenfeuchtigkeit und des Niederschlags sorgen, gewahrt sind. Gleichzeitig müssen diese Grenzen die ausreichende Versorgung der terrestrischen Ökosystemdienstleistungen erhalten (Kohlenstoffbindung, Biomasseproduktion, Nahrungsmittelproduktion, Biodiversität) und die angemessene Verfügbarkeit von Blue Water für aquatische Ökosysteme, sowie die menschliche Nutzung sicherstellen. Aufgrund der engen Interaktion zwischen Land und Wasser, und der Komplexität des Wasserzyklus, ist die Festlegung von Grenzen des Wasserverbrauchs jedoch sehr schwierig.

Rockström et al. lösen dieses Problem, indem sie diese Komplexität auf einen einzigen Grenzwert herunterbrechen, nämlich auf die verbrauchende Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser (Blue Water). Dabei gehen sie von geschätzten 12'500–15'000 km³ Blue Water Reserven pro Jahr aus. Ein Knappheitszustand wird bei einem physischen Wasserverbrauch von 5'000–6'000 km³/Jahr erreicht. Bei einem Wasserverbrauch von ca. 4'000 km³ erhöht sich bereits das Risiko der genannten Auswirkungen (Kollaps der terrestrischen und aquatischen Ökosysteme, Veränderung der Niederschlagsmuster etc.). Im Jahr 2006 betrug die Wassernutzung rund 4'000 km³ / Jahr, wobei nur 2'600 km³ tatsächlich verbraucht wurden. Dementsprechend besteht noch etwas Handlungsspielraum, bevor die kritische Grenze von 4'000 km³ erreicht ist. Findet in den nächsten Jahren allerdings eine ähnliche Entwicklung, wie in den letzten Jahrzehnten statt, wird die Grenze schnell erreicht sein.

3.5.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.5.3.1 Direkt

Jährlich werden in der Schweiz 3'368 Mio. m³ Wasser zu Produktionszwecken verbraucht. Mit 59.4% stellt die Pflanzenproduktion die grösste Verbrauchskategorie dar, gefolgt von der Nutzung für Weideflächen (27.5%), in Haushalten (6.6%) und in der Industrie (4.4%). Mit 75% stellt Green Water mit Abstand die grösste Verbrauchsquelle dar. Im internationalen Vergleich weist



die Schweiz damit einen tiefen produktionsbedingten Wasserverbrauch auf. Während die Schweiz für die inländische Produktion 466 m³ pro Kopf und Jahr verbraucht, liegt der internationale Durchschnitt mit 1'476 m³ deutlich höher.

Der direkte Gray Water Footprint der Schweiz liegt mit 637 Mio. m³ fast drei mal höher als der Blue Water Footprint mit 228 Mio. m³. Dies deutet auf die heute bestehenden Potenziale der Schweiz im Bereich des Gewässerschutzes hin. Zwar konnten dank rigorosen Anstrengungen Mitte der Achtzigerjahre der Phosphat- sowie der Nitratgehalt in Fließ- und Oberflächengewässer gesenkt werden, wodurch der Sauerstoffgehalt in diesen Gewässern wieder steigen konnte. Trotzdem werden vor allem in Landwirtschaftsgebieten noch immer erhöhte Phosphat- und Nitratwerte sowie hohe Konzentrationen an Pflanzenschutzmittel gemessen. So weisen 15 bis 20% der Schweizer Gewässer einen überhöhten Nitratgehalt auf⁶⁰ und 20% eine zu hohe Pflanzenschutzmittel-Konzentration (über 0.1 Mikrogramm pro Liter). In Ackerbaugebieten trifft dies sogar auf 50-60% der untersuchten Gewässer zu.⁶¹ Weiterhin identifiziert das Bundesamt für Umwelt an 5% der untersuchten Gewässer überhöhte Konzentrationen an flüchtigen organischen Substanzen (VOC), die insbesondere aus der unsachgemässen Handhabung, sowie aus Deponien entstammen. Bei Siedlungsgebieten liegt dieser Wert mit 15 bis 20% noch höher.⁶² Generell ist aber zu beobachten, dass zwar der Phosphat- und Nitratgehalt in Schweizer Gewässern rückläufig ist. Chemische Belastungen hingegen (vor allem durch Pestizide, aber auch durch organische Zinnverbindungen, bromierte Flammschutzmittel, polyzyklische organische Kohlenwasserstoffe und hormonaktive Substanzen) haben in der Schweiz und in ganz Europa tendenziell zugenommen.⁶³

Die inländische Wasserversorgung stellt in der Schweiz keine kritische Grösse dar. Obwohl wenige Einzelfälle von temporären, lokalen Engpässen bekannt sind, werden jährlich nur 5% der durchschnittlichen erneuerbaren Wasservorkommen genutzt. Trotzdem muss die Schweiz in Zukunft vermehrt und verstärkt mit Wasserknappheitssituationen rechnen. Allerdings bleiben diese Probleme regional und saisonal beschränkt und können mit geeigneten Massnahmen entschärft werden. Dies wird von den Erfahrungen aus dem trockenen Sommer 2013 belegt (BAFU 2012b). Nachhaltigkeitsgrenzen sind in der Schweiz daher weniger im Bereich der physischen Übernutzung, als vielmehr im Bereich der Verschmutzung zu definieren.

Solche Grenzwerte bestehen bereits seit 1998 für relevante Stoffkonzentrationen und sind im Anhang der eidgenössischen Gewässerschutzverordnung festgelegt.⁶⁴ Handlungsbedarf besteht jedoch in der Umsetzung der heutigen Gesetzesgrundlage. So haben im Jahr 2013 zehn von 26 Kantonen ein Umsetzungsdefizit im Bereich des Grundwassers angegeben. (Rieder u. a. 2013)

Aufgrund der kleinräumigen Struktur der Wasserversorgung sowie der auf verschiedenen Rechtsgrundlagen basierenden Wasserversorgungsregelung zwischen den Kantonen ist eine detaillierte nationale Übersicht über die Wassernutzung, die Trinkwasserqualität und die ökonomischen Kennzahlen der Wasserversorgung jedoch unmöglich. Die Umsetzung des planerischen Grundwasserschutzes ist beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Regelungen

⁶⁰ <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08605/08684/index.html?lang=de>

⁶¹ <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08605/08685/index.html?lang=de>

⁶² <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08605/08683/index.html?lang=de>

⁶³ Neue Zürcher Zeitung vom 17.06.2014, Seite 22

⁶⁴ <http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983281/index.html>



auch unterschiedlich weit fortgeschritten. Handlungsbedarf besteht dadurch insbesondere im Bereich der Koordination zwischen den einzelnen Wassereinzugsgebieten in Sinne einer effizienteren und nachhaltigeren Wassernutzung der Schweiz (Chaix u. a. 2014).

3.5.3.2 Indirekt

Der Indirekte Wasserverbrauch der Schweiz beträgt 7'686 Mio. m³ und liegt damit etwa 2.2 mal über dem direkten Wasserverbrauch. Importierte Produkte – vor allem wasserintensiven Gütern wie Futter- und Nahrungsmitteln, Baumwolle oder Papier – verursachen mit 12'090 Mio. m³ sogar 3.6 mal mehr Wasserverbrauch als in der Schweiz direkt verursacht wird. Allerdings wird fast ein Viertel des importierten Wasserverbrauchs in Produkten wie Milch, Schokolade oder Kaffee re-exportiert. Vom direkten Schweizer Wasserverbrauch werden 1'408 Mio. m³ durch Produkte ins Ausland exportiert (41%). So verursacht der Schweizer Konsum einen Wasserverbrauch von 11'054 Mio. m³. Dieser setzt sich aus dem internen und externen Water Footprint zusammen. Ersterer umfasst den Wasserverbrauch von Privathaushalten (Trinken, Reinigen, Garten Bewässern und Waschen) und den Verbrauch, der für im Inland produzierte wie auch konsumierte Produkte anfällt. Letzterer hingegen bezieht sich auf den im Ausland verursachten Wasserverbrauch aller importierten Güter, die schliesslich im Inland konsumiert werden (siehe [Box 13](#) und [Figur 28](#)).

Der interne Footprint der Schweiz beträgt jährlich insgesamt 1'960 Mio. m³ Wasser. Davon fallen 84% für den Konsum landwirtschaftlicher Erzeugnisse, 11% für den privaten Gebrauch (Trinken, Reinigen, Waschen, Kochen) und nur 4% für die Produktion von Industriegütern an. Pro Kopf verbraucht jede Schweizerin und jeder Schweizer jährlich 183.6 m³ Green Water, 15.5 m³ Blue Water und 71.9 m³ Gray Water. Dies entspricht einem Tageskonsum von insgesamt 742 Liter Wasser. Wird ausschliesslich der interne Footprint betrachtet, liegt die Schweiz damit deutlich unter dem Durchschnitt aller Länder von 2'972 Liter am Tag.⁶⁵

Anders sieht es aus, wenn man den externen Footprint der Schweiz mitberücksichtigt. Alleine dieser beträgt jährlich 9'094 Mio. m³ und ist damit rund 4.5 mal höher als der interne Footprint. Die Tatsache, dass die Schweiz konsumbedingt ein Nettoimporteur von Wasser ist, steht also im deutlichen Widerspruch zu den verhältnismässig hohen Wasserreserven, die uns in der Schweiz zur Verfügung stehen. So kommt es, dass die Schweiz bei der Berücksichtigung des internen wie auch externen Footprints im internationalen Vergleich einen hohen Wasserverbrauch aufweist. Pro Tag konsumiert jede Schweizerin und jeder Schweizer 4'200 Liter Wasser, wohingegen der durchschnittliche Tageskonsum eines Weltbürgers bei 3'794 Litern liegt.

Werden die einzelnen Wasserkategorien des externen Water Footprint der Schweiz separat betrachtet, so erkennt man, dass der externe Gray Water Footprint mit jährlich 2'221 Mio. m³ Wasser rund drei mal höher ist als der externe Blue Water Footprint. Möchte die Schweiz ihren externen Footprint in Zukunft reduzieren, muss sie folglich insbesondere auf Massnahmen zu Verhinderung der Wasserverschmutzung im Ausland setzen (z.B. Technologietransfer zu Abwasserreinigungstechnologien).

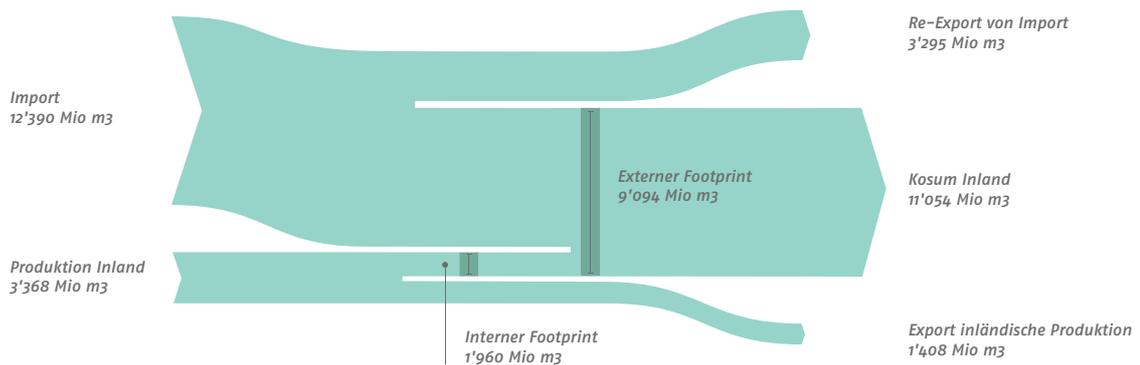
⁶⁵ Water Footprint Network, 2014



Box 13
Wasserverbrauchsbilanz der Schweiz

Ein Gesamtüberblick des Water Footprint der Schweiz aus Produktions- und Konsumsicht, der zudem die verschiedenen Verbrauchskategorien Blue und Gray Water berücksichtigt, liefert folgendes Bild: Der gesamte Wasserfussabdruck der inländischen Produktion der Schweiz beträgt 3'368 Mio. m³ pro Jahr. Dabei fließen nur 59% tatsächlich in die interne Konsumbilanz der Schweiz. Der Rest fließt über den Güterexport ins Ausland.

Jährlich werden 12'390 Mio. m³ Liter Wasser in die Schweiz importiert. Zur Errechnung des externen Water Footprint der Schweiz müssen davon jedoch 3'295 Mio. m³ für den Re-Exports abgezogen werden. Ein Vergleich mit dem internen Footprint zeigt, dass 82.3% des Wasserkonsums der Schweiz im Ausland verursacht und indirekt über den Import von Gütern und Dienstleistungen von der Schweizer Bevölkerung verbraucht werden. Unter Europäischen Ländern ist die Schweiz damit kein Einzelfall (Belgien 89%, Deutschland 69% oder Italien 60%). Es wäre jedoch selbst als Wasserschloss Europas falsch zu behaupten, die Schweiz hätte kein Wasserproblem. Die Schweiz ist und wird auch in Zukunft sehr stark von der ausländischen Nahrungsmittelzufuhr und damit von den Wasserhältnissen der Zufuhrregionen anhängig sein.



Figur 28
Wasserflüsse der Schweiz (Blue, Green und Gray Water).
Daten aus «Water Footprint Statistics»⁶⁶

Die Bestimmung ob und wo der Wasserfussabdruck der Schweiz im Ausland Nachhaltigkeitsgrenzen überschreitet, setzt die Ermittlung sogenannter Hotspots voraus. In einem gemeinsamen Bericht zum Wasserfussabdruck der Schweiz ermittelt der WWF Schweiz gemeinsam mit der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) auf der Grundlage des **Blue Water Scarcity Index**⁶⁷ diejenigen globalen Einzugsgebiete, in denen zu bestimmten Jahreszeiten zu viel Wasser aus Seen, Flüssen oder dem Grundwasser entnommen wird. Können die Oberflächen- und Grundwasserreserven die Nachfrage zu einem bestimmten Grad und zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht decken, gilt die Wasserentnahme als

⁶⁶ <http://waterfootprint.org/en/resources/water-footprint-statistics/#CP2>

⁶⁷ Verhältnis zwischen Blue Water Fussabdruck und Blue Water Verfügbarkeit.



nicht nachhaltig. Im selben Bericht wird in einem zweiten Schritt der Blue Water Scarcity Index mit dem Blue Water Footprint der Schweiz in den jeweiligen Einzugsgebieten abgeglichen. Dadurch können die «problematischen» von den «unproblematischen» Importgütern differenziert werden. Da Landwirtschaftserzeugnisse mit 93% den weitaus grössten Anteil des externen Blue Water Footprint der Schweiz ausmachen, sind die dabei identifizierten problematischen Güter, also diejenigen Güter, die aus Einzugsgebieten mit Wassermangel stammen, ausschliesslich Agrarprodukte.

Alle Einzugsgebiete, aus denen die Schweiz Güter importiert und die gleichzeitig mit Wasserknappheit konfrontiert sind, werden in



Tabelle 5

aufgeführt. Nur wenige Wassereinzugsgebiete, die mindestens einmal jährlich einen Zustand der Wasserknappheit erfahren und aus denen gewisse Importprodukte der Schweiz stammen, liegen in Industrieländern (Frankreich, Italien und USA). Alle anderen Einzugsgebiete liegen in Entwicklungs- und Schwellenländern, die oft über mehrere Monate knappe Blue Water Vorräte aufweisen und dabei gleichzeitig schwache Wassermanagement-Systeme betreiben. Viele dieser Flussbecken liegen in Schwerpunktländern der internationalen Entwicklungszusammenarbeit der Schweiz und profitieren bereits heute von Infrastrukturinvestition von Schweizer Unternehmungen. Darunter fallen Länder in den Einzugsgebieten des Aralsees, des Indus, des Ganges, des Tigris und des Euphrats, des Nils, des Krishnas oder des Chao Phrayas (Thailand). Zu den besonders kritischen Erzeugnisse des Schweizer Konsums zählen Viehfutter, Baumwolle, Zuckerrohr, Weizen, Reis und Soja, die aus den genannten Gebieten stammen (siehe



Tabelle 5) (Gnem 2012). Das Boykottieren oder Verbieten von Importen von Landwirtschaftserzeugnissen aus diesen Hotspot Regionen gilt auf den ersten Blick vielleicht als naheliegende Lösung. Auf den zweiten Blick wird aber klar, dass viele dieser Regionen von der Produktion und vom Export dieser Agrargüter in hohem Masse wirtschaftlich abhängig sind. Ein Importverbot auf diese Güter würde also dem lokalen Entwicklungsbedarf und der Armutsbekämpfung zuwiderlaufen. Massnahmen müssen daher vielmehr auf einen effizienteren Umgang mit Wasser abzielen und den verantwortungsvollen Umgang fördern. Technologie- und Wissenstransfer, Direktinvestitionen, Unterstützung von Stewardship-Programmen und Projekten im Bereich der internationalen Entwicklungszusammenarbeit der Schweiz stellen geeignetere Massnahmen dar.



Tabelle 5
Wasser-Fussabdruck-Hotspots des Schweizer Konsums von landwirtschaftlichen Produkten.
Aus Gnem 2012 (Gnem 2012)

Wasser-einzugs-gebiete	Länder im Einzugsgebiet	% des gesamten landwirtschaftlichen WF des Schweizer Konsums	Anzahl der Monate pro Jahr, in denen im Einzugsgebiet mittlere, erhebliche oder schwere Wasserknappheit herrscht			Die wichtigsten Feldfrüchte, die zum blauen Wasser-Fußabdruck im Einzugsgebiet beitragen
			mittel	erhellch	schwer	
Po	Italien, Schweiz	4.13	2	0	0	Reis, Mais, Viehfutter
Einzugsgebiet des Aralsees	Usbekistan, Kirgistan, Tadschikistan, Turkmenistan	3.14	1	0	4	Baumwolle, Viehfutter, Reis
Mississippi	USA	3.13	2	0	2	Mais, Sojabohnen, Reis, Viehfutter, Baumwolle
Indus	Afghanistan, Indien, China, Pakistan	2.97	1	3	8	Weizen, Reis, Baumwolle, Zuckerrohr, Raps
Ganges	Indien, Nepal, Bangladesch	2.93	0	2	5	Weizen, Reis, Zuckerrohr, Raps
Garonne	Frankreich, Spanien	2.63	1	1	1	Mais, Sojabohnen, Viehfutter
Loire	Frankreich	2.14	0	2	0	Mais
Tigris und Euphrat	Türkei, Syrien, Irak	1.42	0	1	5	Weizen, Gerste, Baumwolle, Reis, Hülsenfrüchte, Mais
Guadalquivir	Spanien, Portugal	1.3	1	0	6	Baumwolle, Sonnenblumen, Reis, Zuckerrüben, Mais
Nil	Äthiopien, Sudan, Süd-Sudan, Ägypten, Uganda, DR Kongo, Kenia, Tansania, Ruanda, Burundi	1.29	0	0	2	Weizen, Hirse, Zuckerrohr, Viehfutter



3.6 Luft

Saubere Luft ist eine von der Schweizerischen Verfassung geschützte Grundvoraussetzung für unser Leben. Trotz grossen Fortschritten in der Schweizer Luftqualität über die letzten Jahrzehnte sterben jährlich Tausende Menschen in der Schweiz und Millionen Menschen global an den Folgen der Luftverschmutzung. Diese wird hauptsächlich durch Verbrennungsprozesse (z.B. Feinstaub, Stickoxide, Dioxine), das Verdampfen von flüchtigen Stoffen (Lösungsmittel, Treibstoffe) oder durch die Wechselwirkung verschiedener Schadstoffe in der Atmosphäre (Ozon) verursacht. Am stärksten von Luftverschmutzung betroffen sind Länder mit tiefen und mittleren Einkommen. Da die Auswirkungen der Luftverschmutzung stark von den lokalen Schadstoffkonzentrationen abhängig sind, ergäbe eine Aussage über globale Durchschnittswerte wenig Sinn.

Obwohl die Luftqualität in der Schweiz generell als gut gilt und die Emissionen bei den meisten Schadstoffen rückläufig sind, liegen die emittierten Mengen vieler Luftschadstoffe immer noch zum Teil deutlich über den zur Einhaltung von Schweizerischen Grenzwerten maximal erlaubten (kritischen) Emissionsmengen. Ausserdem muss davon ausgegangen werden, dass der Schweizerische Konsum zu Schadstoffemissionen im Ausland führt, die deutlich höher sind als die direkten Emissionen in der Schweiz. Die zur Stabilisierung des Klimas notwendige Reduktion der Verbrennung fossiler Rohstoffe wird zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität sowohl in der Schweiz als auch global führen. Schadstoffminderungsmaßnahmen bei Fahrzeugen (Katalysator, Partikelfilter) und in der Industrie (Filter, Rauchgaswaschanlagen) bleiben jedoch nach wie vor notwendig, damit die Luftqualität praktisch überall akzeptabel bis gut wird.

3.6.1 Worum geht es?

Saubere Luft ist, wie sauberes Wasser und unbelastete Böden, eine von der Schweizerischen Verfassung geschützte Grundvoraussetzung für unser Leben. Trotz grossen Fortschritten in den letzten 40 Jahren sterben jährlich mehrere Tausend Menschen in der Schweiz und Millionen Menschen global an den Folgen der Luftverschmutzung⁶⁸. Die Kosten der Luftverschmutzung in Europa belaufen sich laut WHO und OECD auf 1.6 Billionen Dollar, was etwa 10% des Europäischen BIP entspricht (WHO u. a. 2015). Um die Situation in der Schweiz zu verbessern muss vor allem die Belastung durch Feinstaub und Ozon (Sommersmog) aber auch durch Stickoxide und Ammoniak reduziert werden. In anderen Regionen der Welt, in denen Rohstoffe und Güter für unseren Gebrauch produziert werden, sind neben diesen Schadstoffen auch Luftemissionen wie Schwefeldioxid, flüchtige organische Verbindungen, Schwermetalle oder krebserregende organische Verbindungen von grosser Bedeutung. Da die verschiedenen Luftschadstoffe aus unterschiedlichen Quellen stammen, beziehungsweise nicht, oder nur teilweise, miteinander korrelieren und auch unterschiedliche Auswirkungen haben, müssen die wichtigsten Emissionen separat betrachtet werden.

⁶⁸ WHO, zitiert durch BAFU (<http://www.bafu.admin.ch/luft/index.html?lang=de>)



3.6.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen

Luftverschmutzung wird hauptsächlich durch Verbrennungsprozesse (in Industrie, Fahrzeugen und Haushalten) verursacht und stellt eines der grössten Gesundheitsrisiken dar. Eine andere wichtige Ursache für Luftverschmutzung ist das Verdampfen von flüchtigen organischen Stoffen, die als Lösungsmittel oder Treibstoffe eingesetzt werden. Die WHO⁶⁹ schätzt, dass global 3.7 Millionen frühzeitige Todesfälle durch verschmutzte Umgebungsluft verursacht werden. Am stärksten betroffen sind Länder mit tiefen und mittleren Einkommen, wo geschätzte 88% der Gesundheitsschäden entstehen. Zahlen zu globalen Emissionen sind in den Hintergrundinformationen zu (Sleeswijk u. a. 2008) zusammengestellt. Eine Auswahl der wichtigsten Werte ist in **Tabelle 6** zu finden.

Tabelle 6
Ausgewählte globale Schadstoffemissionen in die Luft im Jahr 2000.
Quelle: (Sleeswijk u. a. 2008)

	Aktueller Fluss (in t/Jahr)
Ozonschichtabbauende Substanzen	$2.10 \cdot 10^5$
NMVOG	$1.67 \cdot 10^8$
NOx	$1.16 \cdot 10^8$
NH ₃ (als N)	$1.52 \cdot 10^7$
SO ₂	$1.30 \cdot 10^8$
PM ₁₀	$2.91 \cdot 10^7$
Benzol	$1.48 \cdot 10^7$
Dioxine und Furane	$2.77 \cdot 10^1$
PAK	$4.48 \cdot 10^3$
Blei	$8.90 \cdot 10^3$
Cadmium	$4.16 \cdot 10^2$
Quecksilber	$3.02 \cdot 10^2$
Zink	$2.04 \cdot 10^4$

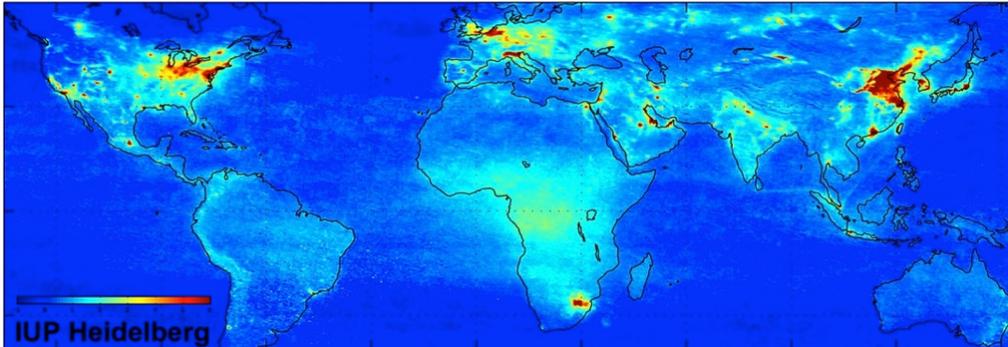
Die Luftverschmutzung in einem Land scheint mit zunehmendem durchschnittlichem Einkommen einer Kurve in Form eines auf dem Kopf stehenden «U» zu folgen. Dieser Zusammenhang wird als ökologische Kutznetz-Kurve bezeichnet. Ohne wirksame Gegenmassnahmen muss also davon ausgegangen werden, dass die Luftverschmutzung und deren Folgen in grossen Teilen der Welt noch zunimmt. Erst wenn die durchschnittlichen Einkommen in den ärmeren Ländern dereinst in einem Bereich liegen, wie wir ihn von der westlichen Welt kennen, dürfte die Belastung wieder auf den Stand von heute gesunken sein.

Die WHO hat für einige Luftschadstoffe, die relevante Gesundheitsschäden verursachen, Immissionsgrenzwerte festgelegt (WHO 2006). Um Massnahmen auf der Stufe von Aktivitäten und deren Einfluss auf die Luftqualität quantitativ

⁶⁹ <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>



beurteilen zu können, wäre es wichtig, Emissionsgrenzwerte zu kennen, bei deren Überschreitung die Konzentration der Schadstoffe in der Umgebungsluft über den Immissionsgrenzwerten zu liegen kommt. Solche Werte können für bestimmte Orte berechnet werden, wenn genügend Informationen zu Hintergrundkonzentrationen und meteorologischen Bedingungen bekannt sind. Am Beispiel von Figur 29 wird deutlich, dass die Konzentrationen global so unterschiedlich sind, dass auch eine Emissionsgrenze für die Welt als Ganzes wenig Sinn ergäbe und ein Mittelwert über die ganze Erdoberfläche keine Aussagekraft hätte.



Figur 29

Die atmosphärische Konzentration von Stickstoffdioxid

(Quelle: http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2004/10/Global_air_pollution_map_produced_by_Envisat_s_SCIAMACHY).⁷⁰

3.6.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.6.3.1 Direkt

Obwohl die Luftqualität in der Schweiz generell als gut gilt, liegen die Konzentrationen vieler wichtiger Luftschadstoffe deutlich zu hoch. (Frischknecht u. a. 2013a) haben in einer Studie für das BAFU die aktuellen und die zur Einhaltung von Schweizerischen Grenzwerten maximal erlaubten (kritischen) Emissionsmengen in der Schweiz zusammengetragen (siehe **Tabelle 7**).

Betrachtet man das Verhältnis von aktuellen zu kritischen Emissionsmengen, findet man, dass die Belastung der Luft durch Dieseleruss am weitesten vom Sollzustand entfernt ist. Diese Emission stammt vor allem von Personenwagen und leichten Transportern. Aufgrund der Schwerverkehrsabgabe, die für LKWs der besseren Emissionsklassen günstiger ist als für die älteren Fahrzeuge, sind auf Schweizer Strassen vorwiegend Euro V und Euro VI LKWs unterwegs. Bei PKWs und leichten Transportern hingegen ist die Flotte durchschnittlich über 5 Jahre alt, was bedeutet, dass noch viele Euro 3 und 4 Fahrzeuge unterwegs sind. Die Grenzwerte für Partikelemissionen dieser Klassen liegt 5 bis 10 mal höher als für Euro 5 oder 6 Fahrzeuge. Entsprechend wird durch die Erneuerung der PKW-Flotte in den nächsten Jahren die Dieselerussmission deutlich reduziert werden, falls

⁷⁰ Diese Substanz ist ein guter Indikator für die Gesamtbelastung der Luft, da sie einerseits selbst ein gesundheitsschädlicher Schadstoff ist, ihr Vorkommen andererseits aber im Zusammenhang mit vielen anderen Schadstoffen steht (gemeinsame Quellen, involviert in der Produktion anderer Luftschadstoffe).



nicht die Transportleistung und der Anteil an Diesel-PKW deutlich ansteigt. Die übrigen Feinstaubemissionen (PM₁₀, PM_{2.5-10} und PM_{2.5}) liegen absolut gesehen viel höher als Dieseleruss, gemessen am Grenzwert aber in einem ähnlichen Bereich wie die Emissionen von Stickoxiden, Ammoniak, ozonabbauenden Substanzen sowie flüchtigen Kohlenwasserstoffen und kanzerogenen Stoffen. Alle diese Substanzen überschreiten die Emissionsgrenzwerte um etwa 10–100%. Als einziges Schwermetall liegt auch Zink in diesem Bereich; die übrigen Schwermetall- sowie die Schwefeldioxidemissionen in die Luft sind in der Schweiz unkritisch.

Stickoxidemissionen, die vorwiegend aus Verbrennungsprozessen und vor allem aus dem Transportsektor stammen, nahmen in den letzten 20 Jahren kontinuierlich ab. Es wird davon ausgegangen, dass mit zunehmender Erneuerung der Fahrzeugflotte dieser Trend anhält. Ein grosser Schritt wird mit der Einführung des Euro 6 Standards für Diesel-PKW im September 2014 erwartet, da damit die Stickoxidemissionen pro Kilometer nochmals drastisch reduziert werden. Auch die graduelle zunehmende Einführung von Elektro-Mobilen wird einen spürbaren positiven Effekt bewirken.

Tabelle 7

Aktuelle und maximal zulässige Luftemissionen in der Schweiz.

Quelle: (Frischknecht u. a. 2013a)

<i>Emission</i>	<i>Aktueller Fluss</i>	<i>Kritischer Fluss</i>	<i>Einheit</i>
<i>Ozonschichtabbauende Substanzen</i>	191	150	<i>t R11-eq</i>
<i>NMVOC</i>	89025	81000	<i>t</i>
<i>NO_x</i>	78704	45000	<i>t</i>
<i>NH₃ (als N)</i>	51463	25000	<i>t</i>
<i>SO₂</i>	12861	25000	<i>t</i>
<i>PM₁₀</i>	20470	12000	<i>t</i>
<i>PM_{2.5-10}</i>	9741	5710	<i>t</i>
<i>PM_{2.5}</i>	10729	6290	<i>t</i>
<i>Dieseleruss</i>	1661	208	<i>t</i>
<i>Kanzerogene Substanzen</i>	0.9	0.576	<i>CTUh⁷¹</i>
<i>Blei</i>	23	32	<i>t</i>
<i>Cadmium</i>	1.26	1.65	<i>t</i>
<i>Quecksilber</i>	1.05	2.22	<i>t</i>
<i>Zink</i>	378	260	<i>t</i>
<i>Radioaktive Emissionen</i>	1.08	1164	<i>TBq C-14-eq</i>

⁷¹ CTUh steht für «Comparative Toxic Units, human» und ist die Einheit, in der der geschätzte Anstieg der Morbidität in der gesamten Population von Menschen angegeben wird.



Auch bei Feinstaub-, flüchtigen organischen und krebserregenden Emissionen darf man davon ausgehen, dass sich der abnehmende Trend der letzten 20 Jahre fortsetzen wird. Allerdings müssen die Anstrengungen verstärkt werden, da die einfach zu erreichenden Reduktionen bereits weitgehend realisiert sind. Besondere Aufmerksamkeit muss in dem Zusammenhang auf kleine Cheminéeöfen gelegt werden, da diese, vor allem bei unsachgemässer Bedienung, sehr hohe Feinstaubemissionen verursachen, die zudem noch besonders toxisch zu sein scheinen.

Ammoniakemissionen entstehen vor allem durch das Lagern und Ausbringen von Hofdünger in der Landwirtschaft. Diese Emissionen sind in den letzten Jahren nur wenig zurückgegangen. Ohne griffige Massnahmen muss von einer weiterhin unbefriedigenden Entwicklung ausgegangen werden.

3.6.3.2 *Indirekt*

Es wurden keine detaillierten Daten gefunden zu den Luftschadstoffemissionen des Schweizer Nettokonsums. Es muss aber damit gerechnet werden, dass diese für alle Schadstoffe deutlich höher sind als die direkten Emissionen in der Schweiz. Bei den Substanzen, die in der Schweiz ebenfalls problematisch sind (Dieselruss, PM₁₀, Kanzerogene Substanzen, NMVOC, NO_x, ozonschichtabbauende Substanzen und Ammoniak) kann davon ausgegangen werden, dass die jeweilige indirekte Emission zwischen 100 und 200% der direkten Emission beträgt. Bei Schwefeldioxid und vielen Schwermetallen muss angenommen werden, dass die indirekte Emission bis zu 10 mal höher liegt als die direkte. Das liegt einerseits daran, dass die Schweiz viele Primärprodukte, die in ihrer Herstellung die Luft relativ stark belasten, importiert. Andererseits ist die Schweiz bei Auflagen zur Luftreinhaltung und deren Einhaltung im internationalen Vergleich sehr fortschrittlich.



3.7 Klima

Klima wird hier als natürliche Ressource behandelt, weil das Klimasystem wichtige regulierende Ökosystemdienstleistungen erbringt und so die Bereitstellung von Nahrung, Wasser, Holz und Fasern erst ermöglicht. Der durch die Emission von Treibhausgasen verursachte, menschengemachte Treibhauseffekt hat signifikante Auswirkungen auf das globale Klima. So wurde im letzten Jahrhundert ein Anstieg der durchschnittlichen Erdoberflächentemperatur um 0.85 °C, eine Veränderung von Niederschlagsmustern sowie das Abschmelzen von Gletschern beobachtet. Haupttreiber dieses Klimawandels ist der Ausstoss von CO₂ aus der Verbrennung von fossilen Rohstoffen. Daneben spielen auch Emissionen anderer Treibhausgase, vor allem von Methan und Lachgas aus der Landwirtschaft, und in deutlich geringerem Umfang einige industrielle Gase eine Rolle. Trotz grossen internationalen Bemühungen v.a. im letzten Jahrzehnt, nahmen die Treibhausgasemissionen ungebrochen zu. Wir emittieren global immer schneller immer mehr! Dieser Fakt ist als besonders kritisch einzustufen, wenn man berücksichtigt, dass der beobachtete Klimawandel über Jahrzehnte weitergehen wird, auch wenn wir morgen aufhören würden, Klimagase zu emittieren. Die Weltgemeinschaft ist sich einig, dass das «business as usual» Szenario (mit einem globalen Temperaturanstieg bis 2100 von bis zu 4.5°C gegenüber 1870) ein untragbar grosses Risiko für weitreichende negative bis katastrophale Auswirkungen birgt. Deshalb hat man sich darauf geeinigt, die Emissionen soweit zu reduzieren, dass die durchschnittliche globale Erwärmung mit grosser Wahrscheinlichkeit unter 2°C bleiben wird (2-Grad-Ziel). Das bedeutet, dass nach 2013 global noch total 990 Milliarden Tonnen CO₂ emittiert werden dürfen. Das ist nur wenig mehr als die Emission der letzten 20 Jahre oder rund ein Viertel der Menge, welche die Welt in den letzten 150 Jahren emittiert hat.

Die Treibhausgasemissionen der Schweiz blieben in den letzten Jahren trotz Reduktionsverpflichtungen praktisch konstant. Die Reduktionsziele des Landes konnten daher nur durch den Kauf von ausländischen CO₂-Zertifikaten erreicht werden. Um die Reduktionsziele gemäss dem CO₂-Gesetz bis 2020 zu erreichen, müssen die Emissionen in der Schweiz um rund 20% gegenüber 1990 gesenkt werden. Die durch den Konsum der Schweizer Bevölkerung verursachten Emissionen sind seit 1996 sogar um knapp 20% gestiegen. Zum Erreichen des 2-Grad-Zieles werden bis ins Jahr 2050 Reduktionen der Schweizer Treibhausgasemissionen⁷² in der Grössenordnung von 85–95% nötig sein. Global muss eine Reduktion um 50–70% erreicht werden.

Das Klima beeinflusst direkt diverse andere Ressourcen. So dürfte die Klimaerwärmung neben dem Verlust von naturnahen Flächen eine der Hauptursachen für den globalen Biodiversitätsverlust darstellen. Auch die Produktion von biotischen Rohstoffen hängt direkt vom Klima ab. Im Weiteren werden veränderte Niederschlagsmuster, sowie das Abschmelzen der globalen Eisreserven die weltweiten Wasserkreisläufe beeinflussen.

3.7.1 Worum geht es?

Dank einem stabilen Klima, das sich in der Vergangenheit nur sehr langsam verändert hat, konnte sich ein natürliches Gleichgewicht einstellen, das die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen wie Nahrung, Bauholz, Fasern oder Wasser garantiert. Eine rasche Veränderung des Klimas könnte dazu führen, dass

⁷² Im Inland, also nicht durch Zukauf von ausländischen Zertifikaten



das ökologische Gleichgewicht so rasant gestört werden wird, dass sich das System nicht schnell genug anpassen kann und damit nicht mehr in der Lage wäre, wesentliche Ökosystemdienstleistungen zu erbringen.

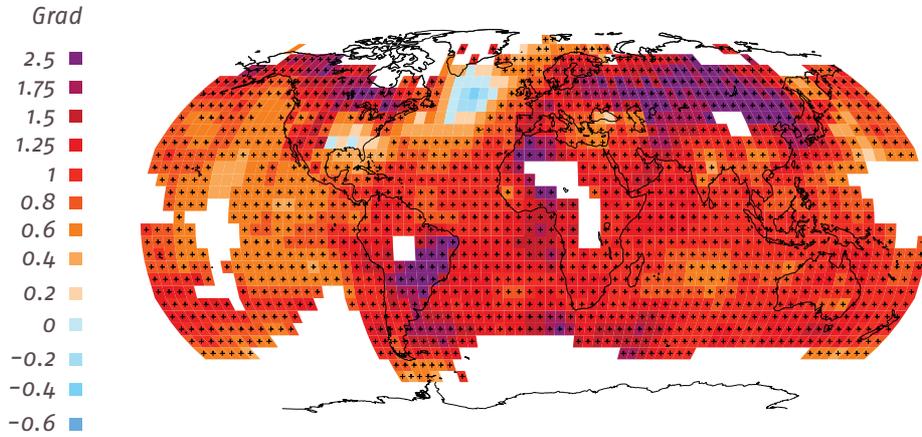
Unser Klima wird seit je her vom sogenannten Treibhauseffekt bestimmt, der vor bald 200 Jahren von Joseph Fourier entdeckt wurde. Der Treibhauseffekt beruht darauf, dass die Konzentration von Treibhausgasen – im frühen neunzehnten Jahrhundert war Wasserdampf noch das wichtigste Treibhausgas – in der Atmosphäre zu einer Veränderung der Strahlungsbilanz⁷³ führt. Diese Veränderung bewirkt, dass die Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche höher liegt als zu erwarten wäre, wenn es keinen Treibhauseffekt gäbe. Vor über 100 Jahren wurde der Treibhauseffekt von Svante Arrhenius quantifiziert und der menschengemachte Treibhauseffekt als Resultat der Emission von Kohlendioxid (CO₂) aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern, postuliert. Die berechnete Möglichkeit, dass sich durch Verbrennen von Kohle die globale Temperatur um 5–6 °C erhöhen könnte, wurde noch anfangs des zwanzigsten Jahrhunderts als Chance gesehen, die landwirtschaftliche Produktivität zu steigern. In den späten 1950er Jahren wurden erste Klimamodelle mit Computern berechnet und die Forschung wurde intensiver. Gleichzeitig begann auch die Diskussion über weitreichende negative Folgen des menschengemachten Treibhauseffektes.

Inzwischen besteht grosse Einigkeit in der Wissenschaft über den menschengemachten Treibhauseffekt und seine Folgen für das globale Klima. So hat das IPCC⁷⁴ in seinem neuesten Bericht zur physikalischen Basis zum Klimawandel (IPCC 2013b) gefunden, dass die Erdoberflächentemperatur zwischen 1901 und 2012 praktisch überall um bis zu 2.5 °C angestiegen ist (*Figur 30*). Der Bericht sagt auch, dass die beobachtete durchschnittliche Temperaturerhöhung zwischen 1951 und 2010 von 0.6 – 0.7 °C mit «extrem hoher Wahrscheinlichkeit» vor allem durch den menschlichen Einfluss bedingt ist. Im selben Zeitrahmen wurden auch signifikante Veränderungen der Niederschlagsmustern beobachtet und das Gletscherschmelzen mit einer steigenden Rate von inzwischen über 275 Milliarden Tonnen pro Jahr festgestellt.

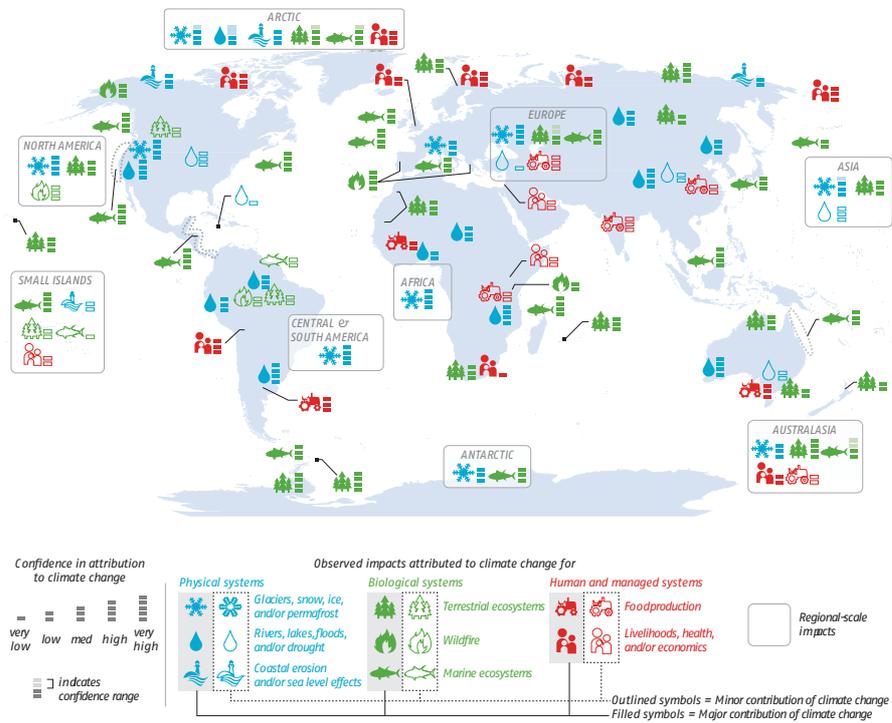
Diese Veränderungen beeinflussen wichtige Ökosystemdienstleistungen (siehe *Figur 31*). So wurde zum Beispiel bei Weizen, Mais und Reis über die letzten Dekaden eine Ertragsreduktion beobachtet. Es wurden auch Veränderungen in der Biodiversität festgestellt. Ferner haben die veränderten Niederschlagsmuster und das Schmelzen von Gletschern Verfügbarkeit und Qualität von Wasserressourcen (IPCC 2014a) beeinflusst

⁷³ Bilanz der von der Sonne eingestrahelten und von der Erde ans Universum abgegebenen Strahlungsenergie.

⁷⁴ das «Intergovernmental Panel on Climate Change» (dt. der «Weltklimarat») ist eine 1988 gegründete Institution, die von der UNEP und der WMO mit dem Auftrag eingerichtet wurde, wissenschaftliche Fakten zum Klimawandel systemisch zu erfassen.



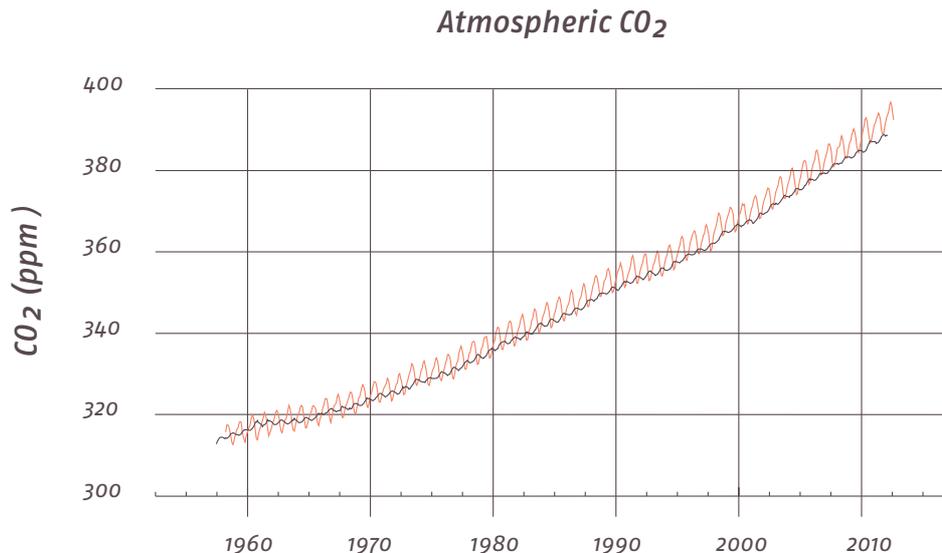
Figur 30
Veränderung der Erdoberflächentemperatur zwischen 1901 und 2021.
Für die weissen Flächen war die Datenunsicherheit zu hoch für eine belastbare Aussage.
(IPCC 2013b)



Figur 31
Beobachtete Auswirkungen des Klimawandels (IPCC 2014a)



Hauptursache für diesen Klimawandel ist der Ausstoss von CO₂ aus der Verbrennung von fossilen Rohstoffen, wie Kohle, Erdöl und Erdgas, sowie auch aus der Abholzung von Wäldern. **Figur 32** zeigt den Anstieg von CO₂ in der globalen Atmosphäre aufgrund dieser Prozesse. Die jährlichen Schwankungen, die von den Zacken der roten Linie dargestellt werden, stammen von den jahreszeitlichen Unterschieden in der Vegetation.



Figur 32
Anstieg der Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre über die Zeit (IPCC 2013b)

Neben Kohlendioxid tragen auch Emissionen von anderen Treibhausgasen wie Methan, Lachgas, Fluorkohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid zu diesem Effekt bei. Die Wirksamkeit der verschiedenen Treibhausgase ist sehr unterschiedlich. Um trotzdem alle Treibhausgase addieren zu können wurden im Rahmen des UNFCCC Faktoren bestimmt, welche die Wirksamkeit aller Treibhausgase relativ zu Kohlendioxid als Leitsubstanz reflektieren.⁷⁵ Der so entstehende Indikator wird «Treibhauspotenzial» oder englisch «global warming potential (GWP)» genannt und hat die Einheit «kg CO₂-Äquivalente (kg CO₂-Eq)».

Die jährliche Emission von Treibhausgasen stieg in den letzten Jahrzehnten praktisch stetig an. Nur der Zusammenbruch der Sowjetunion und die Wirtschaftskrise von 2007/08 führten kurzfristig zu einer Reduktion. Trotz globalen Anstrengungen und von den meisten Industrienationen eingegangenen Reduktionsverpflichtungen, stieg sogar die Zuwachsrate der Emissionen nach 2000 – bezogen auf die Periode von 1970 bis 2000 – (IPCC 2014b) um fast einen Faktor 2.

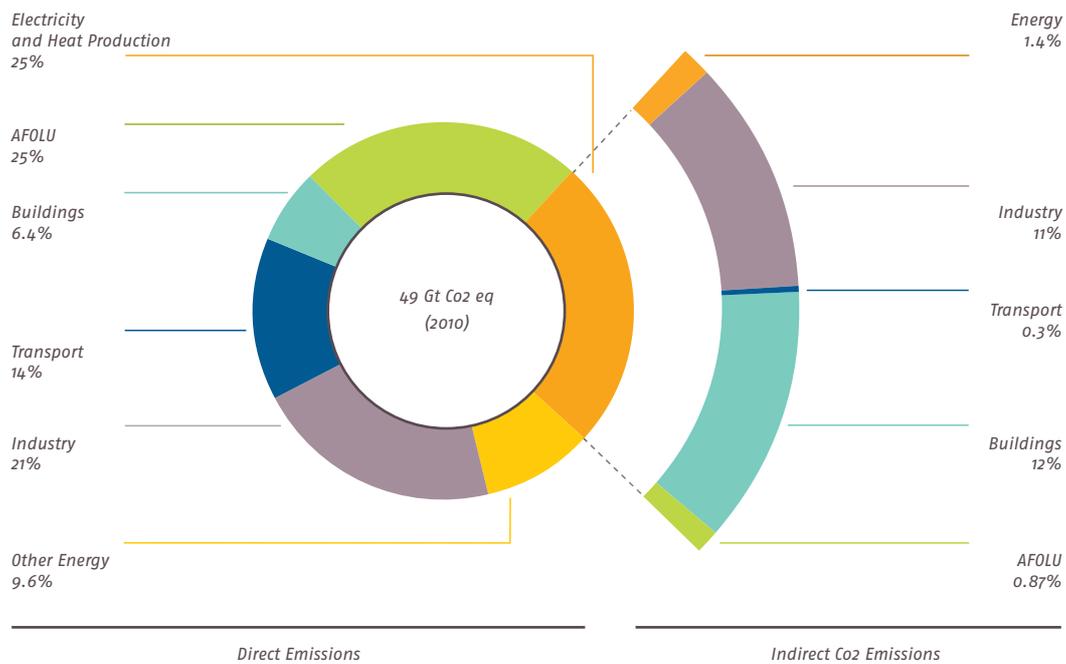
⁷⁵ Methan hat beispielsweise ein Treibhauspotenzial von 25 CO₂-Äquivalenten, da dieses bedeutend mehr Wärmestrahlung auf der Erde zurückzuhalten vermag. Das bedeutet, dass eine Tonne emittierten Methans innerhalb von 100 Jahren denselben Beitrag zur Klimaerwärmung verursacht wie 25 Tonnen von emittiertem CO₂.



Konkret heisst das: wir emittieren immer schneller immer mehr! Die Kritikalität wird besonders evident, wenn man berücksichtigt, dass der beobachtete Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten weitergehen wird, sogar wenn die gesamte Menschheit ab morgen aufhören würde, weiterhin Klimagase zu emittieren.

3.7.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen

2010 entsprach die jährliche Emission von Treibhausgasen 49 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalenten. Wie **Figur 33** zeigt, kommen fast die Hälfte der Emissionen aus der Energieumwandlung und aus dem Landwirtschafts-, Forst-, und Landnutzungsbereich (AFOLU). Die Energieumwandlung selber kann wiederum in Unterbereiche aufgeteilt werden, da Energie zum Beispiel in der Industrie oder in Gebäuden nachgefragt wird. So gerechnet, wird die Industrie mit total 32% der global verursachten Emissionen zum grössten Verursacher von Treibhausgasen. Darauf folgen der AFOLU Bereich mit 25%, der Bausektor mit 18% und das Transportwesen mit 14% (IPCC 2014b).



Figur 33
Totale anthropogene Treibhausgasemissionen verschiedener Sektoren in 2010. Der ganze Kreis zeigt die direkten Emissionen der Sektoren. Der Kreisbogen rechts zeigt, wie die indirekten Emissionen aus Strom- und Wärmeproduktion den Sektoren zugerechnet werden. (IPCC 2014b)



Der fünfte IPCC-Bericht analysiert Zukunftsszenarien mit unterschiedlichen Emissionsmengen. Im «business as usual» Szenario – also wenn keine speziellen Anstrengungen gemacht werden, um die Emissionen zu reduzieren – muss demzufolge bis 2100 mit einem globalen Temperaturanstieg von 4.5 °C gegenüber 1870 gerechnet werden. Der Meeresspiegel würde um 0.5 bis 1 m ansteigen. Für die Schweiz würde das ein Temperaturanstieg von durchschnittlich etwa 5.2 °C bedeuten und die Schneefallgrenze würde um etwa 870 m ansteigen. Ein solches Szenario stellt ein hohes Risiko weitreichender negativer Auswirkungen auf sehr viele Menschen und das gesamte Ökosystem dar. Es dürfte sogar dazu führen, dass globale Stabilitätsgrenzen überschritten werden, sodass unvorhersehbare Effekte wahrscheinlich sind⁷⁶. Die Weltgemeinschaft ist sich einig, dass dieses Risiko nicht tragbar ist und hat sich darum an den Klimaverhandlungen 2009 in Kopenhagen auf eine Erklärung⁷⁷ geeinigt, in der vereinbart wird, dass die Emissionen soweit reduziert werden sollen, dass die durchschnittliche globale Erwärmung unter 2 °C bleibt. Um das zu erreichen dürfen nach 2013 global nur noch total 990 Milliarden Tonne CO₂ emittiert werden⁷⁸. Bei einem globalen, im Vergleich zu 2013 unverändert bleibenden jährlich Ausstoss, wäre das Budget bis zum Jahr 2050 aufgebraucht. Die IPCC Szenarien, mit denen das 2 °C Ziel eingehalten werden könnte, gehen von einer Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen um 50 bis 70% bis 2050 aus. Anschliessend müsste zwischen 2050 und 2100 die Emission kontinuierlich weiter auf null gesenkt werden. Das heisst, dass nach 2100 keine fossilen Ressourcen mehr verbrannt und keine Wälder mehr abgeholzt werden dürfen und praktisch auch kein Methan oder Lachgas aus der Landwirtschaft mehr emittiert werden darf.

3.7.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.7.3.1 Direkt

Die Schweiz emittierte seit 1990 jedes Jahr zwischen 50 und 55 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Trotz einer Reduktionsverpflichtung von 8% gegenüber dem Stand von 1990 in der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls und entsprechenden Anstrengungen, blieb die Emission praktisch konstant. Zum Glück war in dieser Zeit eine Zunahme der Waldfläche in der Schweiz zu verzeichnen, die – entgegen der ursprünglichen erklärten Absicht der Schweiz⁷⁹ – in der Folge als Senkenleistung angerechnet werden konnte. Trotzdem mussten aber zusätzlich noch ausländische Zertifikate über 3.1 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente gekauft werden um das Ziel einer Reduktion um rund 4 Millionen Tonnen als erreicht ausweisen zu können.

Eine der wichtigsten Massnahmen zur Erreichung der Kyoto-Verpflichtungen war das CO₂-Gesetz, mit dem die Schweiz eine Reduktion der CO₂-Emissionen durch Verbrennung der in der Schweiz in Verkehr gebrachten

⁷⁶ IPCC 2014 AR5 WGII (Technical Summary)

⁷⁷ Decision 2/CP.15 Copenhagen Accord, <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf>

⁷⁸ zum Vergleich: Vom Beginn der Industrialisierung (1850) bis 2013 wurden bereits 1960 Mia Tonnen CO₂ emittiert

⁷⁹ Das Kyoto-Protokoll wurde 1998 verabschiedet. Die Schweiz erklärte ursprünglich, dass sie die Senkenleistung des Waldes nicht anrechnen wolle. 2006 kam sie darauf zurück und erklärte gegenüber der UNO, dass diese Speicherung von CO₂ doch berücksichtigt werde.



fossilen Energieträger (ohne internationalen Flug- und Schiffsverkehr) um 10% erreichen wollte. Basisjahr für die Reduktion ist 1990, die 10% hätten im Jahr 2010 erreicht werden sollen. Bei diesen Emissionen gelang eine Reduktion von knapp 41 Millionen Tonnen CO₂ auf 38,4 Millionen Tonnen. Das Reduktionsziel wurde so um 2.5 Millionen Tonnen verfehlt⁸⁰. Um es als erreicht ausweisen zu können, mussten auch hier die ausländischen CO₂-Zertifikate angerechnet werden, die durch die Stiftung Klimarappen und durch Firmen im Emissionshandelssystem erworben wurden.

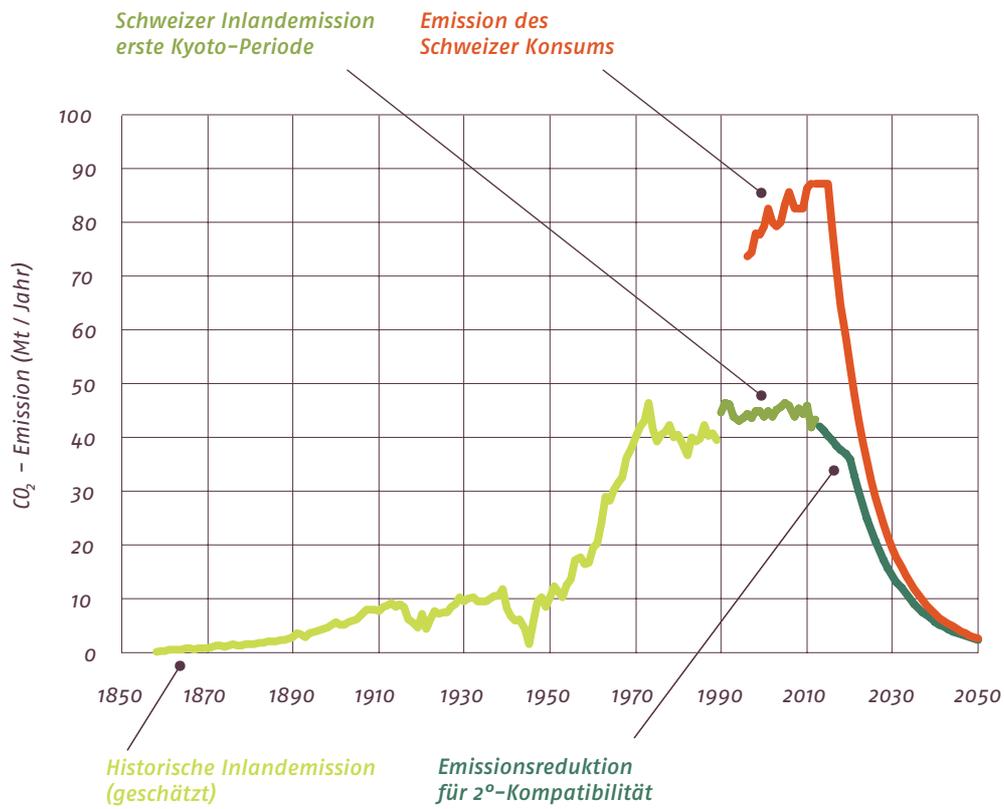
Gemäss dem revidierten CO₂-Gesetz soll die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen (d.h. also nicht mehr nur CO₂) bis 2020 um 20% gegenüber 1990 senken. Das würde somit bedeuten, dass ohne Anrechnung von ausländischen Zertifikaten, eine Reduktion von gut 50 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten auf etwa 40 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente erreicht werden soll. Anfang 2015 hat der Bundesrat bekannt gegeben, dass bis 2030 die Emission der Treibhausgase um 50% gegenüber 1990 gesenkt werden soll, 20% davon im Ausland. Konkrete Ziele für die fernere Zukunft fehlen noch, doch hat sich die Schweiz verpflichtet dafür besorgt zu sein, dass die globale Durchschnittstemperatur nicht mehr als 2°C über den vorindustriellen Wert ansteigt. Die bisher angekündigten Reduktionsziele der Schweiz passen nur dann zu diesem 2-Grad-Ziel, wenn wir Schweizer aufgrund unserer Nationalität viel mehr emittieren dürften als der Rest der Welt. Die Schweiz ist zwar in vielem ein Sonderfall doch dafür gibt es keine ethisch vertretbare Rechtfertigung. Also ist klar, dass die bisher beschlossenen Ziele ungenügend sind und eine drastische Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 und darüber hinaus unvermeidbar ist.

3.7.3.2 Indirekt

Durch die Importe von Gütern verursacht die Schweiz im Ausland etwa doppelt so viele Treibhausgasemissionen (knapp 110 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente), wie insgesamt im Inland (Frischknecht u. a. 2014). Allerdings exportieren wir auch Güter mit einem CO₂-Fussabdruck von knapp 60 Millionen Tonnen CO₂-äquivalenten Emissionen. Netto verursacht der Konsum⁸¹ der Schweiz also etwa doppelt so hohe Treibhausgasemissionen wie die Aktivitäten im Inland. Wie *Figur 34* deutlich zeigt, stiegen, im Gegensatz zu den direkten, die indirekten CO₂-Emissionen seit 1990 noch immer stark an.

⁸⁰ Die Reduktion hätte bedeutet, dass im Durchschnitt der Jahre 2008–2012 maximal 36.8 Millionen Tonnen CO₂ hätten emittiert werden dürfen. Effektiv wurden 39.3 Millionen Tonnen emittiert.

⁸¹ Direkte Emissionen im Inland plus den CO₂-Fussabdruck importierter Güter, minus den CO₂-Fussabdruck der exportierten Güter.



Figur 34
Historische CO₂-Emission der Schweiz und des Schweizerischen Konsums sowie die 2°-kompatiblen Absenkpfade. Es ist zu beachten, dass hier nicht die gesamten Treibhausgase sondern nur das CO₂ dargestellt ist⁸².

⁸² Grund dafür ist, dass die zur Bestimmung des Absenkpades verwendete Methode – der sogenannte Budgetansatz – nur für CO₂ anwendbar ist.



3.8 Biodiversität

Analog dem Klima wird die Biodiversität hier als natürliche Ressource behandelt, weil sie eine Grundlage für die anderen Ökosystemdienstleistungen darstellt und die Bereitstellung von Nahrung, Wasser, Holz und Fasern erst ermöglicht. Dabei beinhaltet die Biodiversität drei Ebenen. Einerseits wird die Vielfalt der Arten (Anzahl und Populationen) sowie die Variabilität innerhalb der Arten (genetische Variabilität), andererseits aber auch der Reichtum unterschiedlicher Ökosysteme betrachtet. Derzeit ist ein derart dramatischer globaler Rückgang der Biodiversität zu verzeichnen, dass bereits von einem menschengemachten Massensterben gesprochen wird. Haupttreiber des Biodiversitätsverlusts sind dabei Verlust, Degradation und Fragmentierung von Lebensräumen (durch Landumwandlung), der Klimawandel, die Belastung durch Schadstoffe, die Übernutzung von biotischen Rohstoffen, sowie das Einschleppen ortsfremder Spezies⁸³. Um den weltweiten Biodiversitätsrückgang einzudämmen, kommt der Erhaltung und dem Schutz von qualitativ hochstehenden zusammenhängenden Lebensräumen eine zentrale Bedeutung zu (sog. Biodiversitätshotspots). Ausserdem sind konkretere Massnahmen nötig um die im Rahmen der Biodiversitätskonvention angestrebten Ziele zu erreichen.

Auch innerhalb der Schweiz ist die Biodiversität unter Druck. Das ist umso bedauerlicher, als gerade die Schweiz für alpine Lebensräume eine entscheidende Rolle in deren Vernetzung spielt und somit auch eine besondere Verantwortung zu tragen hat. Dabei ist die sich ausdehnende Siedlungsfläche und die dadurch resultierende zunehmende Fragmentierung der Lebensräume (vor allem im Mittelland) einer der Haupttreiber. Ausserdem finden eine zunehmende Angleichung der Artenzusammensetzung in den verschiedenen Lebensräumen sowie eine Bedrohung der einheimischen durch gebietsfremde Arten statt. Um die Biodiversität und ihre Ökosystemdienstleistungen in der Schweiz langfristig zu erhalten, sind daher einschneidende Massnahmen nötig. Neben gezielten Artenschutzmassnahmen und der Lebensraumplanung für Tiere (Naturschutzgebiete, Wildtierkorridore) und der Förderung der extensiven Landwirtschaft, sollte vor allem die Ausdehnung der Siedlungsfläche in der Schweiz auf dem heutigen Wert stagnieren. Vor allem ein weiteres Wachstum der Siedlungsfläche auf Kosten einer die Biodiversität begünstigenden Landnutzung (z.B. biologische Landwirtschaft) sollte verhindert werden. Die Biodiversität im Ausland stellt der Schweiz zum einen verschiedene Ökosystemdienstleistungen zur Verfügung (Regulierungsleistungen, Tourismus etc.); dann aber setzt der Schweizerische Konsum auch die Biodiversität im Ausland unter Druck, da ein signifikanter Anteil der Schweizerischen Umweltbelastungen im Ausland anfällt. Alleine um die Anzahl der durch unseren Konsum im Ausland bedrohten Tierarten auf das Niveau der bedrohten Tierarten in der Schweiz zu reduzieren, müssen die konsumbedingten Auswirkungen um mehr als einen Faktor 2 abnehmen. Daher sollte sich die Schweiz einerseits im internationalen Kontext für den Schutz der Biodiversität einsetzen, andererseits sollte bei Konsumentscheidungen in der Schweiz auf Biodiversitätsaspekte geachtet werden. Dabei kommt einer transparenten Produktumweltinformation eine zentrale Bedeutung zu.

Eine reichhaltige Biodiversität ist zentrale Voraussetzung für die Nutzung verschiedener anderer Ressourcen. So spielt die Biodiversität direkt und indirekt eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung von biotischen Rohstoffen und Nahrung.

⁸³ Z.B. Neophyten, die angestammte Pflanzen verdrängen



Der direkte Nutzen besteht in den Pflanzen und Tieren selber, der Indirekte Nutzen erweist sich dadurch, dass die Biodiversität wichtige Produktionsbedingungen wie Bodenfruchtbarkeit, Stabilität des Klimas und Verfügbarkeit und Qualität von Wasser erhält oder die Ausbreitung von Schädlingen kontrolliert.

3.8.1 *Worum geht es?*

Biodiversität oder biologische Vielfalt⁸⁴ wird als natürliche Ressource betrachtet, da sie wichtig ist zur Erhaltung des ökologischen Gleichgewichts und damit auch zur Produktion biotischer Rohstoffe, also unter anderem von Nahrung⁸⁵. Menschliche Aktivitäten – vor allem die Zerstörung oder Zerstückelung von Lebensräumen – führen dazu, dass Biodiversität immer schneller und irreversibel verloren geht⁸⁶. Zum Schutz der Biodiversität wurde 1992 auf dem Erdgipfel von Rio de Janeiro die UN-Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity, CBD) beschlossen und von 192 Mitgliedsstaaten unterzeichnet. Die Indikatoren zur Messung der Biodiversität, die im Rahmen der CBD entwickelt wurden, umfassen neben der Anzahl Individuen einer Art und der Verteilung von Arten auch indirekte Indikatoren wie Waldfläche, Fläche von Naturschutzgebieten und Wasserqualität. Dies sind gleichzeitig Indikatoren für andere Ressourcen, die eine wichtige Grundlage für Biodiversität darstellen und wesentlich einfacher zu messen sind.⁸⁷ Um den Ressourcenverbrauch zu charakterisieren, kann die Änderung dieser Indikatoren in der Schweiz, bzw. aufgrund des Schweizer Konsums, betrachtet werden.

3.8.2 *Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen*

Aus der Definition gemäss der UN-Biodiversitätskonvention⁸⁴ geht hervor, dass der Begriff «Biodiversität» in diesem Zusammenhang aus drei Ebenen besteht. Einerseits wird die Vielfalt der Arten (Anzahl und Populationen) sowie die Variabilität innerhalb der Arten (genetische Variabilität) betrachtet. Andererseits umfasst der Begriff Biodiversität aber auch den Reichtum unterschiedlicher Ökosysteme. Die Nutzung der Biodiversität als Ressource erfolgt als Beanspruchung der durch sie zur Verfügung gestellten Ökosystemdienstleistungen. Ökosystemdienstleistungen beinhalten Versorgungsleistungen (z.B. Nahrung, Wasser, Fasern, Treibstoffe, genetische Ressourcen, aber auch die Bestäubung von

⁸⁴ «Die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme» (Übereinkommen über die Biologische Vielfalt, abgeschlossen in Rio de Janeiro am 5. Juni 1992)

⁸⁵ Die Definition von natürlichen Ressourcen als etwas, was vom Menschen genutzt wird, führt dazu, dass in der Ressourcendiskussion der intrinsische Wert von allen Lebewesen, der in einer ethischen Diskussion durchaus Platz hätte, nicht berücksichtigt wird.

⁸⁶ Die Aussterbensrate lag gemäss dem UNEP World Conservation Monitoring Center in der nahen Vergangenheit um einen Faktor 1000 höher als in der tiefen Vergangenheit und sie könnte gemäss Modellen in der Zukunft nochmals um einen Faktor 10 höher liegen als heute. (<https://www.cbd.int/doc/external/external-meetings/trondheim-05-39-nja-en.pdf>)

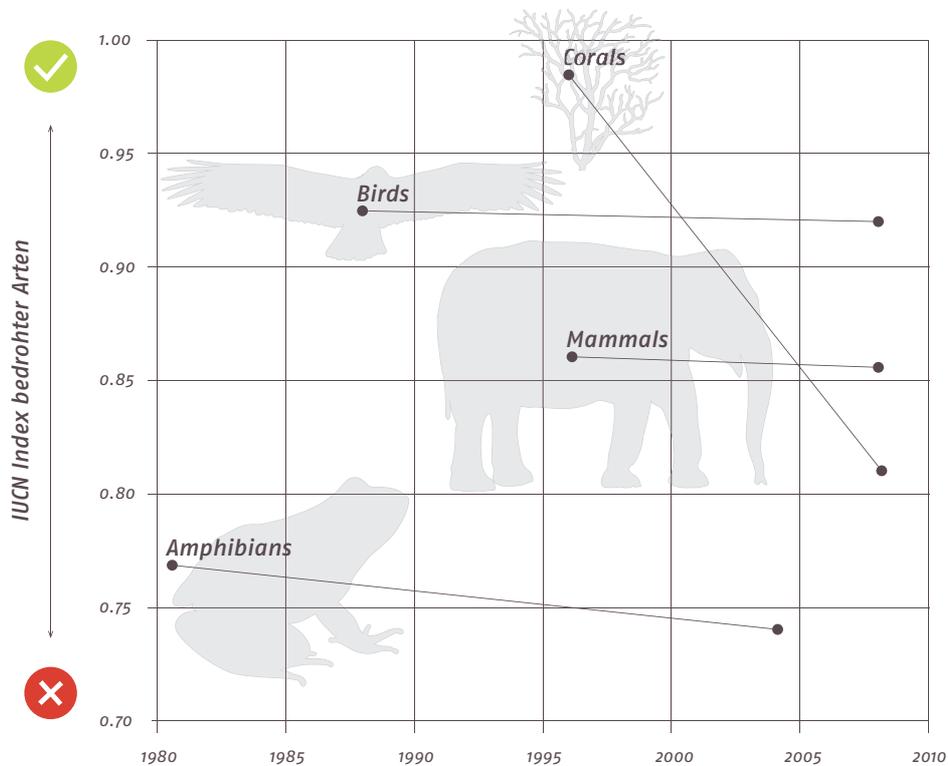
⁸⁷ Hier sei an den in Kapitel 3.4 eingeführten Indikator der Siedlungsflächen-Äquivalente erinnert, welcher einen Vergleich unterschiedlicher Landnutzungsarten unter Biodiversitätsgesichtspunkten ermöglicht.



(Nutz-)Pflanzen), Regulierungsleistungen (z.B. Klimaregulierung, Regulierung von Überschwemmungen und Krankheitsbefall, Abbau von Schadstoffen), kulturelle Leistungen (z.B. Ästhetik, spirituelle/religiöse Leistungen, Bildung, Erholung), sowie Unterstützungsleistungen (Nährstoffkreislauf, Bodenbildung, photosynthetische Primärproduktion). Dabei ist eine reichhaltige Biodiversität grundlegende Voraussetzung für die Erbringung solcher Leistungen, da bei ihrem Verlust Ökosysteme weniger belastbar werden und ihre Dienstleistungen nicht mehr gewährleistet sind. (Millennium Ecosystem Assessment Program 2005; Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2010). Häufig wird der Wert der Biodiversität für die Menschheit allerdings unterschätzt, weil für die Inanspruchnahme von Ökosystemdienstleistungen kein monetärer Preis bezahlt werden muss (externalisierte Kosten). Versuche, eine monetäre Bewertung der globalen ökonomischen Bedeutung des Naturkapitals und somit der Kosten von Biodiversitätsverlusten vorzunehmen (einige Werte bewegen sich in der Größenordnung von Billionen Dollar pro Jahr (Costanza u. a. 1997)), sind allerdings mit grossen Unsicherheiten behaftet und stark umstritten. Nichtsdestotrotz demonstrieren auch abgegrenzte, fokussierte Untersuchungen den ökonomischen Nutzen der Biodiversität und intakter Ökosysteme (TEEB 2010). Für die ersten Jahre des Zeitraums 2000 – 2050 wird geschätzt, dass jedes Jahr Ökosystemleistungen mit einem Wert verloren gehen, der allein für Ökosysteme an Land einem Betrag von rund 50 Milliarden EUR entspricht (Wohlfahrtsverluste) (TEEB 2008).

Gegenwärtig sind weltweit etwa 1.8 Millionen Tier-, Pflanzen- und Pilzarten bekannt (BAFU 2012a). Die Anzahl noch unbekannter Arten dürfte dabei diese Zahl weit übersteigen. Biodiversitätsentwicklungen auf der Ebene der Vielfalt der Arten lassen sich durch verschiedene Indikatoren ausdrücken. So zeigt beispielsweise der «living planet index»⁸⁸ einen Rückgang an Wirbeltierpopulationen von 52% seit 1970. Sowohl in den gemässigten Zonen als auch in den tropischen Gebieten wurde ein Gesamtrückgang der Populationsgrössen beobachtet, wobei dieser Rückgang derzeit in den tropischen Regionen (-56%) noch gravierender ist als in den gemässigten Zonen (-36%). Eine Aufschlüsselung nach Lebensraum zeigt, dass, während die Biodiversität in terrestrischen und maritimen Lebensräumen Abnahmen von je 39% zeigt, der grösste Teil des Populationsrückgangs auf Süsswasserlebensräume entfällt (Abnahme von 76%)(WWF u. a. 2014). Die weltweite Aussterberate wird gegenwärtig auf 100 – 1000 Arten pro Million Arten und Jahr geschätzt. Vor dem Hintergrund einer natürlichen Aussterberate von 0.1 – 1 ausgestorbener Arten pro Million Arten und Jahr, wie sie durch Fossilien nahegelegt wird, bedeutet dies ein dramatischer gegenwärtiger Verlust der Artenvielfalt (Rockström u. a. 2009). Der IUCN Red List Index berechnet das Aussterberisiko von Arten mittels eines standardisierten Verfahrens und basierend auf Kriterien wie Populationsgrössen, -trends und -strukturen, sowie geographischer Ausbreitung. Mehr als 73'000 Arten sind heute auf der roten Liste der vom Aussterben gefährdeten Arten. Die am meisten gefährdete Gruppe sind dabei die Amphibien und die Gefährdung nimmt mit Abstand am schnellsten bei den Korallen zu (*Figur 35*) (IUCN 2012).

⁸⁸ Zur Berechnung des «Living Planet Index» werden die Bestände von über 10'000 Wirbeltierpopulationen (3'038 Arten) erhoben. Die Artenzahlen werden dann durch die Gesamtgrösse der jeweiligen Artengruppe gewichtet und auf die Populationsgrössen vom Jahr 1970 normiert.



Figur 35
Vom Aussterben bedrohte Arten. Während die Amphibien die am meisten vom Aussterben bedrohte Artengruppe darstellt, verzeichnet die Gruppe der Korallen die dramatischste Zunahme der Gefährdung. (IUCN 2012)

Die Abnahme von Speziespopulationen sowie die Fragmentierung von Lebensräumen führt notwendigerweise zu einer Abnahme der Biodiversität auf der Ebene der genetischen Vielfalt innerhalb einer Art. Während Untersuchungen zur genetischen Vielfalt von Wildtierarten relativ schwierig sind, ist die genetische Variabilität von Nutzpflanzen und -tieren besser erforscht. Aufgrund der fortschreitenden Homogenisierung der Landschaft und der Abnahme der Verwendung unterschiedlicher Nutzpflanzen und -tieren in der Landwirtschaft, nimmt die genetische Vielfalt innerhalb der Arten signifikant ab. Während im Jahr 1950 in China noch 46'000 Sorten Reis kultiviert wurden, waren es 2006 noch deren 1'000. Bei den Nutztieren sind 21% der rund 7'000 Arten vom Aussterben bedroht. In den Jahren 2000 – 2006 sind 60 Nutztierarten ausgestorben (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2010).

Auch auf der Ebene der Variabilität der Ökosysteme sind dramatische Abnahmen zu verzeichnen. So gingen beispielsweise zwischen dem Jahr 2000 und 2010 weltweit 400'000 km² Primärwald verloren. Ein grosser Teil der inländischen Süsswassersysteme wurden durch Begradigung und Eindämmung sowie durch Verschmutzung und Fragmentierung⁸⁹ in Mitleidenschaft gezogen. Maritime Ökosysteme und Küstengebiete sind durch Infrastrukturbauten (Tourismus, Häfen,

⁸⁹ mehr als 40% des globalen Wasserflusses wird heute durch Dämme abgefangen



Krevettenzucht) zunehmend unter Druck. So gingen signifikante Anteile der weltweiten Mangrovenwälder, Salzsümpfe und Seegraswiesen verloren (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2010).

Die Verursacher des globalen Biodiversitätsverlusts sind vielfältig. In erster Linie sind der Verlust sowie die zunehmende Degradation und Fragmentierung von Lebensräumen zu nennen. Dabei spielen vor allem die Veränderung der Landnutzung (zunehmende intensive landwirtschaftliche Nutzung, unnachhaltige Forstwirtschaft, Infrastrukturbauten, die zur Fragmentierung von Lebensräumen führen) sowie die Entziehung von Süßwasser zu Bewässerungszwecken eine Rolle. Da sich Ökosysteme unter relativ stabilen klimatischen Bedingungen entwickelt haben, ist der Klimawandel ein zweiter Treiber. Der Klimawandel führt einerseits zu einer Veränderung von Lebensräumen, aber auch zu einer Verschiebung der Vegetationsperiode (und so z.B. zu einer Diskrepanz von Brutzeit und Nahrungsangebot). Die Umweltverschmutzung mit Schadstoffen und die Überdüngung stellen eine weitere Quelle des Drucks auf die Biodiversität dar. Vor allem der Eintrag von Stickstoff und Phosphor, meist aus diffusen Quellen, stellt diejenigen Arten vor Schwierigkeiten, die sich an eine relativ nährstoffarme Umgebung angepasst haben und sich nun einer plötzlichen Konkurrenz durch nährstoffliebende Arten ausgesetzt sehen. Im Weiteren sind die unnachhaltige Be- und Übernutzung von biotischen Ressourcen sowie zerstörende Erntepraktiken zu nennen (z.B. Überfischung, Schleppnetze, unnachhaltige Forstwirtschaft). Zuletzt werden Arten auch durch eingeschleppte fremde Arten in Bedrängnis gebracht. In Europa wurden in diesem Zusammenhang 11'000 Fremdarten gezählt, von welchen bei 1'094 ein negativer ökologischer und bei 1'347 ein negativer ökonomischer Einfluss dokumentiert wurden (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2010). Gentechnisch veränderte Pflanzen in der Landwirtschaft können in einem Ökosystem ähnlich beurteilt werden wie Fremdarten. Wenn die gentechnische Veränderung dahingehend ist, dass die Pflanzen toleranter gegenüber Herbiziden oder Pestiziden sind, muss zudem mit einem erhöhten Einsatz dieser Mittel gerechnet werden, was wiederum negative Auswirkungen auf die Biodiversität hat.

Während 0.1 bis 1 ausgestorbener Arten pro Million Spezies und Jahr als natürliche Aussterberate gilt, sterben weltweit heute jährlich mehr als 100 Spezies pro Million Arten aus. Dies entspricht einer Zunahme um einen Faktor 100 – 1000 gegenüber der natürlichen Hintergrunderate. Aus früheren Massensterben (z.B. dem Aussterben der Dinosaurier und dem Aufkommen der Säugetiere) wird ersichtlich, welche dramatische, irreversible und nicht-lineare Auswirkungen auf die Zusammensetzung und Funktionsweise der gesamten Ökosysteme mit einem grossflächigen Biodiversitätsverlust einhergehen. Um das Erreichen eines solchen irreversiblen Umschlagpunkts zu verhindern wurde eine globale Grenze (planetary boundary) für die Aussterberate innerhalb einer Grössenordnung der natürlichen Hintergrunderate vorgeschlagen (<10 ausgestorbene Arten pro Million Spezies und Jahr). Dies würde gegenüber heute einer Reduktion des Biodiversitätsverlustes um einen Faktor 10 – 100 entsprechen (Rockström u. a. 2009).

Um einen weiteren globalen Biodiversitätsrückgang einzudämmen kommt der Erhaltung und dem Schutz von qualitativ hochstehenden unfragmentierten Lebensräumen eine zentrale Rolle zu. Als zur Förderung der Biodiversität strategisch wichtige Lebensräume wurden 25 sogenannte Biodiversitätshotspots identifiziert (Myers u. a. 2000). Diese Gebiete bieten auf 2.1 Millionen Quadratkilometern (1.7 % der Landfläche) Lebensraum für 44% aller Pflanzenarten sowie 25% der Wirbeltierarten. Dabei handelt es sich vor allem um tropische Wälder und Küstengebiete sowie um Inseln. Für viele der Tier- und Pflanzenarten sind diese Gebiete der letzte intakte Lebensraum. Zusätzlich zu solchen Regionen mit ausserordentlichen Biodiversitätslevels ist zur Eindämmung des globalen



Biodiversitätsverlustes auch der Schutz von speziellen Lebensräumen, die einzigartige Spezies und ökologische Phänomene beherbergen, von zentraler Bedeutung. Solche Ökoregionen wurden unter anderem in der Global 200 Liste des WWF identifiziert (Olson u. a. 2002). Die unbedingte Erhaltung dieser aus Biodiversitätsgesichtspunkten zentralen Gebiete mit einer gleichzeitigen Minimierung des menschlichen Einflusses sollte hier als globale Grenze der Ressource Biodiversität ins Auge gefasst werden. Bei der Ausarbeitung entsprechender Massnahmen ist jedoch zu bedenken, dass sich diese Gebiete oft in weniger entwickelten Ländern befinden und dass das Auskommen der lokalen Bevölkerung zu einem grossen Teil auf der Nutzung dieser Gebiete beruht. Um diesem Umstand gerecht zu werden müssen unter Einbezug der lokalen Bevölkerung Mechanismen entstehen, sodass sich der Schutz der Biodiversität und eine ökonomische Entwicklung in den entsprechenden Regionen nicht ausschliessen. Dabei können die Förderung von Stewardship-Programmen, von nachhaltigen, biodiversitätsschonenden Nutzungsformen (z.B. agroforestry) durch gezielte Ausbildungs- und Investitionsmassnahmen oder direkte Zahlungen für beanspruchte Ökosystemdienstleistungen durch entwickelte Länder eine wichtige Rolle spielen. Im Weiteren ist die Schaffung von klaren Nutzungs- und Eigentumsrechten ein zentraler Aspekt.

Während der Schutz der oben angesprochenen prioritären Lebensräume als besonders wichtig betrachtet werden muss, reichen nur auf diese Gebiete begrenzte Massnahmen jedoch nicht aus, um den weltweiten Rückgang der Biodiversität einzudämmen. Im Rahmen der Aichi-Ziele wurden unter den vier strategischen Themenfeldern

insgesamt 20 Ziele vereinbart, die es bis ins Jahr 2020 zu erreichen gilt. In diesem Zusammenhang müssen nun in jedem der Mitgliedsstaaten ambitionierte nationale Ziele abgeleitet werden und eine rigorose Umsetzung geeigneter Massnahmen im lokalen Rahmen angegangen werden.

3.8.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.8.3.1 Direkt

Die direkte Nutzung der Biodiversität in der Schweiz findet als Beanspruchung der vielseitigen Ökosystemdienstleistungen innerhalb des Landes statt. Dazu gehören neben dem Erhalt von Bodenfruchtbarkeit, die eine land- und forstwirtschaftliche Produktion erlaubt, auch die Nutzen aus der Wasserregulierung (Dürre- und Überschwemmungsschutz) oder den Nutzen aus dem natürlichen Erholungsraum. So sichern beispielsweise mit ihrer Bestäubungsleistung die Schweizer Bienenvölker eine Agrarproduktion im Wert von 213 Millionen US\$, was einer rund fünfmal höheren Wertschöpfung entspricht als deren Honigproduktion (TEEB 2010).

Gegenwärtig leben in der Schweiz rund 46'000 dokumentierte sowie etwa 70'000 vermutete Arten an Tieren, Pflanzen und Pilzen. Etwa ein Drittel dieser Arten gilt als bedroht. Im Mittelland ist die Artenvielfalt so weit zurückgegangen, dass die langfristige Versorgungssicherheit mit Ökosystemdienstleistungen in Frage gestellt werden muss (BAFU 2012a). Im Weiteren wird eine zunehmende Angleichung der Artenzusammensetzung in den verschiedenen Lebensräumen beobachtet, die auf die einheitlichen Bewirtschaftungsmethoden sowie den Nährstoffeintrag zurückgeführt wird. Auch die Verdrängung einheimischer durch gebietsfremde invasive Arten setzt die Biodiversität unter Druck. In der Schweiz werden 230 Lebensraumtypen unterschieden. Für einige davon (so zum Beispiel für Lebensräume in den Alpen, wo die Schweiz eine zentrale



Rolle für deren Vernetzung spielt) trägt die Schweiz eine besondere Verantwortung (BAFU 2012a). Während in der Schweiz die Waldfläche in den letzten Jahren zugenommen hat, ist für andere Lebensräume ein Rückgang zu verzeichnen. Feuchtgebiete, die wichtige Ökosystemdienstleistungen zur Verfügung stellen (Hochwasserschutz, Wasserregulierung, CO₂-Speicherung), gingen ebenso verloren (Auen verzeichneten 1900 – 2010 einen Verlust von 36%, Moore sogar von 86%) wie die Trockenstandorte (Flächenverlust von 95% an Trockenwiesen und –weiden in den Jahren 1900 – 2010). Während die Zunahme des Siedlungsraumes in der Schweiz einerseits zum Druck auf die Biodiversität beiträgt (durch Fragmentierung von Lebensräumen, Versiegelung und Verdichtung von Böden, Luft- & Wasserbelastung), ist dieser andererseits auch zu einem Refugium für Arten geworden, die ihren ursprünglichen Lebensraum verloren haben. Allerdings ist auch die urbane Biodiversität durch ungenügend Frei- und Grünflächen sowie invasive Arten bedroht (BAFU 2012a). Die genetische Vielfalt ist auch in der Schweiz nur für die Nutztiere und –pflanzen hinreichend bekannt (39 einheimische Nutztierassen, 3'000 Obstsorten, 250 Gemüsesorten). Die Kenntnisse zur Vielfalt der Wildtiere beschränken sich auf wiederangesiedelte Arten (z. B. den Steinbock), wobei auch in der Schweiz davon ausgegangen werden muss, dass die zunehmende Fragmentierung der Lebensräume zu einer genetischen Verarmung der Wildtierpopulationen führt (BAFU 2012a).

Der Zustand der Biodiversität in der Schweiz (vor allem im Mittelland) sowie deren Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten muss also als bedenklich eingeschätzt werden. Um die Verlustrate von Lebensräumen in der Schweiz bis ins Jahr 2020 mindestens zu halbieren (Aichi Target Nr. 5 zur Biodiversitätskonvention) sowie den vom Bundesrat in seinem Beschluss vom 1. Juli 2009 geforderten Zustand einer «reichhaltig[en] und gegenüber Veränderungen reaktionsfähig[en] Biodiversität» zu gewährleisten und «Die Biodiversität und ihre Ökosystemdienstleistungen [...] langfristig [zu] erhalten», sind daher weitreichende Massnahmen zum Biodiversitätsschutz nötig.

Der Verlust und die Zerstückelung von Ökosystemen (Lebensräumen) durch Landnutzung und Landumwandlung ist einer der Haupttreiber des Biodiversitätsrückgangs in der kleinen Schweiz. Artenschutz bedeutet in der Schweiz daher in erster Linie Lebensraumschutz. Die Grenzen für den Verlust an Biodiversität (ein langfristiges Aufhalten des Biodiversitätsrückgangs) sind daher notwendigerweise mit der Landnutzung in der Schweiz verbunden. Der Arealstatistik des Bundesamtes für Statistik kann entnommen werden, dass in den vergangenen Jahrzehnten in der Schweiz neben einem Wachstum der bestockten Fläche vor allem eine Zunahme der Siedlungsfläche auf Kosten von Landwirtschaftsflächen und der unproduktiven Fläche zu verzeichnen ist. Obwohl Siedlungsfläche ein geringeres Biodiversitätsschadenspotenzial aufweist als intensiv genutztes Ackerland (Frischknecht u. a. 2013b), muss unter dem Gesichtspunkt des Biodiversitätsschutzes eine weitere Ausdehnung der Siedlungsfläche verhindert werden. Daher sollte die Siedlungsfläche in der Schweiz auf dem heutigen Wert von ca. 8% der Landesfläche stagnieren und der durch das Bevölkerungswachstum benötigte zusätzliche Siedlungsraum mittels einer Siedlungsentwicklung nach innen gewährleistet werden. Um dieses Ziel zu erreichen sollen Einzonungen möglichst vermieden werden oder durch gleichzeitige Auszonungen an anderen Standorten kompensiert werden. Ebenfalls ist eine Auszonung der unüberbauten Bauzonen (12% der Bauzonen) an denjenigen Orten zu prüfen, wo damit eine Vergrößerung oder Vernetzung von biodiversitätsrelevanten Flächen erreicht werden kann.

Gleichzeitig müssen aber auch die Landwirtschaftsflächen so genutzt werden, dass sie einen optimalen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität leisten. Konkret bedeutet das eine Extensivierung von Ackerbau und Dauerkulturen, in Richtung biologischem Landbau. Da dieser Schritt zwangsläufig zu einem geringe-



ren Flächenertrag führt, muss die damit einhergehende Minderung der Produktion durch eine Verminderung von Nahrungsmittelabfällen kompensiert werden, damit nicht eine Erhöhung der Importe zu einer höheren Landnutzung im Ausland führt.

Neben diesen flächenbasierten Aspekten wird die Biodiversität in der Schweiz auch durch die zunehmende Fragmentierung von Lebensräumen unter Druck gesetzt. So gehören das Mittelland und der Jura zu den am stärksten zerschnittenen Landschaften in Mitteleuropa (Jaeger u. a. 2007). Zukünftig muss vermehrt Wert darauf gelegt werden, die Anzahl grosser unzerschnittener Räume (>50 km²) zu erhalten und die Rate der kleinteiligen Zerschneidung signifikant zu verringern. Dabei spielen bauliche Massnahmen zur Erhöhung der Durchlässigkeit von Verkehrswegen für Wildtiere (durch Tunnelbau, Grünbrücken, Unterführungen usw.) eine entscheidende Rolle. Beim Bau und Ausbau von Strassen- und Eisenbahnanlagen sollten Konzepte wie die Bündelung von Verkehrswegen und die Erschliessung von Ortschaften durch Stichstrassen statt Durchgangsstrassen Anwendung finden. Letztlich ist auch, vor allem an denjenigen Standorten, wo Wildtierkorridore beeinträchtigt bzw. unterbrochen sind, ein Rückbau von Verkehrsanlagen zu prüfen. Ein Ausbau des Waldstrassennetzes, wie er von Seiten der Holzindustrie gefordert wird, steht prinzipiell im Widerspruch zur Förderung der Biodiversität. Entsprechend müssen die positiven und negativen Auswirkungen von neuen Waldstrassen gegeneinander abgewogen werden, was in unterschiedlichen spezifischen Situationen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen dürfte.

3.8.3.2 Indirekt

Auf der einen Seite profitiert die Schweiz indirekt von vielerlei Ökosystemdienstleistungen, die ausserhalb der Landesgrenzen anfallen. Neben Versorgungsleistungen, welche in Form von Produkten in die Schweiz importiert werden, sind auch Regulierungsleistungen (im Bereich Klima, Krankheiten, Abbau von Schadstoffen) und kulturelle Leistungen (Tourismus) zu nennen. Ebenfalls stammen ein grosser Teil der genetischen Ressourcen, die in der Schweiz im Rahmen der Land- und Forstwirtschaft, der Pharma- und Biotechindustrie sowie in der akademischen Forschung genutzt werden, aus dem Ausland (BAFU 2012a).⁹⁰

Auf der anderen Seite fällt auch ein signifikanter Anteil der Biodiversitätsbeeinträchtigung durch den Schweizerischen Konsum im Ausland an. So zeigt eine Studie zur «Entwicklung der weltweiten Umweltauswirkungen der Schweiz» (Frischknecht u. a. 2014), dass bei den landnutzungsbedingten Biodiversitätsverlusten in den Jahren 1996–2011 eine Zunahme der Belastungen im Ausland um rund 50% zu verzeichnen war. Dabei ist ein Grossteil der Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf die Biodiversität zuzuschreiben (Frischknecht u. a. 2014). In einer anderen Studie wurden die weltweiten Auswirkungen von mehr als 15'000 Gütern auf 25'000 Tierarten (basierend auf der IUCN Red List) ausgewertet und mit einer Lieferkettenanalyse verknüpft. Dabei konnten 132 direkte Auswirkungen durch in die Schweiz importierte Güter auf bedrohte Tierarten ermittelt werden. Diese Zahl ist mehr als doppelt so hoch, wie die

⁹⁰ Der Zugang zu genetischen Ressourcen sowie die gerechte und angemessene Aufteilung des aus ihrer Nutzung gewonnenen Vorteils wird innerhalb des «Nagoya Protokolls» zur Biodiversitätskonvention geregelt.



Anzahl der in der Schweiz bedrohten Arten. Die Anzahl Bedrohungen durch aus der Schweiz exportierte Güter ist mit 11 sogar 12 mal kleiner. Wir sind also deutlich ein Nettoexporteur von konsumbedingten Biodiversitätsbeeinträchtigungen (Lenzen u. a. 2012).

Es ist somit Aufgabe der Schweiz sich im internationalen Kontext für den Schutz der Biodiversität einzusetzen. Dabei spielen einerseits eine aktive Mitarbeit der Schweiz an internationalen Abkommen zu biodiversitätsrelevanten Themen (z.B. Biodiversitätskonvention, CITES, Ramsar-Übereinkommen, Berner Konvention etc.), sowie ihre finanzielle Beteiligung an internationalen Bemühungen eine zentrale Rolle. Andererseits sollten bei Konsumüberlegungen in der Schweiz vermehrt Aspekte der weltweiten Biodiversität Berücksichtigung finden. In diesem Zusammenhang kommt einer transparenten Produktumweltinformation (durch Labels und Deklaration) zur Erleichterung von Konsumententscheidungen sowie der Nutzung von Produktstandards und Vorschriften eine zentrale Bedeutung zu. Gerade eine Beeinträchtigung von Lebensräumen in den globalen Biodiversitätshotspots (vgl. Kapitel 3.8.2) durch den Schweizerischen Konsum soll in Zukunft mit grösster Sorgfalt vermieden werden.

Aufgrund der engen Korrelation von Landnutzung mit Lebensräumen und Biodiversität gelten die im Kapitel 3.4.3.2 ausgeführten Grenzen für den indirekten Schweizer Ressourcenverbrauch bei der Landnutzung auch als Grenzen unter Biodiversitätsgesichtspunkten.



3.9 Erneuerbare Energie

Obwohl erneuerbare Energiequellen nicht erschöpflich sind, ist deren Nutzung nicht unbeschränkt möglich. Erneuerbare Energien können nur in demjenigen Ausmass genutzt werden, wie die der jeweiligen Quelle entzogene Energie regeneriert (erneuert) werden kann. Innerhalb der erneuerbaren Energieformen spielen heute weltweit die Wasserkraft, gefolgt von der Sonnenenergie (Photovoltaik und Solarthermie) und der Windenergie die grössten Rollen. Die Geothermie und die Gezeitenkraft sind heute noch von untergeordneter Bedeutung. Vor dem Hintergrund des weltweit steigenden Energiebedarfs zusammen mit den angestrebten Reduktionszielen des globalen CO₂-Ausstosses kann zukünftig von einem anhaltenden starken Wachstum der Nutzung erneuerbarer Energie ausgegangen werden. Bei einem solchen Ausbau müssen jedoch begrenzende Faktoren wie Landbedarf, Verfügbarkeit von für gewisse Technologien benötigten seltenen Rohstoffen sowie weitere einschränkende Faktoren (wie Biodiversitätsschutz, Landschaftsschutz etc.) berücksichtigt werden.

In der Schweiz stellt die Wasserkraft heute die mit Abstand am meisten genutzte erneuerbare Energiequelle dar. Im Rahmen des in der Schweiz beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergie sowie in Anbetracht der benötigten Decarbonisierung der Energieproduktion wird jedoch in der Schweiz in den nächsten Jahrzehnten ein starker Ausbau der Nutzung verschiedener erneuerbarer Energieformen erfolgen. So wird beispielsweise in der Energiestrategie von swisscleantech ein Anteil der erneuerbaren Energie am Schweizerischen Gesamtenergieverbrauch (nicht nur am Strom) von rund 85% angestrebt. Während das Potenzial der Wasserkraft in der Schweiz heute bereits weitgehend ausgeschöpft ist, kann die Sonnenenergie im Jahr 2050 bis zur Hälfte des Schweizerischen Energiebedarfs decken, ohne an Grenzen zu stossen. Auch die Tiefengeothermie und die Windenergie können, wenn auch in geringerem Ausmass, zukünftig signifikante Beiträge zur Energieproduktion leisten.

Global wird Wind sicher eine grössere Bedeutung haben, da die Kosten zur Erzeugung von Windstrom an Standorten mit konstant genügend Wind deutlich unter denen von Photovoltaik liegen können. China alleine hat in 2014 eine installierte Kapazität von 115'000 MW erreicht, was knapp 6 mal mehr ist als die Kapazität des Chinesischen Nuklearsektors.⁹¹

3.9.1 Worum geht es?

Die Nutzung erneuerbarer Energie entspricht einer Beanspruchung von natürlichen Energieressourcen in der Form von elektromagnetischer Strahlung (Sonnenenergie), kinetischer Energie (Wind, Gezeiten, Wasserkraft), potenzieller Energie (Wasserkraft) und Wärme (Geothermie). Auch die nachhaltige Nutzung von Bioenergie fällt unter erneuerbare Energie. Allerdings diskutieren wir diese zusammen mit den stofflich genutzten biotischen Rohstoffen in Kapitel 3.3.

Die Sonne versorgt die Erde mit einer kontinuierlichen durchschnittlichen Strahlungsintensität von ca. 1300 W/m² (Solarkonstante), wovon witterungsab-

⁹¹ Dabei ist zu beachten, dass ein KKW während etwa 80 bis 90% der Zeit mit voller Kapazität betrieben werden kann. Bei einem Windkraftwerk ist aufgrund von Fluktuationen im Windangebot mit 20 bis 25% der maximalen Kapazitätsausnutzung zu rechnen. Entsprechend kann die installierte Windkapazität in China ca. 26 GWh Strom pro Jahr erzeugen während die Chinesischen KKW's pro Jahr rund 150 GWh Strom produzieren.



hängig zwischen 55% und 78% der Energie die Erdoberfläche erreichen und theoretisch zur Energiegewinnung genutzt werden können. Mit der Sonneneinstrahlung in direktem Zusammenhang stehen durch Wetterphänomene in Bewegung versetzte Luftmassen, die durch ihre Bewegungsenergie ebenfalls der Energiegewinnung dienen können. Eine weitere erneuerbare Energiequelle ist die Wasserkraft, wo durch die Gravitation in Bewegung gesetzte Wassermassen bei ihrem Fluss zu tieferliegenden Niveaus eine Energiegewinnung ermöglichen. Zusätzlich stellt die Nutzung der Erdwärme eine weitere Form der erneuerbaren Energie dar. Die geothermische Energie im Inneren der Erde stammt aus deren astrophysikalischen Entstehung und wird durch den radioaktiven Zerfall von Elementen erhalten.

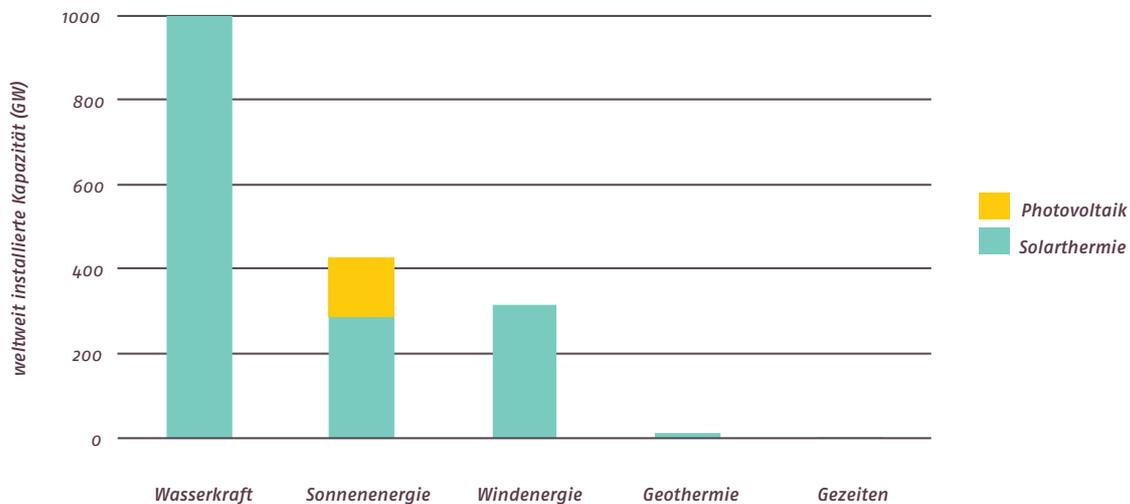
Vor allem die Sonnenenergie, aber auch die Wind- und Wasserkraft stehen nicht jederzeit zur Verfügung. Sonnenenergie kann nur am Tag genutzt werden und bei allen 3 Quellen von Erneuerbaren gibt es saisonale Schwankungen. Da diese oft nicht parallel laufen, kann eine gute Mischung zum Beispiel aus Sonnen- und Windenergienutzung die Angebotskurve über die Zeit etwas glätten. Trotzdem muss, wenn Strom grossmehrheitlich aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird, Elektrizität in grösseren Mengen über längere Strecken transportiert werden können. Weiter braucht es eine Kombination von effizienten «flinken» und langfristigen Speichermöglichkeiten.

Obwohl diese Energiequellen erneuerbar also nicht erschöpflich sind, ist deren Nutzung nicht unbeschränkt möglich. So ist die Nutzung der erneuerbaren Energie nur in demjenigen Ausmass möglich, wie die der jeweiligen Quelle entzogene Energie regeneriert (erneuert) werden kann (z.B. durch die natürliche Erzeugungsrates des Windes, durch die Stärke des kontinentalen Wasserkreislaufs usw.). Aus diesem Grund wird die natürliche Ressource der erneuerbaren Energien hier behandelt.

3.9.2 Globaler Verbrauch, Trend und Grenzen

Die aufgrund der installierten Kapazitäten bedeutendste erneuerbare Energiequelle ist die *Wasserkraft*. Die globale Wasserkraftkapazität betrug im Jahr 2013 etwa 1000 GW. Die grössten Kapazitäten sind dabei in China (26%), Brasilien (9%), den Vereinigten Staaten sowie Canada (beide 8%). Die jährliche Energieproduktion unterliegt aufgrund der hydrologischen Bedingungen starken Schwankungen. Im Jahr 2012 betrug die produzierte Strommenge aus Wasserkraft weltweit 3'619 TWh, was rund 17% der gesamten Elektrizität entsprach⁹². Die globale Kapazität an Pumpspeicherkraftwerken betrug 2013 etwa 135 GW. Dabei handelt es sich allerdings nicht um eine erneuerbare Energiequelle im engeren Sinne, sondern eher um einen Energiespeicher, wobei das Wasser sowohl mit erneuerbarer als auch mit nicht-erneuerbarer Energie gepumpt werden kann (REN21 2014).

⁹² Quelle: The Shift Project Data Portal, <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart>



Figur 36
Global installierte Kapazitäten der erneuerbaren Energien in Gigawatt
(im Jahr 2013; Solarthermie 2012).

Als direkte Nutzung der durch die Sonne der Erde kontinuierlich zur Verfügung gestellten Energie, kommt der *Sonnenenergie* innerhalb der erneuerbaren Energieformen eine wichtige Stellung zu. Diese kann entweder zur direkten Stromerzeugung (Photovoltaik oder kurz PV) oder zur Wärmegewinnung (Solarthermie) genutzt werden. Im Jahr 2013 bestand weltweit eine kumulative installierte Photovoltaikkapazität von 139 GW, was einem Anstieg von mehr als 80% seit 2009 entspricht. Hauptnutzungsregion der Sonnenenergie mittels Photovoltaik ist Europa, wo sich 59% der Kapazitäten befinden. Mit der weltweit installierten Kapazität an Photovoltaikanlagen lässt sich eine Energiemenge von mindestens 160 TWh im Jahr produzieren (Masson u. a. 2014). Vergleicht man diese Zahl mit den etwa 2 TWh, die 2002 produziert wurden, den 31 TWh von 2010 und den 87 TWh von 2012, sehen wir eine exponentielle Steigerung der PV-Produktion. Bei der Solarthermie kann zwischen Sonnenwärmekraftwerken und solarthermischer Heizung/Kühlung unterschieden werden. Bei Sonnenwärmekraftwerken wird die Sonnenenergie mittels Spiegeln gebündelt und auf spezielle Absorber gerichtet. Die dort entstandene Wärme wird dann zur Stromerzeugung genutzt. Verglichen mit den anderen Nutzungsformen der Sonnenenergie sind die globalen Kapazitäten an Sonnenwärmekraftwerken mit etwas mehr als 3.4 GW gering (2013). Während die bestehenden Kapazitäten vor allem in den Vereinigten Staaten und in Spanien sind, ist eine zunehmende Verschiebung hin zu Gebieten mit einer hohen direkten Sonneneinstrahlung oft in Entwicklungsländern zu beobachten (REN21 2014). Bei solarthermischen Heiz- und Kühlsystemen bestand im Jahr 2012 eine globale Kapazität, die mit 283 GW thermischer Energie noch über derjenigen von Photovoltaikanlagen liegt. Die installierte Kapazität erlaubt eine geschätzte Gewinnung von 240 TWh Wärmeenergie im Jahr. Der Grossteil der installierten Anlagen befindet sich in China (REN21 2014) (64%).



Die weltweite Kapazität zur Nutzung der *Windenergie* betrug im Jahr 2013 318 GW, wovon der grösste Teil in China (29%), den Vereinigten Staaten (19%) und Deutschland (11%) liegen. Dies entspricht einem Wachstum der Kapazität von rund 35 GW seit 2012. Die im Jahr 2012 installierte Kapazität erlaubte eine Energieproduktion von 580 TWh (Global Wind Energy Council 2014).

Im Vergleich zu den oben beschriebenen erneuerbaren Energiequellen spielen die *Geothermie* und die *Gezeitenkraft* in Bezug auf die im Jahr 2013 global vorhandenen Kapazitäten nur eine untergeordnete Rolle. Während im Bereich der Geothermie installierte Kapazitäten von etwas mehr als 12 GW bestehen, die durch die sich im Bau befindenden Anlagen bis ins Jahr 2017 auf 13.5 GW ausgebaut sein werden (Geothermal Energy Association 2014), beträgt die im Jahr 2013 vorhandene Kapazität der Gezeitenkraft gerade 0.5 GW. Die beiden grossen Gezeitenkraftwerke befinden sich in Frankreich (Rance, 240 MW) und Südkorea (Sihwa, 254 MW) (Brito e Melo u. a. 2014).

Vor dem Hintergrund des weltweit steigenden Energiebedarfs zusammen mit den angestrebten Reduktionszielen des globalen CO₂-Ausstosses kann weiterhin von einem starken Wachstum der Nutzung erneuerbarer Energiequellen gerechnet werden. So geht beispielsweise die International Energy Agency in ihrem renewable energy outlook bis ins Jahr 2035 von einem Anstieg der Nutzung erneuerbarer Energien von zwischen 60% und 133% (je nach Szenario) mit Bezug auf das Jahr 2010 aus (IEA 2012).

Physikalische Grundlage und damit maximale Obergrenze der verschiedenen Formen der erneuerbaren Energien bilden 175'000 TW Sonnenstrahlung, etwa 5 TW Gravitationskräfte von Mond und Sonne, sowie etwa 50 TW Erdwärme (Kleidon 2012). Diese physikalischen Obergrenzen sind aber ausschliesslich theoretischer Natur, da aufgrund einer Vielzahl von Umwandlungsprozessen, Dissipation, geographischen Gegebenheiten, technologischen Wirkungsgraden und nicht zuletzt umweltbedingten, politischen und sozialen Einschränkungen nur ein geringer Anteil davon zur Energiegewinnung genutzt werden kann. So führt beispielsweise ein Bruchteil der eingestrahnten Sonnenstrahlung über Absorptions- und Erwärmungsprozesse zu einer Luftzirkulation. Die Verteilung des Windes in der Atmosphäre, Reibungs- und Turbulenzverluste verringern weiter die Leistung, welche für die Windenergieproduktion entzogen werden kann. Aufgrund von Klimamodellen wird davon ausgegangen, dass die Obergrenze für die Nutzung der Windenergie bei einer Leistung von rund 400 TW liegt (Marvel u. a. 2012). Eine Leistung von 400 TW würde eine Stromproduktion mittels Windkraft von rund 700'000 TWh ermöglichen. Dies entspricht deutlich mehr als dem globalen Energiebedarf. Allerdings gilt es zu bedenken, dass bei der Nutzung eines grossen Teils der durch den Wind transportierten Energie signifikante klimatische Auswirkungen erwartet werden müssen. Auch die Wasserkraft hängt zudem für die Aufrechterhaltung des Wasserkreislaufes fundamental von der Leistung der Luftzirkulation ab, weshalb das maximale Potenzial der Windenergie nicht isoliert betrachtet werden darf. Ebenfalls noch nicht bedacht sind dabei potenziell weiter begrenzende Faktoren wie Landnutzung und Biodiversität (Beeinträchtigung von Vögeln oder Fledermäusen) oder die Verfügbarkeit von Materialien, die für die Energieumwandlungstechnologien benötigt werden (etwa Kupfer oder Neodym für die Magneten der Generatoren). Nichtsdestotrotz kann die Windenergie einen signifikanten Beitrag zur globalen Energieversorgung leisten.

Die absolute globale Grenze der Wasserkraft ist die potenzielle Energie der Wassermassen, die durch den Wasserkreislauf weltweit in höhere geographische Lagen verfrachtet werden. Allerdings ist dieses Potenzial ausschliesslich theoretischer Natur, da technische Aspekte (z.B. Topographie, Kraftwerkdesign,



technische Wirkungsgrade, Reibungs- und Hochwasserverluste), Umweltfaktoren (z.B. Restwasser unter Berücksichtigung flussabwärts liegender Systeme, Erosion und Sedimentation, Wasserqualität, Biodiversität), soziale Kriterien (z.B. Umsiedlungen der ursprünglichen Bevölkerung beim Bau eines Speicherkraftwerkes) und wirtschaftliche Gegebenheiten (z.B. finanzielle Realisierbarkeit, Rentabilität) der Nutzung zusätzliche Grenzen setzen. In diesem Zusammenhang wird global ein nutzbares Potenzial zur Produktion von 16'400 TWh Energie aus der Wasserkraft geschätzt (IEA 2010), was gleichzeitig einer realistischeren globalen Nutzungsgrenze entspricht.

Die durch die Sonne auf die Erde eingestrahlte Energiemenge ist grundsätzlich so gross, dass sie bei der gegenwärtigen Grössenordnung des globalen Energiebedarfs als unbegrenzte Ressource bezeichnet werden kann. So trifft innerhalb einer Stunde mehr **Sonnenenergie** auf die Erde als die gesamte Menschheit in einem Jahr verbraucht. Die Nutzung der Sonnenenergie ist jedoch durch den Wirkungsgrad von Photovoltaikanlagen sowie der zur Energiegewinnung benötigten Fläche begrenzt. Eine weitere Einschränkung kann durch eine Verknappung von für die Technologie wichtigen Materialien (zum Beispiel Kupfer, Silber oder Indium) entstehen. Der Wirkungsgrad heutiger netzintegrierter Photovoltaikanlagen beträgt je nach Technologie zwischen 10 und 20%. Mit der Solarthermie lassen sich bedeutend höhere Wirkungsgrade in der Grössenordnung von 80% erreichen. Die so gewonnene Wärme ist aber auch eine weniger wertvolle Energieform als der mit PV erzeugte Strom. Während der Flächenbedarf zur Nutzung der Sonnenenergie in einigen Regionen der Erde problematisch sein kann (wo verschiedene Nutzungsformen um knappe Fläche konkurrieren), stellt dieser auf globaler Ebene kein begrenzender Faktor dar. So würden wenige Prozent der globalen Wüstenflächen reichen um den globalen Energiebedarf mittels Photovoltaik zu decken. Grundsätzlich ist die direkte Nutzung der Sonnenenergie innerhalb der erneuerbaren Energien am effizientesten, da im Gegensatz zur Wasser- und Windenergie die Sonnenenergie direkt genutzt wird und nicht erst durch Absorptionsprozesse verlustreich in Wärme (und somit zu Wetterphänomenen) umgewandelt werden muss (Kleidon 2012). Entsprechend ist auch das nutzbare Potenzial der Sonnenenergie am grössten.

3.9.3 Schweizer Verbrauch, Trend und Grenzen

3.9.3.1 Direkt

Gemäss der Statistik der erneuerbaren Energien des Bundesamtes für Energie betrug im Jahr 2013 die Nutzung an erneuerbaren Energien in der Schweiz insgesamt 54.5 TWh (BFE 2014). Der grösste Anteil daran hatte mit 37.4 TWh die Wasserkraft, wobei 47% dieser Energie in Laufkraftwerken und 53% in Speicherkraftwerken gewonnen wurden. Danach folgt mit einer Produktion an 3.79 TWh Wärmeenergie die Nutzung der Umweltwärme, wobei der überwiegende Teil auf Elektromotorwärmepumpen entfällt. Der Anteil der Geothermie ist mit 0.00278 TWh verschwindend gering. Die Sonnenenergie diente im Jahr 2013 in der Schweiz zu einer Stromproduktion von 0.54 TWh in Photovoltaikanlagen sowie einer durch Solarthermie gewonnenen Wärmeenergie von 0.57 TWh. Dabei entfiel der grösste Anteil (88%) auf Röhren- und Flachkollektoren. Die Windenergie spielte im Jahr 2013 mit einer Gesamtproduktion von 0.0894 TWh eine untergeordnete Rolle. Die übrige Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen entfielen 2013 auf die Nutzung von Biomasse und biogenen Treibstoffen sowie auf die energetische Nutzung von Abfall und Abwasserreinigung (BFE 2014). Die Gezeitenkraft kann in der Schweiz auf Grund ihrer geographischen Lage nicht genutzt werden.



Im Rahmen der Energiewende, des in der Schweiz beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergie sowie in Anbetracht der benötigten Decarbonisierung der Energieproduktion wird auch in der Schweiz in den nächsten Jahrzehnten ein starker Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energie erfolgen. So wird beispielsweise in der Cleantech Energiestrategie von swisscleantech (Version 3.1) ein Anteil der erneuerbaren Energie am Schweizerischen Gesamtenergieverbrauch (nicht nur am Strom!) von rund 85% angestrebt.

Das Potenzial der Wasserkraft in der Schweiz ist heute bereits weitgehend ausgeschöpft (Pfammatter 2012), sodass längerfristig je nach Gewichtung von Ausbau- und Schutzanliegen höchstens mit einem Ausbau der jährlichen Energieproduktion um einige wenige TWh oder gar einem Rückgang der Produktion von Grosswasserkraftwerken gerechnet wird⁹³. Bereits heute ist die Schweiz dasjenige Land unter den Staaten mit einer Stromproduktion aus der Wasserkraft von mehr als 30 TWh, welches prozentual den grössten Anteil des innerhalb der technologischen Grenzen zugänglichen Potenzials nutzt (IEA 2010). Bezüglich der Wasserkraft befindet sich die Schweiz also bereits nahe der Grenzen.

Die Nutzung der Sonnenenergie wird durch den durchschnittlichen Wirkungsgrad der Anlagen sowie die zur Verfügung stehende Fläche für die Energiegewinnung bestimmt (vgl. Kapitel 3.9.2). Grundsätzlich soll die zukünftige Gewinnung der Sonnenenergie in der Schweiz zu keiner Umnutzung von Landflächen führen. Daher sollen entsprechende Anlagen auf bereits bestehenden Gebäudeflächen zu liegen kommen. Unter der Annahme eines Verhältnis von 3:1 von Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen sowie (zukünftiger) durchschnittlicher Wirkungsgrade von 20% bzw. 80% und einer Eignung von ca. einem Drittel der Dachflächen in der Schweiz errechnet sich eine Grenze für die Nutzung der Sonnenenergie in der Schweiz von rund 60 TWh pro Jahr.

Die Hauptbegrenzungsfaktoren zur Nutzung der Windkraft in der Schweiz sind einerseits relativ wenig günstige Lagen, wo der Betrieb von Windrädern ökonomisch sinnvoll ist, sowie Bedenken seitens des Natur- und Landschaftsschutz. Trotzdem konnte gezeigt werden, dass auch unter Berücksichtigung dieser Grenzen (Ausschluss von auf Grund der geographischen Lage nicht nutzbaren Gebieten, von Objekten aus nationalen kulturhistorischen Inventaren, von schützenswerten Ortsbildern, von Standorten in nationalen Natur- und Landschaftsschutzinventaren sowie Berücksichtigung von Grundwasser- und Lärmschutz) eine Energieerzeugung durch die Windkraft von über 8 TWh pro Jahr nicht unrealistisch ist (Cattin u. a. 2012).

Das Potenzial der Tiefengeothermie ist grundsätzlich sehr gross. So könnte mit der gesamten Energie, die in der Schweiz in einer Tiefe zwischen drei und sieben Kilometern liegt, theoretisch rund 80'000 TWh Strom erzeugt werden (Hirschberger u. a. 2005). Jedoch erscheint eine Erschliessung dieser Ressource, in Anbetracht des noch relativ unausgereiften heutigen technologischen Entwicklungsstandes sowie einer nach jüngsten Rückschlägen entsprechender Tiefengeothermieprojekte in Basel und St. Gallen mangelnden Akzeptanz seitens der Bevölkerung, derzeit begrenzt zu sein. So kann bis ins Jahr 2050 höchstens mit einer Stromproduktion im einstelligen TWh-Bereich gerechnet werden. In Bezug auf die derzeit häufigste Nutzung der Erdwärme in der Schweiz mittels Wärmepumpen und Erdsonden wird der Nutzung durch die nachhaltig mögliche Dichte

⁹³ Es muss auch davon ausgegangen werden, dass der Klimawandel zu einer Zunahme von Trockenheit im Sommer führt und dass dadurch das Potenzial bei der Wasserkraftnutzung reduzieren wird.



der Erdsonden eine Grenze gesetzt, da sich die einzelnen Sonden beeinflussen und weil bei abnehmender Temperatur des Bodens die Effizienz der Wärmepumpen abnimmt. In diesem Zusammenhang wurde ein jährlicher Wärmeentzug von 3 kWh/m² als unterer Grenzwert für die nachhaltige Nutzung des geothermischen Potenzials berechnet. Dieser Wert ist nur bis zu einer Ausnützungsziffer⁹⁴ von 0.06 gegeben (die Ausnützungsziffer der Stadt Zürich ist mehr als 6 mal höher). Bei einer Überschreitung dieses Wertes ist innerhalb eines langen Zeithorizonts eine zunehmende Abkühlung des Erdreichs bis hin zu einem potenziellen längerfristigen Einfrieren des Bodens zu erwarten, sofern die Nutzung nicht zeitlich beschränkt (z.B. auf 50 Jahre) oder für eine aktive Regeneration durch Abwärme oder Solarwärme gesorgt wird (Wagner u. a. 2014). Konkret bedeutet das, dass in städtischen Gebieten und Agglomerationen nur etwa jedes sechste Gebäude mit Erdwärme beheizt werden darf, wenn nicht spezifische Massnahmen zur Reduktion der Abkühlung des Erdreichs ergriffen werden.

3.9.3.2 Indirekt

Im Jahr 2013 wurden 36.2 TWh Strom in die Schweiz importiert (BFE 2013). Hauptimportquellen sind dabei Deutschland (ca. 40%), Frankreich (ca. 32%) und Österreich (ca. 25%) (Swissgrid 2013). Unter Berücksichtigung der Stromproduktionsstruktur der einzelnen Importländer (BFE 2013) kann geschätzt werden, dass so im Jahr 2013 rund 9 TWh Energie aus Wasserkraft, ca. 2 TWh Windenergie und knapp 1 TWh Solarenergie importiert wurden. Bei dieser Abschätzung muss allerdings aufgrund von unterschiedlichen Produktionsspitzen der verschiedenen erneuerbaren Energieformen davon ausgegangen werden, dass je nach Bezugszeitpunkt ein sehr unterschiedlicher Strommix importiert wird.

Die indirekte Nutzung erneuerbarer Energien erfährt grundsätzlich durch das nutzbare Potenzial dieser Energiequellen im europäischen Ausland eine Begrenzung. Gemäss der Energy Roadmap 2050 der Europäischen Union werden je nach betrachtetem Szenario im Jahr 2050 zwischen 2000 TWh und 4300 TWh der Europäischen Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen stammen (European Commission 2011). Unter Betrachtung dieser Werte als Grenzen und Berücksichtigung der erwarteten Bevölkerungszahlen der Schweiz und der EU errechnet sich ein Wert von 25 – 40 TWh als Importgrenze für die Schweiz an erneuerbaren Energien im Jahr 2050.

⁹⁴ Verhältnis von Landfläche zu beheizter Gebäudegeschossfläche

4 Handlungsfelder

Um zu bestimmen, in welchen Handlungsfeldern Massnahmen zur Transformation zu einer nachhaltigen Ressourcennutzung nötig und sinnvoll sind, bewerten wir die betrachteten natürlichen Ressourcen bezüglich ihrer heutigen und zukünftig zu erwartenden Übernutzung. Das Ergebnis kombinieren wir mit einer Analyse der Interdependenzen zwischen den diskutierten natürlichen Ressourcen. In den sich daraus ergebenden sechs Handlungsfeldern formulieren wir quantitative Ziele, als Voraussetzung für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen und diskutieren mögliche Ansätze zur Erreichung dieser Ziele.

4.1 Belastung natürlicher Ressourcen

Wie in Kapitel 3 ausführlich dargestellt wurde, ergeben sich bei der Nutzung aller der betrachteten natürlichen Ressourcen auf globaler Ebene zum Teil erhebliche Herausforderungen. Als erster Schritt zur Ableitung von Handlungsfeldern werden hier die wichtigsten Belastungen natürlicher Ressourcen nochmals zusammenfassend gesammelt. Dabei stehen Zustand und Trend innerhalb der Schweiz im Zentrum (*Figur 37*), da dort aus einer inländischen Perspektive der grösste Handlungsspielraum besteht. Natürlich ist dabei das Gesamtbild im globalen Kontext dabei stets im Hinterkopf zu behalten.

Sozioökonomische Güter

Abiotische Ressourcen (Mineralien, Fossile)			
Land			
Biotischer Ressourcen (Biomasse)			
Wasser (Verfügbarkeit)			

Ökosystemdienstleistungen

Boden			
Luft			
Klima			
Biodiversität			
Wasser			
	Stand	Trend	kritisch

Figur 37
Grobbeurteilung der Belastung natürlicher Ressourcen in der Schweiz

Im Bereich der Ressourcennutzung in Form von sozioökonomischen Gütern, welche der Natur zur menschlichen Verwendung entnommen werden, fallen Belastungen hauptsächlich durch eine Übernutzung und der dadurch bedingten verminderten Verfügbarkeit an. Die Versorgungslage in der Schweiz mit abiotischen Rohstoffen kann momentan als unkritisch betrachtet werden. Während ein Grossteil der globalen Vorkommen an fossilen Rohstoffen aus Klimaschutzgründen für immer ungenutzt bleiben sollte, ist zukünftig sowohl in der Schweiz als auch global mit einer Zunahme der Nachfrage vor allem auch nach seltenen Edel- und Spezialitätenmetallen zu rechnen. Eine zeitlich und örtlich beschränkte Knappheit gewisser Materialien ist zukünftig also zu erwarten. Die Landnutzung in der Schweiz ist geprägt von der sich ausdehnenden Siedlungsfläche. Diese ist heute bereits auf einem hohen Niveau und wächst weiterhin mit einer alarmierenden Geschwindigkeit. Daher ist die Nutzung dieser Ressource als kritisch zu betrachten. Die inländische Produktion biotischer Rohstoffe kann als – im globalen Kontext – überdurchschnittlich nachhaltig bezeichnet werden. Allerdings belastet der zum Teil übermässige Einsatz von Dünger und Pestiziden in der Landwirtschaft die Gewässer zu stark und auch die negativen Auswirkungen auf die Biodiversität sind erheblich. Zusätzlich wird ein grosser Teil des inländischen Bedarfs durch Importe aus zum Teil nicht-nachhaltigen Quellen gedeckt. Die zukünftig erwartete Steigerung der globalen Nachfrage vor allem nach Nahrungsmitteln wird die Ressource Land vermehrt belasten, weshalb sie als kritisch eingestuft wird. Als Wasserschloss Europas ist die Verfügbarkeit von Wasser in der Schweiz nicht problematisch. Obwohl im Zuge des Klimawandels Veränderungen der globalen Niederschlagsmuster zu erwarten sind, dürfte die Schweiz auch zukünftig nicht von ernsthafter Wasserknappheit betroffen sein. In einer globalen Perspektive sind die Auswirkungen von in die Schweiz importierten Gütern auf die lokale Wasserverfügbarkeit nicht zu vernachlässigen.

Bei Ressourcennutzungen in Form von Ökosystemdienstleistungen spiegeln Zustand und Qualität der Ressource deren Belastung wider. Die Bodenqualität in der Schweiz kann generell als mässig gut bezeichnet werden, weshalb die Belastung dieser Ressource hier als mässig kritisch angesehen wird. Trotz erheblicher Verbesserungen in den letzten Jahren werden in der Schweiz diverse Grenzwerte für Luftschadstoffe noch immer regelmässig überschritten und im globalen Kontext nimmt die Luftverschmutzung an vielen Orten nach wie vor zu. Wenn die für einen effektiven Klimaschutz notwendige Reduktion der Nutzung fossiler Energieträger umgesetzt wird, nimmt automatisch auch die Schadstoffbelastung der Luft ab und so darf von einem anhaltenden Trend zur Verbesserung der Luftqualität in der Schweiz ausgegangen werden. Damit kann die Belastung dieser Ressource als unkritisch eingestuft werden. Der menschengemachte Treibhauseffekt führt weltweit zu einem Anstieg der Erdoberflächentemperatur. Allen nationalen und internationalen Bemühungen der letzten Jahre zum Trotz konnten in der Schweiz die Emissionen von Treibhausgasen praktisch nicht gesenkt werden. Global nehmen die Emissionen ungebrochen zu. Daher ist die Belastung des Klimas eine der grössten Herausforderungen. Auch die Biodiversität in der Schweiz ist stark unter Druck. Verschiedene Tendenzen wie die zunehmende Zerschneidung von Lebensräumen oder der Klimawandel werden diesen Druck zukünftig noch erhöhen. Die Bewahrung einer reichhaltigen Biodiversität ist daher stark gefährdet. Letztlich ist die Wasserqualität der Schweizerischen Flüsse und Seen im internationalen Vergleich als gut zu bewerten. Dennoch weisen etliche Gewässer vor allem in Landwirtschaftsregionen nach wie vor Stoffkonzentrationen oberhalb der Grenzwerte auf. Dabei wird zukünftig weder eine signifikante Verbesserung noch eine Verschlechterung erwartet.

Es zeichnet sich also ab, dass die Bereiche Biodiversität, Klima, Land, Boden und Biomasse – bei letzterer vor allem Nahrungsmittel – für die Schweiz als kritisch bezeichnet werden müssen. In einer globalen Perspektive ist das analog doch kommen dann noch die Wasserverfügbarkeit und teilweise die Luftqualität als kritische Faktoren hinzu.

4.2 Interdependenzen der Nutzung natürlicher Ressourcen

Wie schon aus den einzelnen Unterkapiteln von 3 hervorgeht, hängen praktisch alle der natürlichen Ressourcen mehr oder weniger stark mit anderen Ressourcen zusammen. Zum Beispiel beeinflusst die Nutzung fossiler Ressourcen das Klima direkt und stark. 65% der Treibhausgasemissionen stammen aus der Quelle. Auch die Landnutzung, sei es durch Entwaldung, Aufforstung oder durch landwirtschaftliche Produktion, beeinflusst das Klima deutlich (25% der Treibhausgasemissionen). Die Luftqualität schliesslich hat ebenfalls einen Einfluss auf die Klimaveränderung, der allerdings deutlich schwächer ist als die anderen (Luftschadstoffe (ausser die klassischen THGs) tragen unterschiedlich, insgesamt aber nur wenige Prozent zur Strahlungsbilanz bei). Andererseits beeinflusst der Klimawandel direkt die land- und forstwirtschaftliche Produktion über die Veränderungen von Temperatur und Niederschlagsmustern, die wiederum die Wasserverfügbarkeit beeinflussen.

Solche Zusammenhänge kann man in einer Kreuzwirkungsmatrix (**Tabelle 8**) zusammenstellen. Die direkte Beeinflussung zwischen den Ressourcen wird gemäss deren Einflussstärke klassiert und in die Zeilen dieser Matrix geschrieben.

Tabelle 8

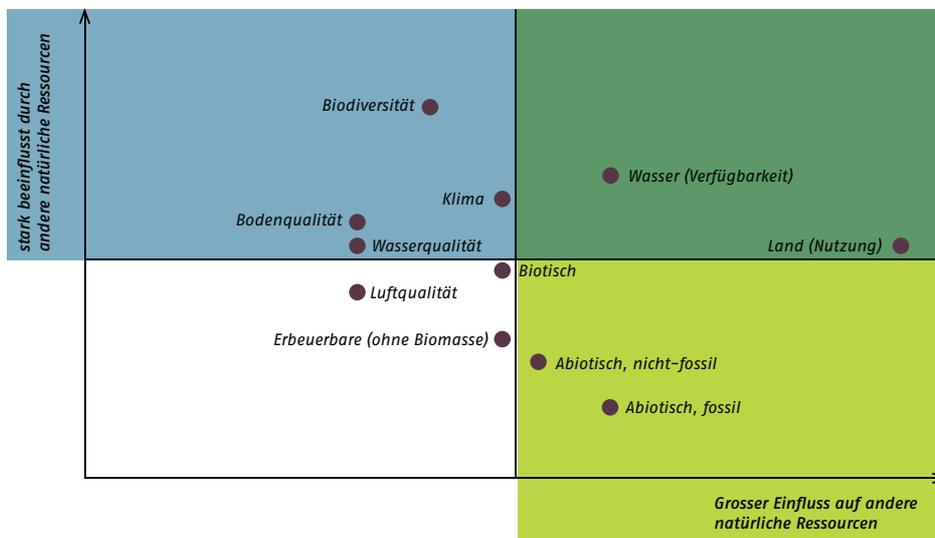
Kreuzwirkungsmatrix für natürliche Ressourcen. Die Matrix gibt an, wie stark sich die Nutzung der Ressourcen in den Zeilen direkt auf die Ressourcen in den Spalten auswirkt. Umgekehrt sieht man in den Spalten, wie stark eine Ressource direkt von der Nutzung anderer Ressourcen beeinflusst wird.

	Abiotisch, nicht-fossil	Abiotisch fossil	Wasser (Verfügbarkeit)	Land (Nutzung)	Biotisch	Erneuerbare (ohne Biotisch)	Biodiversität	Klima	Luftqualität	Wasserqualität	Bodenqualität	Aktivitätssumme
Abiotisch, nicht-fossil	-	0	1	1	0	0	1	0	1	2	1	7
Abiotisch fossil	0	-	1	0	0	0	0	3	3	1	1	9
Wasser (Verfügbarkeit)	0	0	-	2	2	1	1	1	0	1	1	8
Land (Nutzung)	0	0	3	-	3	1	3	2	1	1	3	1
Biotisch	0	0	1	2	-	0	1	2	0	0	0	6
Erneuerbare (ohne Biotisch)	2	0	2	1	0	-	0	0	0	0	0	6
Biodiversität	0	0	0	1	1	0	-	0	0	1	1	4
Klima	0	0	2	0	0	1	1	-	0	1	1	5
Luftqualität	0	0	0	0	0	0	1	1	-	0	0	2
Wasserqualität	0	0	0	0	0	0	2	0	0	-	0	2
Bodenqualität	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	-	2
Passivitätssumme	0	0	8	6	6	3	12	9	5	7	8	-

- 0: kein Einfluss
- 1: kleiner Einfluss
- 2: mittlerer Einfluss
- 3: dominanter Einfluss

Auf dieser Basis lässt sich grafisch auswerten welche Ressourcen andere stark beeinflussen und welche Ressourcen stark durch andere beeinflusst werden (*Figur 38*). Die resultierende Beurteilung ist nicht vollständig objektiv und muss entsprechend interpretiert werden. So darf zum Beispiel ein kleiner Unterschied in der Aktivitätssumme nicht dahingehend interpretiert werden, dass die Nutzung der fossilen abiotischen Rohstoffe (Aktivitätssumme 9) wirklich einen stärkeren Einfluss auf andere Ressourcen hat als die Nutzung der nicht-fossilen abiotischen Rohstoffe (Aktivitätssumme 7). Sicher einen Unterschied gibt es aber zwischen den natürlichen Ressourcen im unteren Bereich zu denen im mittleren oder oberen Bereich. Auch ist ganz eindeutig, dass die einflussstärkste Ressource das Land ist. Ein ebenfalls überdurchschnittlich starker Einfluss (das Koordinatenkreuz liegt beim jeweiligen Mittelwert der Aktivität und der Passivität) geht von Wasser und von den abiotischen Ressourcen aus. Wenn man bei diesen Ressourcen ansetzt kann man also positive Auswirkungen auf die anderen Ressourcen erreichen. Entsprechend sind das Handlungsfelder, in denen wir aktiv werden müssen um die Ressourcenwende zu schaffen. Erneuerbare Energien und biotische Rohstoffe sowie das Klima beeinflussen andere natürliche Ressourcen durchschnittlich stark. Bei diesen Ressourcen lohnt sich eine genauere Betrachtung bevor sie als Handlungsfelder ein- oder ausgeschlossen werden. Biodiversität sowie Boden-, Luft- und Wasserqualität beeinflussen andere Ressourcen nur schwach. Entsprechend hat der Schutz dieser Ressourcen kaum positive Zusatzeffekte auf andere Ressourcen. Trotzdem müssen diese Ressourcen um ihrer selbst Willen spezifisch geschont werden, falls dies nicht schon als Konsequenz der Schonung anderer Ressourcen erfolgt.

Biodiversität, Wasser und Klima sind die Ressourcen, die am stärksten von anderen beeinflusst werden. Hier müssen wir also nicht unbedingt direkt eingreifen sondern können auch über die Nutzung anderer Ressourcen Einfluss nehmen. So wird zum Beispiel eine Veränderung der Landnutzung oder der Nutzung fossiler Brennstoffe einen Effekt auf diese Ressourcen zeigen. Boden-, Wasser- und vor allem Luftqualität sowie biotische Ressourcen und Land werden weniger stark aber immer noch deutlich durch die Nutzung anderer Ressourcen beeinflusst. Kaum beeinflusst werden die erneuerbaren Energien sowie die abiotischen Ressourcen. Um sie zu schonen muss also direkt bei ihnen angesetzt werden.



Figur 38
 Graphische Auswertung der Kreuzwirkungsmatrix zeigt die Aktivität / Passivität der natürlichen Ressourcen. Das Achsenkreuz steht bei jeweils mittlerer Aktivität bzw. Passivität aller natürlicher Ressourcen.

Daraus lassen sich 5 prioritäre Handlungsfelder identifizieren:

Wenn es gelingt, diese Ressourcen nachhaltig zu nutzen, erreichen wir auch bei den übrigen Ressourcen eine nachhaltige Situation. Entsprechend formulieren wir im folgenden Kapitel konkrete Ziele für diese Handlungsfelder.

4.3 Ziele in 5 Handlungsfeldern

4.3.1 Landnutzung

Die vom Bundesrat gesetzte Grenze von 400 m² Siedlungsfläche pro Person ist erreicht. Entsprechend dürfen keine weiteren Flächen mehr zu Siedlungsflächen umgewandelt werden. Zusätzlicher Bedarf an Wohn- und Büro- und Industrieflächen kann über Verdichtung im bestehenden Siedlungsraum gedeckt werden. Auch auf zusätzliche Bauten innerhalb der Landwirtschaftszone wird verzichtet werden müssen.

Bei den übrigen Flächen steht aus Nachhaltigkeitssicht der Erhalt oder die Wiederherstellung in Quantität und Qualität im Vordergrund. Siehe dazu auch die Diskussion im Handlungsfeld Biotische Rohstoffe ([Kapitel 4.3.3](#)).

Die Landnutzung im Ausland, die durch die Produktion von Gütern für den Schweizer Markt – im Wesentlichen handelt es sich um Landwirtschaftsprodukte – verursacht wird, muss bis 2050 auf etwa die Hälfte von heute reduziert werden. Damit wird der pro Kopf Konsum des Durchschnittschweizers auf ein global Verträgliches Niveau reduziert. Importe dürfen insbesondere nicht zu einer weiteren Reduktion globaler Waldflächen führen. Massnahmen, die zu diesen Zielen führen werden im Handlungsfeld Biotische Rohstoffe ([Kapitel 4.3.3](#)) diskutiert.

4.3.2 Wassernutzung

Die Verfügbarkeit von Wasser ist in der Schweiz praktisch kein Problem. Auch die Wasserqualität ist im internationalen Vergleich sehr gut. Trotzdem gibt es Bereiche, in denen aus Sicht einer nachhaltigen Ressourcennutzung ein gewisses Verbesserungspotenzial besteht. So liegen die Einträge von Nitraten und Pestiziden aus der Landwirtschaft in vielen Gewässern in landwirtschaftlichen Gebieten über den Grenzwerten. Damit ist auch der Beitrag der Schweiz zur Überdüngung der Ozeane zu hoch. Teilweise sind auch die Belastungen mit hormonähnlichen Substanzen zu hoch. Ersteres unterstützt die Forderung nach einer nachhaltigeren landwirtschaftlichen Produktion wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben. Letzteres verlangt nach einem möglichst weitgehenden Ersatz von hormonaktiven Chemikalien in Produkten.

In die Schweiz importierte Güter verursachen einen Wasserfussabdruck, der rund fünf mal grösser ist als der Inländische. Knapp 80% dieses Wasserbedarfs wird von importierten biotischen Rohstoffen verursacht. Vor allem Futtermittel, Lebensmittel und Baumwolle stammen dabei oft aus Regionen mit einer ernsten Wasserknappheit. Neben der Reduktion der Importe, die bereits aus Sicht der nachhaltig verfügbaren Menge an biotischen Rohstoffen ins Auge gefasst werden muss (siehe [Kapitel 4.3.3](#)), braucht es in diesem Bereich zusätzlich eine Unterstützung von Wassermanagement und –stewardshipprogrammen (siehe [Kapitel 5.3](#)) in den Herkunftsländern.

4.3.3 Rohstoffgewinnung (Biotisch)

Biotische Rohstoffe können im Rahmen ihrer kontinuierlichen Erneuerung genutzt werden. Die Erneuerung ist im Wesentlichen beschränkt durch die Verfügbarkeit von geeignetem Land und Wasser. Die entsprechenden Begrenzungen werden in den [Kapiteln \(4.3.1 und 4.3.2\)](#) diskutiert. Mengenmässig kann die land- und forstwirtschaftliche Pflanzenproduktion in der Schweiz als nachhaltig betrachtet werden. Bezüglich Forstwirtschaft wäre sogar noch eine verstärkete Nutzung möglich und erwünscht. Eine nachhaltige Produktion von biotischen Rohstoffen beinhaltet aber auch den Erhalt des Bodens und die Berücksichtigung von Boden- und Wasserqualität sowie der Biodiversität und des Klimasystems. Entsprechend sind dabei folgende Punkte zu beachten:

- **Minimaler Einsatz von Düngemittel:**
Der Düngereinsatz führt zu einem (beträchtlichen) Beitrag der Landwirtschaft zum Klimawandel (Lachgasemission) sowie zur Überdüngung von Gewässern. Ein gezielterer Einsatz reduziert diese Probleme ohne die Produktivität zu schmälern.
- **Minimaler Einsatz von Pestiziden und Herbiziden:**
Pestizide verursachen in der Schweiz 50–100 Mio CHF externe Kosten. (Zandonella u. a. 2014) Ein Grossteil sind Gesundheitskosten, von denen wiederum ein grosser Teil vom Verzehr der Lebensmittel kommt. Eine Pestizidabgabe könnte eine Reduktion des Einsatzes in der Schweizer Landwirtschaft bewirken. Dies würde aber die externen Gesundheitskosten von importierten Lebensmitteln, die Pestizidrückstände enthalten, nicht reduzieren. Ohne analoge Lenkungsabgaben auf importierten Lebensmitteln würden heimische Produkte relativ verteuert und darum teilweise von importierten Produkten verdrängt, die unter Umständen grössere

externe Effekte verursachen als die Schweizer Produkte vor einer Abgabe. Eine Pestizidabgabe müsste also mit einem «Border Tax Adjustment» (BTA) kombiniert werden. Ob sich der wohl erhebliche Aufwand für ein solches System rechtfertigen liesse, müsste im Detail analysiert werden.

- Kleinflächige Bewirtschaftungsstrukturen, Ausgleichsflächen und vertikale Strukturen (Hecken, Bäume,...) auf Landwirtschaftsflächen fördern Biodiversität und den Erhalt der Bodenqualität.
- Die Fleischproduktion trägt direkt durch die Methanemission der Tiere und indirekt durch die Produktion von Futtermittel (oft Importiertes Soja) wesentlich zum Treibhauseffekt bei. Es besteht ein Reduktionspotenzial durch Verwendung von anderem Futter, durch geeignete Massnahmen im Stall sowie durch Biogasproduktion aus Hofdünger. Zukünftig ist auch ein Ersatz der Tierhaltung durch «Fleisch aus dem Bioreaktor» denkbar oder Insekten könnten als alternative Proteinquellen einen Teil des Fleischkonsums substituieren. Der vielleicht einfachste Ansatz zur Reduktion der Externalitäten der Fleischproduktion wäre natürlich eine Veränderung der Essgewohnheiten hin zu weniger Fleisch und anderen tierischen Eiweissen.
- Verzicht auf Gentechnisch veränderte Organismen (GVO)
Gentechnisch veränderte Arten können aus Sicht der Biodiversität ähnlich beurteilt werden wie invasive Fremdarten. Entsprechend soll auf deren Verbreitung verzichtet werden, solange aus einer gesamtheitlichen Nachhaltigkeitsperspektive keine signifikanten Vorteile gegenüber herkömmlichen Arten erwiesen sind. Falls GVO in der Landwirtschaft eingesetzt werden sollten, müsste auf jeden Fall die Verantwortung für die damit verbundenen Risiken (zum Beispiel das Risiko einer Kontamination von herkömmlichen Feldern) beim Produzenten der GVO liegen.

Die Importe an biotischen Rohstoffen überschreiten die Mengen, die der Schweiz aus einer Nachhaltigkeitsperspektive zustehen würden. Vor allem die Importe an Landwirtschaftsprodukten verursachen im Ausland einen Landverbrauch, der langfristig um etwa einen Faktor 2 zu hoch liegt. In diesem Bereich können die folgenden 3 Massnahmen zu einer nachhaltigen Nutzung der biotischen Ressourcen führen:

- **Reduktion von Nahrungsmittelabfällen:**
Jede Schweizerin und jeder Schweizer produziert jährlich rund 300 kg Essensabfällen. Eine Reduktion der Abfälle könnte 1:1 die benötigten Importe reduzieren. Mehr dazu in **Kapitel 6.5.**
- **Weniger tierische Produkte essen:**
Ein grosser Teil der importierten Landwirtschaftsprodukte sind Futtermittel für Tiere. Der hohe Fleischkonsum in der Schweiz trägt also wesentlich dazu bei, dass die Importe biotischer Ressourcen über der Nachhaltigkeitsgrenze liegen. Eine Reduktion des Fleisch- und Milchproduktekonsums um 30-50% könnten die Importe an biotischen Rohstoffen auf ein nachhaltiges Niveau senken. Mehr dazu in **Kapitel 6.5.**

- **Produktion in Städte verlagern:**
Menschen, die in Städten leben, können einen Teil ihrer Nahrungsmittel in ihren Wohnungen und auf ihren Balkonen oder Dächern selber produzieren. Mehr zum sogenannten «Urban Farming» in Kapitel 6.5.2.

4.3.4 Energiebereitstellung

Die globale Energiebereitstellung ist heute dominiert von fossilen Energieträgern. Gemäss dem fünften IPCC Report dürfen global aber nur noch 990 Gt CO₂ emittiert werden. Die Globale CO₂ Emission betrug 2010 gut 36 Gt. Würde die globale Emission also konstant auf dem Niveau von 2010 bleiben, so wäre das Budget im Jahre 2037 aufgebraucht. Mit anderen Worten müsste die Verbrennung von fossilen Rohstoffen 2037 komplett gestoppt werden. Wenn die globale Emission von CO₂ – und damit der globale Verbrauch an fossilen Energieträgern – um jährlich 2.3% reduziert würde, wäre das Budget in 2050 aufgebraucht. Je länger wir mit Reduktionen zuwarten, desto schneller werden wir später reduzieren müssen. Gehen wir zum Beispiel davon aus, dass die globale Emission bis 2020 konstant bleibt, wäre danach eine jährliche Reduktion um 3.5% bis 2050 nötig.

Die globalen Emissionen sind aktuell sehr ungleich verteilt: 2010 verursachte zum Beispiel eine durchschnittliche Person in Chad direkte und indirekte Emissionen von 56 kg CO₂-eq und eine durchschnittliche Person in den Arabischen Emiraten 23'368 kg CO₂-eq. Der globale Mittelwert lag bei knapp 4'700 kg CO₂-eq pro Person, während jede Schweizerin und jeder Schweizer im Mittelwert eine direkte und indirekte Emission von 11'632 kg CO₂-eq verursachte. Somit ist klar (und unbestritten), dass nicht alle Nationen zur globalen Reduktion der CO₂-Emissionen werden beitragen können und müssen. Im Gegenteil sollen Länder wie Chad in Zukunft mehr Wohlstand erreichen, was zumindest vorübergehend auch zu höheren CO₂-Emissionen führen dürfte. Das bedeutet andererseits, dass Nationen mit heute hohen (pro Kopf) Emissionen deutlich mehr reduzieren müssen als das globale Mittel.

Verteilen wir das verbleibende globale Budget von 990 Gt CO₂ gleichmässig auf die Weltbevölkerung, resultiert für die Schweiz eine zulässige Emission von 990 Mt CO₂.⁹⁵ Die jährlich durch den Schweizer Konsum verursachte CO₂-Emission stieg in den letzten 10 Jahren um ca. 10% an und betrug 2012 ca. 70 Mt CO₂.⁹⁶ Würde die Emission des Schweizer Konsums konstant auf dem Niveau von 2012 bleiben, wäre unser Budget also in 2026 aufgebraucht. Unter der (konservativen) Annahme, dass die Emission des Schweizer Konsums in den Jahren 2013 und 2014 auf dem Niveau von 2012 geblieben ist, würden wir unser Budget bei einer jährliche Reduktion um 8% ab heute (2015) im Jahre 2050 aufgebraucht haben.

Eine nachhaltige Nutzung von fossilen Rohstoffen in der Schweiz bedeutet also, dass wir den (direkten und indirekten) Verbrauch von jeweils rund 14 Mtoe jährlich um 8% reduzieren und ab 2050 völlig auf die Nutzung dieser Ressource verzichten. Eine solche Reduktion kann erreicht werden, indem die in der swisscleantech Energiestrategie vorgeschlagenen Massnahmen umgesetzt werden. Als positive Nebeneffekte der Reduktion fossiler Brenn- und Treibstoffe

⁹⁵ Die Schweizer Bevölkerung macht heute etwa ein Tausendstel der Weltbevölkerung aus und dieses Verhältnis dürfte bis 2050 etwa konstant bleiben.

⁹⁶ 65% der globalen Treibhausgasemissionen in 2010 stammten von CO₂

wird sich auch die Luftqualität (Feinstaub, Stickoxide, Ozon) verbessern und die Lärmbelastung durch den Strassenverkehr dürfte deutlich reduziert werden.

Diese Reduktion der fossilen Energieträger bedeutet natürlich gleichzeitig ein massiver Ausbau bei den erneuerbaren Energien. Quantitative Ziele für die deren Nutzung ergeben wenig Sinn. Generell sind erneuerbare Energien soweit dies ohne übermässige negative Nebeneffekte möglich ist zu nutzen.

In der Schweiz stehen für die Stromerzeugung vor allem Wasserkraft und Photovoltaik, in geringerem Ausmass auch Wind zur Verfügung. In allen Fällen kann die Energienutzung mit anderen Interessen – zum Beispiel mit dem Schutz von wertvollen Landschaften und der Biodiversität – in Konflikt stehen. Solche Konflikte sind, mit Ausnahme von Kleinwasserkraftwerken, kaum oder gar nicht vorhanden bei kleinen, dezentralen Energiegewinnungsanlagen. Für die Erzeugung von Wärme steht die Nutzung von Erd- oder Umgebungswärme mittels Wärmepumpen, die Nutzung von Sonnenenergie (aktiv und passiv) und das Verbrennen von Holz und Biogas⁹⁷ in Wärmekraftkopplungsanlagen im Fokus. Zentrale Wärmekraftkopplungs-Grossanlage können in Städten sinnvoll sein, wenn dort der Heizwärmebedarf nicht nachhaltig mit Wärmepumpen gedeckt werden kann, die Nachfrage nach Wärme relativ gross ist und diese nicht über grössere Distanzen verteilt werden muss.

Die Nutzung von erneuerbarer Energie, vor allem mittels Photovoltaik, führt zu einer erhöhten Nachfrage nach abiotischen mineralischen Ressourcen. In Kapitel 6.1 zeigen wir aber auf, dass die Umsetzung der Cleantech Energiestrategie mit heute bekannten Technologien aus Sicht der Verfügbarkeit von abiotischen Rohstoffen möglich wäre, selbst wenn die ganze Welt ihre Energieversorgung analog gestalten würde. Entsprechend stellt die Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen kein ernsthaftes Hindernis für die Nutzung erneuerbarer Energien dar.

4.3.5 Rohstoffgewinnung (nicht fossile abiotische)

Nicht fossile abiotische Rohstoffe sind zwar in endlichen Mengen vorhanden, doch die Produkte daraus (z.B. Metalle, Beton,...) können zumindest theoretisch beliebig oft recycelt werden. Die Gewinnung, Herstellung und das Recycling solcher Materialien hat aber immer Materialverluste zur Folge. Auch können diese Prozesse – je nach Material – mit erheblichen negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt verbunden sein. Eine nachhaltige Nutzung dieser Rohstoffe beinhaltet also folgende Aspekte:

- **Vermeiden von Kritikalität:**
Frühzeitiges Erkennen von möglichen Verknappungen von Materialien und Entwickeln von Alternativen schafft eine ideale Ausgangslage für nachhaltiges Wachstum durch Innovation. Zum Beispiel hat sich Renault dafür entschieden, die Motoren ihrer Elektroautos mit induktiven Magneten zu betreiben, da befürchtet wird, dass Neodym aufgrund einer Verknappung zu teuer werden könnte.

⁹⁷ Gemäss der Abgrenzung, die in diesem Bericht gemacht wird, betrachten wir Holz und Biogas als biotische Ressource und nicht als erneuerbare Energieträger. Der Vollständigkeit halber werden sie in diesem Kapitel trotzdem erwähnt.

- **Minimierung der Verluste in Gewinnung, Darstellung und Recycling-prozessen:**
Prinzipiell gilt es, die Verluste vor allem von knappen Materialien durch effiziente Prozessführung und konsequentes Recycling möglichst zu vermeiden. Allerdings muss der Nutzen immer auch den ökologischen Aufwand rechtfertigen. Durch konsequente Anwendung von ecodesign – also einer Optimierung der Produkte aus Sicht aller Lebensphasen von der Rohstoffgewinnung bis zur finalen (Wieder-)Verwertung – werden die Materialverluste und die anderen negativen Auswirkungen gesamthaft minimiert. Mehr dazu in Kapitel 5.5.
- **Vermeiden von Entwaldung durch den Bergbau:**
Bergbau gehört heute global nicht zu den dominanten Treibern für Entwaldung. Trotzdem besteht in einigen wichtigen Gebieten – zum Beispiel in der Demokratischen Republik Kongo – die Gefahr, dass Bergbau zu grossflächigen Abholzungen von Primärwäldern führt. Damit würde ein massiver Verlust von Lebensraum und von gefährdeten Arten einhergehen.
- **Einhalten von internationalen Mindeststandards:**
Viele abiotische Rohstoffe werden in Schwellen- und Entwicklungsländern abgebaut. Trotz Fortschritten in den letzten Jahren ist bei solchen Produkten die Einhaltung von internationalen Mindeststandards (z.B bezüglich Einsatz von Chemikalien, Zerstörung der Biodiversität, sozial verträglichen Arbeitsbedingungen) heute noch keine Selbstverständlichkeit. Hier braucht es verstärkte Anstrengungen sowohl von Seiten der nationalen Regierungen als auch von Seiten der oft international agierenden Rohstoffkonzerne. Für Konzerne mit Sitz in der Schweiz könnte auch das Einhalten weitergehender Standards verlangt werden, die für bestimmte Regionen nach denselben Grundsätzen hergeleitet werden können, nach denen sie auch für Betriebe in der Schweiz hergeleitet würden. Bei der Übernahme von Betrieben im Ausland durch Schweizer Firmen müsste in diesem Fall eine Übergangsfrist angesetzt werden, die eine Sanierung der Anlagen in Betrieb erlauben würde. Damit könnte sichergestellt werden, dass die Sanierung finanzierbar ist und dass es nicht zu Massentlassung aufgrund einer temporären Schliessung des Betriebes käme.

Die grüne Wirtschaft basiert weitgehend auf neuen Technologien. Dafür werden einige als potenziell knapp geltende Materialien benötigt. In **Kapitel 6.1** zeigen wir auf, dass die Umsetzung der Cleantech Energiestrategie mit heute bekannten Technologien und Mitteln aus Sicht der Verfügbarkeit von abiotischen Rohstoffen möglich wäre, selbst wenn die ganze Welt ihre Energieversorgung analog gestalten würde.

5 Rahmenbedingungen und generische Konzepte des Wirtschaftens zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs

Die Ermittlung der globalen und schweizweiten Grenzen im Umgang mit den verschiedenen natürlichen Ressourcen in Kapitel 3 macht deutlich, dass in vielen Bereichen der Politik und der Wirtschaft Handlungsbedarf besteht.

Die wichtigsten generischen Konzepte für die Politik sind aus unserer Sicht die Internalisierung externer Kosten und die konsequente Anwendung des Verursacherprinzips. Dabei sollen marktwirtschaftliche Ansätze wie Besteuerung, Lenkungsabgaben oder Zertifikathandel und die Erhebung von direkten verursachergerechten Gebühren eine wichtige Rolle spielen. Nur in Fällen, wo diese Konzepte versagen oder weniger effizient wirken, ist auf Vorschriften zum Beispiel zu zulässigen Emissionen oder zu minimaler Effizienz zurückzugreifen.

Für den privaten Sektor stehen inner- und ausserbetriebliche Effizienzmassnahmen im Vordergrund. Das kann zum Beispiel im Rahmen von Labelling- oder Stewardship-Programmen sein. Ein wichtiges generisches Konzept im Sinne eines umweltverträglichen Wirtschaftens ist sicher auch das «Ecodesign». Dieser Ansatz strebt eine integrale Optimierung der Umweltverträglichkeit eines Produktes über sämtliche Lebensphasen hinweg an. Dabei nehmen Bereiche wie das Lieferkettenmanagement sowie die Schliessung von Stoffkreisläufen eine zentrale Rolle ein.

Innovation ist – nicht nur im Rahmen von Ecodesign – ein Schlüsselbegriff um eine nachhaltige Wirtschaft zu erreichen. Darum werden wichtige wirtschaftliche und gesellschaftliche Trends vorgestellt, die in Richtung eines nachhaltigeren Umgangs mit natürlichen Ressourcen führen (können) und für die Schweizer Wirtschaft Chancen in Form neuer Geschäftsmodelle schaffen.

5.1 Internalisierung externer Kosten

Gemäss der marktwirtschaftlichen Theorie werden Angebot und Nachfrage durch die Preisdynamik so gesteuert, dass im Marktgleichgewicht eine optimale Ressourcennutzung (Allokation) resultiert. Dies gilt allerdings nur dann, wenn sämtliche Auswirkungen der Produktion bzw. des Konsums eines Produktes in dessen Preis reflektiert sind und wenn keine Subventionen (siehe **Box 14**) den Markt verzerren. In den meisten Fällen führen wirtschaftliche Aktivitäten allerdings zu (positiven oder negativen) Auswirkungen auf unbeteiligte Dritte oder die Allgemeinheit. Die durch diese sogenannten Externalitäten entstehenden Kosten werden als externe Kosten bezeichnet. Da bei externen Kosten keine Markt- oder Preisverbindungen zwischen Verursachern und Betroffenen bestehen, werden diese Effekte nicht über Marktpreise abgegolten und fliessen nicht in die Kostenkalkulation der Verursacher ein. Ein so resultierendes Marktgleichgewicht spiegelt daher nicht die volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen wider. Das Vorliegen externer Kosten bei einer wirtschaftlichen Handlung führt somit zu einer Übernachfrage und so zu einer Übernutzung (Fehlallokation) der Ressourcen. Eine solche Verschwendung aufgrund eines Marktversagens entsteht häufig bei der Nutzung von natürlichen Ressourcen, da diese meist als Allmendgut kostenlos zur Verfügung stehen.⁹⁸ Um die Übernutzung zu verhindern müssen die externen Kosten korrekt abgebildet und dem Verursacher angelastet (internalisiert) werden.⁹⁹ Erst eine konsequente Internalisierung aller anfallenden externen Kosten kann zu einem Marktgleichgewicht führen, welches eine optimale Ressourcennutzung garantiert. Dabei ist es aus Sicht der ökonomischen Theorie von untergeordneter Bedeutung, auf welche Weise eine Internalisierung stattfindet, sofern die Verursacher die Kosten tragen und diese mit den gesamtgesellschaftlichen Schäden übereinstimmen. Verschiedene Ansätze wie Gebühren (z.B. Abfallgebühren), Steuern (eine sogenannte Pigou-Steuer) oder Lenkungsabgaben können, sofern richtig angewendet, zur Internalisierung externer Kosten beitragen.

Bevor die bei der Nutzung von natürlichen Ressourcen anfallenden externen Kosten allerdings internalisiert werden können, müssen diese möglichst genau bestimmt werden. Zur Bestimmung von Umweltschadenskosten wurden verschiedene Ansätze entwickelt. Bei der Bestimmung von Schadenskosten (Schadenskostenansatz) geht es darum, entstehende Umweltschäden in Geldeinheiten auszudrücken. Dabei werden die externen Kosten aufgrund von Marktpreisen bestimmt. In diesem Zusammenhang können beispielsweise Ertragseinbussen (z.B. entgangene Fangmengen durch Überfischung) oder Wertminderungen (z.B. tiefere Grundstückspreise in Anflugschneisen) herangezogen werden.

⁹⁸ Dies gilt vor allem für die nicht materialbezogenen natürlichen Ressourcen (Luft-, Boden- und Wasserqualität, Klima, Biodiversität), aber auch, zumindest teilweise, für Rohmaterialien und Energieträger. Für solche Rohstoffe wird zwar oft über Gebühren für Bohr- oder Schürfrechte ein Preis bezahlt, doch liegt dieser im Allgemeinen so tief, dass er kaum einen Einfluss auf den Preis des gewonnenen Materials (z.B. Rohöl oder Kupfererz) hat.

⁹⁹ Sowohl auf internationaler Ebene als auch in der nationalen Gesetzgebung ist die Anwendung des sogenannten Verursacherprinzips ein weithin anerkanntes Konzept. So lautet beispielsweise der Grundsatz 16 der Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung: «Die nationalen Behörden sollten bestrebt sein, die Internalisierung von Umweltkosten und den Einsatz wirtschaftlicher Instrumente zu fördern, wobei sie [...] den Ansatz verfolgen sollten, dass grundsätzlich der Verursacher die Kosten der Verschmutzung zu tragen hat.» In ähnlicher Weise steht in Artikel 74, Absatz 2 der Schweizerischen Bundesverfassung: «Die Kosten der Vermeidung und Beseitigung [von schädlichen Umwelteinwirkungen] tragen die Verursacher» und der Artikel 2 des Umweltschutzgesetzes lautet «Wer Massnahmen nach diesem Gesetz verursacht, trägt die Kosten dafür».

Box 14
Subventionen und Externe Kosten

Subventionen sind monetäre Leistungen der öffentlichen Hand an (private) Betriebe oder Unternehmen. Sie stellen als Instrument der Wirtschaftspolitik einen Eingriff ins Marktgeschehen dar und sollen dazu dienen, ein gewünschtes Verhalten zu fördern, das aufgrund der Marktmechanismen nicht rational wäre.

Subventionen bieten damit eine Möglichkeit negative Externalitäten zu vermeiden indem «gute» Technologien oder Produkte unterstützt werden.

Oft werden aber auch Produkte oder Technologien subventioniert obwohl sie negative Externalitäten verursachen. Solche Subventionen sind aus Nachhaltigkeitssicht natürlich nicht haltbar. Beispiele dafür sind die direkte oder die indirekte Subvention von nicht erneuerbaren Energien. So wurden 2012 gemäss IEA weltweit fossile Energieträger – vor allem Erdöl – mit 544 Milliarden \$ gefördert. Dies geschah vor allem in ölproduzierenden Ländern des Mittleren Ostens, Nordafrikas und Südamerikas sowie in vielen Staaten in Asien. Bei dieser Summe handelt es sich nur um direkte Vergünstigungen der Energieträger auf dem Markt. Im weiteren Sinn ist es aber auch eine Subventionen, wenn die Allgemeinheit die externen Kosten einer Technologie oder eines Produktes übernimmt. Gemäss IEA, OECD und IWF wird der weltweite Energieverbrauch 2015 mit total 5.3 Billionen Dollar – etwa 6.5% der globalen Wirtschaftsleistung – subventioniert. Auch die Schweiz subventioniert zum Beispiel den Strassenverkehr mit 7.7 Milliarden Franken, den Schienenverkehr mit 730 Millionen Franken¹⁰⁰ und die Kernenergie, gemäss einer Studie der Schweizerischen Energiestiftung (SES 2013), mit 2.6 bis 13 Milliarden Franken pro Jahr¹⁰¹. Das entspricht zwischen 11 und 54 Rappen pro kWh. Zum Vergleich: die Gestehungskosten von Atomstrom liegen gemäss Angaben der Betreiber bei etwa 5 Rappen pro kWh.

Subventionen können auch dazu dienen, einheimische Produzenten gegenüber der internationalen Konkurrenz zu stärken. Solche Subventionen kennt man zum Beispiel für landwirtschaftliche Produkte in den USA oder den Ländern Westeuropas. Die Schweiz subventioniert ihre Landwirtschaftsprodukte mit über 3.5 Milliarden Franken pro Jahr (ohne Ausgaben für die Agrarforschung). Solche Subventionen werden stark kritisiert, weil sie den Wettbewerb zu Ungunsten von Entwicklungsländern verzerren und damit deren wirtschaftliche Entwicklung beeinträchtigen.

Subventionen basieren auf dem Prinzip, die Allgemeinheit dafür bezahlen zu lassen, dass Einzelne einen Vorteil erhalten. Damit missachten sie, im Gegensatz zur Internalisierung externer Kosten, das Verursacherprinzip. Ausserdem werden, wie erwähnt, oft auch nicht effiziente und unnachhaltige Produkte und Technologien subventioniert. Entsprechend gilt es Subventionen mittelfristig durch eine konsequente Internalisierung der Externalitäten zu ersetzen.

¹⁰⁰ Medienmitteilung Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) vom 30.6.2014

¹⁰¹ Je nach Annahmen zu den Kosten für die heute fehlende Haftpflichtversicherung und zu den Kosten für die Stilllegung und Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Gesamtsumme berechnet mit der durchschnittlichen Kernenergieproduktion der Jahre 2011 bis 2013 (24'055 GWh/Jahr).

Diese Kostenermittlungsverfahren werden durch subjektive Zahlungsbereitschaftsanalysen ergänzt. Dabei wird in Meinungsbefragungen bestimmt, wie viel die Konsumenten zu bezahlen bereit sind, damit sie einer Schädigung nicht ausgesetzt sind («willingness to pay»), beziehungsweise wie viel diesen bezahlt werden müsste, damit sie sich einer Schädigung aussetzen bereit wären («willingness to accept»). Bei diesem Ansatz hängt die resultierende Bewertung stark davon ab, ob die Befragten Geld bezahlen oder erhalten sollen. So fallen die genannten Beträge beim «willingness to pay» Ansatz meist deutlich tiefer aus als beim «willingness to accept» Ansatz. Natürlich korrelieren die Angaben auch ungefähr mit dem Wohlstand der Befragten, was vor allem bei globalen Ansätzen ein grosses Problem darstellen kann (siehe **Box 15**). Aus unserer Sicht ist für die Bestimmung der externen Kosten, die nur durch subjektive Bewertung möglich ist, die «willingness to accept» der «willingness to pay» Methode vorzuziehen, da letztere auf dem unsinnigen Konzept basiert, dass der Verursacher eines Schadens dafür bezahlt werden muss, den Schaden zu reduzieren. Der «willingness to accept» Ansatz hingegen basiert auf dem Konzept, dass derjenige, der ein öffentliches Gut nutzen will, dafür bezahlen soll.

Box 15
Internalisierung, Lenkung und globale Gerechtigkeit

Bei der Nutzung natürlicher Ressourcen fallen die Beeinträchtigungen des wirtschaftlichen Handelns häufig in einer globalen Dimension an (z.B. beim Klima). Auch auf der globalen Ebene führt die einheitliche Bepreisung und konsequente Internalisierung aller externen Kosten zu einem Marktgleichgewicht mit optimaler Effizienz der Ressourcennutzung. Kaufkraftunterschiede zwischen einzelnen Nationalstaaten schaffen dabei allerdings stark unterschiedliche Anreize im Umgang mit Ressourcen. Wenn zum Beispiel die Kosten der Klimaauswirkungen global internalisiert würden, würde dies überall zum gleichen (absoluten) Preisanstieg für fossile Treibstoffe führen. Dieser Preisanstieg könnte allerdings in ärmeren Ländern die Nutzung praktisch verunmöglichen, während in reichen Ländern kaum eine Veränderung im Verbrauch zu verzeichnen wäre. Aus Sicht der globalen Gerechtigkeit kann es daher zielführend sein eine über die reine Internalisierung der externen Kosten hinausgehende Lenkung des Ressourcenverbrauchs anzustreben. Ein kaufkraftabhängiger nationaler Multiplikator bei der Bestimmung externer Kosten auf globaler Ebene kann dazu führen, dass in jedem Land analoge Anreize zur Reduktion einer Ressourcennutzung erreicht werden. Dabei kann aber nicht mehr von einer strikten Internalisierung externer Kosten gesprochen werden.

Alternativ zu den Schadenskosten werden externe Kosten auch manchmal durch die Betrachtung von Vermeidungskosten – also den Kosten, die zur Verhinderung von Schädigungen anfallen – abgeschätzt (Vermeidungskostenansatz). Dabei stehen die Ermittlung von Abwehrkosten (z.B. der Einbau von Lärmschutzfenstern), Ausweichkosten (z.B. der Umzug in ein weniger belastetes Gebiet) oder Verhinderungskosten (z.B. der Bau einer Kläranlage) im Mittelpunkt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass Vermeidungskosten logisch nichts mit den Schadenskosten – und damit mit den externen Kosten – zu tun haben. Eine Vermeidungskostenbetrachtung kann aber Sinn machen um zu analysieren, ab welchen externen Kosten ein Schaden vermieden würde.

Die oben genannten verschiedenen Methoden zur Bestimmung der externen Kosten können also sehr unterschiedliche Ergebnisse liefern.¹⁰² Daher

¹⁰² Am Beispiel des Rückganges von Bienenpopulationen durch den exzessiven Einsatz von Insektiziden in der Landwirtschaft lässt sich die Diskrepanz zwischen den Methoden anschaulich darstellen. Die gemäss dem Schadenskostenansatz ermittelten externen Kosten

stellt die exakte Bewertung der externen Kosten, wie sie zu deren verursachergerechten Internalisierung nötig wäre, eine grosse Herausforderung dar. Hinzu kommt noch die Schwierigkeit der kausalen Zuordnung von Schäden. Viele Schäden werden erst durch eine Kombination von Auslösern verursacht und die Höhe von vielen Schäden ist oft nicht linear abhängig von der verursachenden Aktivität.¹⁰³ Da sich in solchen Fällen die Höhe des Schadens pro Aktivität ständig verändert, muss man entscheiden, welchem Verursacher man welchen Schaden anrechnen soll. Ausserdem treten vor allem im Umweltbereich die durch eine Handlung verursachten Schäden häufig sowohl geographisch als auch zeitlich versetzt auf (z.B. Klima), was die Bestimmung und die verursachergerechte Zuordnung von externen Kosten zusätzlich erschwert. Gerade bei Langzeitschäden kann schon alleine die völlig arbiträre Wahl des Diskontierungssatzes das Resultat so stark beeinflussen, dass die Ergebnisse jegliche Objektivität verlieren.

Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, können Lenkungsabgaben oder Zertifikathandelssysteme eingerichtet werden. Im Gegensatz zu einer strengen Internalisierung externer Kosten, bei der sich ein ökonomisch optimales Nutzen / Schaden Verhältnis einstellt, werden bei der Lenkungsabgabe Preise für schädliche Auswirkungen von Aktivitäten politisch festgelegt. Diese Preise orientieren sich zum Beispiel an den Vermeidungskosten der Schäden. So werden die Aktivitäten verteuert und Investitionen zur Vermeidung der Schäden werden ökonomisch attraktiv. Falls nötig können die Preise so lange erhöht werden, bis die Schäden auf das politisch gewünschte Mass reduziert sind. Lenkungsabgaben sollen typischerweise Staatsquotenneutral ausgestaltet, also an die Bevölkerung zurückbezahlt werden. Ansonsten würde für den Staat ein Anreiz geschaffen, den Schaden möglichst hoch zu halten. Auch bei Zertifikathandelssystemen geht es darum, die Schäden auf ein politisch gewünschtes Mass zu bringen. Unter dem Begriff Zertifikat versteht man in dem Kontext ein verbrieftes Recht, natürliche Ressourcen nutzen zu dürfen¹⁰⁴. Ein Beispiel dieser Art von Zertifikaten stellen Emissionszertifikate dar. Dabei wird eine von der Umweltpolitik definierte Obergrenze für Emissionen festgelegt. Die bis zur Erreichung des Grenzwertes noch emittierbaren Mengen eines Schadstoffes werden dann in Form von Zertifikaten versteigert oder verteilt. Inhaber dieser Zertifikate dürfen die so definierten Mengen des Schadstoffes ausstossen, wobei nicht benötigte Zertifikate verkauft werden können. Wenn die Nachfrage nach solchen Zertifikaten grösser ist als das Angebot, bildet sich ein entsprechender Preis. Die für ein Emissionsrecht anfallenden Kosten schaffen so einen Anreiz für Investitionen in Emissionsvermeidungsmassnahmen seitens der Unternehmen. In der Theorie führt ein solches kostenminimierendes Verhalten der Emittenten zur Einhaltung der politisch gewünschten Emissionsobergrenze unter minimalen volkswirtschaftlichen Kosten. Allerdings ist darauf zu achten, dass der Markt dazu nicht verzerrt werden darf (z.B. durch zu grosszügige Zuteilung von Zertifikaten an Firmen) und dass relativ hohe Transaktionskosten anfallen können.

Aufgrund der methodischen Herausforderungen bei der Bestimmung der Externen Kosten einer Aktivität, sowie aufgrund des administrativen Aufwands

belaufen sich zum Beispiel auf die durch eine mangelnde Bestäubungsleistung verursachten Ernteauffälle. Aus Sicht des Vermeidungskostenansatzes sind die durch verminderten Insektizidgebrauch bedingten Ertragsrückgänge ausschlaggebend. Der Betrag, den die Konsumenten für den Erhalt der Bienenpopulationen auszugeben bereit sind, liefert einen dritten Wert für die externen Kosten. Wie oben erwähnt dürften die für eine Welt ohne Bienen verlangten Entschädigungszahlungen nochmals ein anderes Ergebnis liefern.

¹⁰³ Zum Beispiel kann ein See den Eintrag einer gewissen Menge Nitrat verkraften ohne Schaden zu nehmen. Wird aber eine für diesen See kritische Menge überschritten, entsteht der erste Schaden, der mit zunehmendem Nitratintrag immer schneller wächst bis der See praktisch tot ist. Danach wird auch ein weiterer Eintrag von Schadstoffen keinen zusätzlichen Schaden mehr verursachen.

¹⁰⁴ Ein anderer gebrauch des Wortes «Zertifikat», der im Sinne eines Herkunftsnachweises, ist in 5.4 näher beleuchtet.

und der manchmal schwierigen politischen Durchsetzbarkeit von Lenkungsabgaben und Zertifikathandelssystemen (da bisher gratis verfügbare Ressourcennutzungen plötzlich Kosten verursachen), wird bislang nur ein verhältnismässig geringer Teil der anfallenden externen Kosten verursachergerecht internalisiert. Das bedeutet, dass die Märkte Ressourcen in den meisten Bereichen falsch zuweisen und entsprechend die Nutzung der Ressourcen (natürliche und andere) oft weit weg vom gesellschaftlichen Optimum liegen.

5.2 Mindestanforderungen, Normen und Verbote

In einigen Fällen kann es ökonomisch sinnvoll sein Vorschriften zu Mindestanforderungen oder gar Verbote zu erlassen, statt den Markt über die Internalisierung von Kosten zu beeinflussen. Die ist sicher dann der Fall, wenn spezifische Technologien oder Anwendungen substituierbar sind und nicht tolerierbare Nebeneffekte haben. Beispiele dafür sind das Verbot von Asbest in Baumaterialien oder von ozonschichtabbauenden FCKW. Vorschriften können auch dann sinnvoller oder als Ergänzung notwendig sein als monetäre Instrumente, wenn keine rationale Ressourcenoptimierung erfolgt – zum Beispiel beim Treibstoffverbrauch für die private Mobilität – oder wenn ein Nutzer-Investor-Dilemma vorliegt. Ein typisches Beispiel für letzteres sind Wärmedämmstandards, die selbst bei hohen Energiepreisen nötig wären, da der Hausbesitzer die Kosten für die Dämmung bezahlt während der Mieter den Nutzen, also die tieferen Heizkosten, davon hat.

Anforderungen können über direkte Produkthanforderungen hinausgehen und zum Beispiel die Produzenten eines Gutes für dessen fachgerechte Verwertung am Lebensende verantwortlich machen.

Box 16

Erweiterte Produzentenverantwortung (EPV)

Im Kontext der Kreislaufwirtschaft spielt der Ansatz der Erweiterten Produzentenverantwortung (EPV) eine zentrale Rolle. Zweck dieses Ansatzes ist es, die Verantwortung eines Produzenten über die eigentliche Nutzung eines Produktes im Sinne des Verursacherprinzips zu erweitern. Da gemäss EPV die Verwertung eines Produktes ebenfalls in das Verantwortungsfeld eines Produzenten fällt, wird die Sensibilisieren der Produzenten für das Recycling erhöht und ein ganzheitliches Denken gefördert. Unter dem Stichwort Design-for-Recycling erhalten Produzenten einen ökonomischen Anreiz, Abfälle zu vermeiden und ihre Produkte so zu konzipieren, dass die verschiedenen Materialien und Materialkombinationen an deren Lebensende vom Recycler stofflich verwertet werden können. Daraus ergibt sich eine weitgehende Kooperation zwischen Produzenten und der Recyclingbranche. (Swiss Recycling, Leistungsbericht 2015¹⁰⁵)

In der EU ist die EPV ein bewährter Ansatz, der bereits in mehreren EU-Direktiven wie die End of Life Vehicle (ELV) Directive, die Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE) Directive oder die Batteries Directive verankert ist.

Vorschriften und Verbote sind generell vorsichtig einzusetzen. Ihre effiziente Ausgestaltung setzt voraus, dass der Regulator stets einen umfassenden Kenntnisstand der Technologie am Markt hat und diesen fortlaufend in der Regulierung abbildet. Eine technologieneutrale Ausgestaltung ist damit kaum möglich. Zudem können starre Normen innovationshemmend wirken: Einmal erreicht, gibt es wenig Anreize zur Weiterentwicklung. In jedem Fall ist darauf zu achten, dass

¹⁰⁵ www.swissrecycling.ch/wissen/leistungsbericht/2015/

wenn möglich nicht eine Technologie an sich vorgeschrieben oder beschränkt wird sondern die unerwünschten Auswirkungen davon. Es soll also nicht eine selektive katalytische Reduktion (SCR) zur Entstickung von PKW-Abgasen vorgeschrieben werden, sondern die maximal zulässigen NOx Emissionen.

5.3 Management und Stewardship

Klassisches Management natürlicher Ressourcen beschränkt sich oft auf die Betrachtung von wichtigen Ressourcen und deren Gebrauch innerhalb der Abläufe einer Unternehmung. Dabei steht die Optimierung interner Prozesse in Bezug auf die möglichst effiziente Nutzung einer Ressource durch die Unternehmung im Mittelpunkt der Bestrebungen. Allerdings setzt sich immer mehr die Erkenntnis durch, dass reine Effizienzbemühungen in einer von Unsicherheit und Wandel geprägten Welt nicht ausreichen, um den durch die Abhängigkeit von einzelnen Ressourcen bedingten Unternehmensrisiken entgegenzutreten. Aus diesem Grund gewinnt der über die Grenzen einer einzelnen Unternehmung hinausgehende Ansatz des Stewardship zunehmend an Bedeutung. Im Kern beinhaltet der Stewardship-Gedanke die aktive Gestaltung und das Management der vernetzten sozioökologischen Systeme, die Ressourcen und Ökosystemdienstleistungen zur Verfügung stellen, mit dem Ziel, deren Verfügbarkeit langfristig zu erhalten und so das menschliche Wohlergehen zu fördern (Chapin u. a. 2011, 2010). Dabei kommt einer Zusammenarbeit aller involvierter Stakeholder (Unternehmen, Gemeinwesen, Behörden, Interessensvertreter, NGO's etc.) eine zentrale Rolle zu. So sollen in einem kooperativen Prozess Lösungen zu einem Ressourcenproblem gefunden werden, die gleichermaßen ökologisch, wirtschaftlich und kulturell nachhaltig sind.

Im Bereich des Wassermanagements wurde beispielsweise erkannt, dass es sich beim Wasser um eine geteilte Ressource handelt und die vielseitigen Herausforderungen nur durch gemeinschaftlich definierte Ziele unter Einbezug aller Nutzer eines Einzugsgebiets angegangen werden können. Gutes Wasser-Stewardship bedingt in diesem Zusammenhang neben genauen Kenntnissen über Art und Ausmass des eigenen Wasserverbrauchs auch ein Verständnis für die Verhältnisse im gesamten Einzugsgebiet sowie die gemeinsamen Problemstellungen verschiedener Stakeholder in der Wasserbewirtschaftung, im Wasserhaushalt und in der Wasserqualität. Diese Kenntnisse ermöglichen es einem Akteur sinnvolle individuelle und kollektive Massnahmen zu ergreifen, die letztlich sozial angemessen, ökologisch nachhaltig und wirtschaftlich gewinnbringend sind und dazu dienen die entsprechenden individuellen Wasserrisiken zu mindern (Alliance for Water Stewardship 2014).

Praxisbeispiel 1

Water-Stewardship bei Nestlé

In einem über die Grenzen der eigenen Unternehmung hinausgehenden Ansatz hat Nestlé Waters 1992 in Frankreich die Landwirtschaftsberatungsfirma Agrivair im Ort Vittel gegründet. Diese Firma fördert eine umweltverträgliche Landwirtschaft in Zusammenarbeit mit den ortsansässigen Bauern und anderen Landnutzern durch Unterstützung finanzieller und technologischer Art sowie durch Forschung. So konnte der Einsatz von künstlichen Düngemitteln und Pestiziden stark reduziert werden. Dies ermöglichte neben der Erhöhung und Sicherung der Qualität der Quellen, wo Nestlé das Wasser für zwei ihrer Mineralwassermarken bezieht, auch die Schaffung regionaler Arbeitsplätze und ein verbesserter Biodiversitätsschutz im gesamten Einzugsgebiet.

Praxisbeispiel 2

Stewardship im Tropenwald durch Indena

Die Rinde von *Prunus africana*, einem im tropischen Afrika und Madagaskar vorkommenden Baum, wird traditionellerweise von der lokalen Bevölkerung geerntet. Die Rinde findet einerseits in der lokalen traditionellen Heilkunde Anwendung, wird aber auch nach Europa exportiert, wo die Wirkstoffe extrahiert und zur Herstellung von Pharmazeutika zur Behandlung von Prostatabeschwerden verwendet werden. Jahre einer nicht nachhaltigen Erntepraxis haben dazu geführt, dass diese Spezies in die IUCN Red List aufgenommen wurde und im Jahr 1995 der Handel mit ihrer Rinde unter Anhang II des CITES Übereinkommen über den internationalen Handel mit gefährdeten Arten beschränkt wurde. Mangelnde Überwachung der Einschränkungen führte 2007 zu einem Importverbot seitens der EU. In einer Zusammenarbeit der europäischen Pharmaunternehmung Indenea, der International Tropical Timber Organization (ITTO), CITES, Regierungsorganisationen sowie der lokalen Bevölkerung konnte das Management von *Prunus africana* Bäumen in Kamerun und der Demokratischen Republik Kongo soweit verbessert werden, dass durch Sicherstellung einer nachhaltigen Produktion der Rinde eine Lockerung des Handelsverbots erreicht wurde. Indena stellte Finanzmittel zur Verfügung, die es ITTO erlaubten die Ausarbeitung von Inventaren, Managementplänen und Überwachungssystemen zu unterstützen. So wird beispielsweise streng darauf geachtet, dass nur ein definierter Anteil der Rinde eines Baumes geerntet wird und dass diesem genügend Zeit zur Regeneration gegeben wird, bevor eine nächste Ernte erfolgt. Dabei kommt den lokalen Erntearbeitern eine wichtige Rolle als Verwalter und Bewahrer zu. Diese ernten zwar weniger Rinde als vorher, bekommen aber einen höheren Preis pro Kilogramm. Im Weiteren wird durch eine strenge Nachverfolgung und stetigen Abgleich mit definierten Kontingenten seitens der Behörden der Handel mit der Rinde überwacht und die Dokumentation der Herkunft sichergestellt. Durch diese Massnahmen erhält die lokale Bevölkerung eine Einkommensmöglichkeit (mehr als die Hälfte des Geldes von der Ernte geht in Gemeinde-Entwicklungsprojekte), kann Indenea ein der Unternehmung zugeteiltes Kontingent an Rinde importieren, um die Wirkstoffe zu extrahieren und ihr Medikament herzustellen, von dessen Zugang zuletzt auch die Patienten profitieren. Übergeordnet wird durch diese Massnahmen der Bestand der *Prunus africana* geschützt und so ein Beitrag zum Schutz der Biodiversität geleistet. All diese Resultate wären bei einer auf die unternehmensinternen Vorgänge beschränkten Sichtweise nicht zu erreichen gewesen.

5.4 Standards, Labels und Zertifikate

Standards, Labels und Zertifikate (hier im Sinne von Herkunftsnachweisen und nicht wie oben im Sinne von verbreiteten Emissionsrechten) können wichtige Hilfsmittel darstellen um einen schonenden Umgang mit natürlichen Ressourcen zu gewährleisten. Diese Tools basieren aber im Bereich nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen auf Freiwilligkeit und werden entsprechend von vielen Unternehmen nicht genutzt. Auf der Seite der Produzenten von Gütern und Dienstleistungen spielen Standards eine wichtige Rolle. Im Allgemeinen ist es der Zweck eines Standards durch die Bereitstellung von Regeln, Anleitungen und Definitionen dafür zu sorgen, dass Materialien, Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen den Anforderungen entsprechen. Unter Umweltgesichtspunkten kommen in diesem Zusammenhang den Standards der ISO 14'000 Familie die grösste Bedeutung zu. Diese Normenfamilie stellt Werkzeuge für ein systematisches Umweltmanagement bereit. Innerhalb dieser Gruppe von Standards können zwei Hauptbereiche unterschieden werden. Auf der einen Seite betreffen die Standards organisationsbezogene Aspekte, welche sich mit Umweltmanagementsystemen (ISO 14'001 und ISO 14'004), der Bewertung von Umweltleistungen (ISO 14'031 und ISO/TR 14'032) sowie dem Umwelt-Auditing (ISO 14'015) befassen. Auf der anderen Seite sind Standards zu nennen, die sich auf Produkte bzw. Dienstleistungen beziehen. Diese behandeln die Bestimmung der Umweltauswirkungen von Produkten und Dienstleistungen über deren gesamten Lebenszyklus (z.B. Ökobilanzierung, ISO 14'040 – 14'043 und ISO/TR 14'047–14'049; Umweltlabelling, ISO 14'020–14'021; Umweltaspekte von Produktstandards, ISO 14'062; Bilanzierung und Beglaubigung von Treibhausgasen, ISO 14'064). Die Verwendung von diesen und anderen Standards und Normen ermöglicht es einer Unternehmung Verbesserungspotenziale in ihrer Umweltleistung systematisch aufzuspüren und anzugehen. Gerade das Erkennen von Reduktionspotenzialen im Energie- und Materialverbrauch sowie Verminderungspotenziale von Umweltverschmutzung und Abfallmenge stellen Ansatzpunkte dar, die sowohl zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise als auch zu Kostenvorteilen führen können. Im Weiteren sind reduzierte Umweltmanagementkosten (im Vergleich zur Konzeption und Einführung eines eigenen nicht standardisierten Umweltmanagementsystems), potenziell weniger regulatorische Verstöße und damit verbundene Strafen (da eine Unternehmung die eigenen Umweltleistungen besser kennt), ein besseres Management von Umweltrisiken, eine bessere Befriedigung von Kundenbedürfnissen (nach nachhaltig produzierten Gütern und Dienstleistungen) sowie ein verbessertes öffentliches Image als Vorteile der Verwendung von Standards zu nennen.

Während die Anwendung von Standards und Normen eine Verbesserung der Umweltleistung seitens der Produzenten ermöglicht, helfen Labels dabei durch informierte Kaufentscheide Verbesserungen von der Abnehmerseite her zu bewirken. In den letzten Jahren ist eine Vielzahl von häufig freiwilligen Labeling-Programmen entstanden, die von Regierungsorganen, NGO's oder der Industrie entwickelt wurden und diverse soziale und umweltbezogene Aspekte in der Landwirtschaft, der Fischerei, der Forstwirtschaft, dem Tourismus, dem Bergbau sowie in weiteren Bereichen ansprechen. Bei Produkteigenschaften wie deren Umweltauswirkungen oder die Arbeitsbedingungen entlang der Wertschöpfungskette handelt es sich um sogenannte Vertrauensmerkmale, die im Moment der Kaufentscheidung nicht sichtbar sind und auch nicht ohne weiteres in Erfahrung gebracht werden können. Sinn und Zweck eines Labels ist es, solche Vertrauensmerkmale dem Käufer sichtbar zu machen, sodass eine informierte Kaufentscheidung im Sinne der Präferenzen des Käufers erfolgen kann. Entsprechende informierte Konsumententscheidungen können ein Marktsignal geben, welches für die Produzenten Anreize schafft, sich unter Umweltgesichtspunkten zu verbessern. Ausserdem können sich Hersteller umweltschonender Produkte über Labels am Markt differenzieren und so Nischenmärkte schaffen, die das Erzielen von höheren Preisen ermöglichen. Generell gilt es zu unterscheiden ob ein Label eine Selbstdeklaration des Herstellers (z.B. «biologisch abbaubar», «aus Recycling» etc.) darstellt, oder ob es sich um ein durch eine Drittinstitution erteiltes Label handelt (z.B. Bio, FairTrade). Ebenfalls gibt es sowohl Labels, die eine spezifische Fragestellung (z.B. MSC für nachhaltige Fischerei, FSC für nachhaltige

Forstwirtschaft) angehen, als auch solche, die zusammenfassend mehrere Aspekte behandeln (z.B. Der Blaue Engel für umweltfreundliche Produkte). Zwingende Voraussetzung für den Erfolg von Labels ist dabei, dass diese transparent und aussagekräftig sind (siehe *Box 17*). Während im Allgemeinen Produkte mit Label unter Umweltaspekten besser sind als solche ohne Label, können sich unterschiedliche Labels sehr stark bezüglich Anforderungen, Transparenz, Zertifizierung und Kontrolle unterscheiden. Ein Beispiel für unterschiedliche Anforderungskriterien von sachlich ähnlichen Labels wird durch den Vergleich des EG-Bio-Siegels sowie der Bio-Knospe (Bio-Suisse) und des Demeter Labels, die sich alle drei mit der biologischen Landwirtschaft befassen, ersichtlich. Obwohl die Zielsetzung aller drei Labels die Kennzeichnung von Produkten aus der kontrolliert biologischen Landwirtschaft ist, sind die drei Labels keinesfalls identisch. Das EG-Bio Siegel stützt sich unter anderem auf die EU-Verordnung zur biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle und bildet so zusammen mit den Anforderungen der Schweizerischen Bio-Verordnung sozusagen die Basis für alle drei Labels. Über das EG-Bio-Siegel hinausgehend stellt das Bio-Knospe Label weitere Anforderungen, die für die Erlangung einer entsprechenden Anerkennung erfüllt werden müssen. Diese zusätzlichen Kriterien betreffen unter anderem Aspekte der Gesamtbetrieblichkeit, der artgerechten Nutztierhaltung und -fütterung, der Bodenpflege sowie der Verarbeitung von Produkten. Sämtliche Anforderungen der Bio-Knospe gelten auch für die landwirtschaftliche Produktion unter den Demeter-Richtlinien. Darüber hinausgehend stellt das Demeter-Label allerdings Forderungen, die eine Produktion gemäss den strengen Anforderungen der biologisch-dynamischen Landwirtschaft sicherstellen. Dabei stehen ein geschlossener Hofkreislauf, der Erhalt der Artenvielfalt (auch auf dem einzelnen Hof) und harmonisch sozialen Beziehungen, die wesensgemässe Haltung und Fütterung von Tieren, der Humusaufbau (unter anderem durch die Nutzung spezieller biologisch-dynamischer Präparate), die Einhaltung irdischer und kosmischer Rhythmen sowie die besonders sorgfältige Verarbeitung von Produkten im Mittelpunkt. Solche Unterschiede von Labels eines thematisch ähnlichen Bereiches verkomplizieren auf der einen Seite das Fällen von informierten Kaufentscheidungen seitens der Käufer («Label-Dschungel»). Andererseits ermöglichen sie aber auch ein differenziertes Konsumerhalten, da für verschiedene Käufer mit unterschiedlichen Ansprüchen an ein Produkt ein zugeschnittenes Label vorhanden ist. Ausserdem führen zum Beispiel alle drei der oben beschriebenen Labels zu einer (wenn auch in unterschiedlichem Ausmass) weniger intensiven Landwirtschaft, einer Reduktion vom Düngerverbrauch oder einer Verbesserung der Biodiversität.

Ein Beispiel für die Nutzung von Zertifikaten im Sinne von Herkunftsnachweisen stellen Stromzertifikate dar. Der Strom aus den verschiedenen Produktionsquellen wird ins Stromnetz eingespeist. Für einen Kunden ist es unmöglich festzustellen, ob es sich bei der physisch bezogenen Elektrizität um Strom aus erneuerbaren Quellen, aus Verbrennungskraftwerken oder aus einem Atomkraftwerk handelt. Um Transparenz bezüglich des gelieferten Strommixes zu schaffen, sind Stromversorger verpflichtet, die Stromherkunft basierend auf der Produktion eigener und vertraglicher Kraftwerke zu deklarieren. Zudem wurden verschiedene Stromzertifikate eingeführt, um dem Kundenbedürfnis zu entsprechen, Strom aus erneuerbaren Quellen zu beziehen. Neben den europäischen Herkunftsnachweisen, die auf der EU-Richtlinie 2009/28/EC basieren, existieren auch zahlreiche nationale und regionale Zertifikatstandards und Stromlabels. Der aus erneuerbaren Energieträgern produzierte Strom wird dabei aufgespalten in den physikalischen Strom, der ins Netz eingespeist wird, und ein handelbares Herkunftszertifikat. Die Energieversorger können nun neben physikalischem Strom an der Strombörse auch ein Herkunftszertifikat erwerben und so ihren Kunden Strom aus einer bestimmten Quelle anbieten. In der Theorie könnten mit Herkunftsnachweisen nachfragebasierte Anreize für die Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen geschaffen werden sowie Investitionen in nachhaltige Kraftwerke gefördert werden. Für diese Herkunftsnachweise besteht jedoch heute in den meisten Ländern der EU keine Nachfrage, da der Ausbau und die Unterstützung der erneuerbaren Energien durch die Erneuerbare-Energie-Richtlinie der EU geregelt sind und alle Länder eigenständige Fördersysteme aufweisen.

Die gehandelten Herkunftsnachweise stammen daher zum einen aus erneuerbaren Anlagen, welche nicht mehr unter die Fördersysteme fallen, z.B. aus abgeschriebenen Wasserkraftwerken, zum anderen aus Anlagen, welche in den nationalen Systemen anderweitig gefördert werden. Es besteht also ein Überangebot an entsprechenden Zertifikaten. Daher sind die Preise für die gehandelten Herkunftsnachweise sehr tief, weshalb ihre Wirkung zur Förderung der Stromproduktion aus nachhaltigen Quellen bezweifelt werden muss.

Box 17

Transparenz im Label-Dschungel: Labelinfo von Pusch

Zur Unterstützung der Konsumenten beim Kauf nachhaltiger Produkte betreibt die Stiftung Praktischer Umweltschutz Schweiz seit 2001 die unabhängige Online-Informationsplattform Labelinfo.ch. Der Dienst liefert Informationen zu derzeit 145 Labels, bewertet diese und bietet ausserdem die Möglichkeit Labels miteinander zu vergleichen. Im Weiteren werden Abend- und Weiterbildungskurse im Bereich Konsum und Labels angeboten. www.pusch.ch / www.labelinfo.ch

Praxisbeispiel 3

Deklaration von Flugtransporten bei Coop

Coop führte bereits 2007 als erste und bisher einzige Detailhändlerin in der Schweiz die Deklaration von Flugtransporten ein. Produkte, die auf dem Luftweg in die Schweiz importiert wurden, werden mit dem Label «By Air» gekennzeichnet (siehe Tat 121 <http://www.taten-statt-worte.ch/121>). Diese Transparenz ermöglicht es den Kunden sich für oder gegen eingeflogene Produkte zu entscheiden. Wenn immer möglich verzichtet Coop vollständig auf Flugtransporte. Gemäss interner Richtlinie sind diese nur dann zulässig, wenn es aus Qualitäts- oder Zeitgründen keine Alternativen gibt. Ausserdem kompensiert Coop die durch den Flugtransport (sowie Geschäftsreisen und coop@home Transporte) verursachten CO₂-Emissionen mittels hochwertigen Kompensationsprojekten (siehe Tat 68 <http://www.taten-statt-worte.ch/68>, Beispiele von Kompensationsprojekten: Tat 84 <http://www.taten-statt-worte.ch/84> und Tat 113 <http://www.taten-statt-worte.ch/113>).

5.5 Ecodesign für höhere Ressourceneffizienz

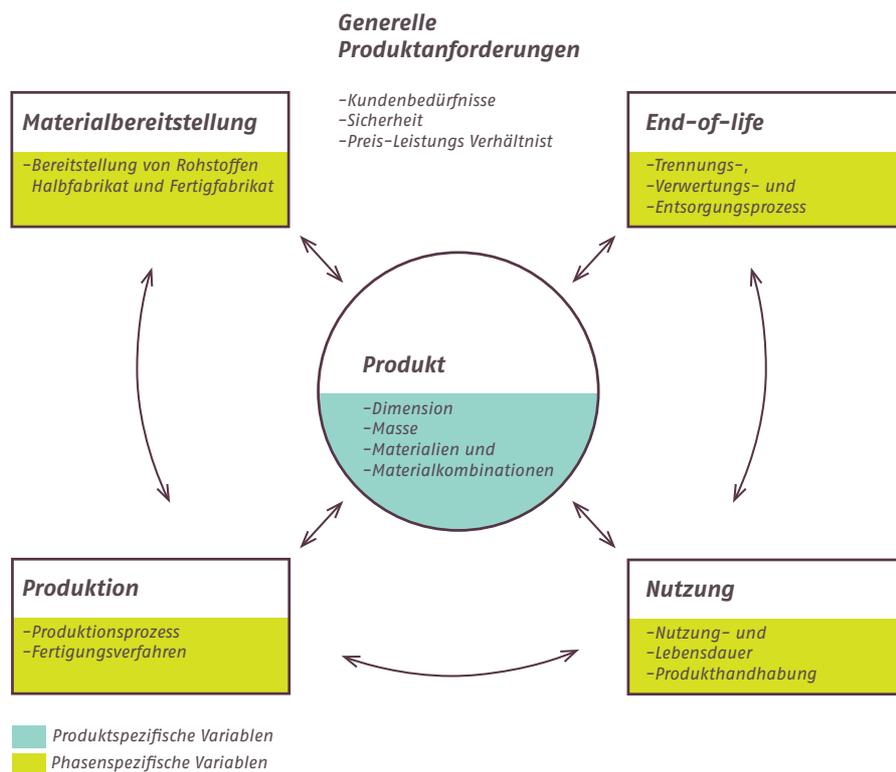
Ecodesign setzt dort an, wo das grösste Potenzial für ein ressourcenschonendes Produkt liegt: im Produktdesign. Gemäss der EU Richtlinie von 2009 steht Ecodesign für «die Berücksichtigung von Umwelterfordernissen bei der Produktgestaltung mit dem Ziel, die Umweltverträglichkeit des Produkts während seines gesamten Lebenszyklus zu verbessern». Es handelt sich dabei um eine Gesamtbetrachtung sämtlicher Umweltauswirkungen eines Produkts, welche in der Materialbereitstellung (Lieferkette), Entwicklung, Produktion, Nutzung und am Lebensende (End-of-life) anfallen. Das Konzept lehnt sich also stark an die Methode der Ökobilanzierung (LCA) an. Ziel ist dabei nicht die Minimierung der Umweltverträglichkeit einzelner Lebensphasen, sondern die integrale Optimierung über den ganzen Lebenszyklus hinweg. Dabei kann auf unterschiedliche Wirkungen fokussiert werden, zum Beispiel auf minimalen Primärenergiebedarf, minimale Auswirkungen auf das globale Klima oder minimale negative Gesundheitsfolgen. Bei der Konzeptualisierung eines Produktes müssen folglich nicht nur die Umweltauswirkungen in den verschiedenen Lebensphasen beachtet werden, sondern auch deren jeweilige Wirkungszusammenhänge.

Das Konzept des Ecodesign ist in einen übergeordneten Kontext einzubetten, denn jeder Produzent muss, ungeachtet der Umweltauswirkungen, bestimmte Produkthanforderungen erfüllen. So müssen Produkte den Kundenerwartungen gerecht werden und auf die Befriedigung deren Bedürfnisse ausgerichtet sein. Sie müssen ein bestimmtes Preis und Leistungsverhältnis aufweisen,

um eine ausreichende Nachfrage auszulösen. Zudem muss jedes zugelassene Produkt vorgegebene Sicherheits- oder Gesundheitsanforderungen in Sinne des Konsumentenschutzes erfüllen. Ein Produkt, das zwar tiefe Umweltauswirkungen aufweist, aber Kundenbedürfnisse oder Sicherheitsanforderungen nicht zu befriedigen vermag oder qualitativ minderwertig oder überteuert ist, wird keinen Abnehmer finden und ist damit marktunfähig. Die erwähnten Produktanforderungen geben gewissermassen die Grenzen vor, innerhalb derer ein Designer die Optimierungen des Produktes im Sinne eines Ecodesigns vornehmen kann.

Auf welche Weise und inwiefern ein Produkt gemäss Ecodesign optimiert werden kann, hängt stark vom jeweiligen Produkt ab. Ein standardisiertes Rezept gibt es demzufolge nicht. Ecodesign ist daher vielmehr als Prozess zu verstehen. Die Ingenieurin oder der Planer (nachfolgend Designer genannt) eines Produktes kommen nicht umhin, vorerst sämtliche Lebensphasen eines Produktes zu erfassen und die potenziellen ökologischen Schwachstellen zu identifizieren. Auf dieser Grundlage können sie die relevanten produkt- und phasenspezifischen Variablen, unter Berücksichtigung derer Wirkungszusammenhänge, optimieren und in den Designprozess einfließen lassen. Aber genau dieser erhöhte Anspruch, den Ecodesign ans Designteam stellt, macht das Konzept doppelt attraktiv für die Schweizer Wirtschaft. Dank dem hohen Ausbildungsniveau und den qualifizierten Fachkräften stellt die Verlagerung der Wertschöpfung von einfachen Produktionsschritten zu anspruchsvollen und komplexen Aufgaben eine Chance dar.

Um ein besseres Verständnis von Ecodesign zu schaffen, wird das Konzept im Weiteren in seine Einzelteile zerlegt. Einerseits werden dazu verschiedene Variablen vorgestellt, die sich auf das Produkt selbst (Produktmerkmale) und auf die einzelnen Produktlebensphasen beziehen (siehe Figur 39). Durch die Bestimmung dieser Variablen kann der Designer direkten Einfluss auf die ökologischen Schwachstellen eines Produktes nehmen. Andererseits wird auch auf wichtige Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Variablen hingewiesen. Eine Variable kann andere Variablen positiv oder negativ beeinflussen und damit einen Trade-off hinsichtlich der gesamten Umweltauswirkung des Produktes auslösen. Um dem Designer ein Gefühl dieser Wirkungszusammenhänge zu vermitteln, wird ein Katalog mit wichtigen Fragestellungen vorgestellt.



Figur 39
Der Ecodesign-Zyklus

5.5.1 Produktspezifische Variablen

Bei der Bestimmung der Merkmale und Eigenschaften eines Produktes kann ein Designer bereits grossen Einfluss auf die Umweltauswirkung nehmen. Dieser Schritt ist für das Ecodesign somit zentral und setzt ein tiefgreifendes Wissen über die Umweltauswirkungen bestimmter Produkteigenschaften auf alle verschiedenen Lebensphasen voraus.

Materialien und Materialkombinationen: Die Wahl der Materialien und Materialkombinationen wirkt sich auf den Bedarf von natürlichen Ressourcen in allen Produktlebensphasen aus und ist damit ein bedeutender Hebel. So entscheidet die Art der Materialien, über die Umweltauswirkungen der Rohstoffbereitstellung. Herkunft, Komplexität und Energieaufwand der vorgelagerten Lieferketten sowie auch der Energiebedarf des Abbaus und der Verarbeitung variieren zwischen den verschiedenen Materialien, die dem Designer zur Verfügung stehen. Gleichzeitig sind auch die Auswirkungen der Materialien auf die Produktionsprozesse und Fertigungsverfahren zu berücksichtigen. Die Wahl von Materialien bestimmt wichtige Produkteigenschaften wie zum Beispiel das Gewicht und sie kann den Energiebedarf der Produktionsprozesse beeinflussen und gewisse Fertigungsverfahren ausschliessen. Die eingesetzten Materialien sind auch für die Lebensdauer relevant. Kommen langlebige und stabile Materialien und Materialverbindungen zum Einsatz, wird die Nutzungsdauer in der Regel verlängert. Letztlich geht es auch darum, die Verwertbarkeit der Materialien am Lebensende eines Produktes sicherzustellen. Die Wahl der Materialienarten und Materialkombinationen trägt wesentlich dazu bei, ob und mit wieviel Aufwand ein Produkt am Lebensende in die einzelnen Materialien zerlegt und stofflich

verwertet werden kann. Generell sollen Produkte so konzipiert sein, dass die eingesetzten Materialien am Ende des Produktlebenszyklus möglichst hochwertig recycelt und als Sekundärrohstoffe in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können («Design for Recycling»; mehr dazu in [Kapitel 6.2.](#))

Praxisbeispiel 4

Reduktion der Umweltauswirkung dank geeigneter Materialwahl

Mit dem Getränkekarton Tetra Rex® Bio-based bietet die Firma Tetra Pak die weltweit erste Kartonverpackung an, die zu 100% aus erneuerbaren, pflanzenbasierten Rohstoffen – Kunststoff und Karton – besteht. Alle Kunststoffmaterialien werden aus Zuckerrohr hergestellt. Die Kunststoffe können ebenso wie der Forest Stewardship Council™ (FSC™)-zertifizierte Karton bis zu ihrem Ursprung zurückverfolgt werden.

Masse und Dimension: Masse und Dimension eines Produktes bestimmen die Menge an eingesetzten Materialien. Eine Reduktion der eingesetzten Materialmenge, die dank der Anpassung des Designs oder einem neuen Fertigungsverfahren erzielt wurde, wirkt sich in der Regel positiv auf die Umwelt aus. Werden Masseneinsparungen durch die Anwendung anderer Materialien erzielt, muss aber genau untersucht werden, ob das als Substitut eingesetzte Material keine zu hohe Umweltauswirkung erzeugt, sodass im Gesamtlebenszyklus des Produktes ein ökologischer Vorteil entsteht. Für solche Analysen bietet sich die Ökobilanzierung (LCA) an. Diese Methode betrachtet zum Beispiel auch, ob mit der Dimensionierung des Produktes der Komplexitätsgrad und damit der Energiebedarf des Produktionsprozesses steigt und ob die zusätzliche Umweltauswirkung in der Produktion aus einer gesamthaften Perspektive durch die Materialreduktion gerechtfertigt wird. Masse und Dimension haben gewöhnlich auch eine Auswirkung auf die nutzungsbedingten Umweltauswirkungen. Im Bereich Mobilität beispielsweise haben weniger Gewicht oder eine aerodynamische Form einen stark positiven Einfluss auf den Energieverbrauch. Bei einem Tisch hingegen kann gerade ein höheres Gewicht von einer höheren Qualität und Lebensdauer zeugen. In diesem Zusammenhang muss auch beachtet werden, dass Qualität und Aussehen (Design) eines Produktes wichtige Kriterien für die Wiederverwendung sind. Möchte ein Konsument ein noch funktionsfähiges Produkt loswerden, können eine hohe Qualität und ein zeitloses Design entscheidend sein, ob er dafür einen Abnehmer findet, der die Nutzungsdauer des Produktes verlängert.

Praxisbeispiel 5

Prototyp-Leichtfahrzeug EOLAB von Renault

Mit dem Prototyp EOLAB zeigt der Automobilhersteller Renault, dass ein attraktiver Kleinwagen mit einem Verbrauch von nur 1 Liter pro 100 Kilometer technologisch realisierbar ist. Neben der Anwendung der Hybridtechnologie ermöglichen vor allem eine optimierte Aerodynamik (30% Verbesserung gegenüber einem herkömmlichen Kleinwagen) sowie eine Gewichtsminimierung (400 kg leichter als ein Clio) diesen geringen Verbrauch. Designaspekte, wie die Wahl leichter und günstiger Materialien (Aluminium und Magnesium) und eine leichte Bestückung kombiniert mit beweglichen Teilen zur aerodynamischen Optimierung, standen dabei im Zentrum der technologischen Innovation.

5.5.2 Phasenspezifische Variablen

Unabhängig von der Bestimmung der Produkteigenschaften kann der Designer auch durch die Berücksichtigung bestimmter Variablen auf der Ebene der verschiedenen Produktlebensphasen einen Einfluss auf die Umweltauswirkung eines Produktes ausüben.

Bereitstellung von Rohstoffen, Halb- und Fertigfabrikaten: Ecodesign umfasst auch die Umweltauswirkungen der vorgelagerten Produktionsstufen – vom Rohstoffabbau bis zur Bereitstellung der Bauteile. Beim Einkauf und Bezug von Rohstoffen, Halb- oder Fertigprodukte zur Herstellung des eigenen Produktes kann der Designer durch entsprechende Entscheidungen die Lieferkette sowie deren Umweltauswirkung beeinflussen (siehe Kapitel 6.2). Bei der Wahl der Lieferanten kann er beispielsweise auf Labels achten oder wenn möglich selbst die Lieferkette bis zum Rohstoffabbau zurückverfolgen und auf Umweltkriterien hin überprüfen. Dabei können auch Transporte eine zentrale Rolle spielen. Insbesondere Strassentransporte können einen erheblichen Beitrag zur Umweltbelastung eines Ausgangsmaterials leisten während Schiffstransporte, aufgrund der riesigen Kapazität von Schiffen, meist weniger wichtig sind.

Praxisbeispiel 6

Ikea setzt auf nachhaltige Beschaffung

Einer der zentralen Punkte in den Nachhaltigkeitsbemühungen von IKEA ist die verantwortungsvolle Beschaffung der benötigten Ausgangsmaterialien. Da ein wesentlicher Bestandteil der Materialien in IKEAs Produkten auf Holz basieren und die Firma pro Jahr rund 15.5 Millionen Kubikmeter (roundwood equivalents) Holz benötigt, stellt die Beschaffung dieses Rohstoffs ein zentraler Punkt in der Versorgungskette dar. Neben der konsequenten Anwendung eines eigenen Minimalstandards für Zulieferer, ist IKEA als Gründungsmitglied vom Forest Stewardship Councils (FSC) einer der weltweit grössten Bezüger von FSC-zertifiziertem Holz. Rund 41% des bezogenen Holzes stammt aus FSC-zertifizierter Holzwirtschaft oder aus Sekundärquellen. Die Unternehmung gab sich das Ziel diesen Wert bis August 2017 auf die Hälfte und bis 2020 auf 100% zu erhöhen. Für Regionen mit hoher Priorität soll dies bereits ab 2017 gelten. In den letzten Jahren hat IKEA dazu beigetragen, dass eine Waldfläche von 35 Millionen Hektaren (8.4 mal so gross wie die Schweiz) FSC zertifiziert wurde. Bis 2020 sollen weitere 10 Millionen Hektaren dazukommen.

Ein weiterer wichtiger Rohstoff zur Herstellung von Einrichtungsgegenständen, wie Sofas, Kissen und Lampenschirme ist die Baumwolle. Jedes Jahr verarbeitet IKEA um 0,6 bis 0,7% des weltweiten Baumwollangebots. Aufgrund des sozialen und ökologischen Gefahrenpotenzials der Baumwollindustrie engagiert sich IKEA als Gründungsmitglied der Better Cotton Initiative (BCI) aktiv für bessere soziale und ökologische Bedingungen und erreicht damit rund 110'000 Bauern. Bis Mitte 2015 möchte IKEA 100% der Baumwolle aus nachhaltigen Quellen beziehen.

Produktionsprozesse und Fertigungsverfahren: Dank effizienten Produktionsprozessen und dem Einsatz neuer Fertigungstechnologien können substantielle Effizienzgewinne hinsichtlich Energie- und Materialeinsatz erzielt werden. Darunter fallen beispielsweise Fertigungsverfahren, welche die Prozesskette durch den Wegfall von Bearbeitungsschritten vereinfachen oder den Energiebedarf substantiell reduzieren. Für gewöhnlich lohnen sich solche Massnahmen nicht nur aus Umweltsicht, sondern auch aus rein ökonomischen Überlegungen, da Energie- und Materialkosten eingespart werden. Sogenannte Ressourceneffizienzmassnahmen¹⁰⁶ zielen darauf ab, den Energie- und Materialeinsatz pro produzierter Einheit zu reduzieren und damit die marginalen Produktionskosten zu senken. Aus Sicht des Designers ist es wichtig, die Interdependenz zwischen Energie- und Materialeffizienz zu berücksichtigen. Eine Reduktion des marginalen Materialeinsatzes kann den Energieeinsatz pro produzierter Einheit reduzieren. Werden die Verfahren jedoch komplexer, um Materialverluste zu verhindern, kann eine höhere Materialeffizienz zu einem höheren Energieeinsatz führen. Bei der Umsetzung von Effizienzmassnahmen und der Wahl der Fertigungsverfahren sind somit immer beide Seiten im Sinne einer ganzheitlichen Ressourceneffizienz zu berücksichtigen.

Praxisbeispiel 7
Energieeffiziente Produktion bei Ernst Schweizer AG

Die Ernst Schweizer AG ist ein führendes Unternehmen der Baubranche in der Schweiz. Sie engagiert sich seit über dreissig Jahren für ökologisches Bauen und nachhaltige Unternehmensführung. Schweizer ist ein wichtiger Lieferant von energieeffizienten und Minergie®-tauglichen Produkten und von Systemen zur Nutzung der Sonnenenergie. Seit 1978 erfasst das Familienunternehmen vergleichbare Nachhaltigkeitskennzahlen zu Wirtschaftlichkeit, Soziales und Umwelt. Obwohl sich der Umsatz und die Mitarbeiterzahl seither mehr als verdoppelt haben (Zahlen von 2013), stieg der Energieverbrauch lediglich um 13 % gegenüber dem Wert von 1978. Dies dank gezielten Investitionen in die Energieeffizienz von Prozessen, Anlagen und Gebäuden sowie durch Verhaltensänderungen. Sowohl die Umweltbelastung als auch die Treibhausgas-Emissionen aus Strom und Wärme wurden seit 1978 signifikant reduziert, während der Anteil erneuerbarer Energien mehr als verzehnfacht wurde.

Nutzungs- und Lebensdauer: Die Umweltauswirkungen, die während der Nutzungsphase anfallen, werden unter anderem von der Nutzungs- und Lebensdauer bestimmt. Eine lange Lebensdauer wird oft mit einer positiven Umweltauswirkung assoziiert, obwohl das nicht auf alle Produkte zutrifft. Ob und inwiefern sich eine lange Lebensdauer positiv oder negativ auf den gesamten Ressourcenverbrauch auswirkt, hängt nämlich im Wesentlichen davon ab, ob es sich um ein passives oder aktives Produkt handelt¹⁰⁷. Eine lange Nutzungsdauer wirkt sich bei passiven Produkten in der Regel positiv auf die Umweltbilanz aus. Wird ein Stuhl beispielsweise 20 Jahre statt nur 10 Jahren genutzt, hat man pro genutzte Stunde nur halb so viel Holz und Energie für die Produktion verbraucht. Bei aktiven Produkten hingegen ist eine lange Lebensdauer nicht unbedingt sinnvoll, da deren grösster Ressourcenverbrauch in der Nutzungsphase anfällt.

¹⁰⁶ Ressource wird in dem Zusammenhang in der Literatur oft im Sinne von Rohstoff verwendet.

¹⁰⁷ Gemäss der Definition des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) gilt ein Produkt als passiv, wenn es in der Nutzungsphase nur wenig Energie oder Rohstoffe verbraucht. Die Umweltauswirkung solcher Produkte wird massgeblich durch ihre Zusammensetzung und die Menge der verwendeten Stoffe sowie deren Nutzungsdauer bestimmt. Aktive Produkte hingegen verbrauchen hauptsächlich während ihrer Nutzungsphase Energie oder Ressourcen. Hier muss also bei der Konzeptualisierung eines Produktes der Fokus auf die Nutzungseffizienz gelegt werden, die sich in nutzungsbedingtem Energie- und Ressourcenverbrauch ausdrückt (Quelle BAFU).

Die Bestimmung der optimalen Lebensdauer ist demnach erneut produktabhängig und hängt von Variablen wie der Qualität oder der Wartungs- und Reparaturfähigkeit (Unterhalt) sowie der technologischen Entwicklung als exogene Variable ab.

- **Unterhalt:**
Unter dem Unterhalt eines Produktes wird dessen Wartungs-, Reparatur- und Adaptationsfähigkeit verstanden. Insbesondere bei passiven Produkten sind die laufende Wartung, die Reparatur und die Anpassung an sich wandelnde Bedürfnisse aus Umweltsicht sinnvoll, da eine längere Lebensdauer einen Ersatzkauf verhindert. Bei aktiven Produkten hingegen muss die Verlängerung der Lebensdauer aufgrund der Reparatur oder Wartung eines Produktes mit den Umweltauswirkungen abgewogen werden, die durch den Gebrauch eines alternativen, neueren und effizienteren Produktes hätten vermieden werden können.
- **Technologische Entwicklung:**
Die laufende technologische Entwicklung als exogene Variable beeinflusst bei aktiven Produkten die optimalen Lebensdauer aus Umweltsicht. Privatfahrzeuge in der Schweiz werden beispielsweise durchschnittlich knapp 13 Jahre alt. Würde heute aber ein 10-jähriges Auto durch einen gleichwertigen Neuwagen ersetzt, würde dieser deutlich weniger Benzin oder Diesel verbrennen und aufgrund verbesserter Abgasbehandlung auch weniger Emissionen verursachen. Die Investition in das neue Auto hätte sich aus Ressourcensicht gelohnt¹⁰⁹. Bei einer positiven Effizienzentwicklung ist eine möglichst lange Nutzungsdauer von aktiven Produkten demnach nicht immer vorteilhaft. Allerdings ist nicht bei allen aktiven Produkten eine positive Effizienzentwicklung gegeben. Neue Modelle von Smartphones beispielsweise benötigen in der Nutzung meist mehr Strom als alte Modelle, sodass sich die Investition in das neue Gerät aus Umweltsicht nur dann auszahlt, wenn das neue Smartphone zusätzliche Funktionen von anderen sonst benötigten Geräten übernimmt und es diese damit ersetzt.

Praxisbeispiel 8

USM Möbelbausysteme – zeitlos, langlebig und umweltschonend

Die Produkte der Firma USM U. Schärer Söhne AG aus Münsingen zeichnen sich durch zeitloses Design, langlebige Materialien und verschleissfeste Oberflächen aus. Einzelne Komponenten können dank einer modularen Bauweise in mehreren Nutzungszyklen verwendet und so sich verändernden Bedürfnissen angepasst werden. Die so ermöglichte lange Verwendungsdauer führt zu einer intensiven und ressourcenschonenden Nutzung der eingesetzten Materialien. Nach der Nutzung können die Möbel von USM dank passender Materialwahl und Konstruktion fast vollständig recycelt werden. Alleine durch das Wiederverwerten des Stahls können 20% der gesamten Umweltbelastung eines USM Haller Arbeitsplatzes wieder eingespart werden.

Praxisbeispiel 9

Energieeffiziente Haushaltgeräte von Dyson

Die Staubsauger der Firma Dyson zeichnen sich durch eine hohe Effizienz aus. Der Verzicht auf einen Staubbeutel reduziert nicht nur die Abfallmenge, sondern ermöglicht auch die Beibehaltung einer konstanten Leistung während der gesamten Nutzungsphase. Seit der Unternehmungsgründung hat Dyson ausschliesslich Produkte mit einer Motorleistung von unter 1600 Watt entwickelt.

Daher setzte sich die Firma bei der Europäischen Union im Rahmen der EU-Ökodesignrichtlinien erfolgreich für diese Obergrenze der Grösse für Staubsauger- motoren ab 2014 ein. Die Richtlinien ermöglichen Energieeinsparungen bis 2020 von 19 TWh, was 8 Millionen Tonnen CO₂ entspricht.

Box 18

Ecodesign – Nutzen 1., 2. und 3. Art

An folgendem Beispiel wird gezeigt, dass die Systemgrenze von Ecodesign sogar über das gesamte Leben eines Produktes hinausgehen kann. Bestimmte Produkte werden entweder zur Herstellung von weiteren Produkten genutzt (z.B. Produktionsmaschinen) oder in andere Produkte als Komponenten verbaut (z.B. Fahrzeugtüren). Damit beeinflussen sie nicht nur die Umweltauswirkungen ihrer eigenen Nutzung, sondern auch die Auswirkungen derjenigen Produkte, die sie hergestellt haben oder in die sie eingebaut sind:

Ein Hersteller einer Produktionsmaschine hat insgesamt drei Optimierungsbereiche, in denen er die Umweltauswirkung seiner Produktionsmaschine beeinflussen kann. Dies betrifft erstens die Gewährleistung von energie- und materialeffizienten Herstellungsverfahren für die Produktion der Maschine (Nutzen 1. Art). Zweitens, die Sicherstellung, dass die Maschine in ihrer Anwendung wiederum möglichst energie- und materialschonend vom Kunden betrieben werden kann (Nutzen 2. Art). Und drittens, dass das Endprodukt, das mit der Maschine hergestellt wird, in seinem Lebenszyklus einen minimalen Ressourcenverbrauch verursacht (Nutzen 3. Art). Aus Sicht von diesem dritten Punkt kann es durchaus sinnvoll sein, eine Produktionsmaschine zu entwerfen, die in der Anwendung pro Endprodukt zwar mehr Energie benötigt, aber dafür energieeffizientere Endprodukte herstellt. Dank dem Multiplikationseffekt können die Endprodukte den zusätzlichen Energieinput der Produktion wettmachen.

Werden beispielsweise Maschinen zur Herstellung von Kurbelwellen so entwickelt, dass die Kurbelwellen mit grösserer Präzision gefertigt werden können, was die Reibung senkt und damit den Treibstoffverbrauch von Privatfahrzeugen um 1% reduziert, dann resultieren bei einer Jahresproduktion von 125'000 Kurbelwellen über die gesamte Nutzungsdauer der Fahrzeuge Einsparungen von 8.4 Mio. Liter Treibstoff. Die präzisere Produktionsmaschine ist also die ressourcenoptimale Lösung solange deren Bau und Betrieb pro Jahr weniger als 8.4 Mio. Liter Treibstoff-Äquivalente an Energie mehr verbraucht als eine herkömmliche Maschine. (Inhalt und Berechnungsgrundlagen aus: (Jutz u. a. 2014)

Produkt-handhabung: Die Art und Weise wie ein Produkt vom Konsumenten genutzt wird, hat nicht nur Auswirkungen auf die Lebensdauer des Produktes, sondern auch auf die nutzungsbedingte Umweltbelastung. Denn durch unsachgemässe Nutzung eines Produktes kann sowohl der Verschleiss wie auch der Energieverbrauch erhöht werden. Ob ein Produkt sachgemäss benutzt wird oder nicht, hängt massgeblich von dessen Benutzerfreundlichkeit sowie vom Informationsstand und dem generellen Verhalten des Konsumenten ab. Ist ein Produkt sehr einfach zu bedienen oder kann sich der Konsument beispielsweise dank einer beiliegenden Gebrauchsanweisung über die optimale Nutzung entsprechend informieren, kann eine umweltfreundliche Nutzung zumindest zu einem gewissen Grad gefördert werden. Ein Designer sollte sich daher unbedingt in die Rolle eines potenziellen Kunden versetzen und bereits beim Design darüber nachdenken, wie erreicht werden kann, dass der Kunde das Gerät ressourcenoptimal nutzen wird.

Trennungs-, Verwertungs- und Entsorgungsprozess: Aufgrund steigender Rohstoffpreise und der sinkenden Versorgungssicherheit gewinnt die Verwertung von Produkten und deren Materialien für Unternehmen immer mehr an Bedeutung. Entsprechend getrennt und verarbeitet können alte Produkte als Quellen für Sekundärrohstoffe für die Herstellung neuer Produkte

eingesetzt werden und damit Primärrohstoffe ersetzen (siehe Kapitel 6.2). In Anbetracht dieser Entwicklung sollte sich ein Designer zunehmend auch mit der letzten Produktlebensphase auseinandersetzen. Die Erweiterte Produzentenverantwortung (siehe **Box 16**) setzt dafür auch die richtigen rechtlichen Anreize, indem sie die Produzenten im Sinne eines erweiterten Verursacherprinzips in die Verantwortung dafür nimmt.

Praxisbeispiel 10

Cradle to Cradle Bürostühle von Giroflex

Das Unternehmen Stoll Giroflex AG zeichnet sich durch eine nachhaltige, ressourcenbewusste und lokale Produktion von Sitzmöbeln aus. Giroflex Möbel weisen eine Lebensdauer von über 10 Jahren auf und sind aus schadstofffreien Stoffen, Metallen und Kunststoffen gefertigt. An ihrem Lebensende werden die gebrauchten Sitzmöbel demontiert und in die entsprechenden Stoffkreisläufe zurückgeführt. Das Gebrauchte steht somit an der Quelle des Neuen.

Die Stuhlserien 656, 353 und 313 von Giroflex erfüllen damit die Anforderungen des Cradle to Cradle®-Design Konzepts, das in der Schweiz von EPEA Switzerland produktspezifisch entwickelt und implementiert wird. «Cradle to Cradle» ist ein ganzheitliches Konzept, das folgende Kriterien definiert: Material Gesundheit, Kreislauffähigkeit der Rohstoffe, Anteile und Ziele der eingesetzten erneuerbaren Energie und Carbon Management, die Wasserqualität und die soziale Fairness.

Dementsprechend sollte ein Designer vorerst klären, ob eine Separatsammlung des Produktes oder bestimmter Produktkomponenten besteht. Falls ja, muss geklärt werden, wie die gesammelten Produkte weiter aufbereitet werden und was gegebenenfalls diese weiteren Prozesse stören könnte (z.B. können Klebverbindungen zwischen unterschiedlichen Metallen dazu führen, dass die Metalle mechanisch nicht richtig voneinander getrennt werden können). Existiert bisher keine Sammlung des Produktes, muss geklärt werden, ob es sich finanziell und ökologisch auszahlt ein Rücknahmesystem einzurichten. Entscheidet sich eine Unternehmung aufgrund finanzieller Überlegungen, der Versorgungssicherheit wegen oder aus Gründen des Umweltschutzes die eigenen Produkte als Sekundärrohstoffe zu verwenden, muss diese Entscheidung bereits auf Ebene des Produktdesigns in die Bestimmung der verschiedenen Produktmerkmale einfließen.

5.5.3 Wirkungszusammenhänge zwischen den Lebensphasen

Die in 5.5.1 und 5.5.2 aufgeführten produkt- und phasenspezifischen Variablen sollten nie separat, sondern immer als Bestandteil eines Gesamtsystems betrachtet und optimiert werden. Grund dafür sind die zahlreichen Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Variablen. Die Optimierung einer bestimmten Phase ist nutzlos, wenn sich diese Optimierung gesamthaft über alle Lebensphasen hinweg negativ auf die Umwelt auswirkt. Anhand eines Fragekataloges, der sich auf bestimmte Produkte bezieht, soll beispielhaft aufgezeigt werden, welche Überlegungen zu den Wirkungszusammenhängen relevant sein können.

Fahrzeug

- Ist die Wahl von Leichtmaterialien im Sinne geringerer nutzungsbedingter Emissionen gerechtfertigt oder ist der zusätzliche Aufwand für die Bereitstellung und Herstellung dieser Materialien sowie gegebenenfalls zusätzliche Schwierigkeiten beim Recycling unverhältnismässig? Diese Frage stellt sich vor allem bei Elektrofahrzeugen, die mit «sauberem» Strom betrieben werden.

- Stehen die zusätzlichen Umweltauswirkungen der Produktion eines energieeffizienten Motors im Verhältnis zum nutzungsbedingten Treibstoff- bzw. Energieverbrauch? Auch diese Frage stellt sich vor allem bei Elektrofahrzeugen, wo durch den Einsatz von Permanentmagneten auf Basis von seltenen Erden (Neodym oder Dysprosium) ein höherer Wirkungsgrad des Elektromotors erreicht werden kann.
- Beeinflussen energie- und materialeffizientere Fertigungsverfahren die Trennbarkeit der Materialien am Lebensende negativ und wenn ja überwiegt die Reduktion der Umweltauswirkung in der Produktion derjenigen der entgangenen stofflichen Verwertung?

Herstellung Produktionsmaschinen

- Hat die Einführung eines energieeffizienten Fertigungsverfahrens eine Auswirkung auf die Qualität und Lebensdauer der hergestellten Produkte und wenn ja, ist diese aus Umweltsicht gerechtfertigt?
- Ist die Steigerung der Qualität einer Produktionsmaschine und der daraus resultierende zusätzliche Ressourcenbedarf gerechtfertigt, auch wenn die Maschine im Betriebszustand einen höheren Energieeinsatz benötigt aber dafür Bauteile erzeugt, die selber wieder Ressourcen einsparen?

Lebensmittelverpackung

- Lohnt sich eine material- und energieintensive Verpackung, um die Haltbarkeit des Lebensmittels um einige Tage zu verlängern oder rechtfertigt die längere Haltbarkeit des Lebensmittels (die gegebenenfalls zu weniger Lebensmittelabfällen führt) den zusätzlichen Energie- und Materialinput nicht?
- Stehen die zusätzlichen Umweltauswirkungen der Produktion einer rezyklierbaren Verpackung im Verhältnis zu den aus der stofflichen Verwertung resultierenden Vorteilen?

Kühlschrank

- Lohnt es sich zusätzliches Material und Energie für eine längere Lebensdauer zu investieren, wenn anzunehmen ist, dass die aus der technologischen Entwicklung erreichten Effizienzgewinne einen Ersatz vor Lebensende des Kühlschranks sinnvoll machen?

Kunststofffolien

- Ergibt der Einsatz von Recyclingmaterial in der Produktion von Kunststofffolien aus ökologischer Perspektive Sinn oder wird der Effekt der Ressourcenschonung durch den Sammelaufwand der Kunststoffabfälle und den allfälligen Mehrbedarf an Material¹⁰⁸ überkompensiert?

¹⁰⁸ Kunststoffe aus Rezyklat, vor allem aus so genanntem post-consumer Rezyklat, weisen im Allgemeinen schlechtere mechanische Eigenschaften als neue Kunststoffe auf. Das ist für viele Anwendungen unproblematisch, kann bei Folien aber dazu führen, dass diese aus Rezyklat dicker hergestellt werden müssen als jene aus neuem Material.

Unter Berücksichtigung der vorgegeben Produkthanforderungen und der verschiedenen Wirkungszusammenhänge kann der Designer nun die einzelnen produkt- und phasenspezifischen Variablen optimieren und in betriebsinterne Massnahmen übersetzen. Wie bereits mehrfach betont, bietet sich die Methode der Ökobilanzierung an, um solche Fragen anzugehen. Die Entscheidungen, die vom Designer getroffen werden, tangieren in der Regel sämtliche Abteilungen eines Produktionsbetriebes. Für die erfolgreiche Umsetzung von Ecodesign ist es daher wichtig, dass ein enger Austausch zwischen dem Designteam und den Abteilungen der Beschaffung, Produktion, der Kommunikation und des Vertriebes stattfindet. Trends und neue Konzepte des Wirtschaftens.

6 Trends und neue Konzepte des Wirtschaftens

Dieses Kapitel widmet sich den aktuellen technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Trends, die sich positiv auf die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen auswirken können und gleichzeitig neue lukrative Geschäftsmodelle für Schweizer Unternehmen bieten.

6.1 Energiewende (Energiestrategie von swisscleantech)

Der in der Cleantech Energiestrategie (Bolliger u. a. 2014) beschriebene Ausstieg aus der Kernenergie und die Abkehr von fossilen Energieträgern und deren Ersatz durch die Nutzung erneuerbarer Energieformen weist den Weg in eine emissionsarme Zukunft mit verkleinerten nuklearen Risiken.

In der Umsetzung der Cleantech Energiestrategie kommen diverse schon heute etablierte Technologien in deutlich grösserem Umfang zum Einsatz. So wird ein erheblicher Teil der Energiebereitstellung durch PV Panels und Windturbinen erfolgen. Auch ist verstärkter Einsatz von Elektrofahrzeugen anstelle der heute vorherrschenden Autos und Lieferwagen mit Verbrennungsmotoren vorgesehen.

Doch auch wenn hauptsächlich erneuerbare Energien genutzt werden, erfolgt die Energiegewinnung nicht ohne Ressourcenverbrauch, weil zum Aufbau der zu Grunde liegenden Technologien bzw. der dazu benötigten Infrastruktur vielerlei natürliche Ressourcen beansprucht werden müssen. Im Folgenden soll abgeschätzt werden, welche Ressourcennutzungen für das Beschreiten des in der Energiestrategie beschriebenen Pfades nötig sind. Dabei werden kritische Metalle (als wichtigster Teil der nicht-fossilen Rohstoffe), das Klima und die Biodiversität im Vordergrund stehen. Bei der Ressource Luft kann davon ausgegangen werden, dass die erneuerbare Energiegewinnung besser abschneidet als die konventionellen Alternativen. Da insbesondere in der Photovoltaik damit gerechnet wird, dass zukünftige Anlagen auf Dachflächen installiert werden, ist nicht mit einem zusätzlichen Landbedarf zu rechnen. In ähnlicher Weise werden biotische Rohstoffe hier nicht behandelt, weil zur Umsetzung der Strategie keine zusätzliche landwirtschaftliche Produktion benötigt wird und davon ausgegangen werden kann, dass das zur thermischen Nutzung benötigte Holz im Rahmen einer nachhaltigen Waldwirtschaft gewonnen wird.

Während der in der Energiestrategie angestrebte Ersatz von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energieformen direkte Treibhausgasemissionen aus der Energiegewinnung minimiert, stellen die Herstellung von Solarzellen, Windturbinen, Geothermieanlagen oder Batterien für die Elektromobilität energie- und materialintensive Prozesse dar, welche ihrerseits Treibhausgasemissionen verursachen. Für die Umsetzung der in der Cleantech Energiestrategie angestrebten Produktionsziele von Photovoltaik, Windkraft und Geothermie sowie für die Produktion der im Zusammenhang mit der Elektrifizierung der Mobilität benötigten Batterien werden im Zeitraum von 2010 – 2050 Treibhausgasemissionen von rund 55 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten geschätzt. Pro Jahr entspricht dies einer Emission von nur rund 10% der durch den Schweizerischen Strassenverkehr im Jahr 2012 ausgestossenen Menge CO₂. Den grössten Anteil an diesen Emissionen verursacht dabei mit etwa 70% die Produktion der für die Photovoltaik benötigten Module. Eine pro Kopf Hochrechnung ergibt, dass nur etwa 6% der Treibhausgase, die zur Einhaltung des 2°C Ziels nach 2013 noch emittiert werden dürfen, auf die Herstellung von Solarzellen, Windturbinen, Geothermieanlagen und Batterien für die Elektromobilität entfallen, selbst wenn diese Technologien überall auf der Welt gemäss der selben Strategie ausgebaut würden. Ausserdem kann angenommen werden, dass die diesen Berechnungen zugrunde liegenden Daten die effektiven Emissionen bis ins Jahr 2050 überschätzen, da sie auf dem heutigen Technologiestand basieren und keine Lernkurven berücksichtigt wurden. Ausserdem ist davon auszugehen, dass ein zunehmender erneuerbarer Anteil an der weltweiten Energieproduktion dazu führen wird, dass die mit der Herstellung der Anlagen verbundenen emittierten Mengen an Treibhausgasen in

den nächsten Jahren signifikant zurückgehen werden. Es lässt sich also festhalten, dass die positiven Auswirkungen der Cleantech Energiestrategie auf die Ressource Klima deutlich überwiegen.

Der Klimawandel wird unbestritten gravierende Auswirkungen auf die Ökosysteme und somit auf die Biodiversität haben. Daher wird der Ausstieg aus fossilen Energieträgern zur Begrenzung der globalen Erwärmung zu einem verminderten Druck auf die Biodiversität beitragen. Allerdings haben alle hier behandelten Formen der erneuerbaren Energiegewinnung ihrerseits Auswirkungen auf die Biodiversität, die es von Fall zu Fall zu beachten gilt. Die Nutzung der Wasserkraft stellt immer eine Beeinträchtigung natürlicher Gewässer dar. Daher ist es aus Sicht der Biodiversität begrüssenswert, dass die Grosswasserkraft nicht weiter ausgebaut werden soll. Zusätzlich müssen die Biodiversitätsbeeinträchtigungen durch Aspekte wie ungenügendes Restwasser, Erosion und Sedimentation sowie die Behinderung von Tiermigration beachtet werden und wenn möglich ökologische Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen angestrebt werden. Gerade beim selektiven Ausbau der Kleinwasserkraft muss jedes Projekt bei der Standortwahl und Umsetzung unter Biodiversitätsgesichtspunkten beurteilt werden. Die Nutzung der Windkraft kann durch lärmbedingten Stress, Verdrängung von Brutstätten und Kollisionsgefahr (Vögel und Fledermäuse) die Biodiversität beeinträchtigen. Die in der Cleantech Energiestrategie vorgeschlagene Zielproduktion ist aber auch unter Ausschluss von Standorten in nationalen Natur- und Landschaftsschutzinventaren möglich. Trotzdem soll der Druck auf die Biodiversität durch Lebensraummanagement verringert werden (z.B. durch das Anbieten von alternativen Nistplätzen). Da der Ausbau der Photovoltaik weitgehend auf bereits genutzte Flächen wie Dächer, Parkplätze, Verkehrsanlagen und Häuserwände konzentriert werden soll, entsteht dadurch nur eine geringe Beeinträchtigung der Biodiversität. Allerdings ist die Koexistenz von Photovoltaikanlagen und Dachbegrünung zu fördern. Die Nutzung von Biomasse und Holz soll ohne zusätzliche Produktionsflächen auskommen und bei der Waldbewirtschaftung sollte trotz der energetischen Nutzung von Holz darauf geachtet werden, dass Lebensräume für auf Totholz angewiesene Arten erhalten bleiben. Natürlich haben auch die Förderung der benötigten Rohstoffe und die Produktion der darauf basierenden Materialien einen (meist negativen) Einfluss auf die Biodiversität. Eine Quantifizierung dieses Effektes ist sehr schwierig und es ist auch nicht klar, ob der potenzielle Schaden eher grösser oder eher kleiner ist als der Schaden wäre, der durch den Abbau und die Verwendung fossiler und nuklearer Ressourcen entsteht. In dieser Situation bleibt nur, die bekannten Auswirkungen zu minimieren, zum Beispiel durch möglichst konsequente Verminderung von Schwermetalleinträgen in Boden und Gewässer oder durch die Renaturierung von Abbaugebieten nach deren Erschöpfung.

Die zur Nutzung erneuerbarer Energien verwendeten Technologien erfordern zahlreiche Metalle. Neben den gängigen Massenmetallen Eisen und Stahl, Kupfer oder Aluminium werden auch diverse Edel- und Spezialitätenmetalle wie Silber, Gold, Indium, Gallium, Tellur oder seltene Erden benötigt. Gerade bei diesen Spezialitätenmetallen, die nur in geringen Konzentrationen vorkommen und heute nur in geringen Mengen gefördert werden, muss sorgfältig analysiert werden, ob ein starker Anstieg des Bedarfs in der Folge des Ausbaus der erneuerbaren Energien zu Versorgungsengpässen führen kann. Die mineral resource bezeichnet den bekannten Teil eines natürlich vorkommenden Rohstoffs in der Erdkruste, für den eine begründete Aussicht auf eine ökonomische Ausbeutung besteht. In den letzten Jahren haben sich die Ressourcenmengen der meisten Metalle vergrössert, da neue Vorkommen entdeckt wurden oder höhere Preise den Abbau von Erzen geringerer Qualität ökonomisch rentabel werden liessen. Um eine Aussage zu treffen, welche Mengen an metallischen Rohstoffen für die Umsetzung der Cleantech Energiestrategie benötigt werden, wurde der entsprechende Metallbedarf für die besonders materialintensiven Technologien Photovoltaik, Windenergie und Elektromobilität abgeschätzt. Diese Einschätzung zeigt,

dass sich der kumulierte Rohstoffbedarf dieser Formen der Energiegewinnung bzw. Einsparung in der Schweiz bis ins Jahr 2050 im Bereich von unter 50% der jeweiligen Weltjahresproduktion im Jahr 2012 bewegt.¹⁰⁹ Der benötigte Anteil an den globalen Ressourcenmengen der jeweiligen Metalle befindet sich überall im Promillebereich. Wenn jedoch der Bedarf an metallischen Rohstoffen hochgerechnet wird unter der Annahme, dass im Jahr 2050 für jeden Menschen weltweit der Schweizer pro Kopf Energiebedarf mit dem swisscleantech-Energiestrategie-Technologie-Mix gedeckt werden soll, zeichnen sich für einige Metalle durchaus mögliche Versorgungsschwierigkeiten ab.¹¹⁰ Während die gängigen Massenmetalle (Eisen, Stahl, Kupfer, Aluminium, Blei) auch in diesem extremen Szenario als unkritisch bezeichnet werden können, würden viele der Spezialitätenmetalle für Photovoltaik, Windenergie und Elektromobilität alleine in Mengen benötigt, welche sich in der Grössenordnung der geschätzten Ressourcen befinden. Obwohl die bekannten Ressourcen keine Obergrenzen der Verfügbarkeit im absoluten Sinn darstellen, müssen diese Metalle dennoch als kritisch bezeichnet werden. Dabei sind vor allem die für Solarzellen benötigten Metalle Silber, Gallium, Indium, Selen und Tellur, die zur Batterieherstellung verwendeten Elemente Lithium, Kobalt und Nickel sowie die in Permanentmagneten für Elektromotoren und Windturbinen eingesetzten Seltenen Erden (Neodym und Dysprosium) zu nennen. Eine besonders hohe Kritikalität ist für diejenigen Metalle zu erwarten, welche zusätzlich zur Energieproduktion auch in anderen Technologien Anwendung finden. Indium (vgl. Box 6) wird zum Beispiel nicht nur in allen Dünnschicht-Solarzellen benötigt, sondern ist auch ein wichtiger Bestandteil von Flachbildschirmen und Displays sowie von weissen LEDs. Zukünftige Entwicklungen wie technologische Verbesserungen (z.B. eine Reduktion der Schichtdicke in Photovoltaikzellen, oder eine Verminderung des Gehalts an seltenen Erden in Permanentmagneten), die Nutzung anderer Technologien (z.B. vermehrte Nutzung Silizium basierter Solarzellen oder die Nutzung induktiver Magnete, die keine seltenen Erden enthalten, in Elektromotoren und Windturbinen) oder der Ersatz kritischer Metalle durch andere Materialien (z.B. kann das in Displays und vielen Solarzellen benötigte Indiumzinnoxid mit nur geringen Leistungseinbussen durch Aluminium dotiertes Zinkoxid ersetzt werden) werden zu einer Verminderung der Kritikalität spezieller Metalle beitragen können. Dennoch wird der geschätzte zukünftige Bedarf an kritischen Metallen nicht durch die Primärproduktion alleine gedeckt werden können. Daher wird vor allem auch ein möglichst effizientes Recycling dieser Metalle bei der Umsetzbarkeit der Cleantech Energiestrategie eine entscheidende Rolle spielen. Dies gilt vor allem für die Metalle Indium und Lithium, die zukünftig für Displays und Solarzellen bzw. für Batterien in der Elektromobilität in besonderem Ausmass benötigt werden, sowie für die Seltenen Erden und Kobalt, bei welchen eine Konzentration auf einzelne Fördernationen (China bzw. Kongo) eine zusätzliche geopolitische Versorgungsschwierigkeit darstellt. Während für Kobalt und diverse andere Spezialitätenmetalle zum Beispiel bei der Firma Umicore Precious Metals Refining in Belgien bereits heute ausgereifte Recyclingprozesse bestehen und zumindest in Prototypen das Lithium aus Batterien zurückgewonnen werden kann, ist das Recycling von Indium aus Flachbildschirmen oder Solarzellen sowie die Rückgewinnung von seltenen Erden aus diversen Anwendungen noch nicht wirtschaftlich möglich. Es lässt sich also festhalten, dass im Bereich der metallischen Rohstoffe die Versorgungssicherheit mit Spezialitätenmetallen bei der Umsetzung der Cleantech Energiestrategie durchaus eine Herausforderung darstellt.

¹⁰⁹ Einzige Ausnahme bildet Lithium, bei welchem heute im Vergleich zum zukünftigen Bedarf sehr geringe Mengen gefördert werden.

¹¹⁰ Nicht berücksichtigt ist bei diesen Überlegungen, dass in anderen geographischen Regionen der Welt die Technologien zur Gewinnung erneuerbarer Energie in unterschiedlichem Ausmass Anwendung finden werden (z.B. mehr Wasserkraft in der Schweiz als in den Niederlanden, mehr offshore Windkraft in Deutschland als in der Schweiz).

Allerdings ist der geschätzte Bedarf in derselben Grössenordnung wie die bekannten mineral resources, sodass eine drohende Knappheit mit frühzeitigen Massnahmen wie technologischer Weiterentwicklung, Substitution von kritischen Materialien und mit Innovationen beim Recycling verhindert werden kann.

6.2 Nachhaltige Beschaffung

Aufgrund der zunehmenden Spezialisierung und der Auslagerung einzelner Produktionsschritte an Dritte sind in der Regel zahlreiche Akteure am Produktionsprozess eines Produkts – vom Rohstoffabbau bis zu dessen Verkauf – beteiligt. Zudem liegen die verschiedenen Produktionsprozesse von Halbfabrikaten und Fertigfabrikaten für die einzelnen Produkt-Komponenten meist an unterschiedlichen geografischen Orten und sind damit ungleichen ökonomischen, sozialen und ökologischen Rahmenbedingungen unterstellt. Oft stellt für den Einkäufer die Rekonstruktion der gesamten Prozesskette eine massgebende Herausforderung dar. Insbesondere auf Stufe der Rohstoffe oder einzelner Produktkomponenten kann es schwierig sein, sich ein genaues Bild der sozialen oder ökologischen Auswirkungen des Endproduktes zu machen. Viele Unternehmen, ob KMU oder internationale Konzerne, haben wenig Einsicht in die ökologische und soziale Verträglichkeit der bezogenen Materialien und Produktkomponenten und weisen dementsprechend eine mangelnde Kontrolle über ihre vorgelagerte Lieferkette auf. Solange dieser Informations- und Transparenzmangel über die vorgelagerten Produktionsstufen jedoch besteht, sind Unternehmen kaum in der Lage, geeignete, d.h. wirkungsorientierte, Strategien und Massnahmen im Sinne eines nachhaltigen Lieferkettenmanagements zu definieren.

Aufgrund zunehmender Regulierung, vermehrter Versorgungsrisiken und des steigenden Konsumentenbewusstseins über die sozialen und ökologischen Auswirkungen von Produkten gewinnt eine detaillierte Kenntnis der vorgelagerten Lieferkette für ein Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Gemäss der im Jahr 2011 eingeführten UNO-Leitprinzipien für Wirtschaft und Menschenrechte stehen Staaten in der Pflicht und Unternehmen in der Verantwortung, international anerkannte Menschenrechte zu achten. Die so genannte Sorgfaltspflicht einer Unternehmung erstreckt sich dabei auf sämtliche menschenrechtliche Auswirkungen, die mit ihrer eigenen Tätigkeit aber auch mit ihren Geschäftsbeziehungen oder ihren Produkten und Dienstleistungen verbunden sind.¹¹¹ Aufgrund der oft engen Verflechtung von ökologischen Auswirkungen der Tätigkeiten von Unternehmen mit Menschenrechten (z.B. Zugang zu sauberem Trinkwasser), ist der Einbezug von Umweltfaktoren bei der nationalen Umsetzung der UNO-Leitlinien zentraler Bestandteil der Debatte. So erhält auch das Green Public Procurement¹¹², also die Berücksichtigung ökologischer Produktkriterien in der öffentlichen Beschaffung, in der EU aber auch in der Schweiz in Form einer Revision des Bundesgesetzes über das öffentliche Beschaffungswesen zunehmend Gewicht.

Das Sustainable Supply Chain Management (SSCM) als prozessorientierter Managementansatz nimmt damit in der Schweiz und im Ausland einen immer prominenteren Stellenwert ein. Dabei stossen Unternehmen nicht selten auf Herausforderungen in Bezug auf die lückenhafte Datenlage, den Einsatz der beschränkten personellen und finanziellen Mittel oder die Offenlegung wettbewerbsrelevanter Produktionsgeheimnisse. Doch die Investitionen lohnen sich, birgt ein angemessenes Lieferkettenmanagement für ein Unternehmen doch auch erhebliche Vorteile hinsichtlich Reputations- oder Versorgungsrisiken. Zudem können dank einem transparenten Einblick Prozesse (ressourcen-) effizienter gestaltet und damit Kostenstrukturen optimiert werden.

¹¹¹ www.humanrights.ch/de/menschenrechte-themen/tnc/regulierungen/uno-leitprinzipien/

¹¹² www.ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.htm

Auch in internationalen Regelwerken zur (Nachhaltigkeits-) Berichterstattung, anhand derer Unternehmen ihre ökonomische, ökologische und soziale Leistung messen und offenlegen können, spielt die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette eine zunehmend wichtigere Rolle (z.B. die «Global Reporting Initiative (GRI)¹¹³») Bei der Definition von Anforderungen, Messmethoden und Monitoring-Systemen für nachhaltige Lieferketten können Unternehmen auf internationale Standards wie SA8000¹¹⁴, Fairtrade¹¹⁵, BSCI¹¹⁶, ETI¹¹⁷ etc. zurück-greifen. Ein spezialisiertes Beratungsunternehmen für solche Themen ist beispielsweise BSD Consulting¹¹⁸, welche in einem internationalen Kontext massgeschneiderte Lösungen zur Integration von Nachhaltigkeitsthemen in Strategien, Prozessen und Organisationen anbietet.

6.3 Kreislaufwirtschaft

Gemäss dem Kreislaufgedanke sollen Materialien an ihrem Lebensende getrennt und als Sekundärrohstoffe in den Materialkreislauf zurückgespeist werden können. Statt einer linearen Wirtschaft, in der Materialien beseitigt oder energetisch verwertet werden und ein Materialverlust resultiert, soll der Stoffkreislauf mit möglichst wenig Verlust geschlossen werden. Dieses Prinzip lässt sich, sofern ökologisch sinnvoll, nicht nur auf Metalle und Konsumgüter oder Verpackungen, sondern auch auf sämtliche Baumaterialien übertragen. Letztere weisen aufgrund des hohen Materialvolumens ein beträchtliches Potenzial auf und könnten durch «Urban Mining» (siehe **Box 19**) zu einer wichtigen Quelle für Sekundärmaterialien werden. Stoffkreisläufe können in der Regel in unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus geschlossen werden. Hier wird zwischen **Pre-Consumer Abfällen und Post-Consumer Abfällen** unterschieden. Ersterer sind beim Herstellungsprozess anfallende Abfälle und Ausschussprodukte, die sich durch eine hohe Sortenreinheit, wenig Verschmutzung und eine dementsprechend einfache technische Rückführung auszeichnen. Letztere umfassen hingegen Abfälle, die nach deren Nutzungsphase entstehen und die gesammelt, getrennt und ev. gereinigt werden müssen. Hier sind die Recyclingverfahren also deutlich aufwendiger und die Qualität des rezyklierten Materials erreicht oft nicht das Niveau von neuem Material (down-grading). Generell gilt: Der technische, energetische und zeitliche Aufwand der stofflichen Verwertung steigt mit dem Grad der Heterogenität und der Verunreinigung des Materials. Gleichzeitig sinkt damit die Qualität des Recyclingmaterials. Damit ist klar, dass bei einer zu schlechten Qualität der Abfälle aus einer stofflichen Wiederverwertung kein ökologischer Nutzen mehr resultiert. Das ist vor bei Kunststoffabfällen sehr viel relevanter als bei Metallen, da letztere einfacher getrennt werden können und da in den metallurgischen Prozessen die meisten Verschmutzungen problemlos verbrennen. Darum beleuchten wir die Kunststoffverwertung speziell in Kapitel 6.3.1. Der Kreislaufgedanke wurde bereits in das Schweizer Umweltschutzgesetz (USG) von 1983 in Artikel 30 zur Abfallhierarchie aufgenommen. Wenn immer technisch möglich, ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich tragbar sollen Abfälle vermieden, dann stofflich oder energetisch verwertet und erst am Schluss beseitigt werden. Abfälle werden in diesem Zusammenhang von Bundesamt für Umwelt (BAFU) als «Sachen, deren sich der Inhaber entledigt oder deren Entsorgung im öffentlichen Interesse geboten ist» definiert¹¹⁹. Problematisch an dieser Definition ist jedoch, dass der ökonomische Wert des Gegenstandes keine Rolle spielt. Zum Beispiel sollte ein funktionsfähiges Auto, das der Besitzer nicht mehr

¹¹³ www.globalreporting.org

¹¹⁴ www.sa-intl.org

¹¹⁵ www.fairtrade.net

¹¹⁶ www.bsci-intl.org

¹¹⁷ www.ethicaltrade.org

¹¹⁸ www.bsdconsulting.com

¹¹⁹ <http://www.bafu.admin.ch/abfall/01471/index.html?lang=de>

braucht und dessen er sich darum entledigen möchte, nicht der Kategorie Abfall zugeordnet würde, da es als Gebrauchtwagen stets einen ökonomischen Wert aufweist. Entsprechend ergänzen wir die BAFU-Definitionen um den Aspekt, dass ein Produkt nur dann als Abfall gilt, wenn der ökonomische Wert für den Besitzer null oder negativ ist. Dieser Aspekt wird von der Europäischen Union in der Richtlinie über Abfälle besser aufgegriffen. Zwischen der Vermeidung und der Verwertung wird in der Abfallhierarchie eine Zwischenstufe eingefügt, nämlich diejenige der Wiederverwendung¹²⁰. Bei der praktischen Umsetzung der Abfallhierarchie muss je nach Situation und Abfallstrom entschieden werden, ob die vorgeschlagenen Stufen ökologisch sinnvoll, wirtschaftlich tragbar oder technisch umsetzbar sind. Faktoren wie die Heterogenität der Abfallfraktion, die Art der Logistik- und Sammelsystem, der Energieaufwand für Trennungsvorgänge bestimmen zusammen mit dem ökologischen Aufwand der Primärproduktion ob eine Wiederverwendung, eine stoffliche oder eine energetische Verwertung vorteilhafter ist. In der Folge wird detaillierter auf die verschiedenen Schritte einzugehen sein.

1. Vermeidung: In erster Linie geht es darum, die Entstehung von Abfällen zu vermeiden. Dies kann die Reduktion von Produktionsausschüssen, den Verzicht auf Verpackungsmaterialien oder die Gewährleistung der Reparaturfähigkeit und eine lange Lebensdauer von Produkten umfassen. Kreislaufwirtschaft beginnt also nicht erst am Lebensende sondern schon beim Produktdesign. Mehr dazu finden sie im Kapitel 5.5 zu Ecodesign. Um diesem Konzept den nötigen Nachdruck zu verleihen, kann mittels der erweiterten Produzentenverantwortung (**Box 16**) der Produzent für die Verwertung seines Produktes zuständig gemacht werden. Abfälle sollen aber nicht nur hinsichtlich der Menge, sondern auch bezüglich ihrer schädlichen Auswirkung auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit vermieden werden. Daher gilt es auf schädliche und toxische Stoffe in Materialien zu verzichten.

2. Vorbereitung zur Wiederverwendung: Was aus der Sicht des Besitzers ein Abfall ist, kann für andere ein brauchbares Produkt sein. Zum Beispiel kann der alte Schreibtisch, der im Brockenhaus abgegeben wird, eine neue Nutzung finden. Gegebenenfalls braucht es dazu eine Prüfung, Reinigung oder Reparatur von Produkten oder Einzelteilen. Im Gegensatz zur EU-Richtlinie über Abfälle von 2008 findet diese Ebene der Abfallhierarchie keine explizite Erwähnung im Umweltschutzgesetz der Schweiz (Art. 30, USG), welches diesen Schritt als Teil der Abfallvermeidung betrachtet.

Praxisbeispiel 11
Baustoffrecycling bei Eberhard

Gemäss dem Konzept von Urban Mining schenkt die Firma Eberhard dem Recycling von Baustoffen grösste Beachtung. Bei Rückbauarbeiten werden alle wiederverwendbaren Wertstoffe separat entfernt oder aussortiert. Diese Bauabfälle werden in den Anlagen der Firma Eberhard zu hochwertigen Recycling-Baustoffen aufgearbeitet (Kiesersatz, RC-Beton). Der Betrieb einer hocheffizienten Bodenwaschanlage ermöglicht zudem die Behandlung von kontaminierten Boden- und Rückbaustoffen, welche so mit einem Wiederaufbereitungsgrad von bis über 95% in den Stoffkreislauf zurückgehen können. Auf diese Weise können Stoffkreisläufe geschlossen und die natürlichen Vorkommen mineralischer Rohstoffe geschont werden.

Praxisbeispiel 12
Recycling von Elektronikschrott bei Immark

Immark ist das marktführende Unternehmen im Bereich der Wiederverwertung und Entsorgung von Elektronikschrott in der Schweiz. Dabei arbeitet der lizenzierte Partner der Recyclingsysteme SENS und SWICO eng mit einem dichten Netz von Sammel- und Annahmestellen sowie Logistikunternehmen zusammen.

¹²⁰ Abfallhierarchie der Europäischen Union gemäss Richtlinie über Abfälle von 2008

Zusätzlich betreibt Immark zwei eigene Sammelstellen in Liestal und Regensdorf. Aus den gesammelten Altgeräten werden durch manuelle Zerlegung, mechanische Aussortierung von Schadstoffen und Wertstoffen sowie die abschliessende mechanische Trennung von Metall- und Kunststofffraktionen wertvolle Rohstoffe gewonnen, die wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden können. Durch eigene innovative Trenntechnologien erreicht Immark eine Verwertungsquote von 90%.

Praxisbeispiel 13

Kühlschrankrecycling in Schwellenländern mit FairRecycling

Die Stiftung Fair Recycling Schweiz recycelt in Zusammenarbeit mit lokalen Partnern Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) haltige Kühlschränke in Schwellenländern gemäss Schweizer Qualitätsanforderungen. Da FCKW's sehr potente Treibhausgase sind, leistet eine umweltgerechte Entsorgung einen direkten Beitrag zum Klimaschutz. Dies ermöglicht den rentablen Betrieb des Projekts durch den Verkauf von Klimaschutzzertifikaten. In ihrem Pionierprojekt in Brasilien recycelte die Schweizer Stiftung bereits Hunderttausende an Kühlgeräten. Durch einen hochmodernen Recyclingprozess werden 95% der in den Kühlschränken enthaltenen Rohstoffe zurückgewonnen und einer Wiederverwendung zugeführt. Soziale Aspekte vor Ort (Arbeitssicherheit, Know-how Transfer, Sensibilisierung der lokalen Bevölkerung, Aus- und Weiterbildung der Arbeiter) sind ein weiterer wichtiger Anknüpfungspunkt der Stiftung.

Box 19

«Urban Mining»

Mit 51 Millionen Tonnen Abfällen generiert die Bautätigkeit (Bau & Rückbau) in der Schweiz den grössten Abfallstrom. Davon wird bereits heute, vor allem im Tiefbau, ein Grossteil nach Aufbereitung wieder als Baustoffe verwertet (ca. 80%, inkl. Aushub- und Abbruchmaterial). Die restlichen Teile werden in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) thermisch verwertet oder auf Deponien abgelagert. Beim «Urban Mining» geht es darum, dass sämtliche Zivilisationsabfälle aus Städten und Siedlungen als Rohstofflager der Zukunft verstanden werden. Dabei spricht man in der Regel von drei unterschiedlichen Recyclingvarianten. Vom «Re-use», wenn beispielsweise Radiatoren, Türen oder Fenster als Ganzes ausgebaut und derselben Funktion in einem anderen Gebäude wieder eingebaut werden. Vom «materiellen Recycling», welches das Sammeln von Materialien am Lebensende von Produkten und deren Aufbereitung zu einem Sekundärrohstoff umfasst. Und das «energetische Recycling», bei dem Materialien am Lebensende eines Produktes ebenfalls gesammelt werden, um sie in einen Verbrennungsprozess zuzuführen. Dabei wird die im Produkt gespeicherte Energie zum Beispiel in Zementöfen oder Altholzverbrennungsanlagen in Strom oder Wärme umgewandelt.¹²¹

Generell funktioniert «Urban Mining» nur unter der Voraussetzung, dass Sekundärrohstoffe aus urbanen Quellen mit Materialien aus natürlichen Quellen konkurrenzfähig hinsichtlich Preis und Qualität sind. Insbesondere dann, wenn die Aufbereitung der Materialien hohe Investitionen für die Infrastruktur voraussetzt, ist es für Firmen wichtig, dass sie diese amortisieren können. Dabei kommt es den Firmen entgegen, dass die Konzentration wertvoller Materialien in urbanen Quellen oft höher sind als in natürlichen Lagern. Zum Beispiel ist die Konzentration an Edelmetallen in den schätzungsweise 8 Millionen veraltete Handys,

¹²¹ Aufgrund einer geringeren Bautätigkeit im Winter sinkt der Anteil an brennbaren Abfällen in den Monaten Dezember bis Februar. Damit läuft die Abfallverfügbarkeit dem Wärmebedarf entgegen. (Dettli u. a. 2014)

die in der Schweiz unbenutzt herumliegen höher als in jeder Gold oder Platinmine. Nur aus diesen Handys liessen sich schätzungsweise 3500 Kilo Silber, 340 Kilo Gold und 4 Kilo Platin in einem Gesamtwert von CHF 16 Millionen Franken gewinnen.¹²² Aus Schlackenkompartimenten von Deponien können pro Tonne Schlacke bis zu 65 Kilo Eisenmetalle und 15 Kilo Nichteisen-Metalle herausgeholt werden – Tendenz steigend.¹²³ Auch Klärschlammmasche verfügt über einen erstaunlichen Anteil an Phosphor (5–6%), der dank der separaten Verbrennung des Klärschlammes in Monoverbrennungsanlagen zurückgewonnen werden kann.¹²⁴

Dank «Urban Mining» lassen sich folglich natürliche Ressourcen schonen, Abhängigkeiten vom Ausland und von fluktuierenden Preisentwicklungen reduzieren und neue lukrative Geschäftsmodelle mit inländischer Wertschöpfung aufbauen.

3.1 Stoffliche Verwertung: Analog zu Nährstoffzyklen in der Natur können auch technische Kreisläufe geschaffen werden. Im Vergleich zu einer linearen Wirtschaft, wo Rohstoffe nach ihrer Nutzung entsorgt oder verbrannt werden, kommen sie in einer Kreislaufwirtschaft als rezyklierte Materialien (Sekundärmaterialien) wieder zum Einsatz und ersetzen so einen Teil der Primärrohstoffe. Hier wird zwischen closed-loop und open-loop Recycling unterschieden. Closed-loop Recycling bezieht sich auf einen Stoffkreislauf bei dem die Sekundärmaterialien dieselben Eigenschaften wie Primärmaterialien aufweisen und zur Herstellung derselben oder gleichwertigen Produkte eingesetzt werden können. Beim open-loop Recycling hingegen weisen Sekundärmaterialien andere, meist reduzierte Materialeigenschaften auf, sodass daraus typischerweise anspruchlosere Produkte hergestellt werden. Dies entspricht der sogenannten Kaskadennutzung, wo eine einfache bis mehrfache stoffliche Nutzung eines Rohstoffes mit abnehmender Qualität (down-grading) angestrebt wird bis zuletzt nur noch eine thermische Verwertung in Frage kommt.

3.2 Energetische Verwertung: Wenn aus technischen, wirtschaftlichen oder ökologischen Gründen eine Wiederverwendung oder eine stoffliche Verwertung nicht möglich oder sinnvoll ist, besteht die Möglichkeit der energetischen Verwertung. Brennbare Abfälle werden in der Schweiz üblicherweise in Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) oder in einem industriellen Prozess (z.B. Zementherstellung oder metallthermische Prozesse) verbrannt und die freigesetzte Energie wird in Form von Wärme genutzt oder in Strom umgewandelt. Durch diesen Vorgang werden brennbare Rohstoffe vernichtet und können damit nicht in den Stoffkreislauf zurückgespeist werden. Es entsteht ein Verlust. Der Energienutzungsgrad unterscheidet sich zwischen den verschiedenen energetischen Verwertungsarten. Eine KVA weist typischerweise einen Wirkungsgrad (ohne Eigenbedarf) von 13% bei der Elektrizität und 25% bei der Wärme auf (Dettli u. a. 2014). Der Wärmewirkungsgrad ist unter anderem darum so niedrig, weil er sich auf die verkaufte Wärme bezieht. Da im Sommer die Nachfrage nach Wärme geringer ist als im Winter kann es vorkommen, dass ein Teil der produzierten Wärme nicht genutzt werden kann. Ein Zementwerk nutzt praktisch 100% der Wärmeenergie. Obwohl Strom eine höherwertige Energieform darstellt als Wärme und die Energieeffizienz der KVA laufend steigt, ist damit eine Verwertung im Zementwerk energieeffizienter als in einer durchschnittlichen KVA.

¹²² Bundesamt für Umwelt:

<http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/umwelt/11377/11395/index.html?lang=de>, 24. Oktober 2014

¹²³ AWEL:

http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/abfall_rohstoffe_altlasten/rohstoff_e/rohstoffe_aus_abfaellen/metalle.html, 24. Oktober 2014

¹²⁴ Factsheet UMTEC:

http://www.umtec.ch/Abfall.6519.o.html?&content=20156&id_project=456, 24. Oktober 2014

4. Beseitigung: Abfälle, die weder stofflich noch energetisch verwertet werden können, werden in unterschiedlichen Verfahren beseitigt. Dabei kommen beispielsweise die Ablagerung in oder auf dem Boden (z.B. Deponie), chemische oder biologische Behandlungen, die Verbrennung in Sondermüllverbrennungsanlagen oder die Dauerlagerung in einem Bergwerk zur Anwendung.

Praxisbeispiel 14

Kundenfreundliches Recycling mit Mr. Green

Mr.Green erleichtert Haushalten und Büros das Recycling. Sämtliche verwertbaren Abfälle können in einem einzigen Sack gesammelt werden, welcher von Mr.Green abgeholt wird. Auch Wertstoffen wie Getränkekartons (z.B. von Tetra Pak), Plastiksäcke oder Korkzapfen wird ein zweites Leben ermöglicht. Das Unternehmen trennt die Güter in die einzelnen Komponenten und führt diese einer stofflichen Verwertung zu. Diese Dienstleistung erleichtert den Kunden nicht nur eine umweltbewusste Entsorgung, sondern gewährleistet auch ein effizientes und fachmännisches Recycling.

Praxisbeispiel 15

Optimale Entsorgungslogistik mit swisslogix

Ymatron (mit Marke swisslogix) ist ein internationales Unternehmen mit Sitz in Dielsdorf, Schweiz und bietet in Europa erstklassige und innovative Produkte, Lösungen und Services für die Tourenoptimierung (fixe und dynamische Touren) und Behälterbewirtschaftung in der Entsorgungslogistik an. Städte, Gemeinden und private Transportunternehmen disponieren täglich ihre Fahrzeuge in der internetbasierten Software swisslogix integra. Dabei vertrauen sie auf die zuverlässigen und zeitnahen Füllstand Messwerte mit Prognosefunktion aus swisslogix Produkten, welche in allen Sammelcontainern (z.B. Hauskehricht, Glas, Papier, Karton, PET, Litter) einfach eingebaut werden können. swisslogix Produkte und Lösungen sind ökologisch, ökonomisch und nachhaltig, da damit die Anzahl Leerungen, Fahrtenkilometer, Fahrzeuge, Zeit, Emissionen (CO₂ und Lärm) und Kosten signifikant reduziert werden können.

6.3.1 Kunststoffverwertung

Kunststoffe können entweder stofflich oder aufgrund ihres hohen Heizwertes energetisch in KVA's oder in Zementwerken verwertet werden. Die Frage nach der stofflichen oder energetischen Verwertung bestimmter Kunststofffraktionen beschäftigt die Schweizer Abfallpolitik daher seit einigen Jahren.

In der Schweiz werden im Schnitt jährlich 125 kg Kunststoffe pro Kopf verbraucht. Etwa ein Drittel davon sind Verpackungskunststoffe und ein Viertel Baukunststoffe. Zu unterscheiden sind Kunststoffabfälle aus Haushalten oder aus Industrie und Gewerbe. Letztere fallen meist in grösseren Mengen und sortenreiner an und sind daher für die stoffliche Verwertung geeigneter. Der Anteil Kunststoffe im Haushaltskehricht beträgt rund 15 Gewichtsprozent. Davon sind wiederum nur ein Sechstel sortenreine Kunststoffbehälter (Flaschen). Von den jährlich insgesamt 780'000 Tonnen Kunststoffabfällen werden heute nur 90'000 Tonnen stofflich verwertet. Dafür bleiben rund 250'000 Tonnen als Produkte in Gebrauch¹²⁵. Das Potenzial der stofflichen Verwertung ist damit erheblich. Separat gesammelt werden heute flächendeckend aber nur PET-Getränkeflaschen und PE-Flaschen durch einzelne Detailhändler wie Migros und Coop.

Die Frage ob einzelne Kunststofffraktionen eher stofflich statt energetisch zu verwerten sind, muss aus dreierlei Blickwinkeln betrachtet werden. Ersten muss die Trennung und Recycling aus technischer Hinsicht möglich sein. Zweitens

¹²⁵ alle Zahlen von BAFU (<http://www.bafu.admin.ch/abfall/01472/01483/index.html?lang=de>)

muss die stoffliche Verwertung auch wirtschaftlich vertretbar sein. Dies hängt von Faktoren wie der Finanzierungsstruktur (z.B. vorgezogene Recyclinggebühr), der Nachfrage auf dem Sekundärmarkt oder der anfallenden Kosten der Trenn- und Recyclingverfahren ab. Drittens muss auch ein positiver ökologischer Nutzen im Vergleich zur energetischen Verwertung entspringen. Das wäre beispielsweise dann nicht der Fall, wenn aufgrund des fehlenden Kunststoffes im Abfall die KVA weniger Strom produziert würde und dieser durch den Import von einem Kohlekraftwerk bereitgestellt werden müsste. Möglich ist auch, dass ein Recyclingverfahren mehr Energie benötigt als die Herstellung von neuem Material. Ob sich stoffliches Recycling letztlich aus einer Gesamtperspektive lohnt, hängt also von der Abwägung der genannten Kriterien ab (siehe **Tabelle 9**). Ausserdem ist es relevant, auch den Umgang mit anderen Abfallfraktionen in diese Überlegungen einzubeziehen. So ist es denkbar, dass eine stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen sinnvoller wäre, wenn gleichzeitig die Bioabfälle separat gesammelt und verwertet würden. So würde nämlich der Wassergehalt im Abfall reduziert, was die Reduktion des Brennwertes aufgrund des fehlenden Kunststoffes kompensieren könnte.

Für die Sammlung von Kunststoffen haben sich in der Schweiz unterschiedliche Systeme etabliert. Parallel zu sortenreinen Sammlungen für PET- und PE-Flaschen haben sich vereinzelt auch gemischte Sammlungen von Kunststoffabfällen aus Haushalten durchgesetzt (z.B. der Kunststoffsack der Paul Baldini AG in Altdorf). Erfahrungen zeigen jedoch, dass bei Mischsammlungen nur ein Anteil von 20 bis bestenfalls 40% der gesammelten Kunststoffe tatsächlich auch stofflich verwertet wird. Gründe dafür sind einerseits, dass einzelne Kunststoffsorten im mechanischen Sortierungsverfahren nicht voneinander getrennt werden können und andererseits, dass die Fraktionen einen zu hohen Verschmutzungsgrad (z.B. durch «Cross Contamination») aufweisen. Basierend auf diesen Erfahrungswerten wird Gemeinden heute geraten, keine Sammlung von gemischtem Kunststoff einzuführen, sondern selektiv auf sortenreine Kunststoffsammlungen zu setzen, deren Sammelgut eine meist höhere Qualität aufweist und damit für das stoffliche Recycling besser geeignet ist. Unterstützt werden in diesem Zusammenhang auch die Bestrebungen des Detailhandels, auf eigene Kosten sortenreine Kunststoffsammlungen einzuführen und damit ihre Verantwortung im Rahmen der teils gesetzlich verankerten Rücknahmepflicht von Verpackungen zu übernehmen¹²⁶.

Praxisbeispiel 16 ***InnoRecycling schliesst Kunststoffkreisläufe***

InnoRecycling und InnoPlastic, zwei Schwesterunternehmen aus Eschikon TG, vereinen Kunststoffverarbeitung und Kunststoffentsorgung unter einem Dach. Kunststoffabfälle aus Privathaushalten, Industrie und Gewerbe werden gesammelt, sortiert zu sortenreinen Kunststofffraktionen und anschliessend zu Regranulaten verarbeitet. Dieser Sekundärrohstoff ist in Bezug auf Qualität und Preis mit dem Primärrohstoff vergleichbar und wird zur Produktion von neuen Kunststoffprodukten eingesetzt. Kunststoffrecycling punktet gegenüber der herkömmlichen Rohstoffgewinnung besonders durch: Günstige Beschaffungskosten der Kunststoffabfälle, geringere Abhängigkeit von volatilen Märkten, Energieeinsparung von bis zu 80% gegenüber Neumaterial, sowie – durch Ökobilanzen belegt – 3mal weniger CO₂-Emissionen pro Tonne Recyclingkunststoff.

¹²⁶ AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft,
http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/abfall_rohstoffe_altlasten/abfall/abfallarten/kunststoffe.html#title-content-internet-baudirektion-awel-de-abfall_rohstoffe_altlasten-abfall-abfallarten-kunststoffe-jcr-content-contentPar-textimage_0

Table 9
Relevanten Faktoren¹²⁷ für eine sortenreine oder gemischte Kunststoffsammlung gegenüber anderen Entsorgungssystemen.

Faktoren	Erklärung
Menge / Ergiebigkeit	<i>Infrastruktur- und Sammelkosten können erst ab einer gewissen Wertstoffmenge gedeckt werden. Diese Menge muss über einen längeren Zeitraum gewährleistet sein. Konsumtrends spielen dabei eine wichtige Rolle.</i>
Reinheit / Homogenität	<i>Je homogener die Fraktion, desto wirtschaftlicher, ökologischer und technisch einfacher ist die stoffliche Verwertung. Sortenreine Sammlungen weisen in der Regel eine höhere Verwertungsquote als gemischte Sammlungen auf.</i>
Sauberkeit / Hygiene	<i>Verunreinigte Fraktionen müssen gereinigt werden. Dies erhöht die Kosten und Emissionen (z.B. Wasserverunreinigung) der stofflichen Verwertung.</i>
Finanzierung	<i>Da die Verkaufserlöse von Wertstoffen die Recyclingkosten meist nicht deckten, müssen diese entweder gemäss dem Verursacherprinzip (z.B. vorgezogene Entsorgungsgebühr oder Recyclingbeitrag), oder durch die Abfall-Grundgebühr finanziert werden.</i>
Nachfrage Sekundärmarkt	<i>Der Absatz auf dem Sekundärmarkt muss gewährleistet sein. Dies hängt von den Marktpreisen für Primärrohstoffe und deren Verfügbarkeit ab (z.B. Erdölpreis). Zudem muss der Sekundärrohstoff aus qualitativer Hinsicht wettbewerbsfähig sein.</i>
Ökologischer Nutzen	<i>Separatsammlungen von Kunststoffen müssen bezüglich ihrer Umweltbelastung besser abschneiden als andere Entsorgungssysteme. Bei sortenreinen PE und PET Sammlungen weisen Ökobilanzen einen positiven Nutzen auf. Das Ergebnis variiert jedoch stark je nach Methode und Annahmen (z.B. je nach dem zugrunde gelegten substituierten Energiemix).</i>
Standort	<i>Urbane Gebiete eignen sich in der Regel eher für Separatsammlungen aufgrund grösserer Mengen und kürzerer Sammelstrecken. Im Vergleich zum restlichen Verwertungsprozess ist die Umweltbelastung der Sammlungslogistik jedoch überraschend gering (ca. 10%).</i>
Convenience / Kommunizierbarkeit	<i>Gemischte Kunststoffsammlungen sind aus Sicht der Konsumenten bequemer. Sortenreine Sammlungen werden zwar akzeptiert, dennoch ist die fachgerechte Trennung durch den Konsumenten schwer zu kommunizieren.</i>

¹²⁷ Die Faktoren wurden im Rahmen einer swisscleantech Fokusgruppe und mithilfe des AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kanton Zürichs sowie mithilfe von REDILO GmbH zusammengestellt.

6.4 Sharing & Services Economy

Die gesellschaftliche Wahrnehmung von Konsum und Besitz verändert sich im Laufe der Zeit. Unter 30-Jährige – die sogenannte Generation Y – weisen bereits ein anderes Konsumverhalten als ihre Eltern auf. Besitz und die Ansammlung von materiellen Gütern werden weniger als Statussymbol, sondern zunehmend als Last und Einschränkung der individuellen Freiheit wahrgenommen. Man möchte zwar im Alltag Gebrauchsgüter in Anspruch nehmen, sich aber nicht davon einschränken lassen. In der Sharing Economy werden Konsumenten (Rezipienten) von Informationen oder Gebrauchsgütern selbst zu Distributoren. Gebrauchsgüter werden gemeinsam gekauft, gemeinsam genutzt oder an Dritte verliehen. Es geht also um die gemeinsame, zeitlich begrenzte Nutzung von Gütern oder Dienstleistungen, die nicht dauerhaft benötigt werden. Der Prozess findet entweder zwischen Konsumenten statt (peer-to-peer) oder durch einen Intermediär. Letzterer hat dank dem Durchbruch des Internets im letzten Jahrzehnt an Wichtigkeit zugenommen. Dank virtuellen Teil-, Tausch- oder Verkaufsbörsen können Dienstleistungen und Gebrauchsgüter unabhängig von Zeit und mit wenig Aufwand von einer breiten Masse bezogen werden. Eine finanzielle oder materielle Gegenleistung fällt nur dann an, wenn dies vom Plattformbetreiber oder dem Distributor verlangt wird.

Aus Sicht eines Unternehmens schafft dieser Trend neue lukrative Geschäftsmodelle, die sich positiv auf den Umgang mit natürlichen Ressourcen auswirken können. Zur Befriedigung derselben Bedürfnisse wird dank der kollektiven Nutzung oder der Wiederverwendung eines Gebrauchsguts weniger Material benötigt. Das Sharing-Konzept eignet sich vor allem für Produkte, die eine tiefe Verwendungsdauer aufweisen wie beispielsweise private Fahrzeuge (die täglich etwa 22 Stunden stillstehen), Werkzeuge, Sportartikel oder Bücher. Im Vermietungsbereich für kapital- und wartungsintensive Produkte wie Fahrzeuge, elektronische Geräte oder Wohnungen hat sich dieses Konzept bereits erfolgreich durchgesetzt. Mobility Car Sharing beispielsweise, hat sich diesen Trend zu Nutzen gemacht, indem sie ihren Kunden eine neue Mobilitätsdienstleistung anbieten. Anstatt ein eigenes Privatfahrzeug zu besitzen, können Konsumenten bei Bedarf und ohne weiteren Aufwand (z.B. Versicherung, Wartung, Reparatur, Abstellplatz etc.) ein Fahrzeug ganz in ihrer Nähe mieten und es an der gewünschten Ortschaft wieder abgeben. Gezahlt wird ausschliesslich ein Betrag, der sich aus Zeit und Distanz errechnet.

Praxisbeispiel 17 *Carsharing mit Mobility*

Die Mobility Genossenschaft hat den Trend des Teilens in der Schweiz mitinitiiert. Heute steht je länger desto weniger der materielle Besitz eines Autos im Zentrum des Interesses, sondern vielmehr das Bedürfnis nach flexibler und ungebundener Mobilität. Genau davon profitieren Mobility-Kunden: Ohne Aufwand, flexibel und kostengünstig mieten sie Fahrzeuge in der ganzen Schweiz (Versicherungen, Treibstoff, Wartung, Reparaturen etc. sind in den Preisen inklusive). Bezahlt wird neben einer Jahrespauschale ausschliesslich ein Betrag, der sich aus Zeit und Distanz errechnet. Die energieeffiziente Mobility-Flotte trägt dazu bei, dass Carsharing jährlich knapp 20'000 Tonnen CO₂ einspart. Ausserdem sind dank Mobility 25'700 weniger Autos auf Schweizer Strassen unterwegs und 38'500 weniger Parkplätze werden benötigt.

In diesen Kontext gliedert sich auch das Konzept «Vermieten statt Verkaufen» ein. Unternehmen, die sich heute ausschliesslich als Produzenten oder Verkäufer eines bestimmten Produktes verstehen, können ihr Portfolio durch die klassische Vermietung von Leistungen ausweiten und damit zunehmend auch als Dienstleister auftreten. Insbesondere die Vermietung elektrischer Haushaltsgeräte wie Kühlschränke, Waschmaschinen oder Staubsauger birgt ein hohes Potenzial. Statt einen Kühlschrank zu kaufen, wird dem Kunden die Dienstleistung gekühlter Nahrungsmittel verkauft, statt Waschmaschinen wird saubere Wäsche angeboten

oder statt einem Staubsauger, einen sauberen Fussboden. Dieses Prinzip kann auch auf Produkte wie z.B.: Schrank, Teppich, Lampe oder Fahrzeug übertragen werden. Stauraum, Wohnkomfort, Beleuchtungsdauer pro m² und individuelle Mobilität wären die entsprechenden Dienstleistungen. Bei den sogenannten «Shared Services» wird das Konzept «Vermieten statt Verkaufen» Teil der Sharing Economy. Statt einem Produkt wird hier eine Dienstleistung mehreren Parteien gleichzeitig angeboten. Beispiele dafür wären geteilte Werkzeugkeller oder geteilte Tiefkühltruhen mit Schliessfächern für alle Mieterparteien, die vom Vermieter oder einem anderen Servicedienstleister angeboten werden.

Praxisbeispiel 18

Vernetzte Sharing Economy

Die Vision des Verein Sharecon ist, das Teilen von ungenutzten Kapazitäten, Wissen und Ressourcen zu einer Selbstverständlichkeit in der digitalen und vernetzten Gesellschaft zu machen. Sharecon vernetzt Sharing Economy Startups mit Wirtschaft, Politik und Journalisten, informiert über Trends und Best Practices der Schweizer Sharing Economy und macht Zukunftskonzepte und Anwendungen des Teilens in der Gesellschaft bekannt. Konkrete Pläne sind das Schaffen von Verständnis und Akzeptanz bei Konsumenten, offener Erfahrungsaustausch unter Gründern und Interessierten zu erfolgreichen Business-Modellen und Herausforderungen und das Sensibilisieren der Wirtschaft und Politik für eine neue Form des Wirtschaftens. Sharecon wurde 2013 gegründet und hat seinen Hauptsitz in Zürich.

Das Konzept «Nutzen statt Kaufen» führt zu einer Veränderung der Besitzverhältnisse, denn auch nach dem Kaufabschluss bleibt das dienstleistungserbringende Produkt über die gesamte Nutzungsdauer im Besitz und in der Verantwortung des Unternehmens und geht nie an den Konsumenten über. Das Unternehmen hat fortan ein direktes Interesse, die Produktqualität bezüglich Haltbarkeit, Wartung und Adaptierfähigkeit zu optimieren. Der heutige ökonomische Anreiz, der darauf abzielt den Konsumenten möglichst schnell zu einem Wiederkauf zu bewegen und in einem verschwenderischen Umgang mit natürlichen Ressourcen resultiert, wäre damit entschärft. Stattdessen würde ein Unternehmen sein Geschäftsmodell auf qualitativ hochwertige Dienstleistungen ausrichten und zusätzliche Einnahmen auf der Grundlage der Wartung und laufenden Erweiterung seiner Produkte generieren. Dank der Gewährleistung von hohen Ressourceneffizienzstandards bei Produkten, deren Nutzung einen Ressourcenverbrauch zu Folge hat (z.B. Strom und Wasser bei einer Waschmaschine), könnten Unternehmen die variablen Kosten ihrer Dienstleistung für die Konsumenten möglichst tief halten und damit die Marktchancen ihres Dienstleistungsangebots erhöhen.

Auch in Bezug auf die Ressourcensicherheit bietet das Konzept aus Unternehmenssicht einen wesentlichen Vorteil. Da der Besitz eines bestimmten Produktes nie an den Konsumenten übergeht, kann das Unternehmen am Ende des Produktlebenszyklus seinen Anspruch auf die Rohstoffe geltend machen. Anstatt Primärrohstoffe aus dem Ausland einzukaufen, kann das Unternehmen auf sein eigenes Rohstofflager zurückgreifen. Dass dies aber wirtschaftlich und technisch gelingt, müssen Faktoren wie die Trennbarkeit der verschiedenen Materialien bereits im Produktdesign miteingeflossen sein. Eine Unternehmung hat dadurch einen direkten Anreiz, im Sinne von «Ecodesign» die entsprechenden Materialien und Materialkombinationen einzusetzen. Bei Produzenten von Druckern wie Xerox wird dieses Konzept bereits erfolgreich angewandt.

Für Unternehmen gilt es den Trend der Sharing Economy zu nutzen und in die eigene Unternehmensstrategie einfließen zu lassen. In der Zukunft werden Konsumenten zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse weniger auf den Eigenbesitz und die Neuwertigkeit eines Produktes setzen, als auf einen möglichst geringen zeitlichen und finanziellen Aufwand. In Anbetracht dieser Entwicklung ist die Sharing Economy zunehmend auch in die Kritik der Medien geraten. Da sich die Technologien schneller als die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen entwickelt haben, sind die geltenden Regeln für die Marktteilnehmenden noch weitgehend

unklar. Eine Erklärung dafür ist die mangelnde Differenzierung zwischen der Kategorie Mensch und der Kategorie Unternehmen. Ab wann wird ein privater Teilnehmer durch den Verkauf oder Verleih von Produkten oder Dienstleistungen zum Unternehmer und muss damit entsprechende Vorschriften zu Steuern, Versicherungen, Arbeitsverträgen oder Mindestlöhnen erfüllen? Diese Frage ist noch weitgehend ungeklärt und muss nun von der Politik möglichst zeitnah adressiert werden, damit sich die Schweizer Sharing Economy auf einer soliden gesetzlichen Basis weiterentwickeln kann.

6.5 Umweltfreundliche Ernährung

In der Umstellung von Ernährungsgewohnheiten liegt ein grosses Potenzial zur Schonung von natürlichen Ressourcen. Die Produktion von Fleisch und Milchprodukten benötigt viel mehr Land und Wasser und emittiert auch fünf bis zehn mal mehr Treibhausgase als die Produktion von pflanzlicher Nahrung¹²⁸. Aber auch bei pflanzlicher Nahrung kann durch den Konsum von lokalen und saisonalen Produkten der Ressourcenverbrauch von Lagerung und Transporten reduziert werden. Dadurch entstehen auch weniger Lebensmittelabfälle.

6.5.1 Reduktion des Fleisch- und Milchproduktekonsums

Während erwartet wird, dass der globale Fleischbedarf mit zunehmender Bevölkerungszahl und steigendem Wohlstand in Entwicklungsländern signifikant steigen wird, kann man davon ausgehen, dass der pro Kopf Konsum in der Schweiz in Zukunft nicht mehr so stark zulegen wird wie bisher. Zwar steigern einige Konsumenten ihren Fleischkonsum nach wie vor, doch ernähren sich auch immer mehr Menschen aus ethischen, gesundheitlichen oder ökologischen Gründen vegetarisch oder sogar vegan. Dieser Trend hat in den letzten zwei Jahrzehnten auch dazu geführt, dass heute in praktisch jedem Restaurant mehrere vegetarische Gerichte auf der Speisekarte stehen. Auch haben sich einige vegetarische Restaurants inzwischen aus der ideologischen Nische herausentwickelt und zählen zu den angesagten Lokalen für die moderne städtische Bevölkerung. Damit hat sich auch unter Nicht-Vegetariern eine Tendenz zu weniger häufigem Fleischkonsum entwickelt. Eine wichtige alternative Eiweissquelle, die mit viel weniger Ressourcenverbrauch als Fleisch bereitgestellt werden kann, sind Insekten. Sie werden in weiten Teilen der Welt regelmässig gegessen und scheinen auch langsam den Weg auf unseren Speiseplan zu finden. Demnächst soll das Lebensmittelgesetz angepasst werden, um auch den Verkauf von Insekten zum Verzehr legal möglich zu machen.

6.5.2 Lokaler und saisonaler Konsum und Urban Farming

Lokal hergestellte und saisonal konsumierte Lebensmittel sparen den Ressourcenbedarf für lange Transporte und für die Lagerung, die für die Kühlung oft einen erheblichen Energiebedarf aufweist. Bei den Transporten ist vor allem die Luftfracht kritisch. Auf den Konsum von eingeflogenen Lebensmitteln sollte möglichst verzichtet werden. Aber auch lange Strassentransporte können wesentlich zum Ressourcenbedarf von Nahrungsmitteln beitragen. Überseetransporte mit Containerschiffen sind hingegen relativ unkritisch, da die transportierten Mengen bei solchen Schiffen enorm sind und sich die Treibhausgas und Schwefeldioxidemissionen so auf viele Produkte verteilen.

Urban Farming, ein Trend zu nachhaltiger Nahrungsmittelproduktion, hat das Konzept des lokalen Konsums zu Ende gedacht. Unter dem Begriff versteht man den Anbau von Nutzpflanzen und die Zucht von Nutztieren in

¹²⁸ Pro Nährwert

städtischen Gebieten. Vor dem Hintergrund der weltweit zunehmenden Urbanisierung und der damit verbundenen wachsenden Distanz zwischen städtischem Nahrungskonsum und ländlicher Nahrungsproduktion, wird die Ernährungssicherung der Stadtbevölkerung eine zunehmende Herausforderung. In diesem Zusammenhang kann Urban Farming – vor allem bei von Armut betroffenen Menschen – eine wichtige Nahrungsquelle darstellen und gleichzeitig der Armutsbekämpfung dienen.

In der Schweiz gewinnt das Urban Farming wohl aus anderen Gründen zunehmend an Bedeutung. Eine immer grösser werdende Anzahl von Stadtbewohnern stellen Gemüse, Früchte und Kräuter auf Balkonen, Terrassen und Hinterhöfen oder in Gemeinschafts- und Schrebergärten her. Ausserdem erfreut sich auch die Stadt-Imkerei zunehmender Beliebtheit. Neben der Produktion eigener Lebensmittel stehen dabei häufig Aspekte wie die Verschönerung bzw. Begrünung der Stadt, die Schaffung von Erholungsmöglichkeiten sowie der soziale Kontakt im Garten im Mittelpunkt. Ein weiterer positiver Effekt des Urban Farmings ist die Wiederherstellung der Verbindung der Stadtbewohner zur Lebensmittelproduktion, die weitgehend verloren gegangen ist. So kann die eigene Erfahrung mit dem Anbau zu einem bewussteren Umgang mit Nahrungsmitteln führen und so beispielsweise zu einer saisongerechteren Ernährung oder zu weniger Verschwendung beitragen. Neben diesen sozialen und psychologischen Aspekten von Urban Farming trägt die Neu- oder Umnutzung von bisher nicht oder nicht mehr genutztem Raum im Stadtgebiet (z.B. Dachflächen, leerstehende Industriehallen, Höfe, Kreisel etc.) zu einer erhöhten Nahrungsmittelproduktion bei, ohne dass zusätzliche Agrarflächen benötigt werden. Dies kann in einem dichtbesiedelten Land wie der Schweiz, wo Konflikte verschiedener Landnutzungsformen unausweichlich sind, zu einem schonenden Umgang mit der Ressource Boden und Land beitragen. Im Weiteren wird durch Urban Farming auch Raum für die städtische Biodiversität geschaffen. Ausserdem ermöglicht Urban Farming der Stadtbevölkerung den Zugang zu gesunden, frischen Nahrungsmitteln, während Kosten und Energieverbrauch für deren Transport aus ländlichen Anbaugebieten in die Stadt eingespart werden können. Ein weiterer Vorteil besteht in der Verwertung von städtischen Abfällen, die als Kompost zur Düngung der Urban Farms dienen.

Praxisbeispiel 19

Gemüse und Fisch aus der Stadt mit Urban Farmers

Das Bolt-On Aquakultur-System der Firma UrbanFarmers besteht aus einem geschlossenen Wasserkreislauf, welcher eine Hydrokultur zum Gemüse- und Salat-anbau mit einer Fischzucht verbindet. Die Ausscheidungen der Fische liefern den Nutzpflanzen so die benötigten Nährstoffe, während die Pflanzen ihrerseits die Reinigung des Wassers gewährleisten. In einer Pilotanlage in Basel werden so auf einer Fläche von 250 m² jährlich 5 Tonnen Gemüse sowie 850 kg Fisch produziert, welche frisch an lokale Restaurants sowie in einer nahe gelegenen Migros-Filiale verkauft werden können. Dieses effiziente System verbraucht 90% weniger Wasser als wenn Fisch- und Gemüseproduktion isoliert voneinander betrieben würden (Einsparung von Abwasser) und die Fläche pro Kilogramm produziertes Gemüse ist rund 8 mal geringer als in einem Gemüsegarten. Zudem stellt die räumliche Nähe zu den Verkaufs- und Belieferungsstellen ein weiterer Vorteil der Produktion im städtischen Gebiet dar (kürzere Transportwege, keine Kühlketten). Interessenten können bei UrbanFarmers das fertige System sowie Fische und Pflanzensetzlinge erwerben.

6.5.3 Reduktion von food waste

Wären Nahrungsmittelabfälle ein Land, würde es zu den 3 Ländern mit dem grössten ökologischen Fussabdruck gehören. Weltweit gehen rund ein Drittel aller Nahrungsmittel verloren oder werden weggeworfen. Mit knapp 300 Kilo Nahrungsmittelabfällen pro Kopf und Jahr liegt die Schweiz im internationalen Vergleich weit vorne¹²⁹. Dabei werden ein Drittel dieser Abfälle von Konsumentinnen und Konsumenten verursacht. Ein förderlicher Faktor für einen weniger verschwenderischen Umgang wäre der Offenverkauf von frischen Produkten, womit einerseits Verpackung eingespart würde und andererseits die Konsumenten nicht gezwungen würden, mehr zu kaufen als sie effektiv brauchen. Bei leicht verderblichen Produkten hingegen kann gerade eine optimale Verpackung dazu beitragen, dass die Lebensmittel weniger rasch schlecht werden. In solchen Fällen muss geprüft werden, ob kleinere Mengen pro Packung aus einer ganzheitlichen Sicht vorteilhafter wären. Ein ganz anderer Ansatz liegt darin, dass sich mehrere Kleinhaushalte beim Einkaufen und vielleicht auch beim Kochen zusammenschliessen. So würde Ernährung für den einzelnen günstiger, food waste könnte reduziert werden und das Kochen und Essen könnte, vorausgesetzt man fühlt sich in der Gruppe wohl, mehr Spass machen als alleine.

Natürlich kann auch der Konsument mit intelligentem Kaufverhalten zu einem umweltfreundlicheren Umgang mit Nahrungsmitteln beitragen. So sollte er zum Beispiel nur das kaufen, was nicht schon im Kühlschrank liegt. Dabei helfen könnten in Zukunft intelligente Kühlschränke wie z.B. der Screenfridge von Elektorlux, der via Internet mitteilen kann, welche Produkte noch vorhanden sind. Auch kann der Konsument durch Berücksichtigung von Faktoren wie Lokalität und Saisonalität zu einem geringeren Verlust an Nahrungsmitteln bei Transport und Lagerung beitragen. Aus Sicht der Produktion können neues Wissen über die Entstehung von Nahrungsmittelabfällen (z.B. Logistik), technische Innovationen und neue Produktionsverfahren die Vermeidung von Nahrungsmittelabfällen und die stoffliche Verwertung fördern. Demnach müssen Massnahmen auf der Ebene der Forschung und Entwicklung wie auch auf der Ebene der Sensibilisierung ansetzen.

6.6 3D-Printing

Das sogenannte 3D-Printing stellt eine neue Produktionsmethode für Industrie- und Heimanwendungen mit tiefgreifendem Veränderungspotenzial dar. Je nach Anwendung kann sich diese Technologie sehr unterschiedlich auf den Energieverbrauch, auf die Beschaffenheit der Materialien und auf Abfall- und Logistikströme auswirken. Sicher besteht ein hohes Potenzial zur Minimierung von Produktionsabfällen sowie in der Wechselwirkung von zentraler und dezentraler Produktion. Werden beispielsweise in Zukunft Ersatzteile nur noch nach Bedarf und lokal vor Ort hergestellt, können Umweltbelastungen dank weniger Transport und Lagerung möglicherweise reduziert werden. Angewendet wird 3D-Printing heute bereits in der Medizinal- und Dentaltechnik oder im Prototyping, wo individuelle Anfertigungen oder maßgeschneiderte Lösungen benötigt werden. Insbesondere für die Herstellung von Hörgeräten punktet diese neue Technologie mit der erheblichen Vereinfachung der Herstellungsprozesse und weniger Materialverlusten. Wie praktisch jede Innovation birgt natürlich auch das 3D-Printing das Risiko, dass damit ein Bedürfnis nach Dingen oder Dienstleistungen generiert wird, welches vorher niemand verspürt hat.

¹²⁹ Bundesamt für Landwirtschaft:

<http://www.blw.admin.ch/themen/01803/index.html?lang=de>

Praxisbeispiel 20

Gedruckte Hörgeräte von Sonova

Die Sonova Holding AG mit Hauptsitz in Stäfa in der Schweiz ist der führende Hersteller von innovativen Lösungen rund um das Thema Hören, unter anderem im Bereich von Im-Ohr-Modellen, welche speziell auf die Form des Gehörgangs des Kunden zugeschnitten sind. Die herkömmlichen Herstellungsverfahren dieser auf den Kunden angepassten Teile sind äusserst arbeits-, zeit- und materialintensiv. Die Technologie des 3D-Drucks gepaart mit dem 3D-Scanning von Silikonabgüssen des Gehörgangs sowie 3D-Modeling am Computer haben das Herstellungsverfahren revolutioniert. Dank dem 3D-Printing können heute die benötigten komplexen Formen schnell, flexibel, materialeffizient und ortsunabhängig produziert werden. So stellt die Firma Sonova heute weltweit jährlich mehr als eine Million massgefertigte Geräte her.

6.7 Neue Arbeitsformen dank ICT

Dank neuen Informations- und Kommunikationstechnologien lassen sich ressourcenfreundlichere Arbeitsformen erfolgreich umsetzen. Klassische Arbeitsformen, bei denen Arbeitnehmende täglich zu ihrem Arbeitsplatz pendeln, führen zu einer täglichen Überlastung der Bahn- und Strasseninfrastruktur und verursachen einen hohen Energieverbrauch und Schadstoffausstoss. Die modernen Möglichkeiten für Informationsaustausch und die Kommunikation mit Mitarbeitenden und Geschäftspartnern auf virtueller Basis erlauben flexible Arbeitsformen, die Arbeitnehmenden bei der Wahl ihres Arbeitsortes freie Hand lassen. Ein konkretes Beispiel stellen die sogenannten «Work Hubs» dar, in denen sich Personen aus unterschiedlichen Firmen in der Nähe Ihres Wohnsitzes einmieten können. Solche Work Hubs bieten die nötige Arbeitsvorrichtung und -infrastruktur an, um das Arbeiten in Teams und eine reibungslose Kommunikation mit Nutzern ausserhalb des Work Hub oder anderer Work Hubs zu gewährleisten. Damit können sowohl der Zeitaufwand sowie die Umweltbelastung der Pendlermobilität reduziert werden. Auch lassen sich längere Reisen zu internationalen Treffen dank moderner Kommunikationstechnik vermeiden. Beides reduziert wiederum Kosten und wirkt sich positiv auf die Umwelt und das soziale Wohlbefinden aus. Innovationen im ICT-Bereich stellen daher auch für den Umgang mit natürlichen Ressourcen ein enormes Potenzial für den Schweizer Wirtschaftsplatz dar.

Praxisbeispiel 21

Flexibel und ortsunabhängig arbeiten mit Swisscom

Voraussetzungen für die neuen, flexiblen Arbeitsformen sind eine ortsunabhängige und gute Einbindung ins Unternehmensnetzwerk sowie geeignete Software- und Kommunikationswerkzeuge. Als das führende Telekommunikationsunternehmen der Schweiz bietet die Swisscom zahlreiche Kommunikations- und Kollaborationslösungen, welche ihren Geschäftskunden ermöglichen flexible Arbeitsmodelle und home-office in die Praxis umzusetzen. Dabei sind beispielsweise Internettelefonie, Instant Messaging, Audio- und Videokonferenz, Cloudlösungen, Desktop- oder Filesharing sowie der Zugang zum mobilen Internet Bestandteile der Angebote von Swisscom. Konsequenterweise ist Swisscom als Arbeitgeber home-office friendly und fördert mobiles Arbeiten wo immer möglich und sinnvoll. Die Effizienzgewinne durch ICT-Lösungen freut nicht nur die Mitarbeiter, sondern auch die Umwelt: im Jahr 2014 konnten dank dem Einsatz von Green ICT-Diensten von Swisscom insgesamt rund 320'000 Tonnen CO₂ eingespart werden.

7 Bibliographie

- Alliance for Water Stewardship (2014), The AWS International Water Stewardship Standard.
- Althaus, H.-J. (2011), Modern individual mobility, The International Journal of Life Cycle Assessment, 1–3.
- Angerer, G., Marcheider-Weidemann, F., Lüllmann, A., Erdmann, L., Scharp, M., Handke, V. und Marwede, M. (2009), Rohstoffe für Zukunftstechnologien Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Fraunhofer-IRB-Verl., Stuttgart.
- BAFU (2012a), Strategie Biodiversität Schweiz.
- BAFU (2012b), Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Bericht des Bundesrates zum Postulat «Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen», Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation.
- BAG (2012), Factsheet: Hormonaktive Chemikalien, Eidgenössisches Departement des Innern EDI.
- Beres, M., Burkhalter, R., Caprio, M., Gouffon, Y., Kissling, E., Sellami, S., Vallin, S. und Vandelli, A. (2013), Geologie Schweiz--das Wissen aus dem Untergrund = Géologie de la Suisse--la découverte du sous-sol = Geologia della Svizzera--la scoperta del sottosuolo = Geology of Switzerland--knowledge from underground, Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Wabern.
- BFE (2013), Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2013.
- BFE (2014), Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien, Ausgabe 2013, Kaufmann, U..
- BFS (2014), Tabelle: Materialflusskonten – Direkte Inputflüsse und wie sich diese zusammensetzen,
http://www.pxweb.bfs.admin.ch/Dialog/varval.asp?ma=px-d-02-4A01&path=../Database/German_02%20-%20Raum%20und%20Umwelt/02.4%20-%20Umweltgesamtrechnung (zugegriffen am 18.07.2014).
- Binder, C., de Baan, L. und Wittmer, D. (2009), Phosphorflüsse der Schweiz – Stand, Risiken und Handlungsoptionen. Abschlussbericht., Umwelt-Wissen, Nr. 0928, BAFU, Bern, 161 S.
- Bolliger, R. und Zeyer, C. (2014), Cleantech Energiestrategie, 4.0, swisscleantech.
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M. und Galli, A. (2013), Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework, Ecological Indicators, 24, 518–533.
- Bösch, M.E., Hellweg, S., Huijbregts, M.A.J. und Frischknecht, R. (2007), Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database, The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(3), 181–190.
- Brito e Melo, A. und Villate, J.L. (2014), Annual Report 2013, Ocean Energy Systems (OES).

- Cattin, R. und Albrecht, S. (2012), Potenzialberechnung Windenergie für vier vorgegebene Szenarien bezüglich Anlagenwahl und Flächenbedarf, Meteo-test.
- Chaix, O. und Gander-Kunz, Y. (2014), Grundlagen für die Wasserversorgung 2025, Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen, Umwelt-Wissen, Nr. 1404, BAFU, Bern, 116 S.
- Chapin, F.S., Carpenter, S.R., Kofinas, G.P., Folke, C., Abel, N., Clark, W.C., Olsson, P., Smith, D.M.S., Walker, B., Young, O.R., Berkes, F., Biggs, R., Grove, J.M., Naylor, R.L., Pinkerton, E., Steffen, W. und Swanson, F.J. (2010), Ecosystem stewardship: sustainability strategies for a rapidly changing planet, *Trends in Ecology & Evolution*, 25(4), 241–249.
- Chapin, F.S., Pickett, S.T.A., Power, M.E., Jackson, R.B., Carter, D.M. und Duke, C. (2011), Earth stewardship: a strategy for social-ecological transformation to reverse planetary degradation, *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 1(1), 44–53.
- Chapman, A., Arendorf, J., Tecla, C., Thompson, P., Willis, P., Tercero Espinoza, L., Klug, S. und Wichmann, E. (2013), Study on Critical Raw Materials at EU Level; Final Report, Fraunhofer ISI / Oakdene Hollins Research & Consulting.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. und van den Belt, M. (1997), The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387(6630), 253–260.
- CRIRSCO (2013), CRIRSCO International Reporting Template for Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves.
- Dettli, R., Fasko, R., Urban, F. und Habermacher, F. (2014), Transformation der Abfallverwertung in der Schweiz für eine hohe und zeitlich optimierte Energieausnutzung, BFE/BAFU/WWF/econcept AG/Rytec AG.
- Erdmann, L. und Graedel, T.E. (2011), Criticality of Non-Fuel Minerals: A Review of Major Approaches and Analyses, *Environmental Science & Technology*, 45(18), 7620–7630.
- EU Policy on Natural Resources (2012), POLINARES working paper n. 39; Fact Sheet: Indium.
- European Commission (2011), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Energy Roadmap 2050.
- European Commission (2010), Critical raw materials for the EU – Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials.
- FAO (2013), Der Beitrag von Insekten zu Nahrungssicherung, Lebensunterhalt und Umwelt, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (2014), FAOSTAT Gateway, <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/E/EL/E> (zugegriffen am 09.07.2014).
- FAO (2011a), Global Forest Resource Assessment 2010, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (2011b), The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.

- Foster, S. und Loucks, D. (2006), Non-renewable groundwater resources, A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers, IHP-VI, Series on groundwater, 10, UNESCO.
- Frischknecht, R. und Büsser Knöpfel, S. (2013a), Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit, Umwelt-Wissen, Nr. 1330, BAFU, Bern, 256 S.
- Frischknecht, R. und Büsser Knöpfel, S. (2013b), Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit, Umwelt-Wissen, 1330, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 256.
- Frischknecht, R., Nathani, C., Büsser Knöpfli, S., Itten, R., Wyss, F. und Hellmüller, P. (2014), Entwicklung der weltweiten Umweltauswirkungen der Schweiz. Umweltbelastung von Konsum und Produktion von 1996 bis 2011., Umwelt-Wissen, Nr. 1413, BAFU, Bern, 120 S.
- Geothermal Energy Association (2014), 2014 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report.
- Global Wind Energy Council (2014), Global Wind Report Annual Market Update 2013.
- Gnem, F. (2012), Der Wasser-Fussabdruck der Schweiz: Ein Gesamtbild der Wasserabhängigkeit der Schweiz, WWF/DEZA.
- Graedel, T.E., Harper, E.M., Nassar, N.T., Nuss, P. und Reck, B.K. (2015), Criticality of metals and metalloids, Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(14), 4257–4262.
- Hirschberger, S., Bauer, C., Burgherr, P., Biollaz, S., Durisch, W., Hardegger, P., Meier, A., Schenler, W., Schulz, T., Stucki, S. und Vogel, F. (2005), Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten, PSI Bericht, Nr. 05-04, Paul Scherrer Institut.
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E. und Richter, B.D. (2012), Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability, PLoS ONE, 7(2), e32688.
- Hunt, A.J., Anderson, C.W.N., Bruce, N., García, A.M., Graedel, T.E., Hodson, M., Meech, J.A., Nassar, N.T., Parker, H.L., Rylott, E.L., Sotiriou, K., Zhang, Q. und Clark, J.H. (2014), Phytoextraction as a tool for green chemistry, Green Processing and Synthesis, 3(1), 3–22.
- IEA (2013), Key World Energy Statistics 2013, OECD Publishing.
- IEA (2010), Renewable Energy Essentials: Hydropower, OECD Publishing.
- IEA (2012), World Energy Outlook 2012, OECD Publishing.
- IPCC (2013a), Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2013b), Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Stocker, T.F., Qing, D., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. und Midgley, P.M.(Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014a), Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contributi-

on of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. und White, L.L.(Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1–32.

IPCC (2014b), Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seboth, Y., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T. und Minx, J.C.(Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IUCN (2012), The IUCN Red List of Threatened Species.

Jaeger, J., Bertiller, R. und Schwick, C. (2007), Landschaftszerschneidung Schweiz Zerschneidungsanalyse 1885 – 2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung ; Kurzfassung, Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel, 36 S.

Jutz, M. und Züst, R. (2014), Best Practice Guide – Energieeffizienz, Produktionseffizienz, Materialeffizienz, Umweltperspektiven (Sonderausgabe).

Kleidon, A. (2012), Was leistet die Erde?: Thermodynamik des Erdsystems, Physik in unserer Zeit, 43(3), 136–144.

Krause, T. (2014), Beim Phytomining holen Pflanzen wertvolle Metalle aus dem Boden – warum wird diese Idee bisher kaum umgesetzt?, <http://sz-magazin.sueddeutsche.de/texte/anzeigen/42252> (zugegriffen am 23.10.2014).

Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L. und Geschke, A. (2012), International trade drives biodiversity threats in developing nations, Nature, 486(7401), 109–112.

Marvel, K., Kravitz, B. und Caldeira, K. (2012), Geophysical limits to global wind power, Nature Climate Change, 3(2), 118–121.

Masson, G., Orlandi, S. und Reking, M. (2014), Global Market Outlook for Photovoltaics 2014–2018, European Photovoltaic Industry Association.

Mekonnen, M.M. und Hoekstra, A.Y. (2011), National water footprint accounts: the green, blue and Gray water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, Niederlande.

Millennium Ecosystem Assessment Program (2005), Ecosystems and human well-being: synthesis, Island Press, Washington, DC.

Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., da Fonseca, G. und Kent, J. (2000), Biodiversity hotspots for conservation priorities, Nature, 403(6772), 853 – 858.

Nassar, N.T., Graedel, T.E. und Harper, E.M. (2015), By-product metals are technologically essential but have problematic supply, Science Advances, 1(3), e1400180–e1400180.

OECD (2012), ENVIRONMENTAL OUTLOOK TO 2050: The consequences of Inaction, Key Findings on Water.

- Olson, D.M. und Dinerstein, E. (2002), The Global 200: Priority ecoregions for global conservation., *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 82(2), 199 – 224.
- Oxford Economics (2010), *Oil price outlook to 2030*, Oxford.
- Pauliuk, S., Wang, T. und Müller, D.B. (2013), Steel all over the world: Estimating in-use stocks of iron for 200 countries, *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 22–30.
- Pfammatter, R. (2012), Wasserkraftpotenzial der Schweiz – eine Auslegeordnung, *Wasser Energie Luft*, 104(1), 1 – 10.
- Post, M.J. (2014), Cultured beef: medical technology to produce food: Cultured beef: medical technology to produce food, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1039–1041.
- Post, M.J. (2012), Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects, *Meat Science*, 92(3), 297–301.
- Raschka, A. und Carus, M. (2012), Stoffliche Nutzung von Biomasse Basisdaten für Deutschland, Europa und die Welt, nova-Institut für Ökologie und Innovation.
- Rauch, J.N. (2009), Global mapping of Al, Cu, Fe, and Zn in-use stocks and in-ground resources, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(45), 18920–18925.
- Rawls, J. (1999), *A theory of justice*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- REN21 (2014), *Renewables 2014 Global Status Report*, REN21 Secretariat, Paris, France.
- Rieder, S., Landis, F., Lienhard, A., Schwenkel, C. und Dolder, O. (2013), Stärkung des Vollzugs im Umweltbereich, *Interface / kpm*, Luzern.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F., Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., Wit, C. de, Hughes, T., Leeuw, S. van der, Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R., Fabry, V., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. und Foley, J. (2009), Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity, *Ecology and Society*, 14(2), 32.
- Schütz, H. und Bringezu, S. (2008), Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen, UBA-FB 001103, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.
- Schweizerischer Bauernverband (2013), *Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung 2012*.
- Schweizerischer Bundesrat (2012), *Strategie Nachhaltige Entwicklung 2012 – 2015*.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2010), *Global biodiversity outlook 3*, Montreal, Canada.
- SENS, Swico und SLRS (2014), *Fachbericht 2014*.
- SES (2013), *Atomvollkosten. Was der Atomstrom wirklich kostet*, Schweizerische Energie-Stiftung, Zürich.

- Sleeswijk, A.W., van Oers, L.F.C.M., Guinée, J.B., Struijs, J. und Huijbregts, M.A.J. (2008), Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000, *Science of The Total Environment*, 390(1), 227–240.
- Suter, M., How Does the Pill Affect Fish?, *EAWAG news*(53), 25–26.
- Swissgrid (2013), Swissgrid – Energieübersicht Schweiz, http://www.swissgrid.ch/swissgrid/de/home/experts/topics/energy_data_ch.html (zugegriffen am 08.09.2014).
- TEEB (2010), Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren: Ansatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen von TEEB : eine Synthese.
- TEEB (2008), *The economics of ecosystems & biodiversity: an interim report*.
- Tuomisto, H.L., Ellis, M.J. und Haastrup, P. (2014), Environmental impacts of cultured meat: alternative production scenarios, präsentiert an: 9th international Conference LCA of Food in San Francisco, USA.
- Tuomisto, H.L. und Teixeira de Mattos, M.J. (2010), Life Cycle Assessment of cultured meat production, präsentiert an: 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector in Bari, Italy.
- UNEP (2014), Assessing global land use: balancing consumption with sustainable supply. A Report of the Working Group on Land and Soil of the International Resource Panel, Bringezu, S., Schütz, H., Pengue, W., O'Brien, M., Garcia, F., Sims, R., Howarth, R.W., Kauppi, L., Swilling, M. und Herrick, J., United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- UNEP Global Environmental Alert Service (2014), Sand, rarer than one thinks, http://na.unep.net/geas/getUNEPPageWithArticleIDScript.php?article_id=10 (zugegriffen am 28.08.2014).
- UNEP (2010), *Metal stocks in society: scientific synthesis*, Graedel, T.E., United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- UNEP (2011), *Recycling rates of metals: a status report*, Graedel, T.E., Allwood, J., Birat, J.-P., Hagelüken, C., Reck, B., Sibley, S., Sonnemann, G. und Buchert, M., United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- U.S. Geological Survey (2012), *2012 Minerals Yearbook; Switzerland*.
- U.S. Geological Survey (2014), *Mineral commodity summaries 2014*.
- Verband Stahl-, Metall- und Papier-Recycling Schweiz (2013), *VSMR Kennzahlen 2013*.
- Wagner, R. und Weisskopf, T. (2014), *Erdsondenpotenzial in der Stadt Zürich Schlussbericht*, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten.
- Water Footprint Network (2014), *Water footprint and virtual water – Glossary*, <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Glossary> (zugegriffen am 12.12.2014).
- Van der Weele, C. und Tramper, J. (2014), Cultured meat: every village its own factory?, *Trends in Biotechnology*, 32(6), 294–296.
- WHO (2006), *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005*, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, WHO, Geneva.

- WHO und OECD (2015), Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth., WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Wittmer, D., Scharp, M., Bringezu, S., Ritthoff, M., Erren, M., Lauwigi, C. und Giegrich, J. (2011), Umweltrelevante metallische Rohstoffe, Ressourceneffizienz Paper 2.1, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- World Business Council for Sustainable Development (2005), Water facts and trends, World Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland.
- World Commission on Environment and Development (1987), Our common future, Oxford University Press, Oxford ; New York.
- World Nuclear Association (2014), World Uranium Mining 2011, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/> (zugegriffen am 14.07.2014).
- World Resources Forum (2011), 2011 Meeting Report; Shaping the Future of our Natural Resources – Towards a Green Economy, präsentiert an: World Resources Forum 2011 in Davos.
- worldsteel (2013), Steel Statistical Yearbook 2013, worldsteel Committee on Economic Studies.
- WWAP (2012), The United Nations world water development report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk, UNESCO, Paris.
- WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network und Water Footprint Network (2014), Living Planet Report 2014, WWF International, Gland, Switzerland.
- Zandonella, R., Sutter, D., Liechti, R. und von Stockar, T. (2014), Volkswirtschaftliche Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz, Pilotberechnung, INFRAS.