

Mehr Wissen – weniger Ressourcen

Potenziale für eine ressourceneffiziente Wirtschaft



Christiane Ploetz, Günter Reuscher, Axel Zweck

Mehr Wissen - weniger Ressourcen

Potenziale für eine ressourceneffiziente Wirtschaft

Christiane Ploetz, Günter Reuscher, Axel Zweck

Herausgeber:
Zukünftige Technologien Consulting
der VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

im Auftrag des VDI e. V.

Diese Publikation wurde von der Abteilung Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH im Auftrag des VDI e. V. im Rahmen der Vorbereitungen zum 24. Deutschen Ingenieurtag 2009 erstellt.

Durchführung: Christiane Ploetz
Dr. Günter Reuscher
Dr. Dr. Axel Zweck

Kontakt: Dr. Günter Reuscher (reuscher@vdi.de)

Dank gilt einer Vielzahl von Experten, die wertvolle Beiträge und Anregungen geliefert haben. Melanie Vollmer gilt Dank für die organisatorische und redaktionelle Unterstützung bei der Durchführung der Studie.

Zukünftige Technologien Nr. 83
Düsseldorf, im April 2009
ISSN 1436-5928

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Die geäußerten Auffassungen stimmen nicht unbedingt mit der Meinung des VDI e. V. überein.

Außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte sind alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung.

Titelbild: Mehr Effizienz braucht weniger Ressourcen. Quelle: Eigene Darstellung.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)
der VDI Technologiezentrum GmbH

Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

EXECUTIVE SUMMARY	7
EINLEITUNG	15
1 WOHLSTAND IN GEFAHR?	16
1.1 Können wir den Klimawandel stoppen?	16
1.2 Wann geht uns das Öl aus?	21
1.3 Wie viel Wasser braucht unser Wohlstand?	25
1.4 Verlieren wir den Boden unter den Füßen?	31
1.5 Was bringt Biodiversität?	36
2 STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ	42
2.1 Potenziale	42
2.2 Rebound-Effekt	44
2.3 Strategien für mehr Ressourceneffizienz	45
2.3.1 Produktgestaltung	45
2.3.2 Effiziente Prozesse	45
2.3.3 Substitution	46
2.3.4 Recycling	47
2.3.5 Kaskadennutzung	48
2.3.6 Koppelnutzung	48
2.3.7 Effiziente Produktnutzung	49
2.3.8 Nutzen statt Besitzen	50
3 POTENZIALE IN VIER BEDÜRFNISFELDERN	51
3.1 Mobilität - Warum Autos mit immer effizienteren Motoren nicht immer weniger Sprit brauchen	51
3.2 Bauen und Wohnen - Es geht an die Substanz	57
3.3 Ernährung - Nahrung für alle durch mehr Effizienz?	62
3.4 Information und Kommunikation - Eine Effizienzrevolution, die alle(s) verändert.	70
4 ANHANG	77
4.1 Abbildungsverzeichnis	77
4.2 Tabellenverzeichnis	79
4.3 Quellenverzeichnis	80

EXECUTIVE SUMMARY

Die Menschheit steht im 21. Jahrhundert vor großen Herausforderungen. Sollen sich der Wohlstand in den entwickelten Industrienationen erhalten und die Lebensumstände in den Entwicklungsländern verbessern, muss die weltweite Verteilung und Nutzung von Wasser und Nahrung effizienter gestaltet werden. Es gilt, Energie intelligenter zu erzeugen und zu nutzen, und gleichzeitig den Klimawandel und den Verlust der Artenvielfalt einzudämmen. Und natürlich sollte all das auch noch bezahlbar sein.

Weltweite Verteilung und Nutzung von Ressourcen muss effizienter gestaltet werden

Ressourceneffizienz macht genau das möglich. Sie bietet Unternehmen die Möglichkeit, Ressourcen einzusparen, schädliche Emissionen zu reduzieren und so Kosten zu senken. Mehr Ressourceneffizienz steigert somit die Wettbewerbsfähigkeit und entlastet die Umwelt.

Entscheidend ist dabei, nicht nur einzelne Technologien oder Produktkomponenten zu optimieren, sondern systematisch Wertschöpfungsketten inklusive der Produktnutzung und Entsorgung zu analysieren. Darüber hinaus kann die Kopplung von Wertschöpfungsketten zusätzliche Potenziale erschließen bis hin zur integrierten Betrachtung ganzer Systeme wie z. B. Städte oder Regionen.

Betrachtung von Wertschöpfungsketten und integrierten Systemen notwendig

Ein Blick in verschiedene wichtige Lebens- und Wirtschaftsbereiche zeigt, dass an vielen Stellen Potenziale vorhanden sind, um CO₂-Emissionen, den Flächenbedarf oder Wasserverbrauch zu reduzieren und so zusätzlichen Wohlstand zu schaffen und neue Märkte zu erschließen.

Können wir den Klimawandel stoppen?

Der **Klimawandel** kann zwar nicht gestoppt, aber mit international koordinierten Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienz, Energieversorgung, Land- und Forstwirtschaft auf eine mittlere Temperaturzunahme von 2 °C begrenzt werden.

Dazu muss von 2010 bis 2050 alle zehn Jahre eine Verdopplung der CO₂-Effizienz erreicht werden, was nach einer aktuellen Studie von McKinsey zumindest bis 2030 zu vertretbaren Kosten möglich ist.

Alle 10 Jahre muss die CO₂-Effizienz verdoppelt werden

30 % des CO₂-Minderungspotentials werden in den Industriestaaten und 70 % in den Entwicklungsländern angesiedelt. Diese Verteilung ist vor allem auf den großen Anteil von Land- und Forstwirtschaft in den Entwicklungsländern zurückzuführen. Daraus folgt auch, dass jegliche Bemühungen zum Klimaschutz ohne eine weltweite politische Abstimmung scheitern müssen.

Weltweite politische Abstimmung notwendig

Entscheidend ist, dass Politik und Wirtschaft jetzt handeln. Mit einer Verzögerung der Maßnahmen um weitere 10 Jahre wäre das 2 °C-Ziel nicht zu halten.

Das 2 °C-Ziel wäre mit einer Verzögerung um weitere 10 Jahre nicht zu halten

Der größte Hebel
für mehr
Energieeffizienz
liegt beim
Verbraucher

Neben Politik und Wirtschaft kann auch jeder Einzelne etwas tun. Denn der größte Hebel für mehr Energieeffizienz liegt am Ende der Wertschöpfungskette beim Verbraucher. Nutzt dieser effizientere Technologien oder Dienstleistungen, werden zugleich weniger CO₂-Emissionen bei der Nutzung erzeugt und weniger Rohstoffe für die Bereitstellung von Energie und Materialien benötigt.

Wann geht uns das Öl aus?

Nutzung der
weltweiten
Erdölreserven kann
erheblich zum
Klimawandel
beitragen

Sowohl die langfristige als auch die kurzfristige Planung mit **Erdöl** als Rohstoff und Energieträger ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Sicher ist nur, dass die weltweiten Erdölreserven groß genug sind, um erheblich zum Klimawandel beizutragen. Die Frage, was mit den bereits bekannten Erdölreserven geschieht, ist daher weitaus spannender als die Frage, wann das Erdöl endgültig zur Neige geht. Die im Jahr 2007 bekannten wirtschaftlich erschließbaren Reserven könnten die Atmosphäre mit zusätzlich 576 GtCO₂ belasten und bei einem Rohölpreis von 60 \$US/Barrel einen Verkaufserlös von ca. 80 Billionen \$US erzielen. Der finanzielle Anreiz, große Mengen dieser Reserven in der Erde zu belassen, ist also relativ gering.

Langfristig ist der
Übergang in eine
erdölaufhängige
Wirtschaft
unumgänglich

Für den Klimaschutz bedeutet das, dass Technologien entwickelt werden müssen, die sicherstellen, dass bei der Nutzung dieser Reserven möglichst wenig CO₂ in die Atmosphäre entweicht. Nichtsdestotrotz ist aufgrund der Endlichkeit der Reserven der Übergang in eine erdölaufhängige Wirtschaft unvermeidlich.

Investitionen in CO₂-
freie Technologien
müssen vor allem im
Transportsektor und
in der Industrie
erfolgen

Weltweit werden 50 % des Erdöls im Transportsektor und ca. 30 % in der Industrie verbraucht. Daraus folgt, dass vor allem im Transportsektor und in der Industrie in alternative, Erdöl- und CO₂-freie Technologien investiert werden muss, um langfristig erfolgreich zu sein.

Wie viel Wasser braucht unser Wohlstand?

2025 werden 2/3
aller Menschen von
Wasserstress
betroffen sein

Der Klimawandel ist auch ein wichtiger Faktor, der die künftige Verfügbarkeit der **Ressource Wasser** reduzieren wird. Nach einer Schätzung des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wird 2050 global die Landfläche mit zunehmendem Wasserstress¹ doppelt so groß sein wie die Landfläche mit nachlassendem Wasserstress. 2025 werden etwa 1,8 Mrd. Menschen in Ländern oder Regionen mit absoluter Wasserknappheit leben; zwei Drittel der Menschheit könnten von Wasserstress betroffen sein. Gleichzeitig steigt der Bedarf der wachsenden Weltbevölkerung an dieser Ressource. Dabei geht es - insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern - zum einen um die Befriedigung elementarster Bedürfnisse, d.h. den Zugang zu sauberem

¹ Das Konzept des "Wasserstress" beschreibt, inwiefern Menschen dem Risiko eines Wassermangels ausgesetzt sind [IPCC 2008].

Trinkwasser und Abwasserentsorgung. Zum anderen wird sich durch den Ausbau der Landwirtschaft und der industriellen Produktion der globale Wasserbedarf weiter erhöhen. Große Effizienzpotenziale liegen in der Bewässerungslandwirtschaft: Während moderne Verfahren wie die Mikro- oder Tröpfchenbewässerung Effizienzen von über 90 % erreichen, kann durch die hohe Verdunstung bei Beregnungsverfahren nur eine Effizienz von 65 % erzielt werden.

Deutschland hat in den letzten 30 Jahren die Effizienz der Wassernutzung bereits um ein Drittel verbessern können - betrachtet man allerdings die Gesamtmenge an Wasser, die für die Produktion aller Waren nötig ist („virtuelles Wasser“), ist Deutschland ein Netto-Importeur von Wasser, da es wasserintensive Produkte aus dem Ausland importiert. Wesentliche Steigerungen der Effizienz bei der Wassernutzung sind daher vor allem dadurch möglich, dass die globalen Wertschöpfungsketten betrachtet werden. Die Nachfrage nach effizienten Wassernutzungssystemen bedeutet jedoch auch ein großes Marktpotenzial. Diese Märkte können sich aber auf Dauer nur dann dynamisch entwickeln, wenn geeignete gesetzliche und ökonomische Rahmenbedingungen Anreize für einen effizienten Umgang mit Wasser bieten.

Deutschland ist ein Netto-Importeur von (virtuellem) Wasser

Verlieren wir den Boden unter den Füßen?

Die Inanspruchnahme der **Ressource Boden / Fläche** ist in Deutschland nach wie vor hoch; eine Trendwende des gegenwärtig hohen Flächenverbrauchs von 120 ha/Tag ist nicht in Sicht. Weltweit lebt eine Milliarde Menschen in Regionen, die von Bodendegradierung (Erosion, Versalzung, Produktivitätsverlust) betroffen sind. Der Verlust von Böden - sei es durch Versiegelung, Kontamination oder Erosion - ist deshalb besonders kritisch zu bewerten, da sie eine nicht erneuerbare Ressource darstellen.

Flächenverbrauch in Deutschland nach wie vor hoch

Künftig werden die Ansprüche an die Ressource Boden steigen, da bis 2030 die Nahrungsmittelproduktion um 50 % gesteigert werden muss, was nach Angaben der FAO (Food and Agriculture Organization) nicht nur eine Erhöhung der Flächenproduktivität, sondern auch eine Ausweitung der Agrarflächen um 13 % erfordert. Zusätzliche Flächen werden für den Anbau von Bioenergiepflanzen benötigt; die Siedlungs- und Infrastrukturen der dynamisch wachsenden Megastädte in Schwellen- und Entwicklungsländern konkurrieren ebenfalls um knappe Flächen. Für Ökosystemfunktionen wie die Kohlenstoffspeicherung, die Wasserregulation oder für den Naturschutz spielen Böden auch eine zentrale Rolle. Diese vielfältigen Nutzungsansprüche zeigen, dass Böden in Zukunft viel effizienter genutzt werden müssen als heute. Effizient bedeutet dabei auch, dass man durch intelligentes Landmanagement versucht, möglichst viele Nutzungsformen sinnvoll auf einer Fläche zu integrieren und somit eine Vielzahl von Bodenfunktionen zu optimieren: So sind Naturschutz und landwirtschaftliche Produktion auch in Städten

Ansprüche an Bodennutzung steigen

Möglichst viele Nutzungsformen auf einer Fläche integrieren

möglich; die Anreicherung von Kohlenstoff im Boden führt gleichzeitig auch zu einer Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.

Was bringt Biodiversität?

Biodiversität als
Auffangnetz

Global betrachtet nutzt der Mensch nur einen Bruchteil der weltweit vorhandenen Pflanzen, Tiere oder Mikroorganismen - so decken z.B. drei Getreidearten (Weizen, Reis, Mais) etwa 60 % des globalen Kalorien- und Proteinbedarfs der Menschheit. Vordergründig scheinen daher nur wenige Arten zu genügen, um die wichtigsten Bedürfnisse des Menschen zu erfüllen. Ist **Biodiversität** - also die Vielfalt der Arten, Gene und Ökosysteme - damit entbehrlich? Die Antwort lautet eindeutig nein. Vereinfacht stellt sich Biodiversität als eine Art ausgleichendes Auffangnetz der Natur dar, welches das Funktionieren von Ökosystemen (z.B. Nahrungsmittelproduktion, Kohlenstoffbindung, Grundwasserbildung) langfristig erhält und stabilisiert - vergleichbar mit einem Anlageportfolio, das mögliche Ausfallrisiken einzelner Aktien durch ein breites Spektrum von Anlagetiteln streut. Die einseitige Maximierung des Ertrags eines Systems geht häufig auf Kosten der Stabilität. Auch für die menschliche Ernährung stellt die genetische Vielfalt der Kulturpflanzen eine wichtige Reserve für die Pflanzenzüchtung dar. So gelang es vor kurzem, auf Basis traditionell im Hochland von Peru angebaute Kartoffelsorten zwei neue Sorten zu züchten, die resistent gegen die Kraut- und Knollenfäule sind - eine Krankheit, die jährlich 5 - 10 % der Kartoffelernte vernichtet. Biodiversität stellt also eine wichtige Ressource für Effizienzsteigerungen dar, daher ist der Erhalt der Vielfalt dringend geboten. Bei der Steigerung der Effizienz eines Systems ist zudem darauf zu achten, dass diese Steigerung nicht auf Kosten der Vielfalt und damit der (langfristigen) Stabilität des Systems erfolgt.

Traditionelle Sorten
als wichtige Reserve
für Neuzüchtungen

Potenziale in vier Bedürfnisfeldern

Potenziale zur
Effizienzsteigerung
an vier
Bedürfnisfeldern
aufgezeigt

Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz können in allen Bedürfnisfeldern ansetzen. Ob bei der Mobilität, beim Wohnen oder bei der Ernährung oder der Kommunikation - überall sind Potenziale vorhanden. Die folgenden Beispiele zeigen vor allem eines: In allen Bereichen stehen innovative Technologien zur Verfügung oder werden gerade erforscht. Um ihre Wirkung voll entfalten zu können und um mögliche Rebound-Effekte zu vermeiden, müssen jedoch entsprechende Anreize und gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen und das Verbraucherverhalten berücksichtigt werden.

Rebound-Effekte
vermeiden

Mobilität - Warum Autos mit immer effizienteren Motoren nicht immer weniger Sprit brauchen

Effizienz der
Motoren nimmt zu,
Spritverbrauch sinkt
nicht im gleichen
Maß

Die Entwicklung der Energieeffizienz des **Autos** zeigt, dass die Motoren zunehmend effizienter wurden, aber der Spritverbrauch des Gesamtsystems Auto nicht im gleichen Maße abgenommen hat. Die Hauptursache hierfür ist die kontinuierliche Zunahme des Fahrzeuggewichts, was im Durchschnitt zu einer Verbrauchszunahme

von 0,5 l/100km pro 100 kg Zusatzgewicht führt. Ein Lösungsansatz für die Korrektur dieser Entwicklung ist der Leichtbau. Dessen Ansatzpunkte sind: die Materialauswahl, die virtuelle Produktentwicklung und der Fertigungsprozess.

Neben der Frage der Energieeffizienz spielen vor allem auch die Art des Treibstoffs und der damit verbundene CO₂-Ausstoß eine wichtige Rolle. Vor diesem Hintergrund bietet der Hybridantrieb im Gegensatz zur weiteren Optimierung reiner Verbrennungsmotoren eine technologische Perspektive für den Übergang vom Verbrennungsmotor zum Elektromotor.

Hybridtechnologie
als Übergang zur
Elektromobilität

Es ist aber nicht nur wichtig, effiziente Fahrzeuge zu entwickeln, sondern auch, sich mit dem Fahrverhalten der Nutzer auseinanderzusetzen. Monitoringsysteme, die Daten wie Fahrverhalten und Verbrauch ermitteln, können zum einen den Nutzern helfen, ihr Verhalten zu analysieren und ggf. zu ändern, zum anderen erhalten Hersteller die Möglichkeit, etwas über den Umgang mit ihren Fahrzeugen zu lernen. So kann zum Beispiel mit einem Sprit sparenden Fahrstil der Verbrauch eines Fahrzeugs um bis zu 30 % gesenkt werden.

Monitoringsysteme
ermöglichen
Optimierung des
Nutzerverhaltens

Sprit sparender
Fahrstil senkt
Verbrauch um bis zu
30%

Das Gesamtsystem Auto und Fahrer bietet also noch reichlich Raum für Innovationen zur Effizienzsteigerung. Das betrifft sowohl die Entwicklung effizienterer Antriebssysteme und den Leichtbau als auch Assistenzsysteme für die Unterstützung eines effizienteren Fahrstils.

Bauen und Wohnen - Es geht an die Substanz

Insgesamt hat der **Gebäudebereich** einen Anteil von rund 40 % am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland. Die größten Potenziale der Energieeinsparung liegen dabei nicht im Neubau, sondern in der energetischen Sanierung des Gebäudebestands, - das Marktvolumen für die Bauwirtschaft wird auf 340 Mrd. Euro geschätzt. Es ergibt sich ein Gesamtpotenzial von 63 MtCO₂e (Megatonnen CO₂-Äquivalente), von denen etwa 90 % als wirtschaftlich eingestuft werden. Dafür müsste sich die jährliche Sanierungsrate von etwa 0,75 % des Gesamtbestandes auf 1,7 % mehr als verdoppeln.

Gesamtpotenzial von
63 MtCO₂e im
Gebäudebereich

Jährliche
Sanierungsrate
müsste sich mehr als
verdoppeln

Hauptgründe für die langsame Erneuerungsrate sind Fehleinschätzungen und Fehlinformationen über den tatsächlichen Energieverbrauch der Immobilien, eine systematische Unterschätzung der Einsparpotenziale und lange Amortisationszeiträume. Ein wichtiger Faktor zur Steigerung der Sanierungsbereitschaft ist folglich die bessere Verfügbarkeit von Informationen über den eigenen Verbrauch, gekoppelt mit Vergleichsmöglichkeiten über Durchschnittswerte und Kosten-Nutzen-Analysen verschiedener Maßnahmen. Finanzielle Anreize und staatliche Unterstützung (zinsgünstige Kredite) tragen dazu bei, die langen Amortisationszeiträume zu verkürzen.

Verbraucher
unterschätzen
Energiebedarf für
Raumwärme

Energieautarke, CO₂-freie Städte werden bereits gebaut

Integrierte Nachhaltigkeitslabel schaffen die Verknüpfung der verschiedenen Aspekte (Energieverbrauch, Verkehrsaufkommen, Baumaterialien) und erlauben den Vergleich von Gebäuden und können über den Imagegewinn den Marktwert nachhaltiger Immobilien steigern. Noch mehr Potenziale lassen sich erschließen, wenn nicht nur einzelne Gebäude, sondern die Stadt als Ganzes erfasst wird. Visionen von CO₂-freien, abfallarmen und energieautarken Städten wie die im Bau befindliche Masdar City in Abu Dhabi zeigen, dass der Ressourceneffizienz theoretisch keine Grenzen gesetzt sind.

Ernährung - Nahrung für alle durch mehr Effizienz?

Ausreichende Ernährung aller Menschen möglich

Eine ausreichende **Ernährung** der Menschheit ist auch bei zunehmender Weltbevölkerung möglich. Im Bereich der Nahrungsmittelproduktion und -verfügbarkeit sind noch erhebliche Effizienzsteigerungen bei der Ressourcennutzung möglich.

70% des global genutzten Süßwassers fließen in die Landwirtschaft

So fließen rund 70 % des global genutzten Süßwassers in die Landwirtschaft. Viele der Bewässerungssysteme arbeiten jedoch äußerst ineffizient; z.T. kommen nur 25 % des eingesetzten Wassers dem Pflanzenwachstum zu Gute, während ein Großteil vorher verdunstet, abfließt oder versickert. Auch durch unsachgemäße Düngung gehen bis zu 70 % des eingesetzten Düngers verloren und belasten so Grundwasser (Nitrat) oder die Atmosphäre (Lachgas).

Reduktion des Fleischverbrauchs als wichtiger Hebel

Einer der größten Hebel zur Reduktion der Ressourcenintensität der Landwirtschaft besteht in der Reduktion des Fleischverzehrs. Egal welche Ressource man betrachtet - Wasser, Flächenbedarf oder Emission von Treibhausgasen - die Produktion von Fleisch benötigt die meisten Ressourcen. Allerdings geht die Weltbank bis 2030 von einem Anstieg des Fleischkonsums um 85 % aus. Es müssen also ressourceneffiziente Verfahren der Fleischproduktion entwickelt werden.

Es gibt aber auch verblüffend einfache Lösungen. So hat ein chinesischer Forscher durch die Entdeckung und geschickte Steuerung eines Pflanzenstress-Hormons erreicht, dass in Nordwest-China der Bedarf an Wasser für die Bewässerung von Reisfeldern halbiert werden konnte, während gleichzeitig die Erträge stiegen.

Von der input-intensiven zur wissens-intensiven Landwirtschaft

Eine möglichst effiziente Nutzung aller Ressourcen erfordert also intelligente Systeme, in denen sämtliche Energie-, Wasser- und Nährstoffkreisläufe optimal ineinander greifen. Diese „Grüne Revolution des 21. Jahrhunderts“ stellt den Schritt von einer input-intensiven zu einer wissens-intensiven Landwirtschaft dar. In Abwandlung eines bekannten Sprichworts bedeutet das: Nicht die dümmsten, sondern die klügsten Bauern ernten die dicksten Kartoffeln!

Information und Kommunikation - Eine Effizienzrevolution, die alle(s) verändert.

Die rasanten Effizienzgewinne der **Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)** bringen in der Regel nicht sparsamere, sondern ressourcenintensivere Anwendungen hervor. IKT erzeugt mittlerweile genauso viele CO₂-Emissionen wie der gesamte Flugverkehr. Daher versucht die IKT-Industrie, unter dem Label „Green IT“ die Energie-, Material- und Nutzungseffizienz ihrer Systeme zu verbessern.

IKT erzeugt genauso viel CO₂ wie der gesamte Flugverkehr

Aber nicht nur in der Wertschöpfungskette der IKT sind Potenziale für mehr Ressourceneffizienz zu finden. Die Anwendung von IKT zur Steigerung der Ressourceneffizienz in anderen Branchen könnte nach Expertenaussagen im Jahr 2020 fünfmal mehr CO₂e-Emissionen einsparen, als durch Nutzung von IKT produziert wird.

Ein weiteres vielversprechendes Einsatzgebiet für die IKT ist das Monitoring und die nutzerfreundliche Darstellung des Ressourcenverbrauchs von Fahrzeugen, Gebäuden, Elektrogeräten, etc. Die Nutzer erhalten so Informationen zur Verbesserung ihrer Ressourceneffizienz, während Hersteller und Ressourcenanbieter etwas über die Effizienz des Umgangs mit ihren Systemen lernen können.

Nutzerfreundliche Darstellung des Ressourcenverbrauchs

Mehr Wissen - Weniger Ressourcen

Die Beispiele zeigen, dass der Weg zu mehr Ressourceneffizienz nur über ein besseres Verständnis von Systemzusammenhängen führt. Informationen müssen über die Stufen von Wertschöpfungsketten hinweg bis hin zu kompletten Systemen wie Städten oder Regionen ausgetauscht werden. Das erfordert exzellent ausgebildete Fachkräfte, die über den eigenen Tellerrand blicken können und Rahmenbedingungen, die es erlauben, die gewonnenen Erkenntnisse umzusetzen.

Mehr Ressourceneffizienz durch besseres Systemverständnis

Bereits heute ist es möglich, durch den Einsatz von IKT-Systemen in der Produktion und Logistik den Ressourcenverbrauch und die Emissionen eines Produkts von der Gewinnung der Rohstoffe über die Produktion bis hin zur Nutzung transparent darzustellen. Für einzelne Produkte können so Kennzahlen wie der virtuelle Wassergehalt² oder der CO₂-Abdruck bestimmt und mit anderen verglichen werden. Das Know-how ist vorhanden, es muss nur konsequenter umgesetzt werden.

Hier ist die Politik gefragt, mehr Transparenz von den Unternehmen einzufordern. So könnten entsprechende Angaben auf den Produkten zu einer besonderen Produktzeichnung führen oder für bestimmte Produktklassen ähnlich wie beim europäischen Energie-Label per Gesetz vorgeschrieben werden.

Politik muss Transparenz fördern

² Virtueller Wassergehalt: Gesamtmenge an Wasser, die nötig ist, um ein bestimmtes Produkt herzustellen.

Analyse der
Wertschöpfungs-
kette steigert
wirtschaftlichen
Erfolg

Das würde auch dazu führen, dass sich Unternehmen intensiver als bisher mit ihren Wertschöpfungsketten auseinandersetzen müssten. Das Beratungsunternehmen Accenture stellte in einer Umfrage fest, dass nur jedes zehnte Unternehmen die CO₂-Emissionen in seinen Lieferketten analysiert und optimiert. Gleichzeitig waren diese Unternehmen auch führend bei der Kosteneffizienz und beim Kundenservice [Accenture 2009]. Das zeigt, dass Unternehmen, die ihre Wertschöpfungsketten analysieren, echte Kostenvorteile und somit bedeutende Wettbewerbsvorteile erzielen können.

Ingenieure an
wichtiger
Schlüsselposition

Ingenieure nehmen an dieser Stelle eine wichtige Schlüsselposition ein: Zum einen sind sie gefragt, um intelligente, nutzerfreundliche Systeme zu entwickeln, die den Nutzern Informationen zur Verbesserung ihrer Ressourceneffizienz liefern. Zum anderen versetzen Informationen über die Nutzung und die Zulieferwege Ingenieure in die Lage, mit kreativen Lösungen nicht nur Teilsysteme, sondern gesamte Wertschöpfungsketten effizienter zu gestalten.

Effiziente
Technologien müssen
effizient genutzt
werden

Denn es genügt nicht, effiziente Produkte und Technologien zu entwickeln, sie müssen auch effizient genutzt werden. Nur so kann mehr Wissen dazu beitragen, weniger Ressourcen zu verbrauchen.

EINLEITUNG

“Welche Potenziale gibt es eigentlich noch, um die Ressourceneffizienz zu steigern? Welche Konzepte werden gebraucht, wo sind die größten Hebel?” Diese Fragen standen am Anfang dieser Studie, die im Vorfeld des 24. Deutschen Ingenieurtags entstanden ist.

Tatsächlich stellt die Steigerung der Ressourceneffizienz eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar. Um die globale Erwärmung auf ein verträgliches Maß zu beschränken, eine steigende Weltbevölkerung mit ausreichend Nahrung und Wasser zu versorgen und überdies noch Flächen für die wachsenden Megastädte, den Naturschutz, und die Produktion von Bioenergie bereitzuhalten, muss die Effizienz der Ressourcennutzung von Wasser, Boden und Energie um ein Vielfaches gesteigert werden, ohne die Biodiversität und damit die Stabilität der Ökosysteme zu gefährden. Die dramatischste Steigerungsrate dürfte dabei beim CO₂-Ausstoß nötig sein: Hier müsste bis 2050 die Ressourcenproduktivität um den Faktor 16 gesteigert werden, um den globalen Temperaturanstieg auf 2 °C zu beschränken.

In vier zentralen Bedürfnisfeldern - Mobilität, Bauen und Wohnen, Ernährung und Information / Kommunikation - zeigt die Studie anhand von Beispielen, wo Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz bestehen und wie diese erreicht werden können. Dabei haben wir uns auf Beispiele konzentriert, die möglichst direkte Bezüge zum Alltag der Menschen haben. Einen Anspruch auf Vollständigkeit erheben wir dabei nicht, - so wurde z. B. bei der Mobilität der Schwerpunkt auf den Bereich Automobil gelegt, obwohl auch der Flugverkehr oder die öffentlichen Verkehrssysteme noch erhebliche Potenziale bieten.

Obwohl in der Vergangenheit bereits viel erreicht wurde, zeigt sich bei näherer Betrachtung, dass noch erhebliche Effizienzsteigerungen in allen vier Bedürfnisfeldern möglich sind.

Quer über alle Bereiche gilt dabei: Ressourceneffizienz bedeutet, mehr Wissen einzusetzen, um weniger Ressourcen zu verbrauchen. Das erfordert exzellent ausgebildete Fachkräfte, die in der Lage sind, über den eigenen Tellerrand zu blicken. Das ist die Voraussetzung für Produkte und Dienstleistungen, die über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg ressourceneffizient sind. Wenn es gelingt, die Innovationskraft deutscher Ingenieure und die politischen Rahmenbedingungen auf dieses Ziel zu lenken, besitzt Deutschland beste Voraussetzungen, um zum Leitmarkt für Ressourceneffizienz zu werden.

1 WOHLSTAND IN GEFAHR?

1.1 Können wir den Klimawandel stoppen?

Im Zeitraum von 1970 bis 2004 stieg die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre um 70%

Der weltweite Ausstoß von Treibhausgasen, insbesondere von CO₂, nimmt seit der Industrialisierung stetig zu. Ursachen hierfür sind das Verbrennen fossiler Energieträger wie Erdöl und Kohle, sowie die Entwaldung und der Landnutzungswandel. Alleine von 1970 bis 2004 betrug der damit verbundene Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ca. 70%. Im gleichen Zeitraum stieg die durchschnittliche Temperatur auf der Erdoberfläche um ca. 0,8 °C an [IPCC 2007].

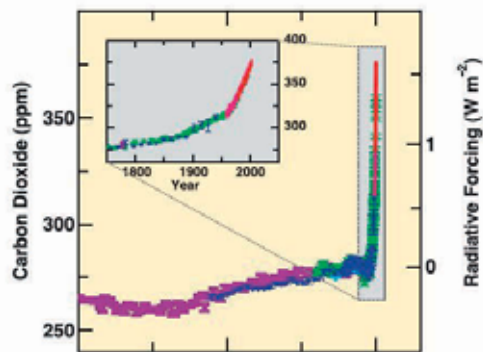


Abbildung 1: Atmosphärische Konzentration von CO₂ über die letzten 10.000 Jahre und seit 1750 (vergrößerter Ausschnitt). Die Messungen wurden an Eisbohrkernen und in der Atmosphäre vorgenommen. Die rechte Skala zeigt die Strahlungszunahme, die aus der erhöhten CO₂-Konzentration resultiert. Quelle: [IPCC 2007/1]

Wirtschaftliche Folgen des Klimawandels

Erste Auswirkungen dieses Temperaturanstiegs werden bereits sichtbar. Die Schneebedeckung in den Wintermonaten hat abgenommen, Gletscher schmelzen rapide ab und der Meeresspiegel steigt an. Bei einem weiteren Temperaturanstieg muss mit einer Zunahme von Dürreperioden, Hitzewellen, Wirbelstürmen, aber auch Überschwemmungen und Hochwasser gerechnet werden. Die wirtschaftlichen Folgen sind nach gegenwärtigen Schätzungen beträchtlich. So prognostizierte der Stern Report für den Fall eines ungebremsten Klimawandels für das nächste Jahrhundert jährliche Kosten von 5 % - 20 % des globalen BIP [Stern 2006]. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung kommt zu dem Ergebnis, dass alleine auf Deutschland bis zum Jahr 2050 Kosten in einer Größenordnung von 800 Mrd. Euro zukommen könnten [Kemfert 2008].

Angesichts dieser Risiken haben sich zahlreiche Staaten bereits Ziele für die Reduktion ihrer Treibhausgase gesetzt. So hat die EU das Ziel formuliert, den mittleren Temperaturanstieg seit der Industrialisierung auf 2 °C zu begrenzen. Dazu müsste der weltweite CO₂-Ausstoß bis 2050 um etwa 80 % im Vergleich zu 2005 reduziert werden [IPCC 2007].

Das 2 °C-Ziel der EU

Davon sind wir allerdings noch weit entfernt. Die Ursache dafür liegt in erster Linie im globalen Wirtschaftswachstum. Bis 2050 wird die Weltwirtschaft voraussichtlich um den Faktor vier zunehmen, während sich die Wirtschaftsleistung in Schwellenländern wie China und Indien fast verzehnfachen könnte. Falls es also nicht zu einem Wandel in der Energiepolitik kommt, wird bis 2050 ein Anstieg des Ölverbrauchs um 70 % und der CO₂-Emissionen um 130 % erwartet [OECD/IEA 2008]. Dies könnte zu einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen um 6 °C, möglicherweise sogar mehr, führen [IPCC 2007].

Um diesem Szenario zu entgehen ist eine Effizienzrevolution notwendig, mit der bis zum Jahr 2050 die vierfache Wirtschaftsleistung mit einem Viertel der heutigen CO₂-Emissionen erreicht wird.

Das bedeutet, dass die CO₂-Effizienz der Weltwirtschaft von 2010 bis 2050 alle zehn Jahre verdoppelt werden müsste (siehe Abbildung 2). Im Jahr 2010 werden bei der Produktion von Waren und Dienstleistungen im Gegenwert von ca. 2.000 \$US Emissionen von einer Tonne CO₂ freigesetzt [Jackson 2008]. Diese CO₂-Effizienz von 2.000 \$US/tCO₂ müsste bis zum Jahr 2050 um einen Faktor 16 auf 32.000 \$US/tCO₂ gesteigert werden, um das 2 °C-Ziel zu erreichen.

Das weltweite Wirtschaftswachstum verschärft die CO₂-Problematik

Eine Effizienzrevolution ist notwendig

Die CO₂-Effizienz der Weltwirtschaft müsste von 2010 bis 2050 alle zehn Jahre verdoppelt werden

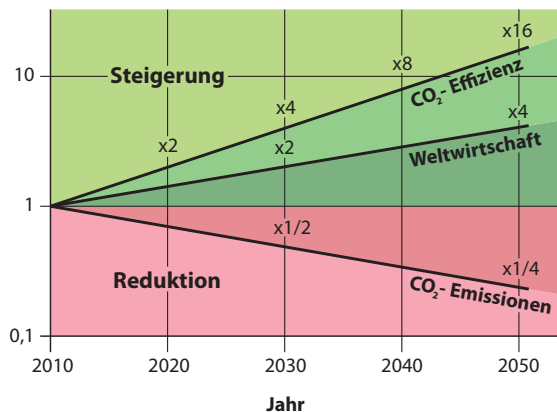


Abbildung 2: Zur Erreichung des 2 °C-Ziels müsste die CO₂-Effizienz der Weltwirtschaft von 2010 bis 2050 alle zehn Jahre verdoppelt werden.
Quelle: Eigene Darstellung

Es stellt sich also die Frage, ob wir überhaupt die finanziellen und technologischen Möglichkeiten besitzen, um die globale CO₂-Effizienz alle zehn Jahre zu verdoppeln.

Eine Antwort auf diese Frage ermöglicht die Betrachtung der Kosten und Potenziale von Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasen [McKinsey 2009]. In Abbildung 3 sind die Kosten für Maßnahmen zur

Kosten und Potenziale von Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasen

Vermeidung von einer Tonne CO_2 -Äquivalent³ (tCO_2e) gegen das Emissions-Minderungspotential in Gigatonnen CO_2 -Äquivalent (GtCO_2e) pro Jahr aufgetragen.

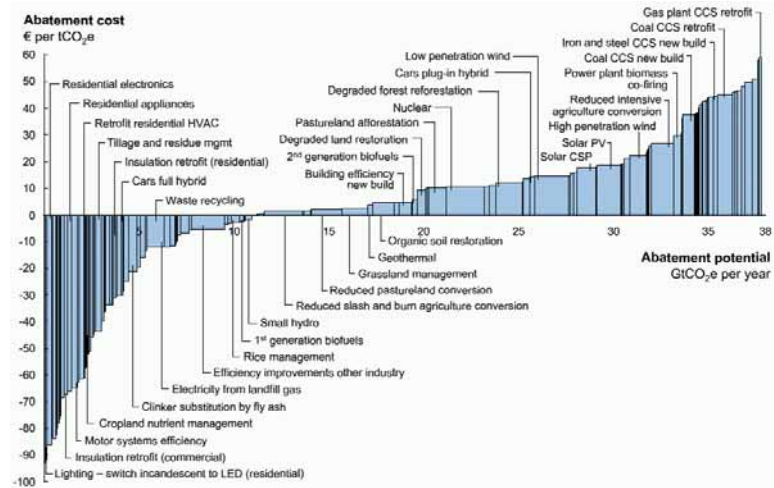


Abbildung 3: Übersicht zu den Kosten von Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasen [McKinsey 2009]

Die Grafik zeigt, dass es zahlreiche Maßnahmen mit einem Gesamtpotential von mehr als 10 GtCO_2e pro Jahr gibt, die den CO_2 -Ausstoß vermindern und gleichzeitig auch wirtschaftlich vorteilhaft sind. Insgesamt weist die Grafik, die Maßnahmen mit Kosten bis zu 60 Euro pro tCO_2e umfasst, ein CO_2 -Minderungspotential von insgesamt 38 GtCO_2e pro Jahr aus. Würde dieses Potential bis zum Jahr 2030 voll genutzt, wären die globalen CO_2 -Emissionen im Jahr 2030 um 35 % - 40 % geringer als im Jahr 1990 [McKinsey 2009]. Diese Reduktion würde ausreichen, um den mittleren Temperaturanstieg seit der Industrialisierung auf 2°C zu begrenzen [IPCC 2007].

Tabelle 1 zeigt die Verteilung des jährlichen CO_2 -Minderungspotentials im Jahr 2030. Ungefähr je ein Drittel entfallen auf die Bereiche Energieeffizienz, CO_2 -arme Energieversorgung sowie Land- und Forstwirtschaft.

Mit der Umsetzung von Maßnahmen in diesen Bereichen sind beträchtliche Herausforderungen verbunden.

Globale CO_2 -
Emissionen im Jahr
2030 könnten um
35 % - 40 %
geringer sein als im
Jahr 1990

³ Das CO_2 -Äquivalent (CO_2e) setzt die Wirkung weiterer Treibhausgase wie Methan (CH_4) oder Lachgas (N_2O) ins Verhältnis zur Wirkung von CO_2 . Durch die Verwendung des CO_2 -Äquivalents kann somit die Wirkung der Emissionen sämtlicher bekannter Treibhausgase bei den Rechnungen berücksichtigt werden.

So wurde für die Studie angenommen, dass 2030 im Transportsektor weltweit 42 Mio. Hybrid-Fahrzeuge (inklusive Plug-In) verkauft werden können, was 40 % der gesamten Neuwagenflotte entsprechen würde.

Verkauf von 42 Mio. Hybridfahrzeugen im Jahr 2030?

Im Bereich der Forstwirtschaft müsste bis 2030 die Abholzung von 170 Mio. Hektar Wald vermieden werden, was der doppelten Fläche Venezuelas entspricht. Zusätzlich müssten 330 Mio. Hektar neu aufgeforstet werden, was fast der gesamten Fläche Indiens entspricht.

Aufforstung einer Fläche der Größe Indiens bis 2030?

Im Energiebereich müsste der Anteil der CO₂-armen Energieerzeuger wie erneuerbare Energien, Atomkraft oder Kohlekraft mit CO₂-Abscheidung und Lagerung⁴ (CCS) von 30 % im Jahr 2005 auf 70 % im Jahr 2030 ansteigen.

Steigerung des Anteils CO₂-armer Energieerzeuger bis 2030 von 30% auf 70%?

Energieeffizienz	14 GtCO ₂ e pro Jahr
CO ₂ -arme Energieversorgung	12 GtCO ₂ e pro Jahr
Land- und Forstwirtschaft	12 GtCO ₂ e pro Jahr
Gesamtpotential 2030	38 GtCO₂e pro Jahr

Tabelle 1: Verteilung des gesamten CO₂-Minderungspotentials im Jahr 2030 auf unterschiedliche Bereiche. Nach: [McKinsey 2009]

30 % des CO₂-Minderungspotentials (ca. 12 GtCO₂e) werden in den Industriestaaten und 70 % (ca. 26 GtCO₂e) in den Entwicklungsländern angesiedelt. Diese Verteilung ist vor allem auf den großen Anteil von Land- und Forstwirtschaft in den Entwicklungsländern zurückzuführen. Daraus folgt auch, dass jegliche Bemühungen zum Klimaschutz ohne eine weltweite politische Abstimmung scheitern müssen.

70% des weltweiten Minderungspotentials für CO₂ liegen in Entwicklungsländern

Von entscheidender Bedeutung ist es, dass Politik und Wirtschaft jetzt handeln. Die Lebensdauer von Energieinfrastrukturen (Gebäude, Energie, Industrie und Transport) beträgt im Mittel 14 Jahre. Jede Investition, die in nächster Zeit in CO₂-intensive Infrastrukturen gesteckt wird, bedeutet weitere CO₂-Emissionen für die kommenden Jahre. Eine Verzögerung der Maßnahmen um weitere 10 Jahre würde zusätzliche CO₂-Emissionen von 25 GtCO₂e bedeuten. Das 2 °C-Ziel wäre nicht zu halten [McKinsey 2009].

Mit einer Verzögerung der Maßnahmen um weitere 10 Jahre wäre das 2 °C-Ziel nicht zu halten

Aber auch jeder Einzelne kann mit seinem Verhalten etwas für das Klima tun. Denn der größte Hebel für mehr Energieeffizienz liegt am Ende der Wertschöpfungskette beim Verbraucher. Nutzt dieser effizientere Technologien oder Dienstleistungen, bedeutet das nicht nur weniger CO₂-Emissionen bei der Nutzung, sondern auch, dass weniger Rohstoffe für die Bereitstellung von Energie und Materialien benötigt werden

Der größte Hebel für mehr Energieeffizienz liegt beim Verbraucher

⁴ CCS: Kohlendioxid-Abscheidung und -Lagerung (engl. carbon dioxide capture and storage).

(siehe Kapitel 2). Tabelle 2 zeigt, welche CO₂-Emissionen mit dem Konsumverhalten in unterschiedlichen Bedürfnisfeldern verbunden sind.

Bedürfnisfelder	CO ₂ e
Mobilität	
Ein Jahr Autofahren (Mittelklassewagen, jährlich 12.000 Kilometer, täglich 35 km)	2 Tonnen
1 Flug Frankfurt - Mexiko - Frankfurt	6,9 Tonnen
Stromverbrauch	
1 Jahr (1.800 kWh) im Bundesdurchschnitt	1 Tonne
1 Jahr (1.800 kWh) mit Erneuerbaren Energien	0,2 Tonnen
Wohnen (Einfamilienhaus, 100 Quadratmeter, 1Jahr)	
Ölheizung, 1 Jahr = normal 250 kWh/m ²	8 Tonnen
Wärmedämmung reduziert auf 100 kWh/m ₂	3,2 Tonnen
Niedrigenergiehaus 50 kWh/m ²	1,6 Tonnen

Tabelle 2: CO₂-Emissionen, die mit dem Konsumverhalten in unterschiedlichen Bedürfnisfeldern verbunden sind. Nach: [Greenpeace 2009]

Es zeigt sich, dass der persönliche CO₂-Abdruck vor allem im Bereich der Gebäudesanierung, insbesondere der Wärmedämmung (vgl. Kapitel 3.2), und bei Flugreisen optimiert werden kann. Mittlerweile bieten zahlreiche Internetplattformen CO₂-Rechner zur Ermittlung des persönlichen CO₂-Abdrucks.

Fazit:

Der Klimawandel kann nicht gestoppt, aber mit international koordinierten Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienz, Energieversorgung, Land- und Forstwirtschaft auf eine mittlere Temperaturzunahme von 2 °C begrenzt werden. Dazu muss von 2010 bis 2050 alle zehn Jahre eine Verdopplung der CO₂-Effizienz erreicht werden.

30 % des CO₂-Minderungspotentials werden in den Industriestaaten und 70 % in den Entwicklungsländern angesiedelt. Diese Verteilung ist vor allem auf den großen Anteil von Land- und Forstwirtschaft in den Entwicklungsländern zurückzuführen. Daraus folgt auch, dass jegliche Bemühungen zum Klimaschutz ohne eine weltweite politische Abstimmung scheitern müssen. Von entscheidender Bedeutung ist es, dass Politik und Wirtschaft jetzt handeln. Mit einer Verzögerung der Maßnahmen um weitere 10 Jahre wäre das 2 °C-Ziel nicht zu halten.

1.2 Wann geht uns das Öl aus?

Erdöl bildet die Grundlage der industrialisierten Gesellschaften. Zusammen mit Erdgas stellt Erdöl 60 % der Energie für die globale Wirtschaft. Im Transportsektor stammen sogar 95 % der Energie aus Erdöl [International Energy Agency 2007/2]. Aber Energie ist nur ein Teil der Erdölindustrie. Mehr als 95 % der Pestizide und 90 % der Dünger für die weltweite Nahrungserzeugung basieren auf Erdöl oder Erdgas. Auch Produkte wie Kunststoffe, Arzneimittel, Chemikalien, Schmiermittel, Kühlmittel, Farbe, Lösungsmittel, Isolierungen, Antiseptika, Tinten, Waschmittel, etc. basieren auf Erdöl [Bliss 2005].

Erdöl bildet die Grundlage der industrialisierten Gesellschaften

Die Menschheit verbraucht derzeit täglich 85 Mio. Barrel Öl. Der Internationalen Energieagentur (IEA) zufolge wird die Weltwirtschaft bis 2030 einen täglichen Ölkonsum von 130 Mio. Barrel erreicht haben [International Energy Agency 2007].

Aber: Erdöl ist eine endliche Ressource. Die Erdölreserven werden eines Tages erschöpft sein. Die Frage ist nur: Wann?

Endliche Ressource
Erdöl: eines Tages
werden die Reserven
erschöpft sein

Bereits 1956 hat der US-Geologe Marion King Hubbert im Auftrag von Shell korrekt prognostiziert, dass die US-amerikanische Ölförderung um 1970 ihr Maximum erreicht haben würde. Seitdem versuchen Experten aufbauend auf diesem Modell den Wendepunkt („Peak Oil“) der weltweiten Erdölförderung zu berechnen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen differieren stark. So behaupten einige, der Wendepunkt stünde kurz bevor oder hätte sogar bereits stattgefunden, während andere den „Peak Oil“ frühestens in 30-40 Jahren ansiedeln (siehe Abbildung 4) [EurActive 2007].

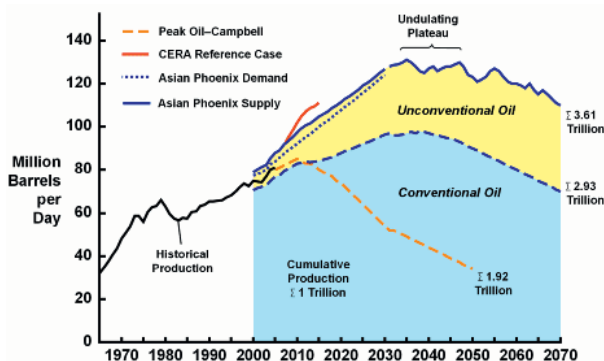


Abbildung 4: Der Vergleich unterschiedlicher „Peak Oil“-Modelle zeigt große Unterschiede bei der Prognose des zukünftigen Erdölangebots Quelle: [Cambridge Energy Research Associates 2006]

Verlässliche
Prognosen der
Erdölreserven
scheitern an
intransparenter und
lückenhafter
Datenlage

Unterschiedliche
Interessen
verhindern mehr
Transparenz

Eine große Schwierigkeit für verlässliche Prognosen der Erdölreserven ist die intransparente und lückenhafte Datenlage. Die Informationen, die von der Internationalen Energieagentur (IEA) oder dem US Geological Survey bereitgestellt werden, basieren auf den Angaben von Förderunternehmen und erdölfördernden Staaten. Es hat sich jedoch gezeigt, dass alle wichtigen Akteure des Erdölmarkts dazu tendieren, höhere Reserven anzugeben, als sie tatsächlich besitzen.

Ölfirmen erhöhen dadurch ihren Börsenwert, erdölproduzierende Länder erhöhen ihren internationalen Status und die großen Verbraucherländer wollen ihre Wirtschaft und Verbraucher nicht verunsichern. So musste z. B. Shell im Jahr 2004 als Folge zu optimistischer Annahmen bei den Fördermengen seine Angaben zu den eigenen Reserven um 20 % nach unten korrigieren [Mortished 2004]. Darüber hinaus geben die Staaten der OPEC größere Reserven an, um ihre Förderquoten aufrecht zu erhalten (je mehr Reserven sie angeben, desto mehr sind sie berechtigt zu fördern und desto größer fallen ihre Gewinne aus). Die meisten OPEC-Staaten haben seit 1980 ihre Angaben nicht mehr aktualisiert, obwohl seitdem viel Öl gefördert wurde und keine außergewöhnlichen Vorkommen entdeckt wurden [EurActive 2007]. Die internationale Gemeinschaft ist sich der Probleme in Bezug auf die Verlässlichkeit der Daten bewusst. Deshalb wurde 2005 die Ölmarkttransparenzinitiative Joint Oil Data Initiative ins Leben gerufen [JODI 2005].

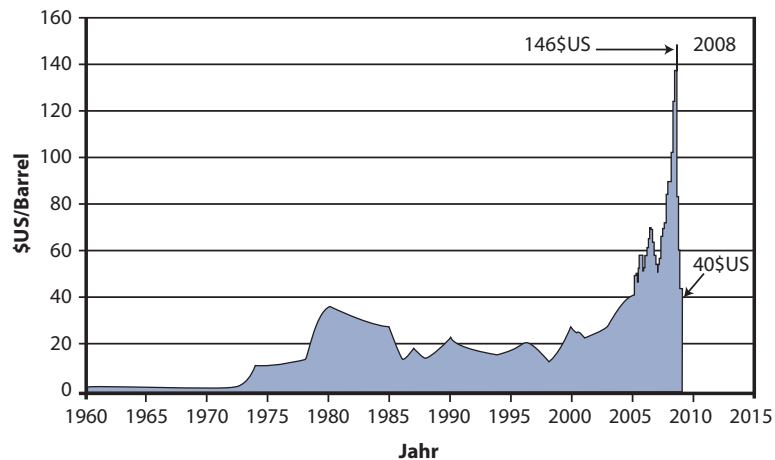


Abbildung 5: Entwicklung der Rohölpreise von 1960 - 2008. Daten aus: [MWV 2009]

Der Ölpreis ist
starken
Schwankungen
ausgesetzt

Darüber hinaus hat sich der Ölpreis in den letzten Jahren als äußerst volatil erwiesen. Im Jahr 2008 kam es nach dem Crash der Aktienmärkte zu einer Flucht der Anleger aus dem Dollar in das vermeintlich rezessionssichere Rohöl. Zur Jahresmitte wurde die Rekordmarke von 146 \$US/Barrel erreicht. Dann kippte der Trend und es setzte ein beispielloser Abwärtstrend der Ölpreise ein. Die Bankenkrise griff auf

Europa und Asien über und weltweite Rezessionssorgen gewannen Oberhand. Aufgrund der zurückgehenden Nachfrage reduzierten sich die Rohölpreise von Juli bis Dezember um 73 % und schlossen das Jahr 2008 bei 40 \$US/Barrel ab [Tecson 2009].



Abbildung 6: Große Zahlen. Verkaufswert und CO₂-Äquivalent der im Jahr 2007 bekannten wirtschaftlich erschließbaren Erdölreserven. Quelle: Eigene Darstellung

Nichtsdestotrotz wird die Nachfrage nach Rohöl in der nächsten Aufschwungphase wieder ansteigen und der Ölpreis wird wieder steigen. Das enorme wirtschaftliche Potenzial, das in der Vermarktung des noch in der Erde befindlichen Erdöls steckt, zeigt Abbildung 6. Dort sind die im Jahr 2007 bekannten wirtschaftlich erschließbaren Reserven, deren Verkaufswert und CO₂-Äquivalent aufgelistet. Danach könnten die angegebenen 1,33 Billionen Barrel⁵ Erdöl die Atmosphäre mit zusätzlich 576 GtCO₂e⁶ belasten und bei einem mittleren Rohölpreis von 60 \$US/Barrel einen Verkaufserlös von ca. 80 Billionen \$US⁷ erzielen.

Enormes wirtschaftliches Potenzial des noch in der Erde befindlichen Erdöls

Der finanzielle Anreiz, große Mengen dieser Reserven in der Erde zu belassen, ist also relativ gering. Das heißt aber auf der anderen Seite, dass Technologien entwickelt werden müssen, die sicherstellen, dass bei der Nutzung dieser Reserven möglichst wenig CO₂ in die Atmosphäre entweicht. 576 GtCO₂e entsprechen circa dem zehnfachen der weltweiten CO₂-Emissionen eines Jahres [McKinsey 2009].

Technologien müssen möglichst CO₂-arme Nutzung der Reserven sicherstellen

Nichtsdestotrotz ist aufgrund der Endlichkeit der Reserven⁸ der Übergang in eine erdölunabhängige Wirtschaft unvermeidlich. Daraus folgt, dass Investitionen in alternative, Erdöl- und CO₂-freie Technologien langfristig erfolversprechender sind.

Investitionen in alternative, Erdöl- und CO₂-freie Technologien

⁵ PennWell Corporation, Oil & Gas Journal, Vol. 105.48 (December 24, 2007), except United States. Oil includes crude oil and condensate. Data for the United States are from the Energy Information Administration, U.S. Crude Oil, Natural Gas, and Natural Gas Liquids Reserves, 2006 Annual Report, DOE/EIA-0216(2007) (November 2007). Oil & Gas Journal's oil reserve estimate for Canada includes 5.392 billion barrels of conventional crude oil and condensate reserves and 173.2 billion barrels of oil sands reserves [EIA 2008].

⁶ CO₂-Äquivalent für Rohöl: 432,3 kgCO₂/Barrel [EPA 2007].

⁷ Rohölpreis ca. 60 \$US/Barrel bis 2030 [IEA 2007].

⁸ Bei einem durchschnittlichen weltweiten Ölverbrauch von ca. 38 Mrd. Barrel pro Jahr hätten 1,33 Billionen Barrel eine Reichweite von ca. 35 Jahren.

Größtes Potenzial im
Transportsektor

Abbildung 7 zeigt, dass die größten Potenziale für diese Technologien im Transportsektor, der Industrie und bei den Gebäuden liegen. Im Jahr 2010 werden allein 50 % des weltweiten Erdölverbrauchs auf den Transportsektor entfallen.

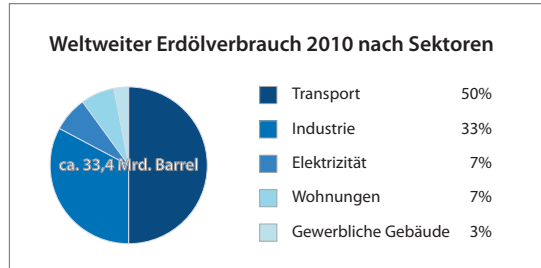


Abbildung 7: Weltweiter Erdölverbrauch nach Sektoren im Jahr 2010. Der weltweite Verbrauch für 2010 wird auf 33,4 Mrd. Barrel geschätzt. Daten aus: [EIA 2007]

Fazit:

Sowohl die langfristige als auch die kurzfristige Planung mit Erdöl als Rohstoff und Energieträger ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Sicher ist nur, dass die weltweiten Erdölreserven groß genug sind, um erheblich zum Klimawandel beizutragen.

Die im Jahr 2007 bekannten wirtschaftlich erschließbaren Reserven könnten die Atmosphäre mit zusätzlich 576 GtCO₂ belasten und bei einem Rohölpreis von 60 \$US/Barrel einen Verkaufserlös von ca. 80 Billionen \$US erzielen. Der finanzielle Anreiz, große Mengen dieser Reserven in der Erde zu belassen, ist also relativ gering. Für den Klimaschutz bedeutet das, dass Technologien entwickelt werden müssen, die sicherstellen, dass bei der Nutzung dieser Reserven möglichst wenig CO₂ in die Atmosphäre entweicht.

Nichtsdestotrotz ist aufgrund der Endlichkeit der Reserven der Übergang in eine erdölonabhängige Wirtschaft unvermeidlich. Weltweit werden 50 % des Erdöls im Transportsektor und ca. 30 % in der Industrie verbraucht. Daraus folgt, dass vor allem im Transportsektor und in der Industrie in alternative, Erdöl- und CO₂-freie Technologien investiert werden muss, um langfristig erfolgreich zu sein.

1.3 Wie viel Wasser braucht unser Wohlstand?

Global gesehen wird der Verbrauch von Wasser in den nächsten Jahrzehnten durch den Anstieg der globalen Bevölkerung und die damit verbundene Ausweitung der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion zunehmen (Abbildung 8).

Der globale Verbrauch von Wasser wird zunehmen

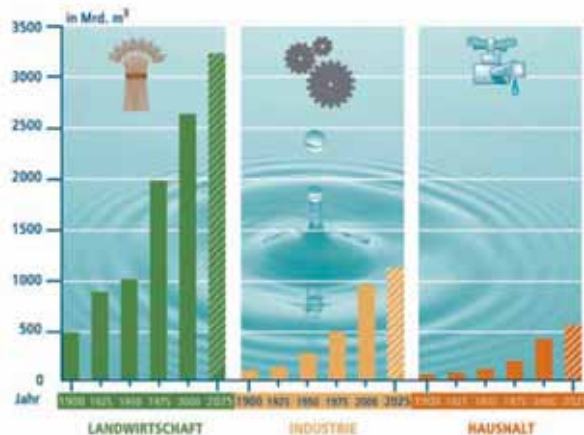


Abbildung 8: Vergangene und künftige Entwicklung des globalen Wasserverbrauchs. Quelle: [BMZ 2005]

Zum anderen wird global betrachtet die Verfügbarkeit von Wasser abnehmen. Zu diesem Schluss kommt eine Studie des IPCC über die Zusammenhänge von Klima und Wasser [Bates et al. 2008]: Aktuelle Modellsimulationen deuten darauf hin, dass sich in den höheren Breiten die Niederschläge im 21. Jahrhundert erhöhen werden, während in Teilen der Tropen und Subtropen die Niederschläge abnehmen werden. Viele aride und semiaride Regionen wie das Mittelmeergebiet, die westlichen USA, das südliche Afrika und Nordost-Brasilien werden massiv unter Dürre und Trockenheit leiden. 2050 werden die Landflächen mit zunehmendem Wasserstress doppelt so groß sein wie die Landflächen mit nachlassendem Wasserstress. 2070 werden in Teilen Spaniens, Portugals, Polens, Frankreichs und der Türkei extreme Dürren, die heute statistisch gesehen einmal in 100 Jahren auftreten, in Zukunft (2070) alle 10 Jahre auftreten (Abbildung 9).

Der Klimawandel wird den Wasserstress verstärken

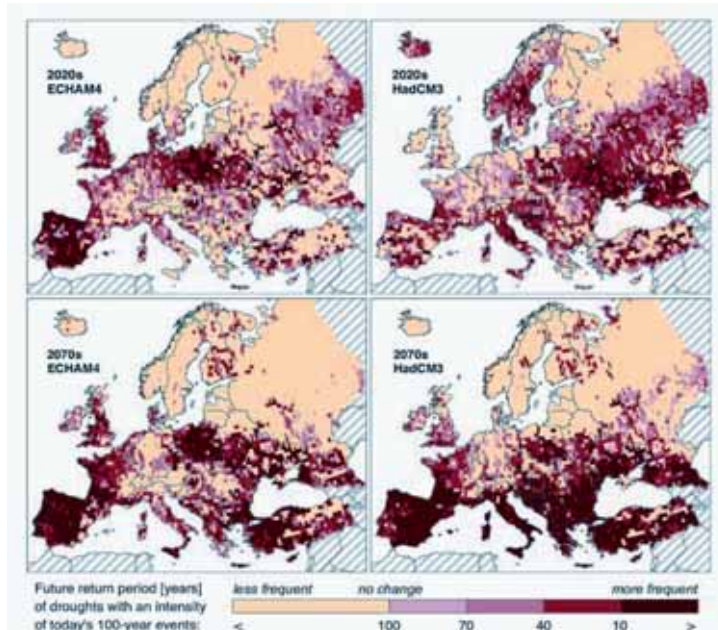


Abbildung 9: Europäische Regionen mit erhöhtem Auftreten von extremer Dürre in 2020 und 2070, basierend auf Vergleichen des Klimas und des Wasserverbrauchs im Zeitraum 1961 - 1990 Quelle: [IPPC 2008]

Insgesamt müssen also mehr Menschen und mehr wirtschaftliche Leistung in Zukunft mit einem geringeren Wasserangebot befriedigt werden. Es kommt hinzu, dass global gesehen die Versorgung der Menschen mit sauberem Trinkwasser und ausreichender Abwasserentsorgung noch lange nicht erreicht ist: Nach Schätzungen von UNEP (United Nations Environmental Programme) werden 2025 etwa 1,8 Mrd. Menschen in Ländern oder Regionen mit absoluter Wasserknappheit leben; zwei Drittel der Menschheit könnten von Wasserstress betroffen sein [UNEP 2007]. Verschmutztes Wasser ist die wichtigste Todes- und Krankheitsursache weltweit - jedes Jahr sterben etwa 1,8 Mio. Kinder, weil sie keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und einer elementaren Abwasserentsorgung haben. Eine Zwischenbilanz der sogenannten „Millennium Development Goals“ (globale Entwicklungsziele; bis 2015 soll die Zahl der Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser und zu Abwasserentsorgung halbiert werden) stellt fest: Während das Trinkwasser-Ziel voraussichtlich zu 90% erfüllt wird, wird bei der Abwasserentsorgung wahrscheinlich nicht einmal die Hälfte des Ziels bis 2015 erreicht werden. Um es zu erreichen, müssten jedes Jahr 140 Mio. Menschen Zugang zu Abwasserentsorgung bekommen - derzeit sind es nur 85 Mio. pro Jahr [UNDP 2006].

Verschmutztes
Wasser wichtigste
Todesursache
weltweit

Deutschland hat in den vergangenen 20 Jahren bereits einiges auf dem Weg zu einem effizienteren Umgang mit der Ressource Wasser erreicht. Hier wird seit dem Jahr 1991 ein Drittel weniger Wasser benötigt, um eine Einheit Bruttoinlandsprodukt zu erwirtschaften [Bardt 2006, s. Abbildung 15 in Kapitel 1.4). Anders sieht die Bilanz aus, wenn man das sogenannte „virtuelle Wasser“ mit einberechnet. „Virtuelles Wasser“ bezeichnet die Gesamtmenge an Wasser, die nötig ist, um ein bestimmtes Produkt herzustellen. So lassen sich anhand der Im- und Exporte für Länder und Regionen Berechnungen anstellen, ob sie netto Wasser im- oder exportieren. Tabelle 3 gibt einen Überblick über wichtige Produkte und deren „virtuellen“ Wasserverbrauch.

Seit 1991 wird in Deutschland ein Drittel weniger Wasser benötigt, um eine Einheit BIP zu erwirtschaften

Konzept des virtuellen Wassers betrachtet die gesamte Wertschöpfungskette

Produkt	Virtueller Wasserverbrauch [l/kg]
Papier	750
Mais	900
Reis	3.400
Hühnereier	4.500
Rindfleisch	15.500
Baumwoll-T-Shirt (4 Stück à 250 g)	10.800

Tabelle 3: Virtueller Wasserverbrauch wichtiger Produkte und Güter. Quelle: [Water Footprint Network]

Global betrachtet ist Deutschland damit ein Netto-Importeur von Wasser, da wasserintensive Produkte aus dem Ausland importiert werden.

Es gibt viele Maßnahmen - technische wie nichttechnische - durch die die Effizienz der Wassernutzung verbessert werden kann. Hauptnutzer von Wasser ist im Mittel mit knapp 70 % die Landwirtschaft, die der Bereitstellung von Nahrungsmitteln, Rohstoffen und Energie dient. Industrie und private Haushalte sind mit ca. 20 % bzw. 10 % geringere Wasserverbraucher. Hierbei ist zu beachten, dass der Wasserverbrauch in der Landwirtschaft und der Industrie stark von der Wirtschaftsstruktur und damit auch vom Entwicklungsgrad des jeweiligen Landes abhängt.

Landwirtschaft verbraucht 70% der globalen Wasservorräte

Da die Landwirtschaft aktuell und auch in Zukunft der größte Wasserverbraucher ist, ist sie ein “natürliches Ziel” für Effizienzsteigerungen. Große Potenziale liegen in der Bewässerung. Derzeit sind weltweit etwa 40 % der landwirtschaftlichen Produktion auf Bewässerung angewiesen; die bewässerte landwirtschaftliche Nutzfläche hat sich zwischen 1960 und 2000 fast verdoppelt [IPCC 2008]. Bei siebzig größeren Wasserläufen weltweit sind keine weiteren Steigerungen der Wasserentnahme mehr möglich, z.B. beim Colorado, Ganges, Jordan, Nil und Tigris / Euphrat [MASR 2005]. Immer häufiger werden deshalb Grundwasserquellen für die Bewässerung genutzt. Während Verfahren wie die Mikro- oder Tröpfchenbewässerung

Bewässerungstechnologien Schlüssel für Effizienzsteigerungen

Getreideimporte
statt Bewässerung
in gefährdeten
Regionen?

Effizienzen von über 90 % erreichen, kann durch die hohe Verdunstung bei Beregnungsverfahren nur eine Effizienz von 65 % erzielt werden. Die Fläche der Bewässerungslandwirtschaft wird bis 2025 in den Entwicklungsländern um 12 % zunehmen. Weitere Effizienzsteigerungen in der Landwirtschaft sind durch den Anbau standortangepasster Feldfrüchte und verbesserter Sorten mit geringerem Wasserverbrauch zu erzielen (Vgl. Kapitel 3.3). Aus Sicht eines optimierten Wassermanagements in einer Region kann es durchaus sinnvoller sein, bestimmte Nahrungsmittel zu importieren, als sie in von Wasserknappheit gefährdeten Regionen anzubauen. 2025 könnten z.B. durch Getreideimporte in Asien und dem Mittleren Osten 12 % des Bewässerungswassers eingespart werden. Konzepte wie das oben beschriebene „virtuelle Wasser“ liefern dafür die wissenschaftliche Grundlage.

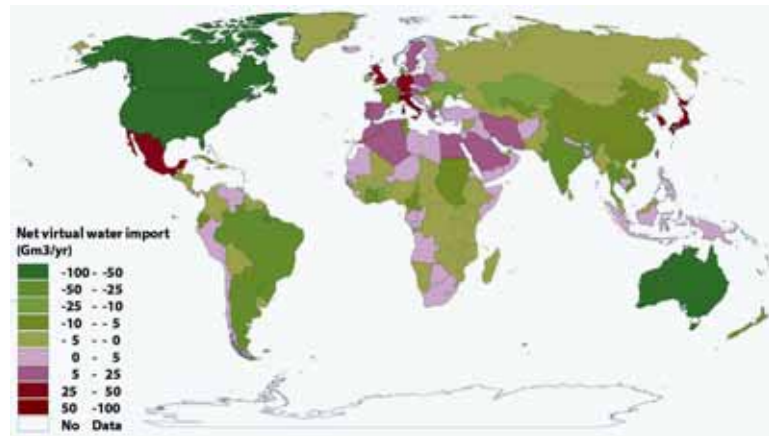


Abbildung 10: Bilanz des virtuellen Wassers nach Ländern im Zeitraum 1997-2001. Die Bilanzen berechnen sich aus den virtuellen Wasserströmen durch den Handel mit Agrar- und Industrieprodukten. Rot gefärbte Länder weisen einen Nettoimport von virtuellem Wasser auf; grün gefärbte sind Netto-Exporteure. Quelle: [Hoekstra and Chapagain 2008]

Höhere
Wassereffizienz
bewirkt höhere
Energieeffizienz

Eine weniger beachtete Tatsache ist, dass eine höhere Wassereffizienz häufig auch der Schlüssel zu mehr Energieeffizienz ist: So zählt im Privathaushalt die Warmwasserbereitung nach der Raumwärme zum zweitwichtigsten Energieverbraucher. Die Installation von Sparköpfen bei Duschen ist eine wichtige Maßnahme zur Reduktion des Energieverbrauchs in Haushalten. In Kalifornien gehen 19 % des Stromverbrauchs auf das Konto des Transports, der Speicherung und der Aufbereitung von Wasser [California Energy Commission 2007]. Der Strombedarf der Pumpen für die Bewässerungslandwirtschaft steigt zunehmend, wenn immer tiefere Aquifere erreicht werden müssen.

Umgekehrt kann die Wasserverfügbarkeit auch die Energieerzeugung einschränken. So waren in Deutschland in den heißen Sommern 2003 und 2006 thermische Kraftwerke von Leistungseinschränkungen betroffen, weil das für die Kühlung entnommene Flusswasser zu warm war, um die vorgegebenen Grenzwerte für die Kühlwassereinleitung einzuhalten [Müller et al. 2008, (Abbildung 11)]. Die Zahl der extrem warmen Tage hat sich an wichtigen, Kühlwasser liefernden Flüssen wie z.B. dem Rhein bereits erhöht. Klimaexperten rechnen aufgrund des Klimawandels mit einem weiteren Anstieg der Flusstemperaturen [Bates et al 2008].

Leistungs-
einschränkungen für
thermische
Kraftwerke durch zu
warmes Kühlwasser

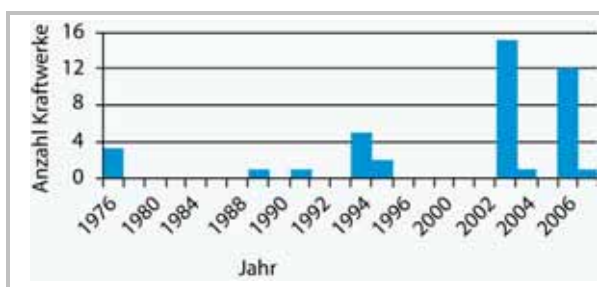


Abbildung 11: Leistungseinschränkungen thermischer Kraftwerke in Deutschland aufgrund wasserrechtlicher Bestimmungen. Quelle: verändert nach [Müller et al. 2008]

Auf globaler Ebene besteht also ein immenser Bedarf, die Effizienz der Wassernutzung zu verbessern und gleichzeitig den Zugang der Menschen zu sauberem Trinkwasser und einer ausreichenden Abwasserentsorgung sicher zu stellen. Dabei stellt der Wassersektor prinzipiell einen attraktiven Markt für Investitionen in Infrastruktur und Ver- und Entsorgungssysteme dar. Der internationale Markt für Wassertechnologien und Dienstleistungen wird auf jährlich rund 420 Mrd. \$US geschätzt, wovon alleine etwa 320 Mrd. \$US auf die Trinkwasserversorgung und die Abwasserentsorgung entfallen. Das jährliche Marktwachstum für die kommenden Jahre wird auf 5 bis 10 % veranschlagt [Züricher Kantonalbank 2009].

Wassersektor als
wichtiger
internationaler
Leitmarkt

Diese Märkte können sich aber auf Dauer nur dann dynamisch entwickeln, wenn geeignete gesetzliche und ökonomische Rahmenbedingungen Anreize für einen effizienten Umgang mit Wasser bieten. Hohe Subventionen für den Agrarsektor, unklare Wasserrechte und Korruption sind kontraproduktiv und fördern unkontrollierte Wasserentnahmen, während sich Investitionen in wassersparende Systeme nicht rechnen.

Ökonomischer und
gesetzlicher Rahmen
schafft Anreize für
mehr Wassereffizienz

Dabei sind unkontrollierte Wasserentnahmen, die zu einer Übernutzung von Wasserressourcen führen, keineswegs nur ein Charakteristikum von Entwicklungsländern mit schwachen regulativen Institutionen: Im EU-Land Spanien gibt es nach Angaben des WWF etwa eine halbe Million illegale Brunnen, aus denen Wasser unkontrolliert für die Bewässerung

landwirtschaftlicher Felder, z.B. für den Erdbeeranbau, entnommen wird. Der WWF fordert einen Abbau der EU-Subventionen für diese Form der Landwirtschaft: „Pflanzen, die extrem viel Wasser verbrauchen wie Zuckerrüben, Mais oder Reis müssen nicht noch mit Hilfe von Steuergeldern in trockenen Regionen kultiviert werden.“ [WWF 2008].

Die global prognostizierte Zunahme des Wasserbedarfs bei gleichzeitiger Verringerung der Ressourcenbasis lässt künftig Konflikte zwischen Landwirtschaft und Industrie, Stadt und Land, Oberlauf und Unterlauf, Wirtschaft versus Naturschutz um die Ressource Wasser wahrscheinlicher werden. Effiziente Technologien und Konzepte können hier einen wichtigen Beitrag leisten, um diese Konflikte zu entschärfen. Umfassende Konzepte wie das Integrierte Wasserressourcenmanagement dienen dazu, zwischen diesen vielfältigen Ansprüchen zu vermitteln.

Fazit:

Der Klimawandel wird die künftige Verfügbarkeit der Ressource Wasser reduzieren. Nach einer Schätzung des IPCC wird 2050 global die Landfläche mit zunehmendem Wasserstress doppelt so groß sein wie die Landfläche mit nachlassendem Wasserstress. 2025 werden etwa 1,8 Mrd. Menschen in Ländern oder Regionen mit absoluter Wasserknappheit leben; zwei Drittel der Menschheit könnten von Wasserstress betroffen sein. Gleichzeitig steigt der Bedarf der wachsenden Weltbevölkerung an dieser Ressource. Dabei geht es - insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern - zum einen um die Befriedigung elementarster Bedürfnisse, d.h. den Zugang zu sauberem Trinkwasser und Abwasserentsorgung. Zum anderen wird sich durch den Ausbau der Landwirtschaft und der industriellen Produktion der globale Wasserbedarf weiter erhöhen. Große Effizienzpotenziale liegen in der Bewässerungslandwirtschaft: Während durch die hohe Verdunstung bei Beregnungsverfahren nur eine Effizienz von 65% erzielt wird, können moderne Verfahren wie die Mikro- oder Tröpfchenbewässerung Effizienzen von über 90% erreichen.

Deutschland hat in den letzten 30 Jahren die Effizienz der Wassernutzung bereits um ein Drittel verbessern können - betrachtet man allerdings die Gesamtmenge an Wasser, die für die Produktion aller Waren nötig ist („virtuelles Wasser“), ist Deutschland ein Netto-Importeur von Wasser, da es wasserintensive Produkte aus dem Ausland importiert. Wesentliche Steigerungen der Effizienz bei der Wassernutzung sind daher vor allem dadurch möglich, dass die globalen Wertschöpfungsketten betrachtet werden. Die Nachfrage nach effizienten Wassernutzungssystemen bedeutet auch ein großes Marktpotenzial. Diese Märkte können sich aber auf Dauer nur dann dynamisch entwickeln, wenn geeignete gesetzliche und ökonomische Rahmenbedingungen Anreize für einen effizienten Umgang mit Wasser bieten.

1.4 Verlieren wir den Boden unter den Füßen?

Boden gilt als eine nicht-erneuerbare Ressource. Die globale Bodenfläche ist zunächst einmal nicht vermehrbar (wenn man von den Landgewinnungsaktivitäten z.B. in Norddeutschland und den Niederlanden in den letzten Jahrhunderten absieht). Wenn Boden einmal durch Überbauung, Versalzung, stoffliche Kontamination oder Erosion degradiert ist, ist es nur mit großer Anstrengung möglich, ihn wieder nutzbar zu machen. Gleichzeitig erfüllen Böden vielfache Funktionen, die z.T. in direkter Konkurrenz zueinander stehen und Zielkonflikte hervorrufen:

- Ernährung (landwirtschaftliche Nutzung)
- Fläche für Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur
- Anbaufläche für Bioenergienutzung
- Klimaregulation (Kohlenstoffspeicherung)
- Wasserregulation
- Natur- und Biotopschutz

Künftig werden die Ansprüche an die Ressource Boden steigen, und zwar durch folgende Trends:

Ernährung: Im Jahr 2030 wird die Weltbevölkerung auf 9,3 Mrd. Menschen gestiegen sein; gleichzeitig wird sich die Nahrungsmittelnachfrage zur flächenintensiveren Fleischproduktion verlagern (Anbau von Futtermitteln!). Um den Nahrungsbedarf dieser wachsenden Weltbevölkerung zu decken, muss die globale Nahrungsmittelproduktion bis 2030 um rund 50 % gesteigert werden. Diese Nachfrage wird sich nur zum Teil durch eine Erhöhung der Flächenproduktivität decken lassen, so dass die Agrarflächen für Ernährung laut FAO bis 2030 um 13 % ausgeweitet werden müssen [FAO 2003]. Eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist in einigen Regionen der Welt jedoch gar nicht mehr möglich (Abbildung 12); in anderen nur auf Kosten anderer Ziele (z.B. Naturschutz, wenn die Amazonasregion für die Landwirtschaft erschlossen wird).

Der Boden ist eine nicht erneuerbare Ressource

Steigerung der Nahrungsmittelproduktion bis 2030 um 50% nötig



Abbildung 12: Aktuelle landwirtschaftlich genutzte Fläche und potenziell für landwirtschaftliche Nutzung geeignete Flächen (ohne Bewässerungslandwirtschaft). Nach: [FAO 2003]

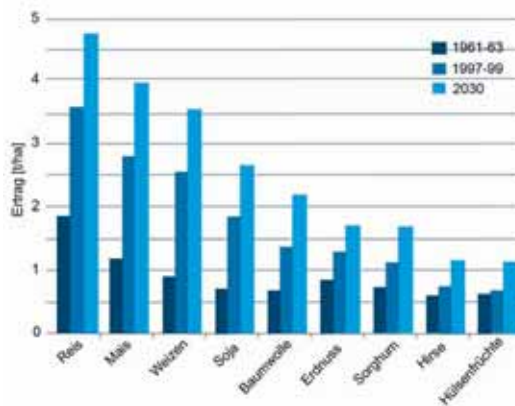


Abbildung 13: Ernteerträge wichtiger Nahrungsmittel in den Zeiträumen 1961-63, 1997-99 und 2030. Quelle: [FAO 2003]

Potenziale für
Ertragssteigerungen

Die Effizienz der Bodennutzung lässt sich außerdem durch eine Steigerung der Ernteerträge pro Hektar steigern. Eine Vielzahl von Maßnahmen steht dafür zur Verfügung und reicht von verbesserten Bewässerungsmethoden über Biotechnologie, reduzierter Bodenbearbeitung bis hin zum ökologischen Landbau (s. Kapitel Landwirtschaft).

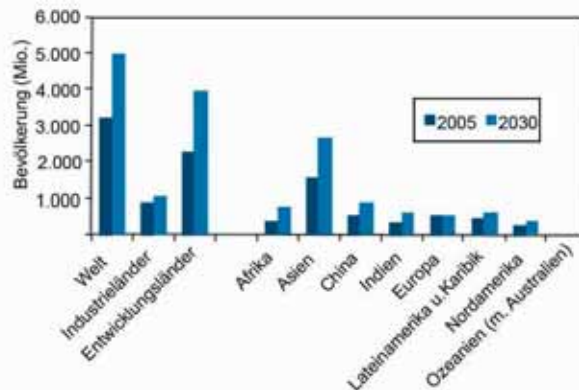


Abbildung 14: Globale Entwicklung der städtischen Bevölkerung, 2005 und 2030. Quelle: [Vereinte Nationen 2005]

Wachstum der
Megastädte in
Schwellen- und
Entwicklungsländern

Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche: Gleichzeitig beansprucht die Menschheit Platz für **Siedlungs- und Verkehrsfläche**: 2007 lebten weltweit erstmals mehr Menschen in Städten als auf dem Land. Diese Urbanisierungsprozesse sind insbesondere in Entwicklungsländern noch lange nicht abgeschlossen (Abbildung 14). Auch in Deutschland werden trotz stagnierender Bevölkerung weiterhin 120 ha Fläche täglich versiegelt. Das Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, bis 2020 nur noch 30 ha pro Tag zu beanspruchen, wird damit bei weitem verfehlt. Von den vier von Bardt [2006] untersuchten Umwelteffizienzindikatoren ist der Faktor Fläche

der einzige, bei dem im Zeitraum 1991 - 2005 im Unterschied zur Energie-, Wasser und Rohstoffnutzung keine Steigerung der Effizienz verzeichnet werden konnte: Wir benötigen heute noch genauso viel Fläche wie 1991, um einen Euro Bruttosozialprodukt zu erwirtschaften (Abbildung 15).

Keine Steigerung der Flächeneffizienz in Deutschland seit 1991



Abbildung 15: Steigerung der Umwelteffizienz wichtiger Ressourcen in Deutschland im Zeitraum 1991 - 2005. Der dargestellte Effizienz-Indikator stellt den Ressourcenverbrauch je Einheit Bruttoinlandsprodukt dar. Quelle: [IW - Trends]

Zunahme der Bioenergienutzung: Durch den zunehmenden Bedarf an **Bioenergie** müssen landwirtschaftliche Flächen in Zukunft nicht nur Nahrungsmittel und Fasern produzieren, sondern zunehmend Energiepflanzen. Der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen [WBGU 2009] hat verschiedene Szenarien für den Flächenbedarf des Bioenergieanbaus berechnet, die sich in ihrer Prioritätensetzung für andere Nutzungen (Lebensmittelproduktion, Naturschutz) unterscheiden. Nach diesen Berechnungen könnten global zwischen 240 und 500 Mio. Hektar Land für den Bioenergiebedarf zur Verfügung stehen, was einer Energieproduktion von 34 - 120 EJ pro Jahr entspricht. Zusammen mit der Nutzung von Abfall- und Reststoffen (50 EJ) ergibt sich ein nachhaltiges technisches Bioenergiepotenzial von 80 - 170 EJ pro Jahr - etwa einem Viertel des derzeitigen und unter einem Zehntel des in 2050 zu erwartenden globalen Primärenergieeinsatzes. Davon ist etwa die Hälfte wirtschaftlich erschließbar.

Global werden 240 bis 500 Mio. Hektar Land für den Anbau von Energiepflanzen benötigt

Aufforstung,
Wiedervernässung
von Mooren und
pfluglose
Bodenbearbeitung
fördern die
Speicherung von
Kohlenstoff

Bioholzkohle als
langfristiger
Kohlenstoffspeicher

Naturschutz in
Schutzgebieten und
in der Fläche nötig,
um Biodiversitäts-
verlust zu stoppen

Klimaregulation: Böden sind nach den Ozeanen die wichtigsten **Kohlenstoffspeicher**. Neugewinnung von Böden für landwirtschaftliche Nutzung führt meistens zu einer Freisetzung von im Boden gespeichertem Kohlenstoff. Das 2°-Ziel kann nur erreicht werden, wenn künftig mehr (statt weniger) Kohlenstoff in Böden gespeichert wird [McKinsey 2009]. In allen Klimaszenarien spielen solche auf die Landnutzung ausgerichtete Maßnahmen eine zentrale Rolle. Der Erhalt von Feuchtgebieten und Wäldern und die Wiedervernässung von Mooren, die pfluglose oder Minimalbodenbearbeitung zählen zu den aussichtsreichsten Maßnahmen für die Anreicherung von Kohlenstoff. Etwa 60 % der CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft könnten durch diese und andere Maßnahmen in der Landwirtschaft kompensiert werden [McKinsey 2009]. Eine interessante, da langfristige Option der Kohlenstoffbindung stellt die Akkumulation von Holzkohle in Böden dar [Lehmann 2007]. Für diese Biosequestrierung wird zunächst Biomasse unter Ausschluss von Sauerstoff erhitzt („Niedrigtemperaturpyrolyse“). Dabei entstehen Holzkohle und flüchtige organische Substanzen. Letztere werden als Biogas oder Flüssigtreibstoff genutzt, während die Holzkohle in Agrarland eingebracht wird. Dieser Kohlenstoffpool zersetzt sich im Unterschied zum „normalen“ Bodenkohlenstoff (Humus) nur langsam (Jahrhunderte bis Jahrtausende) und verbessert zudem Fruchtbarkeit und Struktur der Böden. Lehmann [2007] schätzt, dass die Pyrolyse von Rückständen aus der Forstwirtschaft, schnellwüchsiger Vegetation oder Ernterückständen jeweils etwa 10 % der jährlichen Treibhausgasemissionen der USA kompensieren könnten.

Wasserregulation: Böden übernehmen wichtige Filterfunktionen, indem sie das Niederschlagswasser von Schadstoffen reinigen und die Säure abpuffern. Sie regulieren den Wasserabfluss und die Grundwasserneubildung, indem sie das Wasser langsam versickern lassen. Insbesondere Wälder und natürliche Feuchtgebiete nehmen hier wichtige Funktionen ein.

Natur- und Biotopschutz: Für den Erhalt der biologischen Vielfalt werden ebenfalls Flächen benötigt, - und zwar weltweit in allen wichtigen Lebensraumtypen und Regionen. Es gibt heute etwa 115.000 Schutzgebiete weltweit, mit einer Fläche von über 20 Mio. km², was mehr als 12 % der terrestrischen Fläche entspricht [WBGU 2009]. Dies alleine genügt jedoch noch nicht, um einen effektiven Naturschutz zu gewährleisten. Eine aktuelle Bilanz der globalen Biodiversität [Global Biodiversity Outlook 2006] zeigt, dass global betrachtet trotz einer Ausweitung der globalen Schutzgebietsflächen der weltweite Biodiversitätsverlust bisher nicht gestoppt werden konnte. Aus diesem Grund stehen Naturschutzexperten auf dem Standpunkt, dass Aspekte des Naturschutzes auch in andere Nutzungsformen integriert werden müssen. Dabei stellen sogar Städte interessante Lebensräume dar. So stellt der Münchner Zoologe Josef Reichholf [2007] fest: „In einem Umland der

Monotonie - geschaffen durch die moderne Landwirtschaft - werden Städte zu Inseln der Artenvielfalt: So leben in Berlin mittlerweile mehr Nachtigallen als in ganz Bayern. In einigen Städten finden sich doppelt so viele Wildpflanzensorten wie in ihrem Umland“.

Dieser kurze Überblick zeigt, dass die angeführten Nutzungsansprüche künftig nur erfüllt werden können, wenn die Ressource Boden um ein Vielfaches effizienter genutzt wird als heute. Effizient bedeutet dabei auch, dass man durch intelligentes Landmanagement versucht, möglichst viele Nutzungsformen auf einer Fläche zu integrieren und somit eine Vielzahl von Bodenfunktionen zu optimieren.

Integration vieler
Nutzungsformen
durch
Landmanagement

Fazit:

Die Inanspruchnahme der Ressource Boden / Fläche ist in Deutschland nach wie vor hoch; eine Trendwende des gegenwärtig hohen Flächenverbrauchs von 120 ha/Tag ist nicht in Sicht. Weltweit leben eine Milliarde Menschen in Regionen, die von Bodendegradierung betroffen sind. Der Verlust von Böden - sei es durch Versiegelung, Kontamination oder Erosion - ist deshalb besonders kritisch zu bewerten, da diese als nicht erneuerbare Ressource angesehen werden müssen.

Künftig werden die Ansprüche an die Ressource Boden steigen, da bis 2030 die Nahrungsmittelproduktion um 50 % gesteigert werden muss, was nach Angaben der FAO nicht durch die Erhöhung der Flächenproduktivität allein, sondern nur mit einer zusätzlichen Ausweitung der Agrarflächen um 13% zu schaffen ist. Zusätzliche Flächen werden für den Anbau von Bioenergiepflanzen benötigt. Insbesondere in den Agglomerationszentren der dynamisch wachsenden Megastädte nehmen Konflikte um die Flächennutzung zu. Doch auch für wichtige Ökosystemfunktionen wie die Kohlenstoffspeicherung, die Wasserregulation oder für den Naturschutz spielen Böden eine zentrale Rolle.

Diese vielfältigen Nutzungsansprüche zeigen, dass Böden in Zukunft viel effizienter genutzt werden müssen als heute. Effizient bedeutet dabei auch, dass man durch intelligentes Landmanagement versucht, möglichst viele Nutzungsformen sinnvoll auf einer Fläche zu integrieren und somit eine Vielzahl von Bodenfunktionen zu optimieren: So sind Naturschutz und landwirtschaftliche Produktion auch in Städten möglich. Einen weiteren Synergieeffekt bietet die Anreicherung von Kohlenstoff im Boden. Sie führt gleichzeitig auch zu einer Steigerung der Bodenfruchtbarkeit.

1.5 Was bringt Biodiversität?

Unter Biodiversität versteht man die Vielfalt der lebenden Organismen. Gemeint ist damit nicht nur die Vielfalt der Arten (Tiere, Pflanzen, Mikroorganismen, Pilze...), sondern auch die Vielfalt der Ökosysteme sowie die genetische Vielfalt.

Gegenwärtig wird die Zahl der Arten auf der Erde auf ca. 5 bis 30 Mio. Arten geschätzt; wobei bisher nur ca. 2 Mio. wissenschaftlich erfasst sind [MASR 2005]. Aktiv und direkt nutzt der Mensch nur einen kleinen Ausschnitt aus dieser großen Vielfalt. Ein Beispiel ist die Ernährung: Obwohl weltweit etwa 75.000 Pflanzenarten essbar sind, decken global nur etwa 20 Nutzpflanzenarten 90 % der Welternährung ab; allein die drei wichtigsten Kulturpflanzen Weizen, Reis und Mais bestreiten dabei 60 % des Bedarfs an Kalorien und Proteinen [WBGU 2000].

Doch auch der Teil der Natur, der nicht direkt vom Menschen genutzt wird, spielt offensichtlich eine wichtige Rolle für die langfristige Stabilität von Ökosystemen und den Erhalt ihrer vielfältigen Funktionen (z.B. Nahrungsmittelproduktion, Grundwasserneubildung). Biodiversität wirkt dabei auf allen Ebenen - auf der genetischen, auf der Ebene der Arten und auf Ebene der Ökosysteme - wie eine Art Auffangnetz der Natur. Der Erhalt einer möglichst hohen Diversität lässt sich mit der besonnenen Anlagestrategie eines Portfoliomanagers vergleichen, der mögliche Ausfallrisiken einzelner Aktien durch ein breites Anlagespektrum in seinem Aktienpaket streut und dafür geringere Gewinne hinnimmt. Die einseitige Maximierung des Ertrags durch die Konzentration auf wenige leistungsstarke Titel ermöglicht hohe (und schnelle) Erträge, das Ausfallrisiko kann jedoch hoch sein (vgl. Abbildung 16).

Der Mensch nutzt
nur einen kleinen
Teil der
Biodiversität direkt

Biodiversität
verstärkt die
Stabilität von
Ökosystemen

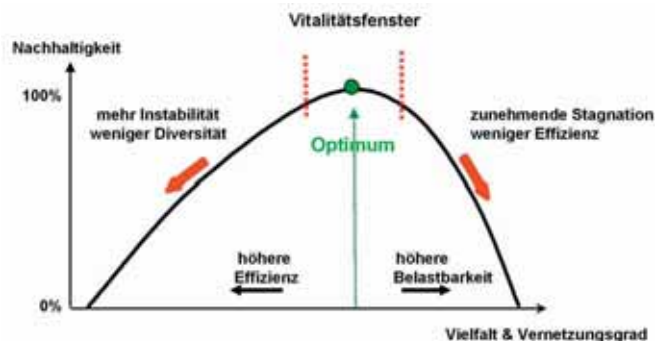


Abbildung 16: Die Effizienz eines Systems lässt sich auf Kosten der Vielfalt und des Vernetzungsgrads (sprich: der Komplexität) steigern. Die Belastbarkeit eines Systems jedoch steigt mit dem Grad der Vernetzung - und damit der Vielfalt - in diesem System. Die Natur sucht die optimale Balance zwischen Effizienz und Belastbarkeit. Quelle: [Bernard Lietaer]

Bernard Lietaer, ehemaliger leitender Angestellter der Europäischen Zentralbank, Währungsspekulant und Autor verschiedener Theorien über die Zukunft des Geldes, überträgt diesen Zusammenhang zwischen Vielfalt, Effizienz und Belastbarkeit sogar auf das gesamte Finanzsystem: Lietaer stellt die These auf, dass die einseitige Maximierung der Effizienz des Finanzsystems zu dessen Zusammenbruch beigetragen hat und schlägt vor, das Finanzsystem durch die Einführung parallel existierender lokaler Währungen, die nur lose mit der globalen Ökonomie gekoppelt sind, zu stabilisieren [Gründler 2009].

Für den Umgang mit Ökosystemen bedeutet die Optimierung zwischen Effizienz und Belastbarkeit, dass nicht nur der Ertrag dieser Systeme betrachtet werden darf, sondern um der Stabilität willen auch ihre Biodiversität berücksichtigt werden muss. Das kann - muss aber nicht - auf Kosten des Ertrags gehen, wie die folgenden Beispiele aus der Forstwirtschaft und der Landwirtschaft zeigen:

Optimierung zwischen Effizienz und Belastbarkeit eines Systems



Abbildung 17: Neun von zehn Bäumen, die der Sturm Kyrill 2006 in Bayern entwurzelte, waren Fichten. Ziel moderner Forstwirtschaft ist daher der Aufbau arten- und struktureicher Mischbestände mit Standort angepassten Baumarten, die den aufgrund des Klimawandels zu erwartenden Wetterextremen trotzen. Quelle: [Landesbetrieb Wald und Holz NRW]

Ist eine vielfältige Natur besser in der Lage, Nahrung zu liefern, Wasser zu reinigen und das Klima zu regulieren als einförmige Monokulturen? Tatsächlich deuten viele Forschungsergebnisse darauf hin, dass vielfältige Systeme weniger anfällig gegen Stress sind bzw. sich besser von Störungen erholen können als einfach strukturierte. Ein Beispiel sind die deutschen Wälder. In der Vergangenheit war es das Ziel forstwirtschaftlicher Bemühungen, die Holzerträge der Forste zu maximieren - und deshalb wurde einseitig auf den Anbau von Fichten- und Kiefernmonokulturen gesetzt. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass diese Monokulturen viel anfälliger gegen das massenhafte Auftreten von Schädlingen sind als Mischwälder. Auch gegen Stürme haben sich

Fichtenbestände sind sturmanfälliger als Mischbestände

Ziel des
Waldumbaus:
multifunktionale
Mischwälder

die Fichten als empfindlicher erwiesen als andere Baumarten: In Bayern sind nur 46 % des Baumbestandes Fichten⁹, aber neun von zehn Bäumen, die der Sturm „Kyrill“ 2006 in Bayern entwurzelte, waren Fichten (Abbildung 17) [Sebald 2007]. Erklärtes neues Ziel einer an den vielfältigen Funktionen des Waldes (Kohlenstoffspeicherung, Trinkwasserregulierung, Hochwasserschutz, Holzertrag, Erholung) ausgerichteten Forstwirtschaft ist daher der sogenannte Waldumbau, bei dem versucht wird, die anfälligen Fichten-Monokulturen durch multifunktionale Mischwälder zu ersetzen - mit einer Baumartenzusammensetzung, die zudem besser an die zu erwartenden Klimaveränderungen angepasst ist [Helmholtz UFZ 2006].

Biomassenutzung für
Bioenergie aus
artenreichen Wiesen

Auch beim Anbau von Pflanzen zur Gewinnung von Bioenergie kann es durchaus vorteilhaft sein, auf Vielfalt anstelle von Monokulturen zu setzen: Einen interessanten Ansatz, die Umweltauswirkungen des Biomasseanbaus zu verringern und gleichzeitig hohe Erträge zu erwirtschaften, bietet der Anbau von „Low-Input High Diversity (LIHD) Grassland Biomass“ auf landwirtschaftlichen Brachflächen. Durch eine Untersuchung, die sich über 10 Jahre von 1994–2004 erstreckt hat, konnte festgestellt werden, dass mit der Aussaat von bis zu 16 verschiedenen Grassorten auf landwirtschaftlicher Brachfläche nach 10 Jahren bis zu 238 % mehr Bioenergie gewonnen werden kann, als mit Monokulturen. Darüber hinaus führt LIHD-Bioenergie zu einer effektiven CO₂-Minderung, da beim Anbau 4,4 Tonnen CO₂ pro Hektar und Jahr sequestriert, aber bei der Erzeugung des Biokraftstoffs nur 0,32 Tonnen CO₂ pro Hektar und Jahr freigesetzt werden. Würden weltweit 5108 ha landwirtschaftlicher Brachfläche für den LIHD-Anbau genutzt, könnten 13 % des globalen Kraftstoffbedarfs und 19 % des globalen Strombedarfs gedeckt werden. Gleichzeitig würde der CO₂-Ausstoß um 15 % reduziert [Tilman 2006].

Ökonomischer Wert
der Bestäubung: 150
Mrd. Euro pro Jahr

Viele Leistungen der Natur sind uns häufig gar nicht mehr bewusst. So hängt ein großer Teil unserer landwirtschaftlichen Produktion direkt von der Bestäubungsleistung der Insekten ab (Abbildung 18). Der ökonomische Wert dieser Bestäubung wird weltweit auf jährlich 150 Mrd. Euro geschätzt [Gallai et al. 2009]. Seit mehreren Jahren wird weltweit ein Honigbienensterben beobachtet. Besonders akut ist der Rückgang in den USA, wo 29 % der Imker in 2006 und 2007 bis zu 75 % ihrer Völker verloren haben. Angesichts dieser Entwicklung ist die Frage aufgetaucht, ob die Bestäubung der Nutzpflanzen überhaupt noch gewährleistet ist.

⁹ [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten] - Bayrische Forstverwaltung. Baumartenverteilung.



Abbildung 18: Bienenkörbe vor einem blühenden Rapsfeld. Der ökonomische Wert der Bestäubung wird weltweit auf etwa 150 Mrd. Euro pro Jahr geschätzt. Weitere Erläuterungen im Text. Quelle: [Schädlich, H. Bungsberg-Imkerei]

Dass sich der Rückgang der Honigbienen bisher nicht so stark wie befürchtet auf Ernteerträge ausgewirkt hat, ist unter anderem auf die Bestäubungsleistungen der Wildbienen zurückzuführen, die statt dessen „einspringen“. Dies konnte in einer wissenschaftlichen Studie in New Jersey und Pennsylvania an Wassermelonen nachgewiesen werden. Allerdings war dieser Ersatz der Honigbienen durch die Wildbienen nur möglich, weil in der Untersuchungsregion noch ausreichend natürliche Lebensräume für die Wildbienen zur Verfügung standen. Ihre Forschungsergebnisse, so die Wissenschaftler, verdeutlichen damit den hohen Wert der Biodiversität als Versicherung gegen den Ausfall einzelner Komponenten in der Natur. Nur eine hohe biologische Vielfalt sei in der Lage, die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen langfristig zu gewährleisten [Winfree et al. 2007]. In intensiv genutzten landwirtschaftlichen Systemen - z.B. in Kalifornien, das ein Drittel der globalen Mandelproduktion erzeugt, können selbst importierte Bienenvölker nicht den benötigten Bestäubungsbedarf während der Mandelblüte decken [Ghazoul 2005].

Wildbienen ersetzen
Honigbienen - aber
nur in vielfältig
strukturierten
Landschaften

Noch dramatischer als der Verlust der Honigbienen erscheint das unbemerkte Aussterben der genetischen Vielfalt der Nutzpflanzen und -tiere, denn von dieser Vielfalt ist die Ernährung der Menschheit direkt abhängig. So gibt es weltweit etwa 4.000 Kartoffelsorten. Die meisten davon stammen aus Peru, dem genetischen Zentrum dieser wichtigen Kulturpflanze. Doch nur ein kleiner Teil dieser Sorten macht den Löwenanteil der jährlichen Kartoffelernte aus. Der Rest gerät entweder in Vergessenheit oder es handelt sich um lokal angebaute Sorten mit geringem Handelsvolumen und Eigenschaften, die einer kommerziellen Nutzung eher im Wege stehen, wie unregelmäßige Knollenform (Schälaufland!), begrenzte Lagerfähigkeit, niedriger Ertrag. Für die Pflanzenzüchtung sind jedoch häufig auch gerade diese weniger

Genetische Vielfalt
der Nutzpflanzen
bedroht

Kraut- und
Knollenfäule
vernichtet jedes
Jahr 5 - 10 % der
globalen
Kartoffelernte

bekannten Sorten interessant, z.B. bei der Züchtung von Schädlingsresistenzen oder höherer Kältetoleranz. So werden derzeit jedes Jahr etwa 5 - 10 % der jährlichen Weltkartoffelernte (5 % entspricht der gesamten deutschen Kartoffelernte eines Jahres!) durch die Kraut- und Knollenfäule vernichtet. Der Pilz ist der wichtigste aller Kartoffelschädlinge - sein massenhaftes Auftreten führte Mitte des 19. Jahrhunderts zu einer Hungersnot in Irland, bei der innerhalb weniger Jahre 1 Mio. Menschen starben und weitere 1,5 Mio. Menschen das Land verließen.



Abbildung 19: Pallayponcho und Pukalliclla, zwei in Peru entstandene Neuzüchtungen mit besonderer Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule. Die Resistenzgene stammen aus alten Kartoffelsorten, die man im Hochland von Peru fand. Quelle: [International Potato Center]

Alte peruanische
Sorten Schlüssel für
die Neuzüchtung
resistenter Sorten

Für die Züchtung von Resistenzen greifen die Züchter heute z.B. auf Eigenschaften von peruanischen Wildkartoffeln zurück, die sich als besonders resistent gegen den Pilz erwiesen haben (Abbildung 19). Resistenterer Sorten einzusetzen bedeutet auch gleichzeitig, dass weniger Fungizide im Kartoffelanbau eingesetzt werden müssen. Der Erhalt der Sortenvielfalt ist also nötig, um sich auch künftig Möglichkeiten der Züchtung resistenter Sorten zu erhalten. Da die Schädlinge sich über die Jahrtausende optimal an ihren Wirt angepasst haben, ist die Züchtung ein ständiger Wettlauf mit der Zeit - und je mehr „Trümpfe“ in Form von alten Sorten und Wildverwandten zur Verfügung stehen, umso mehr Optionen stehen dafür auch künftig zur Verfügung.

Nach Ansicht der Food and Agricultural Organization (FAO) wird die Rolle der Kartoffel für die Welternährung in Zukunft noch zunehmen. Denn verglichen mit anderen Stärkelieferanten produziert sie schneller, mit geringerem Flächenbedarf und unter widrigeren Klimabedingungen mehr Nahrung als z.B. viele Getreidesorten, - bis zu 85 % der Pflanze sind essbare Bestandteile, während es bei Getreide nur 50 % sind [International Year of the Potato 2008].

Die Beispiele Waldumbau, Kartoffelvielfalt und Bestäubung zeigen, dass das stabile und risikoangepasste Funktionieren von Ökosystemen häufig von der Biodiversität dieser Systeme abhängig ist. Eine einseitige Maximierung von Funktionen - z.B. des Ertrags - kann eine Erhöhung des Risikos bedeuten, wenn dieses System Veränderungen, Belastungen oder Stress ausgesetzt ist.

Fazit:

Global betrachtet nutzt der Mensch nur einen Bruchteil der weltweit vorhandenen Pflanzen, Tiere oder Mikroorganismen - so decken z.B. drei Getreidearten (Weizen, Reis, Mais) etwa 60% des globalen Kalorien- und Proteinbedarfs der Menschheit. Vordergründig scheinen daher nur wenige Arten zu genügen, um die wichtigsten Bedürfnisse des Menschen zu erfüllen.

Ist Biodiversität - also die Vielfalt der Arten, Gene und Ökosysteme - damit entbehrlich? Die Antwort lautet eindeutig nein. Grob lässt sich Biodiversität als eine Art Auffangnetz der Natur beschreiben, die das Funktionieren von Ökosystemen (z.B. Nahrungsmittelproduktion, Kohlenstoffbindung, Grundwasserbildung) langfristig erhält und stabilisiert - vergleichbar mit einem Anlageportfolio, das mögliche Ausfallrisiken einzelner Aktien durch ein breites Anlagespektrum in seinem Aktienpaket streut. Die einseitige Maximierung des Ertrags eines Systems geht häufig auf Kosten der Stabilität.

Auch für die menschliche Ernährung stellt die genetische Vielfalt der Kulturpflanzen eine wichtige Reserve für die Pflanzenzüchtung dar. So gelang es vor kurzem Wissenschaftlern vom International Potato Research Center, auf Basis traditionell im Hochland von Peru angebauter Kartoffelsorten zwei neue Sorten zu züchten, die resistent gegen die Kraut- und Knollenfäule sind - eine Krankheit, die jährlich 5 - 10% der Kartoffelernte vernichtet.

Biodiversität stellt also eine wichtige Ressource für Effizienzsteigerungen dar, daher ist der Erhalt der Vielfalt dringend geboten. Bei der Steigerung der Effizienz eines Systems ist zudem darauf zu achten, dass diese Steigerung nicht auf Kosten der Vielfalt und damit der (langfristigen) Stabilität des Systems erfolgt.

2 STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ

2.1 Potenziale

Mehr Ressourcen-
effizienz steigert
die Wettbewerbs-
fähigkeit und
entlastet die Umwelt

Eine Steigerung der Ressourceneffizienz bedeutet schlicht: „Mehr mit weniger zu erreichen“. Das heißt, Rohstoffe, Materialien und Energie werden effizienter eingesetzt, um die Umwelt zu entlasten und Kosten zu reduzieren. Kurz gefasst: „Mehr Ressourceneffizienz steigert die Wettbewerbsfähigkeit und entlastet die Umwelt.“

Die Anreize für eine Steigerung der Ressourceneffizienz sind umso stärker, je höher Rohstoff- und Energiepreise sind.

Auch der Output von
Emissionen sollte
betrachtet werden

Neben dem Input von Ressourcen sollte auch der Output von Emissionen bei der Produktion, Nutzung und Entsorgung betrachtet werden. Auch hier gilt, dass weniger Output die Umwelt entlastet und sich finanziell positiv bemerkbar macht. Ein Beispiel ist der Handel mit CO₂-Zertifikaten im Rahmen des europäischen Handelssystems ETS. Wer weniger CO₂ emittiert, kann Zertifikate verkaufen, wer zuviel emittiert, muss zukaufen.

Die Steigerung der Ressourceneffizienz verfolgt also zwei Ziele

1. Verringerung des Ressourceneinsatzes (Input)
2. Verringerung stofflicher Emissionen (Output)

Lebenszyklus-
analysen

Lebenszyklusanalysen helfen dabei, Effizienzpotenziale in der Wertschöpfungskette zu identifizieren. Schematisch ist das in Abbildung 20 anhand einer vereinfachten Wertschöpfungskette gezeigt. Auf den einzelnen Wertschöpfungsstufen kann jeweils der Input von Ressourcen und der Output von nützlichen Produkten und Emissionen ermittelt werden.

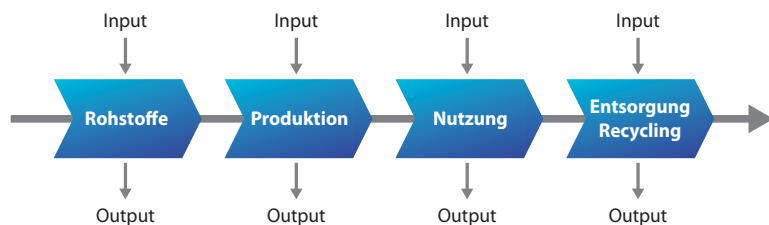


Abbildung 20: Lebenszyklusanalyse des Ressourceninputs und -outputs entlang einer Wertschöpfungskette. Quelle: Eigene Darstellung

Auf diese Weise können Unternehmen analysieren, welche Zusammenhänge zwischen den einzelnen Stufen der Wertschöpfungskette bestehen und Potenziale für mehr Ressourceneffizienz aufdecken.

Ein Beispiel für Ressourceneffizienzpotenziale liefert die Wertschöpfungskette von Papier (Abbildung 21) [Hawken 2000].

Auf der Stufe der **Rohstoffgewinnung** kann eine Ertragssteigerung des Zellstoffs pro Hektar um den Faktor 5,0 erreicht werden, indem Holz aus natürlich gewachsenem Wald durch Holz aus Weichholzplantagen **substituiert** wird. Wird zusätzlich Zellstoff durch Nichtholzfäsern aus Nebenprodukten (z. B. Stroh) anderer Wertschöpfungsketten (**Koppelnutzung**) und **Recyclingpapier** substituiert, erhöht sich die Rohstoffeffizienz noch einmal um den Faktor 1,67.

Auf der Stufe der **Produktion** ist durch die Verwendung von weniger Fasern pro Blatt Papier (neue **Produktgestaltung**) eine Erhöhung der Materialeffizienz um den Faktor 1,33 möglich.

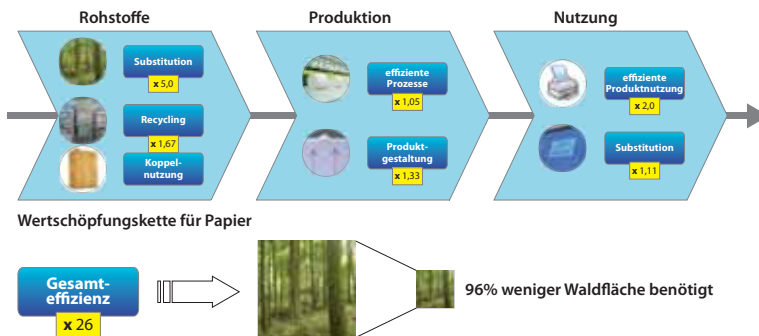


Abbildung 21: Effizienzpotenziale in der Wertschöpfungskette von Papier. Insgesamt erhält man Einsparungen um den Faktor 26, - also 96 % weniger Waldfläche für den Zellstoffanbau. Quelle: [Hawken 2000]

Durch effizientere **Prozesse** und Geräte kann zusätzlich eine Steigerung der Verarbeitungseffizienz von Zellstofffabriken um den Faktor 1,05 erreicht werden.

Bei der **Papiernutzung** kann durch die Einführung von beidseitigem Drucken und Kopieren, Wiederverwendung als Schmierpapier, etc. eine Erhöhung der **Nutzungseffizienz** um den Faktor 2,0 erreicht werden. Elektronische Kommunikationssysteme wie E-Mails besitzen ein zusätzliches **Substitutionspotenzial**. Die Vermeidung unerwünschter Ausdrücke von E-Mails könnte zusätzlich einen Faktor 1,11 bringen.

Alle diese Maßnahmen zusammen multiplizieren sich zu einer Effizienzsteigerung um den Faktor 26. Das würde in diesem Beispiel eine Reduktion der Anbaufläche für den Zellstoff um 96 % bedeuten.

Das Beispiel Papier zeigt nicht nur, dass auf allen Stufen der Wertschöpfungskette Effizienzpotenziale vorhanden sind, sondern auch, dass der größte Hebel für mehr Effizienz am Ende der Wertschöpfungskette liegt. Eine um den Faktor 2,0 erhöhte Effizienz bei der Nutzung bedeutet auch um den Faktor 2,0 geringere Produktion und um den Faktor 2,0 weniger Anbaufläche.

Ressourceneffizienz
in der Wert-
schöpfungskette von
Papier

Die Anbaufläche für
Zellstoff könnte um
96% reduziert
werden

Der größte Hebel
für mehr Effizienz
liegt am Ende der
Wertschöpfungs-
kette

Es lohnt sich also, die Wertschöpfungskette vom Ende beginnend nach Potenzialen zu untersuchen. Denn mehr Effizienz beim Verbrauch bedeutet auch, dass kleinere Anlagen für die Bereitstellung von Energie und Materialien ausreichen und weniger Rohstoffe benötigt werden. Solche Effizienzgewinne multiplizieren sich mit jedem Schritt zurück zum Anfang der Wertschöpfungskette. Als Ergebnis können substantielle Einsparungen bei den Ressourcen erzielt werden, - z. B. eine um 96 % geringere Anbaufläche für Zellstoff zur Papierherstellung.

Weitere Potenziale
durch die Kopplung
von
Wertschöpfungs-
ketten

Neben den Potenzialen in der eigenen Wertschöpfungskette können auch Nebenprodukte der Papierherstellung als Ressourcen für andere Wertschöpfungsketten dienen (Koppelnutzung). Ein Beispiel ist die Verwendung von Lingnin, das bei der Papierherstellung anfällt, als Ausgangsstoff für den neuen Holzwerkstoff Arboform® (siehe auch Abbildung 23).

2.2 Rebound-Effekt

Oftmals führen die technologisch erzielten Effizienzfortschritte nicht in gleichem Maße zu Einsparungen beim Ressourceninput. Ursache dafür ist in den meisten Fällen der sogenannte „Rebound-Effekt“.

Die Ressourceneinsparungen führen zu niedrigeren Nutzungskosten, so dass:

- die Nutzung ausgeweitet werden kann (direkter Rebound-Effekt) und/oder
- das eingesparte Geld für zusätzlichen Konsum zur Verfügung steht (indirekter Rebound-Effekt).

So können z.B. Konsumenten mit effizienteren Autos günstiger Autofahren und so weitere Strecken zurücklegen oder das eingesparte Geld für andere energieintensive Güter und Dienstleistungen investieren, wie z.B. Flugreisen.

Die Höhe des Rebound-Effekts gibt in der Regel an, wie viel Prozent der erwarteten Ressourceneinsparung nicht realisiert werden konnten. Ein Rebound-Effekt von 30 % bedeutet, dass nur 70 % der erwarteten Ressourceneinsparungen tatsächlich erreicht wurden [UKERC 2007].

Das potenzielle
Nutzerverhalten
sollte im Auge
behalten werden

Welche Rolle der Rebound-Effekt volkswirtschaftlich betrachtet in der Vergangenheit gespielt hat und wie er genau zu ermitteln ist, ist nach wie vor umstritten [Schipper 2000]. Dennoch lohnt es sich, bei der Vermarktung effizienter Technologien stets das potenzielle Nutzerverhalten im Auge zu behalten, um Rebound-Effekte so gering wie möglich zu halten.

Beispiele für Rebound-Effekte finden sich in den Kapiteln 2 und 3.4.

2.3 Strategien für mehr Ressourceneffizienz

2.3.1 Produktgestaltung

Die Produktgestaltung legt nicht nur die Basis für die späteren Produkteigenschaften. Sie bestimmt darüber hinaus auch, welche Materialien für die Fertigung verwendet werden können und wie diese verarbeitet werden müssen. Das beeinflusst wiederum die Möglichkeiten des Recyclings und der Entsorgung. Aber auch der Ressourceneinsatz in der Nutzungsphase ist designabhängig. Kurz: die Produktgestaltung beeinflusst die Ressourceneffizienz auf allen Stufen der Wertschöpfungskette über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg.

Produktgestaltung beeinflusst die Ressourceneffizienz auf allen Stufen der Wertschöpfungskette

Einen systematischen und umfassenden Betrachtungs- und Gestaltungsansatz zur Optimierung der Umweltauswirkungen von Produkten liefert das Ökodesign. Quantitative und qualitative Bewertungsmaßstäbe und Instrumente unterstützen die umweltverträgliche Gestaltung von Produkten, damit Produzenten auf jeder Stufe der Wertschöpfung und des stofflichen Lebenswegs ökologische Innovationen voranbringen können [UBA 2007].

Ein anschauliches Beispiel für die zentrale Rolle des Designs liefert der Gebäudebereich (siehe Kapitel 3.2). Dort werden 80 % des späteren Energieverbrauchs durch die Planung festgelegt. Nur noch 20 % des Verbrauchs können die Nutzer durch ihr Verhalten beeinflussen.

Bei Gebäuden werden 80 % des späteren Energieverbrauchs durch die Planung festgelegt

2.3.2 Effiziente Prozesse

In der Umgestaltung von betrieblichen Abläufen (z.B. Logistik) und Produktionsprozessen steckt nach wie vor ein großes Potenzial zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs und der Betriebskosten in Unternehmen.

Dabei helfen zum einen Informations- und Kommunikationstechnologien (z.B. RFID-Chips) zur Optimierung der Abläufe als auch neue Technologien für effizientere Produktionsprozesse.

Informations- und Kommunikationstechnologien optimieren Abläufe

Welche enormen Einsparpotenziale neue Prozesse in der Produktion erzielen können, zeigt die weiße Biotechnologie. Durch den Einsatz fermentativer Prozesse können mit einem Reaktionsschritt Produkte hergestellt werden, für die zuvor noch mehrere chemische Reaktionsschritte nötig waren. Das hat einen geringeren Ressourcenverbrauch, eine höhere Energieeffizienz, verminderte Emissionen und in der Summe auch geringere Produktionskosten zur Folge.

Das Beispiel weiße Biotechnologie

Das Vitamin B2 (Riboflavin) beispielsweise wurde bis 1990 in einer komplexen, mehrstufigen Synthese hergestellt, bis es Forschern und Entwicklern der BASF gelang, eine einstufige Fermentation auf der Basis von Sojaöl zu etablieren. Dieses biotechnologische Verfahren weist

Vitamin B2 (Riboflavin)

gegenüber dem petrochemischen Verfahren große Vorteile auf: 95 % weniger Abfälle, 30 % weniger CO₂-Emission und 60 % geringerer Ressourcenverbrauch. Dadurch sanken die Kosten für die Vitamin-B2-Herstellung um 40 % [Richter-Maierhofer 2005].

2.3.3 Substitution

Eine weitere erfolgreiche Strategie auf der Jagd nach mehr Ressourceneffizienz ist die Substitution. Das heißt, der Ersatz eines Rohstoffs durch einen anderen Rohstoff, durch einen neuen Werkstoff mit vergleichbaren Eigenschaften oder durch eine komplett neue Anwendung, die den Rohstoff überflüssig macht.

Ein Beispiel ist die Substitution fossiler Rohstoffe durch erneuerbare Rohstoffe. Ursachen hierfür sind der volatile Ölpreis in Verbindung mit der unsicheren Versorgungslage (siehe Kapitel 1.2) und die Reduktionsziele für Treibhausgase zur Minderung des Klimawandels (siehe Kapitel 1.1).

Allerdings kann nur ein Bruchteil des deutschen Rohstoffbedarfs durch heimische Biomasse gedeckt werden. Zum Teil steht nicht genug Anbaufläche zur Verfügung oder aber der Anbau in Deutschland ist aus klimatischen Gründen nicht möglich oder schlicht zu teuer. Das heißt, in Zukunft wird der Bedarf an Biomasse zunehmend über Importe sichergestellt werden müssen. Das weltweit nachhaltig nutzbare Biomassepotenzial wird auf etwa 25 % des heutigen globalen Primärenergieverbrauchs geschätzt (vgl. Kapitel 1.4).

Das weltweit nachhaltig nutzbare Biomassepotenzial wird auf etwa 25 % des heutigen globalen Primärenergieverbrauchs geschätzt



Abbildung 22: Konkurrierende Nutzungsformen für das globale Flächenangebot.
Quelle: Eigene Darstellung

Mit der Ausweitung der Biomasseproduktion im internationalen Rahmen gehen zusätzlich erhebliche Gefahren eines Raubbaus an den Naturgütern der Erzeugerländer einher, dem durch verbindliche Standards entgegengewirkt werden muss [SRU 2007].

Im Endeffekt geht es um die Frage, wie die globale Flächennutzung aussehen sollte. Konkurrierende Nutzungsformen treffen auf ein begrenztes Flächenangebot (siehe Abbildung 22).

2.3.4 Recycling

Beim Recycling werden wieder verwertbare Rohstoffe aus Neben- und Abfallprodukten gewonnen und als sogenannte Sekundärrohstoffe wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Dort ersetzen sie Primärrohstoffe, weshalb in der Literatur beim Recycling bisweilen auch von Substitution gesprochen wird. Europa gibt nach Aussagen des „Sustainability Yearbook 2007“ der SAM Group ca. 300 Mrd. Euro jährlich für Müllbeseitigung und Recycling aus. Weltweit wird nur ein Drittel des erzeugten Mülls recycelt. Die restlichen zwei Drittel landen auf Deponien [SAM Group 2007]. Gängige metallische Rohstoffe, die in Deutschland zu Sekundärrohstoffen recycelt werden, sind Eisen und Stahl, Blei, Kupfer, Zink sowie Aluminium. Weitere nichtmetallische Materialgruppen sind Glas, Papier und Pappe, Kunststoffe sowie Verbundstoffe.

Weltweit wird nur ein Drittel des erzeugten Mülls recycelt

Recycling setzt meist am Ende von Produktlebenszyklen an (siehe Abbildung 20). Dabei werden die Reststoffe entweder bereits getrennt gesammelt, wie bei Glas, Papier oder Pappe oder durch verschiedenste Sortierverfahren aus dem Haus- bzw. Industriemüll gewonnen.

Eine entscheidende Rolle für die Effizienz des Recyclingprozesses spielt die Produktgestaltung (siehe Kapitel 2.3.1). Bereits bei der Materialauswahl und -verarbeitung sollte die Frage nach dem Recycling am Ende der Lebensdauer gestellt werden.

Produktgestaltung spielt entscheidende Rolle

Recycling und der Ersatz des Primärrohstoffs durch sekundäre Rohstoffquellen sind ein entscheidender Faktor für die künftige Entwicklung des globalen Rohstoffverbrauchs. Während in einzelnen Produktbereichen (z. B. Blei aus Batterien) schon weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe mit Recyclingquoten von über 90 % bestehen, gibt es andere Stoffe, die bisher kaum recycelt werden und bei denen auch nur ein geringes Potenzial gesehen wird (z. B. Magnesit, Flussspat, Vanadium [Fronde 2005]). So stellt zum Beispiel Vanadium als Stahlveredler meist nur einen geringen Anteil einer Stahllegierung dar und geht bei der Wiedereinschmelzung in die Schlacke über.

Grenzen des Recyclings

Darüber hinaus steigt für alle Rohstoffe ab einer spezifischen Recyclingquote der Energieaufwand für die Sammlung und Reinigung überproportional an, so dass sich das Recycling nicht mehr lohnt. Höhere Quoten sind dann nur durch effizientere Recyclingprozesse oder höhere Rohstoffpreise zu erreichen.

Neben dem klassischen Recycling können Ressourcen aber auch durch die sogenannte Kaskaden- und Koppelnutzung effizienter genutzt werden. Dort werden Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette betrachtet und neben Sekundärrohstoffen auch Produkte und Nebenprodukte teilweise über Branchengrenzen hinweg weiterverwertet.

Kaskaden- und Koppelnutzung

2.3.5 Kaskadennutzung

Bei der Kaskadennutzung sollen sowohl die eigentlichen Produkte und Produktkomponenten als auch Neben- und Koppelprodukte in möglichst vielen Nutzungsphasen Verwendung finden, wie zum Beispiel bei der stofflichen Nutzung von Biomasse mit anschließender energetischer Verwertung. Aber auch Wasser eignet sich in vielen Prozessen für die Mehrfachnutzung. So kann zum Beispiel Wasser in Produktionsprozessen je nach Anspruch an Reinheit und Temperatur für den Folgeprozess in Kaskaden genutzt werden.

Selbst im heimischen Badezimmer ist eine komfortable Doppelnutzung von Wasser möglich (siehe Abbildung 23 rechts). Die Sammlung des Abwassers aus dem Waschbecken für die Toilettenspülung erbringt eine Wasserersparnis von ca. 25 % [Donnerbauer 2009].



Abbildung 23: Links: Ein Beispiel für Koppelnutzung: Lautsprechergehäuse aus Arboform® Quelle: [Tecnaro GmbH]. Rechts: Kaskadennutzung des Abwassers des Waschbeckens für die Toilettenspülung Quelle: [ROCA S.A.]

2.3.6 Koppelnutzung

Eng mit der Kaskadennutzung verknüpft ist die Kopplung von Wertschöpfungsketten oder kurz: Koppelnutzung. Dabei wird ein nicht mehr benötigtes Abfallprodukt eines Prozesses zum Ressourceninput für einen anderen Prozess. Auf diese Weise wird Abfall zur Ressource und statt Entsorgungsgebühren zu zahlen, können Unternehmen zusätzliche Einnahmequellen erschließen.

Wasser kann in Produktionsprozessen je nach Anspruch an Reinheit und Temperatur in Kaskaden genutzt werden

Ein nicht mehr benötigtes Abfallprodukt eines Prozesses wird zum Ressourceninput für einen anderen Prozess

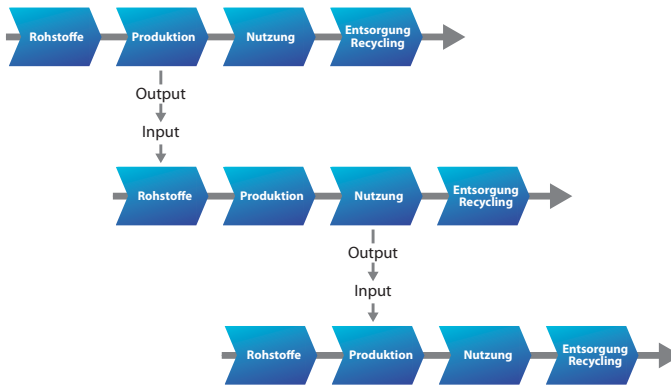


Abbildung 24: Schematische Darstellung des Prinzips der Koppelnutzung. Ein Nebenprodukt (Output) aus einer Wertschöpfungskette wird zur Ressource (Input) für eine andere Wertschöpfungskette. Quelle: Eigene Darstellung

Der Begriff der Koppelnutzung wird vor allem im Bereich der Biomassenutzung verwendet. Bei der Koppelnutzung werden unterschiedliche Bestandteile der Biomasse parallel für verschiedene Anwendungen genutzt. Es wird versucht, sämtliche Nebenprodukte für die stoffliche oder auch energetische Verwertung zu nutzen. Dieses Konzept ist derzeit unter dem Stichwort Bioraffinerie Gegenstand intensiver Forschungsbemühungen.

Bioraffinerie

Ein Beispiel für eine Koppelnutzung ist der Holzwerkstoff Arboform®. Es handelt sich dabei um einen Werkstoff, der sich aus Lignin, einem Reststoff aus der Papierindustrie (siehe Abbildung 21 unten), und Pflanzenfasern zusammensetzt. Dieser Stoff lässt sich ähnlich wie Kunststoff in Spritzgussformen verarbeiten, besitzt aber mit Holz vergleichbare Eigenschaften. So lassen sich zum Beispiel Lautsprechergehäuse fertigen, deren spezielle Form eine bessere Akustik ermöglicht (siehe Abbildung 23 links).

Neuer Holzwerkstoff
auf der Basis von
Lignin

Die Verknüpfung von Wertschöpfungsketten über Nebenprodukte wird im Englischen auch als „Industrial Symbiosis“ bezeichnet. Unternehmen sollen die Ressourceneffizienz über Branchengrenzen hinweg durch den Handel von Nebenprodukten wie Material, Energie und Wasser sowie die gemeinsame Nutzung von Logistik und Expertise verbessern. Traditionell getrennte Branchen können so durch die Kopplung ihrer Wertschöpfungsketten Wettbewerbsvorteile erzielen [NISIP 2009].

Industrial Symbiosis

2.3.7 Effiziente Produktnutzung

Die Nutzungsphase kann einen erheblichen Teil des Ressourcenverbrauchs eines Produkts ausmachen. So entfallen bei einem PKW auf die Nutzungsphase ca. 85 % des gesamten Energieverbrauchs von der Herstellung bis zur Entsorgung des Fahrzeugs [Gensch 2004]. Daher ist es sinnvoll, sich neben einer möglichst effizienten Produktion

Ca. 85 % des
gesamten
Energieverbrauchs
entfallen beim PKW
auf die
Nutzungsphase

Der größte Hebel
für mehr
Ressourceneffizienz
liegt in der
Produktnutzung

von Fahrzeugen auch über die anschließende Nutzung Gedanken zu machen (siehe Kapitel 2).

Denn wie bereits in Kapitel 2.1 anhand der Wertschöpfungskette von Papier gezeigt wurde, liegt in der Produktnutzung der größte Hebel für mehr Ressourceneffizienz. Mehr Effizienz beim Verbrauch bedeutet auch, dass kleinere Anlagen für die Bereitstellung von Energie und Materialien ausreichen und weniger Rohstoffe benötigt werden. Solche Effizienzgewinne multiplizieren sich mit jedem Schritt zurück zum Anfang der Wertschöpfungskette. Als Ergebnis können substantielle Einsparungen bei den Ressourcen erzielt werden.

2.3.8 Nutzen statt Besitzen

Rohstofflieferanten
und Hersteller
werden zu Anbietern
von Dienstleistungen

Geschäftsmodelle, die aus Rohstofflieferanten und Herstellern Anbieter von Dienstleistungen machen, setzen neue Anreize für den effizienteren Umgang mit Ressourcen.

Car2Go

So könnten sich zum Beispiel Automobilhersteller in Zukunft als Anbieter von Mobilitätsdienstleistungen verstehen. Der Anreiz würde dann nicht darin bestehen, möglichst viele und möglichst große Fahrzeuge zu verkaufen, sondern den Nutzern eine bedarfsgerechte und komfortable Fortbewegung anbieten zu können. Erste Schritte in diese Richtung werden bereits unternommen. So hat zum Beispiel Daimler im Oktober 2008 in Ulm das Pilotprojekt „Car2Go“ gestartet. Dort wurde eine Flotte von Smart-Modellen großflächig über die gesamte Stadt verteilt. Wer ein Car2Go braucht, öffnet mit einem codierten Führerschein die Tür und tippt anschließend eine Pin-Nummer ein, um loszufahren. Abgerechnet wird pro Minute, - Kilometer, Sprit und Versicherung inklusive [Daimler 2009].

Der Anreiz,
möglichst große
Mengen an
Rohstoffen zu
verkaufen entfällt.
Profitabler ist
deren möglichst
effiziente Nutzung

Aber auch in die Rohstoffbranche kommt Bewegung. Unternehmen, die Rohstoffe und Energie einfach „nur“ verkaufen, laufen Gefahr, durch effiziente Technologien oder Substitution vom Markt verdrängt zu werden. Daher bieten Unternehmen in der Chemiebranche und im Energiesektor immer häufiger Dienstleistungen für die nachgeschaltete Wertschöpfungskette an. Sie unterstützen Prozesse bei ihren Kunden durch die Bereitstellung von Rohstoffen und Energie bis hin zum Recycling. Der Kunde erwirbt die Rohstoffe also nicht, sondern zahlt nur für die Nutzung. Dadurch entfällt bei den Anbietern der Anreiz, möglichst große Mengen an Rohstoffen zu verkaufen. Profitabler ist deren möglichst effiziente Nutzung.

3 POTENZIALE IN VIER BEDÜRFNISFELDERN

3.1 Mobilität - Warum Autos mit immer effizienteren Motoren nicht immer weniger Sprit brauchen

Das Automobil steht wie kaum ein anderes Produkt moderner Volkswirtschaften für Status und individuelle Mobilität. Die Entwicklung effizienterer Motoren für den Antrieb war und ist Gegenstand intensiver Forschung und Entwicklung. Durch verschiedene Maßnahmen (wie z. B. Direkteinspritzung und elektronische Motorsteuerung) ist es gelungen, aus Motoren immer mehr Leistung bei immer geringerem Verbrauch herauszuholen. Dass sich diese Effizienzgewinne für den Autofahrer nur teilweise oder gar nicht im Gesamtverbrauch der Fahrzeuge niederschlagen hat einen einfachen Grund: Die Fahrzeuge sind immer schwerer geworden. Abbildung 25 zeigt den Anstieg des Leergewichts europäischer PKW von 1970 bis 2002. In diesem Zeitraum hat das durchschnittliche Fahrzeuggewicht von ca. 800 kg auf mehr als 1.100 kg zugenommen. Bei einer durchschnittlichen Fahrweise bedeuten 100 kg Gewichtsparsnis eine Spritersparnis von ca. 0,5 l/100 km [WBCSD 2004]. Das heißt, im betrachteten Zeitraum mussten effizientere Motoren eine Zunahme des Fahrzeuggewichts um ca. 300 kg ausgleichen, damit der Verbrauch nicht um 1,5 l/100 km anstieg.

Effizientere Motoren mussten eine Zunahme des Fahrzeuggewichts um ca. 300 kg ausgleichen

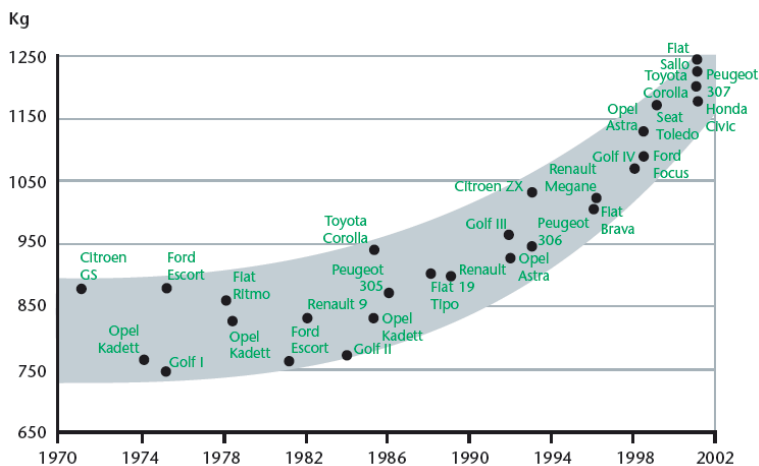


Abbildung 25: Gewicht europäischer Pkws der Kompaktklasse im Jahr der jeweiligen Modelleinführung. Quelle: [WBCSD 2004]

Das Beispiel zeigt also, dass Effizienzsteigerungen in einem Teilsystem sich nicht zwangsläufig auf das Gesamtsystem auswirken, sondern auch ineffiziente Entwicklungen in anderen Teilsystemen ermöglichen können (siehe auch Kapitel 2.2 Rebound-Effekt).

Ein Lösungsansatz für die Korrektur dieser Entwicklung ist der Leichtbau. Lohnende Ansatzpunkte für den Leichtbau sind: die

Leichtbau als Lösungsansatz

Materialauswahl, die virtuelle Produktentwicklung und der Fertigungsprozess. So verringern zum Beispiel die Hersteller von Premiumfahrzeugen durch einen optimalen Mix aus Verbundwerkstoffen das Fahrzeuggewicht. Die notwendige Steifigkeit wird durch unterschiedliche Wandstärken in den Blechen oder mit Hilfe von Aluminiumprofilen erzielt.

Auch die Art des Treibstoffs ist von Bedeutung

Nichtsdestotrotz sind effiziente Antriebssysteme ein zentrales Thema der Automobilentwicklung. Dabei geht es nicht alleine um die Effizienz, sondern auch um die Art des Treibstoffs.

In Abbildung 26 sind die Ergebnisse einer Studie des MIT, Boston, USA zu dem im Jahr 2035 erwarteten Treibstoffverbrauch unterschiedlicher Antriebssysteme dargestellt. Verglichen werden reine Verbrennungsmotoren, Hybridantriebe, reine Elektromotoren und Brennstoffzellen.

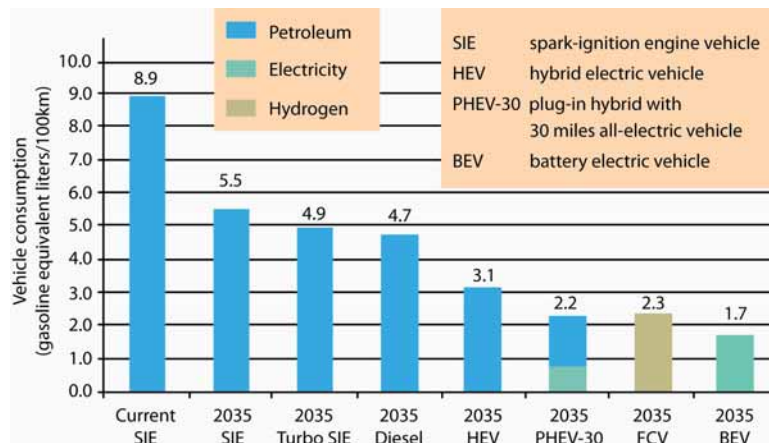


Abbildung 26: MIT Studie des Massachusetts Institute of Technology (MIT): Verschiedene Antriebstechnologien und deren potenzieller Treibstoffverbrauch (Benzinäquivalent) im Jahr 2035. In der Analyse wurde angenommen, dass die Fahrzeuge dieselben Fahreigenschaften und Ausstattungen besitzen wie heutige US-amerikanische Mittelklasse-Pkws. Für 2035 werden effizientere Motoren und Getriebe, ein um 20 % geringeres Gewicht, ein verminderter Luftwiderstand und ein geringerer Abrollwiderstand angenommen Quelle: [Stauffer 2008]

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der Übergang der Antriebssysteme von reinen Verbrennungsmotoren über Hybrid-Antrieb und Plug-in-Hybrid-Antrieb bis hin zu reinen Elektromotoren zu einer stetigen Verringerung des benötigten Treibstoffs führt. Bei dieser Betrachtung liegt der Verbrauch eines Brennstoffzellenfahrzeugs im Bereich eines Plug-in-Hybrids, wenn dessen Batteriekapazität für eine rein elektrische Reichweite von ca. 50 km ausgelegt ist.

Da es im Sinne der Ressourceneffizienz nicht nur um den effizienten Einsatz des Kraftstoffs geht, sondern auch um die Vermeidung schädlicher Emissionen, bieten Brennstoffzellen- und Elektroantrieb

zusätzliche Vorteile, da beim Fahren keine schädlichen Emissionen anfallen. Bei CO₂-freier Wasserstoff- bzw. Stromerzeugung verbessert sich die Bilanz noch einmal beträchtlich. Für Strom aus erneuerbaren Quellen beträgt die Gesamtemissionsbilanz nur etwa 10 g CO₂ pro gefahrenen Kilometer, - zum Vergleich: Die Emissionen erdölbasierter Fahrzeuge einschließlich der Vorkette der Energieproduktion liegen heute bei knapp 200 g CO₂ [Wietschel 2008].

Die heutige Stromerzeugung in Deutschland liegt bei etwa 600 Terawattstunden (TWh). Ein fast vollständiger Ersatz des konventionellen Fuhrparks von mindestens 45 Mio. Autos durch Plug-in-Hybrid- und Elektro-Fahrzeuge in Deutschland bis 2050 hätte einen zusätzlichen Energiebedarf von jährlich 70 bis 90 TWh zur Folge. Ausgedrückt in der Kapazität eines Kohlekraftwerks mittlerer Größe müssten hierfür acht Kraftwerke bereitgestellt werden. In einem heute realistischer erscheinenden Pluralismus-Szenario stellt die Elektromobilität eine von mehreren Lösungen dar. Hier wird die Nachfrage auf etwa 8 Mio. Elektro- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge bis zum Jahr 2050 geschätzt. Das entspricht 17 % des heutigen Fahrzeugbestands. Der Energiebedarf von 10 bis 15 TWh stellt keine besondere Anforderung an den Bau von Kraftwerken dar [Wietschel 2008].

Auf dem Weg zur Elektromobilität nimmt der Hybridantrieb eine wichtige Rolle ein. Im Gegensatz zur weiteren Optimierung reiner Verbrennungsmotoren bietet er eine technologische Perspektive für den Übergang vom Verbrennungsmotor zum Elektromotor. Darüber hinaus können Verbraucher mit einem Plug-in-Hybrid beide Antriebsarten in einem Fahrzeug testen und so psychologische Hemmschwellen im Bezug auf Elektromobilität überwinden.

Brennstoffzellen- und Elektroantrieb bieten zusätzliche Vorteile, da beim Fahren keine schädlichen Emissionen anfallen

Bis 2050 werden keine besonderen Anforderungen an die Stromerzeugung erwartet

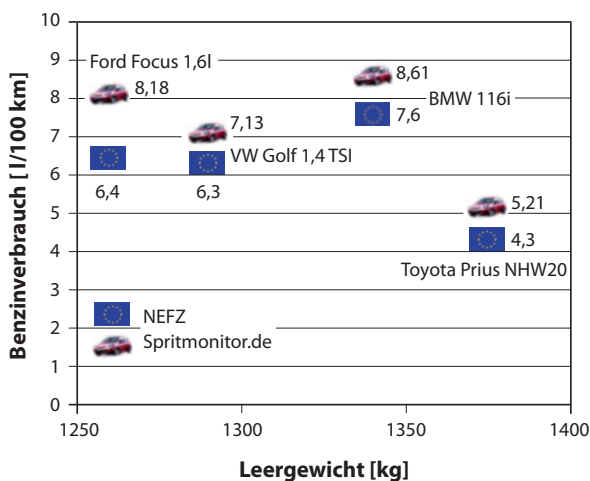


Abbildung 27: Benzinverbrauch in Abhängigkeit des Gewichts unterschiedlicher Pkw-Modelle mit vergleichbarer Motorleistung. Quelle: Eigene Darstellung. Weitere Erläuterungen im Text [Kaiser 2009]

Abbildung 27 zeigt den Benzinverbrauch in Abhängigkeit des Gewichts unterschiedlicher PKW-Modelle mit vergleichbarer Motorleistung. Die Daten stammen zum einen von den Herstellern. Der dort angegebene Normverbrauch wird nach der EU-Richtlinie 93/116/EC (Neuer Europäischer Fahr-Zyklus, NEFZ) ermittelt. Zum anderen stammen die Verbrauchsdaten von der Internetseite Spritmonitor.de. Dort können Pkw-Besitzer eine Verbrauchs- und Kostenanalyse ihrer Fahrzeugnutzung durchführen lassen. Gesammelte Daten zu einzelnen Fahrzeugtypen können dort öffentlich zugänglich abgerufen werden. Die Anzahl der Datensätze für Abbildung 27 variierte von 65 Fahrzeugnutzern beim VW Golf 1.4 TSI bis zu 445 Fahrzeugnutzern beim Toyota Prius [Kaiser 2009].

Hybrid-Antrieb ist bei der Nutzung um ca. 30 % sparsamer

Die Auswertung zeigt, dass die Nutzer des Pkw-Modells mit Hybridantrieb trotz des größeren Leergewichts bei Spritmonitor.de einen Benzinverbrauch notieren, der ca. 30 % niedriger ausfällt als bei den ausschließlich mit Ottomotoren betriebenen Modellen. Darüber hinaus fällt auf, dass der von den Nutzern ermittelte Verbrauch bei allen vier Fahrzeugen deutlich höher ausfällt als der Verbrauch nach NEFZ.

Zwischen 120 km/h und 160 km/h steigt der Verbrauch im Durchschnitt um ca. 50 %

Diese Tatsache liefert bereits einen Hinweis darauf, dass es nicht nur darum geht möglichst effiziente Fahrzeuge zu bauen, sondern auch, dass diese möglichst effizient genutzt werden. Welchen Einfluss die Fahrgeschwindigkeit auf den Verbrauch eines Fahrzeugs hat zeigt Abbildung 28. Dort ist gezeigt, wie vor allem der stark zunehmende Luftwiderstand bei Geschwindigkeiten ab ca. 100 km/h den Kraftstoffverbrauch deutlich in die Höhe treibt. Zwischen 120 km/h und 160 km/h steigt der Verbrauch im Durchschnitt um ca. 50 % an [WBSD 2004].

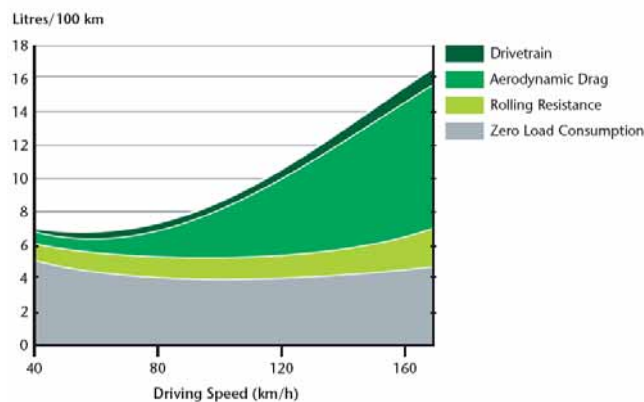


Abbildung 28: Der Einfluss des Luftwiderstands auf den Verbrauch eines Pkw's in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit Quelle: [WBCSD 2004]

Das heißt, es ist nicht nur wichtig, effiziente Technologien zu entwickeln, sondern auch, sich mit dem potenziellen Umgang der Nutzer mit der Technologie auseinanderzusetzen. Was ein ressourceneffizienter Fahrstil bewirken kann, bewies eine Spritspar-Schulung mit Fahrern einer Fahrbereitschaft des Bundesumweltministeriums. Im Vergleich zur gewohnten Fahrweise senkten die Fahrer mit dem neuen Fahrstil ihren Spritverbrauch um durchschnittlich 24 %, in einzelnen Fällen sogar um mehr als 30 % [BMU 2006].

Effizienter Fahrstil kann Spritverbrauch um mehr als 30 % senken

Monitoringsysteme, die Daten wie Fahrverhalten und Verbrauch ermitteln können, spielen in diesem Bereich eine immer wichtigere Rolle. Zum einen können sie den Nutzern helfen, ihr Verhalten zu analysieren und ggf. zu ändern, zum anderen erhalten Hersteller die Möglichkeit, etwas über den Umgang mit ihren Systemen zu lernen. Über den Bordcomputer können in Verbindung mit Navigationssystemen Streckenprofile und unterschiedliche Verkehrssituationen in die Darstellung und Auswertung miteinbezogen werden.

Monitoringsysteme unterstützen Nutzer und Hersteller

Erste Systeme dieser Art sind bereits in der Beta-Phase oder für neue Fahrzeuge angekündigt. So soll das „Ecological-Drive-Assist-System“ die Fahrer des neuen Hybrid-Fahrzeugs Insight von Honda ab Herbst 2009 dabei unterstützen, weniger Benzin zu verbrauchen. Dazu bietet das Fahrzeug einen zuschaltbaren ECON-Modus, der die Schaltung und andere Powertrain-Komponenten hinsichtlich des Benzinverbrauchs optimiert, eine sogenannte „Ambient Meter“, das dem Fahrer durch die Änderung der Farbe der Kombiinstrument-Hintergrundbeleuchtung direktes Feedback zur Effizienz seines Fahrstils gibt und einen „Eco-Guide“ mit Scoring-Funktion, die den Fahrer über seine Fortschritte beim effizienten Fahren informiert.

Ecological-Drive-Assist-System

Abbildung 29 zeigt auf der linken Seite die Elemente des „Ecological-Drive-Assist-Systems“ im Cockpit des Honda Insights.

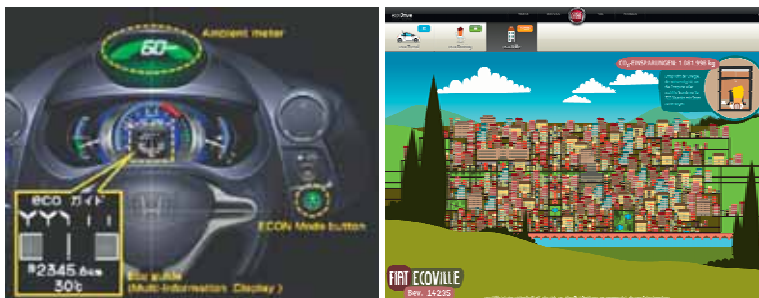


Abbildung 29: Links: Cockpit des neuen Hybrid-Fahrzeugs Insight von Honda mit Assistenzsystemen für effizienteres Fahren [Honda 2008]. Rechts: In der Internet-Community eco:Ville versammeln sich die Nutzer des eco:Drive-Systems von Fiat [Fiat 2009]

Einen anderen Weg geht Fiat in Zusammenarbeit mit Microsoft. Beim System eco:Drive des Fiat 500 werden die Fahrdaten im Fahrzeug auf

eco:Drive

Gesamtsystem Auto und Fahrer bietet noch reichlich Raum für Innovationen zur Effizienzsteigerung

einem USB-Stick gespeichert. Anschließend können die Daten auf einen Computer übertragen und mit einer kostenlosen Software ausgewertet werden. Der Fahrer kann sich Effizienzziele stecken, sich auf der Community-Seite eco:Ville mit anderen Fahrern austauschen und sehen, wie viel CO₂ bereits gemeinsam eingespart wurde [Fiat 2009].

Das Gesamtsystem Auto und Fahrer bietet also noch reichlich Raum für Innovationen zur Effizienzsteigerung. Das betrifft sowohl die Entwicklung effizienterer Antriebssysteme und den Leichtbau als auch Assistenzsysteme für die Unterstützung eines effizienteren Fahrstils.

Fazit:

Die Entwicklung der Energieeffizienz des Autos zeigt, dass die Motoren zunehmend effizienter wurden, aber der Spritverbrauch des Gesamtsystems Auto nicht im gleichen Maße abgenommen hat. Hauptsächlicher Grund dafür ist die kontinuierliche Zunahme des Fahrzeuggewichts, was im Durchschnitt zu einer Verbrauchszunahme von 0,5 l/100km pro 100 kg Zusatzgewicht führt. Ein Lösungsansatz für die Korrektur dieser Entwicklung ist der Leichtbau. Lohnende Ansatzpunkte für den Leichtbau sind: die Materialauswahl, die virtuelle Produktentwicklung und der Fertigungsprozess.

Neben der Frage der Energieeffizienz spielen vor allem auch die Art des Treibstoffs und der damit verbundene CO₂-Ausstoß eine wichtige Rolle. Vor diesem Hintergrund bietet der Hybridantrieb im Gegensatz zur weiteren Optimierung reiner Verbrennungsmotoren eine technologische Perspektive für den Übergang vom Verbrennungsmotor zum Elektromotor.

Es ist aber nicht nur wichtig, effiziente Fahrzeuge zu entwickeln, sondern auch, sich mit dem Fahrverhalten der Nutzer auseinanderzusetzen. Monitoringsysteme, die Daten wie Fahrverhalten und Verbrauch ermitteln, können zum einen den Nutzern helfen, ihr Verhalten zu analysieren und ggf. zu ändern, zum anderen erhalten Hersteller die Möglichkeit, etwas über den Umgang mit ihren Fahrzeugen zu lernen. So kann zum Beispiel mit einem Sprit sparenden Fahrstil der Verbrauch eines Fahrzeugs um bis zu 30 % gesenkt werden.

Das Gesamtsystem Auto und Fahrer bietet also noch reichlich Raum für Innovationen zur Effizienzsteigerung. Das betrifft sowohl die Entwicklung effizienterer Antriebssysteme und den Leichtbau als auch Assistenzsysteme für die Unterstützung eines effizienteren Fahrstils.

3.2 Bauen und Wohnen - Es geht an die Substanz

Der Gebäudebestand in Deutschland umfasst unter anderem rund 17,3 Mio. Wohngebäude mit 39 Mio. Wohneinheiten. Davon sind 75 % vor 1979 errichtet worden. Damit bedürfen in Deutschland 3 von 4 Wohngebäuden einer energetischen Sanierung. Dazu kommen rund 1,5 Mio. Nichtwohngebäude, davon rund 40.000 Schulen. Insgesamt hat der Gebäudebereich einen Anteil von rund 40 % am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland. Bis 2020 könnten in Deutschland durch die energetische Gebäudesanierung 50 Mrd. Euro an Heizkosten eingespart werden [BMVBS 2007]. Nach McKinsey [2007] ergibt sich ein Gesamtpotenzial von 63 Mt CO_{2e}, von denen etwa 90% als wirtschaftlich eingestuft werden (Abbildung 30).

40% des
Endenergieverbrauchs
aus dem
Gebäudesektor

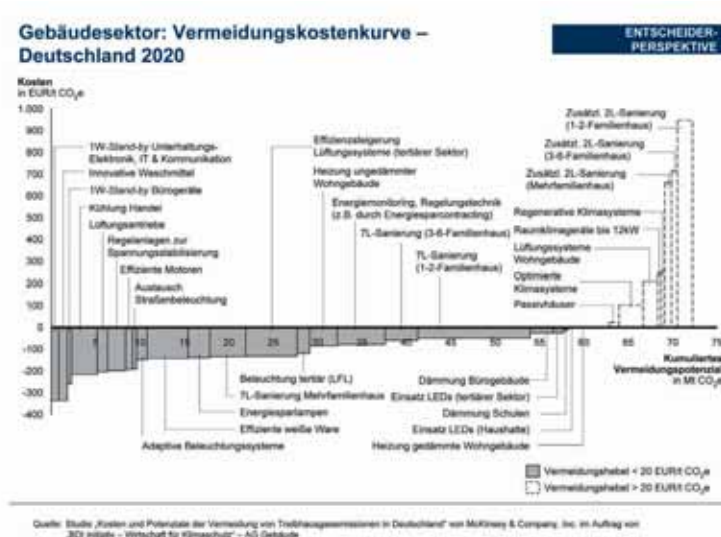


Abbildung 30: Abschätzung der Kosten von Maßnahmen im Gebäudesektor
Quelle: [McKinsey 2007]

Damit könnten die Emissionen aus dem Gebäudesektor bis 2020 um 20% gesenkt werden. Die gesamthafte Sanierung aller Gebäude wird dabei als wirksamer angesehen als die bloße Umsetzung von Standards für einzelne Gebäudeteile [McKinsey 2007]. Die Deutsche Bank Research schätzt das wirtschaftliche Potenzial dieser Sanierungen auf bis zu 340 Mrd. Euro bis 2030 [DB Research 2008]. Dennoch bleibt die Sanierungsrate weit hinter den Möglichkeiten zurück: Nur 30 % aller möglichen energetischen Sanierungsmaßnahmen wurden im Zeitraum 1989 - 2006 tatsächlich durchgeführt [BMVBS 2007]. Um die von McKinsey [2007] beschriebenen Potenziale zu erschließen, müsste sich die jährliche Sanierungsrate von etwa 0,75 % des Gesamtbestandes auf 1,7 % mehr als verdoppeln.

Senkung der Emissionen bis 2020 um 20% möglich

Um die Klimaziele zu erreichen, müsste sich die Sanierungsrate mehr als verdoppeln

Verbraucher unterschätzen Energiekosten im Haus und überschätzen Sanierungskosten

Die möglichen Hemmnisse für die zögerliche Haltung bei der Sanierung sind Gegenstand vieler Analysen und Studien [z.B. BMVBS 2007, Bardt et al 2008]. Hauptgründe sind Fehleinschätzungen und Fehlinformationen über den tatsächlichen Energieverbrauch der Immobilien, eine systematische Unterschätzung der Einsparpotenziale, lange Amortisationszeiträume sowie eine Zuweisung von Zuständigkeiten an den Staat (Tabelle 4). Im Mietsektor spielt außerdem das Mieter-Investor-Dilemma eine wichtige Rolle: Die Anreize für Investitionen sind hier für Vermieter gering, da sie die Kosten nur in sehr begrenztem Umfang auf die Kaltmiete aufschlagen dürfen (Mietpreisbindung), während der Mieter durch niedrigere Nebenkosten von der Maßnahme profitiert.

Einschätzung der Befragten	Tatsächliche Potenziale
64% glauben, dass das Einsparpotenzial unter 30% liegt.	Einsparpotential in den meisten Altbauten 30-50%, z.T. sogar 80%
Die größten Energieeinsparpotenziale werden elektrischen Geräten und dem Autoverkehr zugeordnet	Anteil am privaten Energieverbrauch: 45% Raumwärme, 26% Autoverkehr, 8% Strom
50% glauben, dass sie nach einer Sanierung weniger als 500 €/Jahr sparen können	Das Einsparpotential liegt bei den meisten Altbauten deutlich über 500 €/Jahr
Etwa 50% der Befragten würden 100 Euro für maximal 5 Jahre binden	Durchschnittliche Amortisationszeit bei energetischen Sanierungen liegt bei 10 Jahren

Tabelle 4: Diskrepanz zwischen Einschätzung und tatsächlichen Potenzialen zur Energieeinsparung im Gebäudebereich. Quelle: [BMVBS 2007].

Verfügbarkeit von Informationen Schlüssel für höhere Sanierungsraten

Damit wäre ein wichtiger Hebel, um die Sanierungsbereitschaft zu steigern, die bessere Verfügbarkeit von Informationen über den eigenen Verbrauch, gekoppelt mit Vergleichsmöglichkeiten über Durchschnittswerte und Kosten-Nutzen-Analysen verschiedener Maßnahmen. I&K-Technologien tragen wesentlich dazu bei, solche Informationen verfügbar und transparent zu machen (vgl. Kapitel 3.4). Die langen Amortisationszeiten lassen sich durch staatliche Unterstützung, etwa günstige Kredite und Zuschüsse (z.B. Programme der KfW Bankengruppe), verkürzen.

Nachfrage nach „green buildings“ nimmt zu

Im Neubaubereich (und damit vorwiegend im Bereich der Gewerbeimmobilien) liegt ein wesentliches Hemmnis darin, dass Investoren noch nicht abschätzen können, ob sich mit einem „green building“ tatsächlich höhere Renditen erzielen lassen als mit einem konventionellen Bauwerk. Das Interesse an green buildings hat jedoch in den letzten Jahren zugenommen. Ein wichtiger Schritt auf diesem Weg war u.a. auch die Erarbeitung eines deutschen Nachhaltigkeitszertifikats für Gebäude durch die Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen und das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Anlässlich

der Messe BAU 2009 wurde das Zertifikat erstmals verliehen [DGNB 2009].

Als „Grüne Immobilie des Jahres 2008“ wurde ein Amsterdamer Bürogebäude im ehemaligen Hafengebiet ausgezeichnet (Abbildung 31). Das dreigeschossige, rund 270 Meter lange Gebäude ist voll verglast und ruht auf einer industriellen Kranspur im Fluss IJ. Mit ihrer ausgefeilten Klimatisierung besitzt die Immobilie Vorbildfunktion, da sie an ein System angeschlossen ist, welches das Flusswasser sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet. „Kraanspoor“ dient zudem den verschiedenen am Fluss lebenden Vogelarten als Nistplatz.



Abbildung 31: Die revitalisierte “Grüne Immobilie des Jahres 2008” ist ein Bürokomplex in Amsterdam, der auf einer ehemaligen Kranspur aufgebaut wurde und Flusswasser zum Heizen und Kühlen verwendet. Quelle: [Commerz Real]

Im öffentlichen Sektor stellen der prekäre finanzielle Zustand und die hohe Verschuldung vieler Kommunen ein entscheidendes Hemmnis für die dringend erforderliche Sanierung von Schulgebäuden dar. Hier könnte die Entwicklung neuer PPP-Geschäftsmodelle helfen, diese Hemmnisse zu beseitigen. Ein Beispiel ist die seit 2004 bestehende Public Private Partnership zwischen Hochtief und dem Kreis Offenbach. Ziel ist die Sanierung, Finanzierung und der nachfolgende Betrieb von 50 Schulen mit insgesamt 282 Gebäuden und einer Fläche von 290.000 m² [HOCHTIEF 2009]. Ende 2009 werden alle 50 Schulen saniert sein. Die Gebäude werden z.B. optimal gedämmt, mit innovativen Regelungstechniken und neuester Brennwerttechnik ausgestattet. Zudem wird das Personal entsprechend geschult, um die Schulen energiesparend zu betreiben. Im Jahr 2007 wurden die Werte in den bereits fertig gestellten Gebäuden analysiert. Das Ergebnis: Gemittelt wurde der Wärmeverbrauch um 34 % gesenkt und der CO₂-Ausstoß um etwa 20 % reduziert. Interessant an diesem Modell ist, dass Hochtief zusätzlich für 10 Jahre den Betrieb dieser Schulen übernommen hat. Denn obwohl etwa 80 % des späteren Energieverbrauchs einer Immobilie beim Bau festgelegt werden, spielt auch der Betrieb der Haustechnik eine entscheidende Rolle für die Erschließung von Einsparpotenzialen.

Public Private
Partnership als
Geschäftsmodell für
Schulsanierungen

Bau der ersten
energieautarken
Stadt in Abu Dhabi

Vom emissionsfreien Haus zur emissionsfreien Stadt ist es ein weiter Weg - dieser wird jedoch bereits heute beschritten. In den Vereinigten Arabischen Emiraten, einem der Spitzenreiter beim Pro-Kopf-Verbrauch von Energie, ist Anfang 2008 mit dem Bau der ersten nachhaltigen Stadt begonnen worden: Masdar City/Abu Dhabi soll energieautark und nahezu abfallfrei sein und keine CO₂-Emissionen erzeugen. Insgesamt 50.000 Einwohner sollen hier leben.



Abbildung 32: Modell der ersten CO₂-neutralen Stadt Masdar City in den Vereinigten Arabischen Emiraten. Quelle: [Abu Dhabi Future Energy Company]

Um den Anspruch auf CO₂-Neutralität auch erfüllen zu können, bleibt Masdar für konventionelle Autos mit Verbrennungsmotoren auf Dauer versperrt, nur Elektroautos sind zugelassen. Dadurch können die Straßen schmaler dimensioniert werden und spenden mehr Schatten. Zwei Parkanlagen durchziehen die ganze Stadt und bieten Frischluftkorridore für den kühlenden Nachtwind. Solarthermische Kraftwerke sorgen für die im Wüstenklima nötige Kühlung, eine 10-MW-Fotovoltaikanlage erzeugt Strom. Das Wasser wird mit solarbetriebenen Entsalzungsanlagen aus dem Meer gewonnen oder durch Regenwassergewinnungsanlagen zurückgehalten.

Fazit:

Insgesamt hat der Gebäudebereich einen Anteil von rund 40% am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland. Die größten Potenziale der Energieeinsparung liegen dabei nicht im Neubau, sondern in der energetischen Sanierung des Gebäudebestands, - das Marktvolumen für die Bauwirtschaft wird auf 340 Mrd. Euro geschätzt. Bis 2020 könnten in Deutschland durch die energetische Gebäudesanierung 50 Mrd. Euro an Heizkosten eingespart werden. Es ergibt sich ein Gesamtpotenzial von 63 Mt CO₂e, von denen etwa 90% als wirtschaftlich eingestuft werden. Dafür müsste sich die jährliche Sanierungsrate von etwa 0,75% des Gesamtbestandes auf 1,7% mehr als verdoppeln. Hauptgründe für die langsame Erneuerungsrate sind Fehleinschätzungen und Fehlinformationen über den tatsächlichen Energieverbrauch der Immobilien, eine systematische Unterschätzung der Einsparpotenziale sowie lange Amortisationszeiträume. Damit ist ein wichtiger Hebel, um die Sanierungsbereitschaft zu steigern, die bessere Verfügbarkeit von Informationen über den eigenen Verbrauch, gekoppelt mit Vergleichsmöglichkeiten über Durchschnittswerte und Kosten-Nutzen-Analysen verschiedener Maßnahmen. Finanzielle Anreize und staatliche Unterstützung (zinsgünstige Darlehen) entschärfen die Problematik der langen Amortisationszeiten.

Integrierte Nachhaltigkeitslabel schaffen die Verknüpfung der verschiedenen Aspekte (Energieverbrauch, Verkehrsaufkommen, Baumaterialien), erlauben damit den Vergleich von Gebäuden und können den Marktwert nachhaltiger Immobilien durch Imagegewinne steigern. Noch mehr Potenziale lassen sich erschließen, wenn nicht nur einzelne Gebäude, sondern die Stadt als Ganzes erfasst wird. Visionen von CO₂-freien, abfallarmen und energieautarken Städten wie die im Bau befindliche Masdar City in Abu Dhabi zeigen, dass der Ressourceneffizienz theoretisch keine Grenzen gesetzt sind.

3.3 Ernährung - Nahrung für alle durch mehr Effizienz?

Grundlage der menschlichen Ernährung ist auch im 21. Jahrhundert die Landwirtschaft. In den kommenden Jahrzehnten wird die Nachfrage nach Nahrungsmitteln durch den Anstieg der Bevölkerung (von heute 6 Mrd. auf 9 Mrd. in 2050) zunehmen. Die Weltbank geht davon aus, dass 2030 der Nahrungsmittelbedarf um 50 %, der Bedarf an Fleisch sogar um 85 % ansteigen wird.

Aktuelle globale Nahrungsmittelproduktion genügt, um Menschheit ausreichend zu ernähren

Rein rechnerisch wäre es derzeit problemlos möglich, mit der globalen Nahrungsmittelproduktion die Menschheit zu ernähren - bei einer täglichen Ration von 2.700 kcal. Dass dennoch viele Menschen hungern, ist demnach weniger ein Problem der Effizienz der Produktion, sondern ein Problem der Effizienz der Verteilung.

Eine effiziente Nutzung der Ressourcen, die zur Nahrungsmittelproduktion notwendig sind (z.B. Wasser, Boden, Nährstoffe) ist also nötig, um den zunehmenden Bedarf auch in Zukunft nachhaltig decken zu können. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass die Landwirtschaft bereits erhebliche Effizienzsteigerungen bei der Ressourcennutzung erreicht hat: Der Anteil des Einkommens, der für die Ernährung aufgewendet werden muss, ist enorm gesunken - von 57 % im Jahr 1900 auf gerade einmal 15 % im Jahr 2005 [FNL o.J.]. Es muss als eine der großen Verdienste der Grünen Revolution (seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts) angesehen werden, dass die globale Nahrungsmittelproduktion (ohne eine nennenswerte Ausdehnung der landwirtschaftlichen Fläche) mit der Verdoppelung der Menschheit seit 1960 Schritt halten konnte, - durch die Einführung neuer Sorten, die Ausdehnung der Bewässerungslandwirtschaft und den massiven Einsatz von anorganischem Dünger.

Erhebliche Effizienzsteigerungen in der Vergangenheit durch die „Grüne Revolution“

Dennoch beansprucht die Landwirtschaft heute einen großen Anteil der natürlichen Ressourcen:

Landwirtschaft beansprucht einen Großteil der natürlichen Ressourcen

- Rund 70 % des global genutzten Süßwassers fließen in die Landwirtschaft; der größte Teil in die künstliche Bewässerung. Viele der Bewässerungssysteme arbeiten äußerst ineffizient; z.T. kommen nur 25 % des eingesetzten Wassers dem Pflanzenwachstum zu Gute, während ein Großteil vorher verdunstet, abfließt oder versickert.
- Auch der eingesetzte Dünger wird nicht vollständig von den Pflanzen aufgenommen - auf manchen Standorten gehen durch unsachgemäße Düngung bis zu 70 % des eingesetzten Düngers verloren und belasten so Grundwasser (Nitrat) oder die Atmosphäre (Lachgas).

- Weltweit stammen zwischen 17 und 32 % der globalen Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft. Besonders kritisch sind die Trockenlegung von Mooren und anderen Feuchtgebieten, die Methanproduktion von Rindern und Schafen sowie die Lachgasemissionen aus unsachgemäßer Düngung. Die Landwirtschaft in Deutschland emittiert mit 133 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten fast ebensoviel Treibhausgase wie der Straßenverkehr. 71 % davon verursacht die Tierhaltung [foodwatch 2008].
- Der Anteil degradiertter Flächen, die durch Erosion, Versalzung oder Überweidung nicht mehr für die landwirtschaftliche Produktion geeignet sind, steigt. Seit dem 2. Weltkrieg sind 2 Mrd. Hektar (23 %) der landwirtschaftlichen Nutzfläche degradiert.

Deutsche Landwirtschaft emittiert fast so viele Treibhausgase wie der Straßenverkehr

Die Zahlen machen deutlich, dass bei der Ressourcennutzung in der Nahrungsmittelproduktion noch erhebliche Reduktionspotenziale bestehen.

	Flächenbedarf [m²/1.000 kcal]	Wasserbedarf [l/kg]
Rindfleisch	31,2	15.500
Geflügelfleisch	9,0	3.900
Gemüse	1,7	900 (Kartoffel)
Getreide	1,1	3.400 (Reis)

Tabelle 5: Flächen- und Wasserbedarf für die Lebensmittelherstellung Quellen:
Flächenbedarf: [Peters et al 2007], **Wasserbedarf:** [Water Footprint Network]

Auch wenn die Aussage unpopulär ist - einer der größten Hebel zur Reduktion der Ressourcenintensität der Landwirtschaft besteht in der Reduktion des Fleischverzehr. Egal welche Ressource man betrachtet - Wasser, Flächenbedarf oder Emission von Treibhausgasen - die Produktion von Fleisch benötigt die meisten Ressourcen (Tabelle 5). Rindfleisch schneidet dabei (aufgrund der Methanemissionen) deutlich schlechter ab als z.B. Geflügel oder Schweinefleisch. Bei einer Umstellung der gegenwärtigen landwirtschaftlichen Praxis auf klimafreundlichere konventionelle Verfahren könnten laut den Berechnungen aber immerhin 42 % der entstehenden Klimagase vermieden werden.

Fleischerzeugung beansprucht die meisten Ressourcen

Interessant ist dabei die Tatsache, dass der ökologische Landbau nicht automatisch die bessere Klimabilanz aufweist: Bei der Rindfleischproduktion schneidet er aufgrund des schlechter verwertbaren Futters (und damit der höheren Methanproduktion) schlechter ab als die konventionelle Variante (Abbildung 33). Öko-Anbau, so die Autoren, ist also kein Klimaretter [foodwatch 2008]. Doch da durch veränderte Lebensgewohnheiten und Konsummuster der globale Fleischverbrauch in

Zukunft eher steigen wird - die Weltbank geht bis 2030 von einem Anstieg um 85 % aus - müssen ressourceneffiziente Verfahren der Fleischproduktion entwickelt werden.

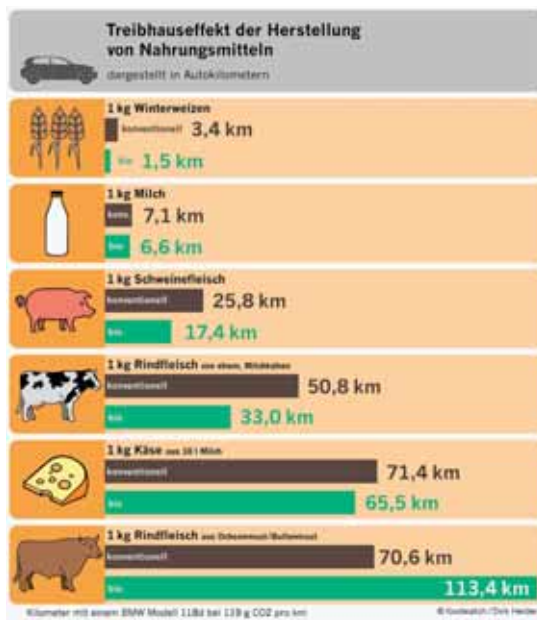


Abbildung 33: Treibhauseffekt der Herstellung verschiedener Nahrungsmittel. Dargestellt ist die Zahl der Kilometer, die ein Auto zurücklegen müsste, um auf den gleichen Ausstoß an CO₂-Äquivalenten zu kommen. Quelle: [foodwatch 2008]

In einer Studie der Universität Gießen wurden die Treibhausgas-Emissionen von drei unterschiedlichen Ernährungsweisen aufgrund von Ernährungsprotokollen abgeschätzt: eine durchschnittliche Mischkost, Vollwert-Ernährung mit wenig bzw. ohne Fleisch. Das Ergebnis: Bei allen Ernährungsweisen kann durch die Verwendung von Öko-Lebensmitteln knapp ein Viertel der Treibhausgas-Emissionen eingespart werden. Noch größer ist das Einsparpotenzial, wenn Fleisch nur noch 1-2mal pro Woche verzehrt wird. Die Emissionen sanken gegenüber der deutschen Durchschnittskost um 30 % pro Person und Jahr [Hoffmann, 2002, Abbildung 34].

Reduktion der
Treibhausgas-
emissionen um ein
Drittel durch
reduzierten
Fleischkonsum

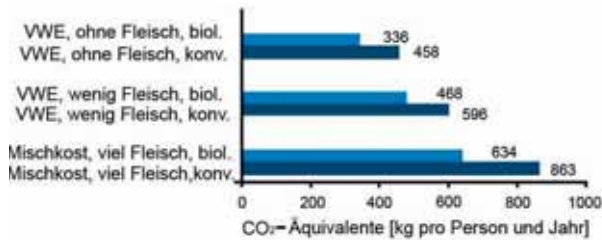


Abbildung 34: Treibhausgas-Emissionen verschiedener Ernährungsstile Quelle: [nach Hoffmann 2002]; (VWE = Vollwert-Ernährung)

In den Niederlanden versuchen Forscher, die Fleischproduktion komplett in die Petrischale zu verlagern und den „Umweg“ über Tiere gänzlich zu vermeiden. Ein zusätzlicher Mehrwert des „Designer-Fleischs“ könnte auch darin liegen, dass z.B. gesättigte durch ungesättigte Fettsäuren ersetzt werden und so der Gesundheitswert des Produkts gesteigert wird. Das an der Universität Utrecht entwickelte „Kunstfleisch“ ist bislang allerdings zu teuer, um eine vermarktbare Alternative darzustellen. Bis 2010 wollen die Forscher die prinzipielle Machbarkeit nachweisen; marktfähige Produkte erwarten sie erst in 20 Jahren [3Sat Nano].

Fleisch aus der
Petrischale?

Lange galten Aquakulturen, in denen Fisch produziert wird, als eine umweltfreundliche, äußerst produktive und effiziente alternative Proteinquelle. Doch da in Aquakulturen meist Raubfische gehalten werden, die weit oben in der Nahrungskette stehen und mit Futter auf Fischmehlbasis ernährt werden, ist auch hier das Verhältnis zwischen eingesetzter Energie (in Form von proteinreichem Fischmehl) zu erzeugter Nutztiermasse sehr ungünstig; Ökosysteme wie Meeresbuchten oder Mangrovenwälder werden durch die Fisch- und Garnelenzuchten stark mit Abwässern, Medikamenten und Abfällen belastet. Eine interessante Alternative zu den küstennahen Aquakultursystemen stellt deshalb eine derzeit am MIT untersuchte Variante frei im Ozean treibender kugelförmiger Käfige aus Glasfaser und Polyethylen dar, die von zwei generatorbetriebenen Propellern gelenkt werden können (Abbildung 35). Durch GPS und per Satellit ist eine genaue Ortung und Fernsteuerung möglich. Allerdings wird auch hier Fischmehl an die Besatzfische verfüttert - eine Gesamtenergiebilanz dieser im Grundsatz viel versprechenden Systeme steht daher noch aus, ebenso eine Kostenbilanz, die die Wettbewerbsfähigkeit erkunden soll [Sasse 2008].

Frei im Ozean
treibende Fischkäfige
als Zukunft der
Aquakultur?



Abbildung 35: Frei im Meer treibende Kugeln aus Glasfaser und Polyethylen, gesteuert per Satellit und GPS - so könnte die Aquafarm der Zukunft aussehen. Aquapod™ Net Pens. Quelle: [Ocean Farm Technologies]

Eine Effizienzsteigerung von Aquakulturen durch den Ersatz von Fischmehl und -öl erkundet derzeit das europäische Forschungsprojekt AquaMax: Hier werden alternative Fischfuttermischungen auf vorwiegend pflanzlicher Basis entwickelt. Das Futter enthält z.B. Getreide, Soja (Poteinquelle) und Rapsöl (Fettlieferant). Bei atlantischem Lachs ließe sich durch diese alternativen Futtermittel der Fischmehlanteil von derzeit 35 - 47 % auf 12 - 16 % reduzieren; bei Regenbogenforellen sogar von 30 - 35 % auf 5 % [Aquamax 2008]. Auch bei diesem Projekt stehen eine komplette Lebenszyklusanalyse und eine Analyse möglicher Nutzungskonkurrenzen noch aus.

Ein chinesischer Forscher hat durch die Entdeckung und geschickte Steuerung eines Pflanzenstress-Hormons erreicht, dass in Nordwest-China der Bedarf an Wasser für die Bewässerung von Reisfeldern halbiert werden konnte, während gleichzeitig die Erträge stiegen [Marris 2008]. Durch die sparsame Bewässerung (die Felder werden pro Anbauzyklus nur noch 1- bis 2mal statt bisher 4 bis 5mal geflutet) trocknen die Wurzeln der Reispflanze leicht aus und produzieren das Stresshormon Abscisinsäure. Für die Pflanze ist dies das Signal, sofort möglichst viele Photosyntheseprodukte in die Samenproduktion zu investieren - und damit den Körnerertrag zu steigern. Im Weinanbau wird das Verfahren ebenfalls eingesetzt; hier wird sogar durch eine nur partielle Austrocknung der Wurzeln erreicht, dass die Pflanze zwar das ertragssteigernde Stresshormon produziert, aber dennoch optimal mit Wasser versorgt bleibt.

Entscheidend für die Effizienz von Aquakulturen: die Zusammensetzung des Fischfutters

Nordwestchina: Mehr Reisertrag durch weniger Bewässerung

Doch es gibt eine Grenze für die Ertragssteigerung von Halmfrüchten wie Reis, Weizen und Mais. Dieses Verhältnis von nutzbarer Biomasse zur Gesamtbiomasse (Ernteindex) konnte durch moderne Pflanzenzüchtung und Sortenwahl von 20 auf 50 verschoben werden; eine theoretische Grenze wird bei 60 % vermutet. Deshalb nimmt die Forschung jetzt zunehmend die Effizienz der Fotosynthese in den Blick, um die gesamte Biomasseproduktion zu steigern. So wird versucht, bei Reis den weitaus effizienteren C4-Metabolismus (der im Mais natürlicherweise stattfindet) als Stoffwechselweg zu etablieren - eine Entwicklung, die allerdings erst in 15 - 20 Jahren „Früchte tragen“ wird [Marris 2008].

Effizienz der
Fotosynthese lässt
sich steigern

Generell lässt sich beobachten, dass der Schwerpunkt der Forschung zu transgenen Sorten sich mittlerweile von verbesserter Resistenz gegen biotischen Stress wie Schädlinge oder Unkräuter hin zu abiotischen Stressfaktoren wie Trockenheit, Temperaturextreme, versalzten oder versauerten Böden verlagert hat [Evans 2009]. Dabei lassen sich Erfolge auch durch verbesserte Züchtungsverfahren ohne Gentransfer artfremden Genmaterials erreichen: Im philippinischen International Rice Research Institute wurde durch markergestützte Selektion (auch „smart breeding“ genannt) eine Reissorte gezüchtet, die mehrere Wochen Überschwemmung unbeschadet übersteht [Kenong Xu et al 2006]. Bisher entstehen in Süd- und Südostasien pro Jahr Schäden in Höhe von etwa 1 Mrd. US-\$ durch Überschwemmungen [Boeing 2006].

Neue Schwerpunkte
bei der Entwicklung
transgener Sorten
und beim „smart
breeding“

Angesichts der Tatsache, dass seit 2007 mehr Menschen in Städten als auf dem Land leben, rücken Ansätze der Nahrungsmittelproduktion in den Städten immer mehr in den Vordergrund. Auf engem Raum, zum Teil sogar in der Vertikalen, werden hier in oft eng geführten Nährstoffkreisläufen Nahrungsmittel produziert - in Philadelphia ebenso wie in Accra oder Manila. Sie leisten oft einen erheblichen Beitrag zur Ernährung der Stadtbevölkerung: Nach einer (allerdings veralteten) Schätzung von 1993 liegt der Anteil des „urban farming“ global bei 15 - 20 % [RUAF Foundation 2009]. Auch die Food and Agriculture Organization [FAO] unterstützt diese Initiativen im „Food for the Cities“ Programm [FAO 2009]. Solche Systeme können visionäre Hightech-Ideen sein wie der anlässlich der EXPO 2010 in Shanghai konzipierte „Greenport Shanghai“. Auf 27 km² sollen in dem von der Universität Wageningen mit konzipierten Agropark verschiedene Anbausysteme - Pilzanbau, Schweinezucht, Gewächshäuser, Fischzucht, Pflanzenkläranlage, Biogasproduktion) eng vernetzt und miteinander kombiniert werden [Greenport Shanghai].

Landwirtschaft in
Städten



Abbildung 36: "The Living Skyscraper: Farming the Urban Skyline" von Blake Kurasek von der Universität Illinois/ Dickson Despommier „Vertical Farm“ University of Columbia. Quelle: [Vertical Farm]

Potenziale des
ökologischen
Landbaus häufig
unterschätzt

Bei der Suche nach Möglichkeiten der Ertragssteigerungen werden die Potenziale des ökologischen Landbaus häufig unterschätzt. In einer Studie [Badgley et al 2007] wurde untersucht, ob es rein theoretisch möglich ist, mit ökologischer Landwirtschaft die globale Weltbevölkerung zu ernähren. Das Ergebnis: Die Ernteerträge der ökologischen Anbauvariante waren nur geringfügig niedriger als die der konventionellen; bei vielen Anbausystemen in Entwicklungsländern konnten durch ökologischen Landbau sogar höhere Erträge erwirtschaftet werden. Insbesondere durch den Anbau von Hülsenfrüchten, die den Luftstickstoff fixieren und so pflanzenverfügbar machen, lässt sich die Nährstoffversorgung der Nutzpflanzen und die Bodenstruktur verbessern. Fazit: Global ökologischer Landbau ist möglich, ohne die landwirtschaftliche Anbaufläche insgesamt zu erweitern.

Von der input-
intensiven zur
wissens-intensiven
Landwirtschaft

Eine möglichst effiziente Nutzung aller Ressourcen kann letztlich nur dann erfolgen, wenn sämtliche Energie-, Wasser- und Nährstoffkreisläufe optimal ineinander greifen und ein weitgehend geschlossenes System ohne Verluste (in Form von Stickstoff, Abwasser oder Treibhausgasen) entsteht. Integrierte Konzepte - ob als visionäre „vertical farm“ oder als kleinbäuerlicher Betrieb, der ein breites Spektrum an landwirtschaftlichen Produkten erzeugt und viele der anfallenden Zwischenprodukte nutzt, stellen nur zwei Möglichkeiten der Umsetzung dieser Konzepte dar. Diese „Grüne Revolution des 21. Jahrhunderts“ stellt den Schritt von einer input-intensiven zu einer wissens-intensiven Landwirtschaft dar.

Fazit:

Eine ausreichende Ernährung der Menschheit ist auch bei zunehmender Weltbevölkerung möglich. Im Bereich der Nahrungsmittelproduktion und -verfügbarkeit lässt sich die Ressourceneffizienz noch erheblich steigern.

So fließen rund 70% des global genutzten Süßwassers in die Landwirtschaft. Viele der Bewässerungssysteme arbeiten jedoch äußerst ineffizient; z.T. kommen nur 25% des eingesetzten Wassers dem Pflanzenwachstum zu Gute, während ein Großteil vorher verdunstet, abfließt oder versickert. Auch durch unsachgemäße Düngung gehen bis zu 70% des eingesetzten Düngers verloren und belasten so Grundwasser (Nitrat) oder die Atmosphäre (Lachgas).

Einer der größten Hebel zur Reduktion der Ressourcenintensität der Landwirtschaft besteht in der Reduktion des Fleischverzehrs. Egal welche Ressource man betrachtet - Wasser, Flächenbedarf oder Emission von Treibhausgasen - die Produktion von Fleisch benötigt die meisten Ressourcen. Allerdings geht die Weltbank bis 2030 von einem Anstieg des Fleischkonsums um 85% aus. Es müssen also ressourceneffiziente Verfahren der Fleischproduktion entwickelt werden.

Es gibt aber auch verblüffend einfache Lösungen. So hat ein chinesischer Forscher durch die Entdeckung und geschickte Steuerung eines Pflanzenstress-Hormons erreicht, dass in Nordwest-China der Bedarf an Wasser für die Bewässerung von Reisfeldern halbiert werden konnte, während gleichzeitig die Erträge stiegen.

Eine möglichst effiziente Nutzung aller Ressourcen erfordert also intelligente Systeme, in denen sämtliche Energie-, Wasser- und Nährstoffkreisläufe optimal ineinander greifen. Diese „Grüne Revolution des 21. Jahrhunderts“ stellt den Schritt von einer input-intensiven zu einer wissens-intensiven Landwirtschaft dar. In Abwandlung eines bekannten Sprichworts gilt dann: Nicht die dümsten, sondern die klügsten Bauern ernten die dicksten Kartoffeln!

Autoindustrie sich im gleichen Maße entwickelt hätte wie in der Computerindustrie.“ [University of Manchester 2008].

Natürlich hinkt dieser Vergleich, da in einem vergleichbar geschrumpften Auto nicht einmal ein Pantoffeltierchen Platz hätte, aber er zeigt, welche gewaltigen Fortschritte in der IKT erzielt wurden und immer noch erzielt werden.

Trotzdem drängt sich die Frage auf: „Sind Effizienzgewinne nach dem Vorbild der IKT auch in anderen Sektoren denkbar?“.

Eine Besonderheit der IKT sind die enormen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung, um das Innovationstempo hochzuhalten. Aus diesem Grund hat sich die Halbleiterindustrie im Jahr 1998 zusammengeschlossen und definiert seitdem die International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), die jährlich erscheint und die technologische Entwicklung für die nächsten 15 Jahre beschreibt. Insgesamt investiert die Halbleiterindustrie jährlich 22 % ihres Umsatzes in die Erforschung und Entwicklung neuer Materialien und Architekturen [Hoffknecht 2007]. Das Erfolgsrezept der IKT lautet also:

- Entwicklung effizienterer Systeme als Kerngeschäft
- klare, verbindliche Zielvorgaben für die nächsten 15 Jahre
- hohe Investitionen in Forschung und Entwicklung

Die rasanten Effizienzgewinne bei der IKT bringen jedoch in der Regel nicht sparsamere, sondern ressourcenintensivere Anwendungen hervor (siehe dazu auch Kapitel 2.2 Rebound-Effekt). So hat sich zum Beispiel das Internet durch die stetige Erhöhung der Übertragungskapazitäten von einer rein textbasierten Anwendung zu einer Multimedia- und Einkaufsplattform entwickelt. Im Jahr 2008 nutzten in Deutschland bereits mehr als 70 % der Bevölkerung das Internet. Mehr als 50 % tätigen dort Einkäufe und mehr als 25 % gehen zum Fernsehen und Radiohören online [DeStatis 2009].

Nach einer Studie von Cisco im Jahr 2007 sind vor allem die Nachfrage nach hochauflösendem Videomaterial und die Etablierung der Breitbandtechnologie verantwortlich für das Wachstum des Internetdatenverkehrs. 2008 war denn auch die Internetnutzung privater Haushalte mit 6,3 Mio. Terabyte pro Monat erstmals größer als die geschäftliche mit 5,8 Mio. Bis 2011 soll sich das Volumen alle zwei Jahre verdoppeln und auf Werte von 18,3 Mio. Terabyte bei den Haushalten und 10,6 Mio. Terabyte bei Unternehmen erhöhen [Cisco 2007].

Enorme
Aufwendungen für
Forschung und
Entwicklung halten
das Innovations-
tempo hoch

Effizienzgewinne bei
der IKT bringen
nicht sparsamere,
sondern ressourcen-
intensivere
Anwendungen hervor

Seit 2008 ist die
Internetnutzung
privater Haushalte
größer als die
geschäftliche



Abbildung 38: Weltweite Ausgaben für Server. Die Kosten für die Kühlung und den Strom von Servern steigen stärker als die Hardwarekosten Quelle: IDC, Mai 2006 [IBM 2008]

CO₂-Emissionen der gesamten IuK-Industrie entspricht denen des weltweiten Flugverkehrs

Der dazu erforderliche enorme Ausbau der IKT-Infrastruktur hat den Nebeneffekt, dass der Energieverbrauch im IuK-Bereich ebenfalls weiter ansteigt. So entfiel 2007 nahezu ein Viertel des CO₂-Ausstoßes der gesamten Branche auf das Konto von Rechenzentren - mit stark ansteigender Tendenz. Die Daten beruhen auf einer Studie, die das Marktforschungsunternehmen Gartner Inc. im April 2007 vorstellte. Danach beträgt der Anteil der gesamten IuK-Industrie (inkl. PCs, Monitore, etc.) am weltweiten CO₂-Ausstoß ca. 2 % und entspricht damit dem Anteil, den der weltweite Flugverkehr produziert [Reder 2007].

Der Stromverbrauch steigt weiter an

Experten erwarten ein weiteres Anwachsen des Energieverbrauchs. So hat sich beispielsweise der Stromverbrauch von IKT in britischen Haushalten in den letzten fünf Jahren mehr als verdoppelt. Bis zum Jahr 2020 dürfte IKT für rund die Hälfte des gesamten Stromverbrauchs eines jeden Privathaushalts verantwortlich sein. In Rechenzentren steigen die Ausgaben für Energie achtmal schneller als die Ausgaben für Hardware und belasten bereits heute einen großen Teil des IT-Budgets [Heng 2009]. Abbildung 38 zeigt, dass die Kosten für die Kühlung und den Strom von Servern bereits annähernd das Niveau der Hardwarekosten erreicht hat [IBM 2008].

Green IT

Die Bemühungen nicht nur Transistoren effizienter auf Computerchips zu packen, sondern auch die Energie-, Material- und Nutzungseffizienz ihrer Systeme zu verbessern treibt die IKT-Industrie unter dem Label „Green IT“ voran.

Koppelnutzung: Abwärme von Servern heizt Gebäude und Schwimmbäder

Ein Beispiel für neue Ideen auf der Suche nach mehr Effizienz in Rechenzentren ist die Koppelnutzung der Abwärme, die bei der Kühlung der Server anfällt. Bis zu 50 % des Energieverbrauchs in Rechenzentren wird für die Kühlung aufgewendet. Wissenschaftler des IBM Forschungslabors in Zürich wollen nun mit der Abwärme, die durch die Kühlung der Server entsteht, Gebäude oder Schwimmbäder beheizen oder Fernwärmenetze beliefern. Dazu setzen die Forscher auf ein

neuartiges Wasserkühlsystem, das einem Blutkreislauf ähnelt und das Wasser mittels Mikrotechnologie-Kühler in fein verästelten Adern direkt auf den Chip führt und von dort wieder abtransportiert (siehe Abbildung 39).

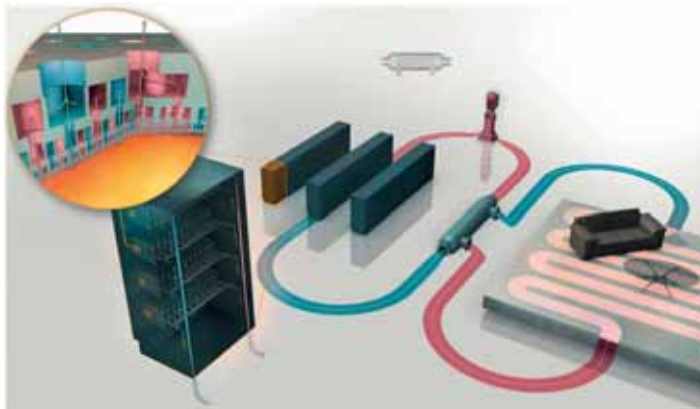


Abbildung 39: Nutzung der Abwärme der Chipkühlung zum Heizen.
1. Mikrokanäle: Wasser wird durch haarfeine Kanäle, ähnlich den Blutkapillaren, auf die Prozessoroberfläche gesprüht und kühlt diese. **2. Wärmetauscher:** Die aus dem Rechenzentrum abgeführte Wärme wird an den Zweitekreislauf abgegeben. **3. Direkte Abwärmenutzung:** Die vom Rechenzentrum abgeführte Wärme kann direkt für eine Zweitnutzung, wie dem Heizen von Gebäuden, verwendet werden
 Quelle: [IBM 2008]

Der erste Prototyp soll bereits drei Viertel der für den Betrieb der Rechner benötigten elektrischen Energie für die Gebäudeheizung des Labors wiederverwenden. Ein durchschnittliches Rechenzentrum, das heute einen Energieverbrauch von 1 Megawatt hat, könnte so bereits 40 % der Energie einsparen und mit der Abwärme etwa 70 Einfamilienhäuser heizen [IBM 2008].

Abwärme für etwa
70 Einfamilienhäuser

Ein anderer Ansatzpunkt für mehr Energieeffizienz ist schlicht das Verhalten der Nutzer. Eine Studie zum Nutzungsverhalten an Computerarbeitsplätzen in den USA, Großbritannien und Deutschland kam 2008 zu dem Ergebnis, dass nur 56 % der deutschen Beschäftigten ihren Arbeitsplatzrechner regelmäßig über Nacht ausschalten. Nach Schätzungen der Autoren summieren sich die Kosten für die Stromversorgung dieser ungenutzten Rechner auf jährlich 918 Mio. Euro. In CO₂-Äquivalenten entspricht das rund 2,6 Mio. Tonnen oder der Emission von 475.000 Pkws [PC Energy Report 2009].

Ungenutzte
Arbeitsplatzrechner
verschenden in
Deutschland jährlich
918 Mio. Euro

Für den energiesparenden Umgang mit Computern besitzen die meisten Betriebssysteme bereits eine Software für das Energiemanagement. Das sorgt dafür, dass ungenutzte Rechner nach einer definierten Zeit automatisch in den Standby- oder Ruhezustand übergehen oder aber auch komplett abgeschaltet werden. Dabei erscheint der Beitrag jedes Einzelnen relativ klein, aber in der Summe lohnt es sich die Mitarbeiter für das Thema zu sensibilisieren. Die Einsparungen von 1.000 effizienter

Steigerung der
Ressourceneffizienz
in anderen Branchen
durch IKT

genutzten Rechnern summieren sich zu 28.000 Euro pro Jahr [PC Energy Report 2009].

Aber nicht nur in der Wertschöpfungskette der IKT sind Potenziale für mehr Ressourceneffizienz zu finden. Die Anwendung von IKT zur Steigerung der Ressourceneffizienz in anderen Branchen bietet ein noch größeres Potenzial. Abbildung 40 zeigt, dass die IKT im Jahr 2020 in anderen Branchen fünfmal mehr CO₂e-Emissionen einsparen können, als sie selbst produzieren [GeSI 2008].

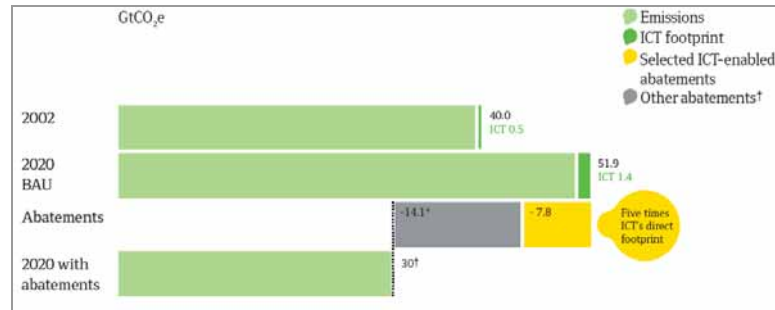


Abbildung 40: Der globale Anteil der CO₂e-Emissionen durch IKT. Es wird erwartet, dass die direkten Emissionen der IKT bis 2020 von 0,5 auf 1,4 GtCO₂e anwachsen werden. Allerdings bieten IKT-gestützte Anwendungen ein Reduktionspotenzial von 7,8 GtCO₂e Quelle: [GeSI 2008]

Vielversprechende Anwendungsbereiche sind die effizientere Steuerung von Prozessen in der Logistik, bei Verkehrssystemen, bei der Stromerzeugung und -verteilung sowie beim Gebäudemanagement (siehe Kapitel 3.2). Weitere Potenziale bestehen im Bereich der Dematerialisierung, also beim Ersatz von Papier durch elektronische Rechnungen oder einer Ausweitung von Telearbeit und Videokonferenzen [GeSI 2008].

IKT für das
Monitoring und die
nutzerfreundliche
Darstellung des
Ressourcen-
verbrauchs

Ein weiteres vielversprechendes Einsatzgebiet für die IKT ist das Monitoring und die nutzerfreundliche Darstellung des Ressourcenverbrauchs von Fahrzeugen, Gebäuden, Elektrogeräten, etc. In vielen Fällen wissen die Nutzer schlichtweg nicht, wie viel Energie und Rohstoffe ihr Kühlschrank, Herd oder auch ihre Heizung verbrauchen. Solange dieses Wissen nicht vorhanden ist, ist es jedoch sehr schwer, das Nutzungsverhalten ressourceneffizienter zu gestalten. Frei nach Lord Kelvin „Wenn du es nicht messen kannst, kannst du es auch nicht verbessern.“

Verbrauchsdaten in
Echtzeit

Mit IKT ist es nicht nur möglich Verbrauchsdaten aus intelligenten Stromzählern und Sensorsystemen auszulesen, sondern sie vor allem auch über das Internet zu übertragen und auf einem PC oder mobilen Endgerät jederzeit quasi in Echtzeit verfügbar zu machen (siehe Abbildung 41). Dadurch kann sowohl die Entwicklung der eigenen Verbrauchsdaten verfolgt werden, aber auch Vergleiche mit anderen Nutzern werden möglich. So kann der positive Gesamteffekt der

Bemühungen um Ressourceneffizienz dargestellt werden und neue Ideen zur Einsparung von Ressourcen im Freundeskreis oder in Web 2.0-Communities ausgetauscht werden (z. B. im Automobilbereich, siehe Abbildung 29 rechts).

Anwendungen für
Web 2.0-Communities

Auf der anderen Seite können Hersteller und Ressourcenanbieter über die Nutzungsdaten etwas über den Umgang der Nutzer mit ihren Systemen lernen und diese dahingehend optimieren. Dies setzt natürlich klare Regeln für den Umgang mit vertraulichen Daten voraus.

Klare Regeln beim
Datenschutz sind
notwendig

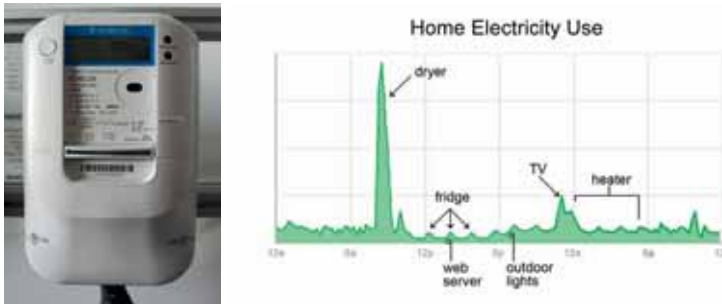


Abbildung 41: Links: Intelligenter Zähler. Quelle: [Feuerhahn, S., Fraunhofer ISE] Rechts: Die Google-Anwendung Power-Meter liefert in Kooperation mit Stromanbietern den Verbrauchern Informationen über ihren Stromverbrauch. Quelle: [Google 2009]

Im Kooperationsprojekt intelliekon, das von Fraunhofer ISE koordiniert wird, untersuchen Forschungs- und Praxispartner seit dem Jahr 2008 Fragestellungen, die mit der Nutzung IKT-gestützter intelligenter Mess- und Feedbacksysteme für Haushalte verknüpft sind. Welche Informationen brauchen Konsumenten, um einfach und schnell reagieren zu können? Wie müssen Feedback-Instrumente aussehen, damit die Haushaltsmitglieder das Energiemanagement aktiv mitgestalten können? Das Projekt läuft noch bis 2011 [intelliekon 2009].

IKT-gestützte
intelligente Mess-
und
Feedbacksysteme für
Haushalte

Fazit:

Die Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) erleben seit den 1970er Jahren eine beispiellose Effizienzentwicklung. Dem Mooreschen Gesetz folgend hat sich die Anzahl der Transistoren auf einem Computerchip alle zwei Jahre verdoppelt. Dieses hohe Innovationstempo hält die IKT-Industrie durch klare, verbindliche Effizienzvorgaben und hohe Investitionen in F&E aufrecht.

Die rasanten Effizienzgewinne bei der IKT bringen jedoch in der Regel nicht sparsamere, sondern ressourcenintensivere Anwendungen hervor. IKT erzeugt mittlerweile genauso viele CO₂-Emissionen wie der gesamte Flugverkehr. Daher versucht die IKT-Industrie, unter dem Label „Green IT“ die Energie-, Material- und Nutzungseffizienz ihrer Systeme zu verbessern.

Aber nicht nur in der Wertschöpfungskette der IKT sind Potenziale für mehr Ressourceneffizienz zu finden. Die Anwendung von IKT zur Steigerung der Ressourceneffizienz in anderen Branchen könnte nach Expertenaussagen im Jahr 2020 fünfmal mehr CO₂e-Emissionen einsparen, als durch Nutzung von IKT produziert wird.

Ein weiteres vielversprechendes Einsatzgebiet für die IKT ist das Monitoring und die nutzerfreundliche Darstellung des Ressourcenverbrauchs von Fahrzeugen, Gebäuden, Elektrogeräten, etc. Die Nutzer erhalten so Informationen zur Verbesserung ihrer Ressourceneffizienz während Hersteller und Ressourcenanbieter etwas über die Effizienz des Umgangs mit ihren Systemen lernen können.

4 ANHANG

4.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Atmosphärische Konzentration von CO ₂ über die letzten 10.000 Jahre und seit 1750 (vergrößerter Ausschnitt). Die Messungen wurden an Eisbohrkernen und in der Atmosphäre vorgenommen. Die rechte Skala zeigt die Strahlungszunahme, die aus der erhöhten CO ₂ -Konzentration resultiert. Quelle: [IPCC 2007/1].....	16
Abbildung 2: Zur Erreichung des 2 °C-Ziels müsste die CO ₂ -Effizienz der Weltwirtschaft von 2010 bis 2050 alle zehn Jahre verdoppelt werden. Quelle: Eigene Darstellung.....	17
Abbildung 3: Übersicht zu den Kosten von Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasen [McKinsey 2009].....	18
Abbildung 4: Der Vergleich unterschiedlicher „Peak Oil“-Modelle zeigt große Unterschiede bei der Prognose des zukünftigen Erdölangebots Quelle: [Cambridge Energy Research Associates 2006].....	21
Abbildung 5: Entwicklung der Rohölpreise von 1960 - 2008. Daten aus: [MWV 2009]	22
Abbildung 6: Große Zahlen. Verkaufswert und CO ₂ -Äquivalent der im Jahr 2007 bekannten wirtschaftlich erschließbaren Erdölreserven. Quelle: Eigene Darstellung	23
Abbildung 7: Weltweiter Erölverbrauch nach Sektoren im Jahr 2010. Der weltweite Verbrauch für 2010 wird auf 33,4 Mrd. Barrel geschätzt. Daten aus: [EIA 2007]	24
Abbildung 8: Vergangene und künftige Entwicklung des globalen Wasserverbrauchs. Quelle: [BMZ 2005].....	25
Abbildung 9: Europäische Regionen mit erhöhtem Auftreten von extremer Dürre in 2020 und 2070, basierend auf Vergleichen des Klimas und des Wasserverbrauchs im Zeitraum 1961 - 1990 Quelle: [IPPC 2008]	26
Abbildung 10: Bilanz des virtuellen Wassers nach Ländern im Zeitraum 1997-2001. Die Bilanzen berechnen sich aus den virtuellen Wasserströmen durch den Handel mit Agrar- und Industrieprodukten. Rot gefärbte Länder weisen einen Nettoimport von virtuellem Wasser auf; grün gefärbte sind Netto-Exporteure. Quelle: [Hoekstra und Chapagain 2008].....	28
Abbildung 11: Leistungseinschränkungen thermischer Kraftwerke in Deutschland aufgrund wasserrechtlicher Bestimmungen. Quelle: verändert nach [Müller et al. 2008]	29
Abbildung 12: Aktuelle landwirtschaftlich genutzte Fläche und potenziell für landwirtschaftliche Nutzung geeignete Flächen (ohne Bewässerungslandwirtschaft). Nach: [FAO 2003].....	31
Abbildung 13: Ernteerträge wichtiger Nahrungsmittel in den Zeiträumen 1961-63, 1997-99 und 2030. Quelle: [FAO 2003]	32
Abbildung 14: Globale Entwicklung der städtischen Bevölkerung, 2005 und 2030. Quelle: [Vereinte Nationen 2005]	32
Abbildung 15: Steigerung der Umwelteffizienz wichtiger Ressourcen in Deutschland im Zeitraum 1991 - 2005. Der dargestellte Effizienz-Indikator stellt den Ressourcenverbrauch je Einheit Bruttoinlandsprodukt dar. Quelle: [IW - Trends].....	33
Abbildung 16: Die Effizienz eines Systems lässt sich auf Kosten der Vielfalt und des Vernetzungsgrads (sprich: der Komplexität) steigern. Die Belastbarkeit eines Systems jedoch steigt mit dem Grad der Vernetzung -	

und damit der Vielfalt - in diesem System. Die Natur sucht die optimale Balance zwischen Effizienz und Belastbarkeit. Quelle: [Bernard Lietaer]	36
Abbildung 17: Neun von zehn Bäumen, die der Sturm Kyrill 2006 in Bayern entwurzelte, waren Fichten. Ziel moderner Forstwirtschaft ist daher der Aufbau arten- und strukturreicher Mischbestände mit Standort angepassten Baumarten, die den aufgrund des Klimawandels zu erwartenden Wetterextremen trotzen. Quelle: [Landesbetrieb Wald und Holz NRW].	37
Abbildung 18: Bienenkörbe vor einem blühenden Rapsfeld. Der ökonomische Wert der Bestäubung wird weltweit auf etwa 150 Mrd. Euro pro Jahr geschätzt. Weitere Erläuterungen im Text. Quelle: [Schädlich, H. Bungsberg-Imkerei]	39
Abbildung 19: Pallayponcho und Pukalliclla, zwei am Internationale Kartoffelforschungszentrum in Peru entstandene Neuzüchtungen mit besonderer Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule. Die Resistenzgene stammen aus alten Kartoffelsorten, die man im Hochland von Peru fand. Quelle: [International Potato Center]	40
Abbildung 20: Lebenszyklusanalyse des Ressourceninputs und -outputs entlang einer Wertschöpfungskette. Quelle: Eigene Darstellung	42
Abbildung 21: Effizienzpotenziale in der Wertschöpfungskette von Papier. Insgesamt erhält man Einsparungen um den Faktor 26, - also 96 % weniger Waldfläche für den Zellstoffanbau. Quelle: [Hawken 2000]	43
Abbildung 22: Konkurrierende Nutzungsformen für das globale Flächenangebot. Quelle: Eigene Darstellung	46
Abbildung 23: Links: Ein Beispiel für Koppelnutzung: Lautsprechergehäuse aus Arboform® Quelle: [Tecnaro GmbH]. Rechts: Kaskadennutzung des Abwassers des Waschbeckens für die Toilettenspülung Quelle: [ROCA S.A.]	48
Abbildung 24: Schematische Darstellung des Prinzips der Koppelnutzung. Ein Nebenprodukt (Output) aus einer Wertschöpfungskette wird zur Ressource (Input) für eine andere Wertschöpfungskette. Quelle: Eigene Darstellung	49
Abbildung 25: Gewicht europäischer Pkws der Kompaktklasse im Jahr der jeweiligen Modelleinführung. Quelle: [WBCSD 2004]	51
Abbildung 26: MIT Studie des Massachusetts Institute of Technology (MIT): Verschiedene Antriebstechnologien und deren potenzieller Treibstoffverbrauch (Benzinäquivalent) im Jahr 2035. In der Analyse wurde angenommen, dass die Fahrzeuge dieselben Fahreigenschaften und Ausstattungen besitzen wie heutige US-amerikanische Mittelklasse-Pkws. Für 2035 werden effizientere Motoren und Getriebe, ein um 20 % geringeres Gewicht, ein verminderter Luftwiderstand und ein geringerer Abrollwiderstand angenommen Quelle: [Stauffer 2008]	52
Abbildung 27: Benzinverbrauch in Abhängigkeit des Gewichts unterschiedlicher Pkw-Modelle mit vergleichbarer Motorleistung. Quelle: Eigene Darstellung. Weitere Erläuterungen im Text [Kaiser 2009]	53
Abbildung 28: Der Einfluss des Luftwiderstands auf den Verbrauch eines Pkw's in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit Quelle: [WBCSD 2004]	54
Abbildung 29: Links: Cockpit des neuen Hybrid-Fahrzeugs Insight von Honda mit Assistenzsystemen für effizienteres Fahren [Honda 2008]. Rechts: In der Internet-Community eco:Ville versammeln sich die Nutzer des eco:Drive-Systems von Fiat [Fiat 2009]	55
Abbildung 30: Abschätzung der Kosten von Maßnahmen im Gebäudesektor Quelle: [McKinsey 2007]	57
Abbildung 31: Die revitalisierte "Grüne Immobilie des Jahres 2008" ist ein Bürokomplex in Amsterdam, der auf einer ehemaligen Kranspur aufgebaut	

wurde und Flusswasser zum Heizen und Kühlen verwendet. Quelle: [Commerz Real]	59
Abbildung 32: Modell der ersten CO ₂ -neutralen Stadt Masdar City in den Vereinigten Arabischen Emiraten. Quelle: [Abu Dhabi Future Energy Company]	60
Abbildung 33: Treibhauseffekt der Herstellung verschiedener Nahrungsmittel. Dargestellt ist die Zahl der Kilometer, die ein Auto zurücklegen müsste, um auf den gleichen Ausstoß an CO ₂ -Äquivalenten zu kommen. Quelle: [foodwatch 2008].....	64
Abbildung 34: Treibhausgas-Emissionen verschiedener Ernährungsstile Quelle: [nach Hoffmann 2002]; (VWE = Vollwert-Ernährung)	65
Abbildung 35: Frei im Meer treibende Kugeln aus Glasfaser und Polyethylen, gesteuert per Satellit und GPS - so könnte die Aquafarm der Zukunft aussehen. Aquapod™ Net Pens. Quelle: [Ocean Farm Technologies]....	66
Abbildung 36: "The Living Skyscraper: Farming the Urban Skyline" von Blake Kurasek von der Universität Illinois/ Dickson Despommier „Vertical Farm“ University of Columbia. Quelle: [Vertical Farm]	68
Abbildung 37: Das Mooresche Gesetz hat bis heute Bestand. Die Zahl der Transistoren auf einem Computer-Chip hat sich seit 1972 ungefähr alle zwei Jahre verdoppelt Quelle: [Wgsimon, GNU FDL]	70
Abbildung 38: Weltweite Ausgaben für Server. Die Kosten für die Kühlung und den Strom von Servern steigen stärker als die Hardwarekosten Quelle: IDC, Mai 2006 [IBM 2008].....	72
Abbildung 39: Nutzung der Abwärme der Chipkühlung zum Heizen. 1. Mikrokanäle: Wasser wird durch haarfeine Kanäle, ähnlich den Blutkapillaren, auf die Prozessoroberfläche gesprüht und kühlt diese. 2. Wärmetauscher: Die aus dem Rechenzentrum abgeführte Wärme wird an den Zweitekreislauf abgegeben. 3. Direkte Abwärmennutzung: Die vom Rechenzentrum abgeführte Wärme kann direkt für eine Zweitnutzung, wie dem Heizen von Gebäuden, verwendet werden Quelle: [IBM 2008].....	73
Abbildung 40: Der globale Anteil der CO ₂ e-Emissionen durch IKT. Es wird erwartet, dass die direkten Emissionen der IKT bis 2020 von 0,5 auf 1,4 GtCO ₂ e anwachsen werden. Allerdings bieten IKT-gestützte Anwendungen ein Reduktionspotenzial von 7,8 GtCO ₂ e Quelle: [GeSI 2008].....	74
Abbildung 41: Links: Intelligenter Zähler. Quelle: [Feuerhahn, S., Fraunhofer ISE] Rechts: Die Google-Anwendung Power-Meter liefert in Kooperation mit Stromanbietern den Verbrauchern Informationen über ihren Stromverbrauch. Quelle: [Google 2009]	75

4.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verteilung des gesamten CO ₂ -Minderungspotentials im Jahr 2030 auf unterschiedliche Bereiche. Nach: [McKinsey 2009]	19
Tabelle 2: CO ₂ -Emissionen, die mit dem Konsumverhalten in unterschiedlichen Bedürfnisfeldern verbunden sind. Nach: [Greenpeace 2009].....	20
Tabelle 3: Virtueller Wasserverbrauch wichtiger Produkte und Güter. Quelle: [Water Footprint Network].....	27
Tabelle 4: Diskrepanz zwischen Einschätzung und tatsächlichen Potenzialen zur Energieeinsparung im Gebäudebereich. Quelle: [BMVBS 2007].....	58
Tabelle 5: Flächen- und Wasserbedarf für die Lebensmittelherstellung Quellen: Flächenbedarf: [Peters et al 2007], Wasserbedarf: [Water Footprint Network].....	63

4.3 Quellenverzeichnis

- [3Sat Nano]: „Wissenschaftler wollen Fleisch aus Stammzellen züchten.“
 Programminformation 2.11.2006, <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/nano/vision/99750/index.html>.
- [Abu Dhabi Future Energy Company] von www.dlr.de.
- [Accenture 2009] Accenture „Only One in 10 Companies Actively Manage Their Supply Chain Carbon Footprints“
http://newsroom.accenture.com/article_display.cfm?article_id=4801,
 15.04.2009
- [Aquamax 2008] National Institute of Nutrition and Seafood Research (NIFES) Bergen. http://www.aquamaxip.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=63&Itemid=94
- [Badgley et al. 2007] Badgley, C, Moghtader, J, Quintero, E, Zakem, E, Chappell MJ, Avilés-Vázquez K, Samulon A and Perfecto I: “Organic agriculture and the global food supply.” *Renewable Agriculture and Food Systems*: 22(2); 86–108
- [Bardt 2006] Bardt, H (2006): „Umwelt-Effizienz im internationalen Vergleich.“ *IW Trends* 4/2006
- [Bardt et al. 2008] Bardt, H, Demary, M und Voigtländer, M (2008): „Immobilien und Klimaschutz – Potenziale und Hemmnisse.“ *IW Trends* 2/2008
- [Bates et al. 2008] Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, (Hrsg., 2008): „Climate Change and Water.“ Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- [Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten - Bayrische Forstverwaltung. Baumartenverteilung.
http://www.forst.bayern.de/forstpolitik/wald_in_zahlen/28097/index.php.
- [Berger 2007] Roland Berger Strategy Consultants (Hg). (2007): “Green Tech made in Germany”, München: Vahlen.
- [Bernard Lietaer] Lietaer, B.: “Window of Viability.“
- [Bliss 2005] Bliss, J.: „An Introduction to Peak Oil.“
<http://www.thesarpener.net>, 2005.
- [BMU 2006] BMU „Sprit sparen lohnt sich - für Geldbörse und Umwelt“,
<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/print/2133/>, 2.04.2009
- [BMVBS 2007] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007): „Der CO₂-Gebäudereport.“ Berlin
- [BMVBS 2007] co2online gemeinnützige GmbH, Fraunhofer-Institut für Bauphysik „CO₂ Gebäudereport 2007“, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007)
- [BMZ 2005] Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Hrsg.), (2005): „Weltwassertag, Wasser für alle. Die Wasserkrise als Herausforderung für die Wissenschaft“, Pressemappe.
- [Boeing 2006] Boeing, Niels (2006): „Robuster Reis für schlechtes Wetter.“
 Technology Review, www.heise.de.
- [BUND 1997] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland: „Versessen auf Öko: Picto“. in: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (Hrsg.): Aktionshandbuch Zukunftsfähigkeit. Bonn, 1997.
- [California Energy Commission 2007]: Assembly Committee on Water,

- Parks and Wildlife, Krebs, M. (2007): "Water - Related Energy Use in California." California Energy Commission.
- [Cambridge Energy Research Associates 2006] Cambridge Energy Research Associates (CERA): „Peak Oil Theory – ‚World Running Out of Oil Soon‘ – Is Faulty; Could Distort Policy & Energy Debate“. <http://www.cera.com/aspx/cda/public1/news/pressReleases/pressReleaseDetails.aspx?CID=8444>, 2006.
- [Cherry 2004] Cherry, S. „Edholm's Law of Bandwidth“, IEEE Spectrum | July 2004, S. 58 - 60 (2004)
- [Cisco 2007] Cisco Systems, Inc. „Ab 2008 nutzen private Anwender das Internet stärker als Unternehmen“, Pressemitteilung vom 05.09.2007
- [Commerz Real] Commerz Real: „Erneute Auszeichnung für Immobilie aus Spezialfonds der Commerz Real.“ Pressemitteilung 4. Juni 2008. <http://pressemitteilungen.wordpress.com/2008/06/04/pressemitteilung-erneute-auszeichnung-fur-immobilie-aus-spezialfonds-der-commerz-real/>.
- [Daimler 2009] Daimler AG „Car2Go“, <http://www.car2go.com>, 16.04.2009
- [DB Research 2008] DB Research (2008): "Bauen als Klimaschutz - Warum die Bauwirtschaft vom Klimawandel profitiert." Deutsche Bank Research Aktuelle Themen 433.
- [DeStatis 2009] Statistisches Bundesamt „Private Haushalte in der Informationsgesellschaft - Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien 2008“, Fachserie 15 Reihe 4 (2009)
- [DGNB 2009] DGNB (2009): „Historischer Moment in der Bauwirtschaft.“ Pressemitteilung vom 13.01.2009, http://www.dgnb.de/de/news/presseinfos/detail.php?we_objectID=493
- [Donnerbauer 2009] Donnerbauer, R. „Innovationen für die Erlebniswelt Bad“, VDI Nachrichten, 27.03.09 Nr. 13 (2009)
- [EIA 2008] Energy Information Administration „World Proved Reserves of Oil and Natural Gas, Most Recent Estimates“, <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/reserves.html> (2008)
- [EIA 2007] Energy Information Administration (EIA) „International Energy Outlook 2006“, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/archive/ieo06/>, 7.04.2009 (2007)
- [EPA 2007] Environmental Protection Agency „Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: Fast Facts 1990-2005. Conversion Factors to Energy Units (Heat Equivalents) Heat Contents and Carbon Content Coefficients of Various Fuel Types.“ U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. USEPA #430-R-07-002 (2007)
- [EurActiv 2007] EurActive: „Peak Oil – Ölfördermaximum“. <http://www.euractiv.com/de/energie/peak-oil-olfordermaximum/article-164175>, 13.02.2009 (2007)
- [Evans 2009] Evans, A. (2009): "The Feeding of the Nine Billion. Global Food Security for the 21st Century." Chatham House, London.
- [FAO 2003] FAO (2003): "World agriculture: towards 2015/2030, An FAO Perspective." FAO, Rome, and Earthscan, London.
- [FAO 2009] Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/fcit/upa_en.asp, 13.03.2009
- [Fiat 2009] Fiat „eco:Drive“, <http://www.fiat.de/ecodrive/> 3.04.2009
- [foodwatch 2008] foodwatch 2008: "Klimaretter Bio? Der foodwatch-Report über den Treibhauseffekt von konventioneller und ökologischer Landwirtschaft in Deutschland." Berlin.

- [FNL o.J.]Fördergemeinschaft Nachhaltige Landwirtschaft e.V.: Ressourceneffizienz - Fragen und Antworten. Bonn. <http://www.unsere-landwirtschaft.de/>.
- [Gallai et al. 2009] Gallai, N., Jean-Michel Salles, Josef Settele, Bernard E. Vaissière (2009): „Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline.” *Ecological Economics* Volume 68, Issue 3, Pages 810-821.
- [Gensch 2004] Gensch, C.-O., Griebßhammer, R.: „PROSA – PKW-Flotte“. Öko-Institut e. V (2004)
- [GeSI 2008] The Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI) „SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age“, GeSI (2008)
- [Ghazoul 2005] Ghazoul, J. (2005): “Buzziness as usual: Questioning the global pollination crisis.” *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 20, Issue 7, Pages 367-373, 1 July 2005.
- [Global Biodiversity Outlook 2006] Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD) (Ed.) (2006): “Global Biodiversity Outlook 2”, Montreal.
- [Google 2009] „Google Energy Information“, <http://www.google.org/powermeter/>, 3.04.2009
- [Greenpeace 2009] Greenpeace “Fragen und Antworten zum Klimawandel”,http://www.greenpeace.de/themen/klima/klimawandel/artikel/fragen_und_antworten_zum_klimawandel, 13.02.2009
- [Greenport Shanghai 2009]: <http://www.greenportshanghai.com/press.php>, 14.3.2009
- [Gründler 2009] Gründler, E.C. (2009): „Erhöhte Unfallgefahr.“ Interview mit Bernard Lietaer. brandeins 01/09, 154 - 161.
- [Hawken 2000] Hawken, P., Lovins, A., Lovins, H.: „Ökokapitalismus“. München: Riemann Verlag, 2000.
- [Helmholtz UFZ 2006] Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ: „Ökologischer Waldumbau ist nötig und möglich. Großforschungsprojekt "Zukunftsorientierte Waldwirtschaft" stellt Ergebnisse vor.“ Pressemitteilung, 23. Januar 2006. <http://www.ufz.de/index.php?de=6651>.
- [Heng 2009] Heng, S. „Green IT: Die IT ist nicht grün und wird es niemals sein!“, DB-Research, Aktueller Kommentar, 18.02.2009
- [HOCHTIEF 2009] HOCHTIEF, Schulen Offenbach: „Umweltschutz macht Schule.“ <http://www.hochtief.de/hochtief/9014.jhtml?id=153>, 5.3.2009
- [Hoekstra und Chapagain 2008] Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2008) „Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources“, Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- [Hoffknecht 2007] Hoffknecht, A. „Siliziumelektronik“ in „Technologieführer“, Hrsg. Bullinger, H.-J., Springer Verlag (2007)
- [Hoffmann 2002] Hoffmann, I. (2002): „Ernährungsempfehlungen und Ernährungsweisen - Auswirkungen auf Gesundheit, Umwelt und Gesellschaft.“ Habilitationsschrift. Gießen: Justus-Liebig-Universität, 462 S.
- [Honda 2008] Honda „Honda Develops Ecological Drive Assist System for Enhanced Real World Fuel Economy“, <http://world.honda.com/news/2008/4081120Ecological-Drive-Assist-System/index.html>, 20.11.2008

- [IBM 2008] IBM „Mit allen Wassern gewaschen, Innovativer Wasserkühlkreislauf im Rechenzentrum bewahrt Chips vor Überhitzung und spart Energie“, IBM THINK! 2/2008 IBM Forschungslabor Zürich.
- [IEA 2007] International Energy Agency 2007: “World Energy Outlook.” Rome 2007
- [IEA 2007] International Energy Agency, „World Energy Outlook 2007 Fact Sheet - Oil“, http://www.iea.org/textbase/papers/2007/fs_oil.pdf (2007)
- [intelliekon 2009] „intelliekon – Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsysteme“, <http://www.intelliekon.de/>, 2.04.2009
- [International Year of the Potato 2008]: <http://www.potato2008.org/en/aboutiyp/index.html>.
- [International Potato Center] International Potato Center. www.cipotato.org.
- [IPPC 2008] Lehner, B. “Change in the future recurrence of 100-year droughts, based on comparisons between climate and water use in 1961–1990.” In: Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Genf.
- [IPCC 2007/1] IPCC, 2007 „Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis.“ Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2007)
- [IPCC 2007] IPCC, 2007 „Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation.“ Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge, University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2007)
- [IW - Trends] Bardt, H. (2006): „Umwelt - Effizienz im internationalen Vergleich.“ IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 33. Jahrgang, Nr. 4/2006, © Deutscher Instituts-Verlag, Köln.
- [Jackson 2008] Jackson, T. „Special report: Why politicians dare not limit economic growth“, NewScientist, 15.10.2008.
- [JODI 2005] Joint Oil data Initiative – JODI. <http://www.jodidata.org/FileZ/ODTmain.htm>, 2005.
- [Kaiser 2009] Kaiser, O., Zukünftige Technologien Consulting, persönliche Mitteilung, 11.03.2009 (2009)
- [Kemfert 2008] Kemfert, C. „Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten“, Wochenbericht des DIW Berlin 12-13, S. 137-142 (2008)
- [Kenong 2006] Kenong Xu, Xia Xu, Takeshi Fukao, Patrick Canlas, Reycel Maghirang-Rodriguez, Sigrid Heuer, Abdelbagi M. Ismail, Julia Bailey-Serres, Pamela C. Ronald & David J. Mackill (2006): „Sub1A is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice“, Nature Vol. 442, Pages 705 - 708.
- [Lehner et al. 2005] Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, T. Henrichs and F. Kaspar, (2005): “Estimating the impact of global change on flood and drought risks

- in Europe: a continental, integrated analysis.” *Climatic Change*, 75, 273–299.
- [Lehmann 2007] Lehmann, J. (2007): “A Handful of Carbon.” *Nature* Vol. 447, Pages 143-144, 10 May 2007.
- [Macintosh et al. 2009] Macintosh, A., and Wallace, L. „International aviation emissions to 2025: Can emissions be stabilised without restricting demand?“, *Energy Policy*. 37: 264-273 (2009)
- [Marris 2008] Marris, E. (2008): “Five Crop Researchers who could change the World.” *Nature* Vol. 456, 536 - 568.
- [MASR 2005]: Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. Washington DC: Island Press.
- [McKinsey 2007] McKinsey & Company (2007): „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland.“ Berlin. Im Auftrag von BDI initiativ - Wirtschaft für Klimaschutz AG Gebäude.
- [McKinsey 2009] McKinsey & Company (2009) „Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve” Climatedesk McKinsey.
- [Mortished 2004] Mortished, C.: „How Shell blew a hole in a 100-year reputation“. *Times Online*, http://business.timesonline.co.uk/tol/business/industry_sectors/natural_resources/article993257.ece, 2004.
- [Müller et al 2008] Müller, U.; Greis, S.; Rothstein, B. (2008): „Möglicher Einfluss des Klimawandels auf Flusswassertemperaturen und Elektrizitätserzeugung thermischer Kraftwerke.“ Poster-veröffentlichung Tag der Hydrologie 2008. 27.03.-28.03.2008. Hannover.
- [MWV 2009] Mineralölwirtschaftsverband e.V. „Preisstatistiken“, <http://www.mwv.de/>, 6.04.2009.
- [NISP 2009] National Industrial Symbiosis Programme, <http://www.nisp.org.uk/>, 28.03.2009
- [Ocean Farm Technologies]: Ocean Farm Technologies Inc. Innovative Technologies for Aquaculture. <http://www.oceanfarmtech.com/>.
- [OECD/IEA 2008] OECD/IEA „Energy Technology Perspectives 2008“ International Energy Agency (IEA) (2008)
- [Peters et al. 2007] Peters, C. J.; Wilkins, J. L. und Fick, G. W. (2007): “Testing a complete-diet model for estimating the land resource requirements of food consumption and agricultural carrying capacity - The New York State example.” *Renewable Agriculture and Food Systems* 22 (2), 145-153.
- [PC Energy Report 2009] „PC Energy Report 2009“, Alliance to Save Energy (ASE), 1E (2008)
- [Reder 2007] Reder, B. „Gartner: Rechenzentren für 23 Prozent des CO2-Ausstoßes von IT-Systemen verantwortlich“, <http://www.networkcomputing.de/gartner-rechenzentren-fuer-23-prozent-des-co2-ausstosses-von-it-systemen-verantwortlich/>, 31.03.2009
- [Reichholf 2007] Reichholf, J (2007): „Stadtnatur. Eine neue Heimat für Tiere und Pflanzen“, Oekom Verlag, München.
- [Reuscher et al. 2008] Reuscher, G. Ploetz, C. Grimm, V. Zweck, A. „Innovationen gegen Rohstoffknappheit“, Herausgeber: Zukünftige Technologien Consulting, Januar 2008, Band Nr.: 74.
- [Richter-Maierhofer 2005] Richter-Maierhofer, E.: „Trendbericht Biotechnologie – Die Zukunft ist weiß: Chemikalien aus dem Bioreaktor“. Innovationsreport. 2005.

- [ROCA S.A.] ROCA S.A. www.roca.com
- [RUAF Foundation 2009] Resource Centres of Urban Agriculture & food Security: "Why is Urban Agriculture important?" <http://www.ruaf.org/node/513>
- [SAM Group 2007] SAM Group: Sustainability Yearbook 2007. (2007)
- [Sasse 2008]: Sasse, D. (2008): "Fischfarm kullert selbständig durch Weltmeere." Welt online Wissen Innovation, 10.9.2008 <http://www.welt.de/wissenschaft/innovationen/article2423806/Fischfarm-kullertselbststaendig-durch-Weltmeere.html>.
- [Schädlich, H. Bungsberg-Imkerei]: Schädlich, H.: Imkerei Bungsberg. www.bungsberg-imkerei.de.
- [Schipper 2000] Schipper, L., Grubb, M. „On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries“, Energy Policy 28, S. 367-388 (2000)
- [Sebald 2007]: Sebald, C. (2007): „Orkan-Schäden. Kyrill legt sechs Mio. Bäume um.“ Süddeutsche Zeitung. 29.01.2007 <http://www.sueddeutsche.de/wissen/211/325076/text/>.
- [Spracklen et. al 2008] Spracklen, D., Yaron G., Singh, T., Righelato, R., Sweetman, T. „The Root of the Matter - Carbon Sequestration in Forests and Peatlands“, Policy Exchange (2008)
- [SRU 2007] Sachverständigenrat für Umweltfragen: „Klimaschutz durch Biomasse“. Sondergutachten, Juli 2007.
- [Stauffer 2008] Stauffer, N. "MIT recommends steps to slash gasoline use by 2035", MIT Energy Initiative, <http://web.mit.edu/mitei/research/spotlights/slash-gas.html>, 05.08.2008
- [Stern 2006] Stern Review „Final Report“, http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm, 6.04.2009
- [Tecnaro GmbH] Tecnaro GmbH & Fraunhofer ICT www.tecnaro.de
- [Tecson 2009] Tecson „Entwicklung der Erdölpreise / Rohölpreise“, <http://www.tecson.de/poelhist.htm>, 13.02.2009.
- [Tilman 2006] Tilman, D., Hill, J., Lehman, C.(2006): "Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass." Science Volume 314 No. 5805, Pages 1598 - 1600, 8. December 2006.
- [UBA 2007] Umweltbundesamt: Ökodesign. <http://www.umweltbundesamt.de/produkte/oekodesign/index.htm>, 27.03.2009.
- [UKERC 2007] Sussex Energy Group "The Rebound Effect", UK Energy Research Centre (2007)
- [UNDP 2006] United Nations Development Programme: Human Development Report 2006. "Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis." Plgrave MacMillan, New York.
- [UNEP 2007] UNEP (2007): Global Environment Outlook: environment for development. EarthPrint Limited, Stevenage, Hertfordshire, U.K.
- [University of Manchester 2008] University of Manchester (2008, June 20): „Liter Of Fuel Would Last UK 1 Year If Cars Had Kept Pace With Computers.“ ScienceDaily, <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/06/080619135207.htm>, 27 Februar 2009
- [Vereinte Nationen 2005] Vereinte Nationen (2005): World Population Prospects: "The 2005 Revision." United Nations, Department of Economic and Social Affairs (Desa), Population Division.

- [Vertical Farm] Kurasek, B.: "The Living Skyscraper: Farming the Urban Skyline." University Illinois / Despommier, D.: Vertical Farm. University of Columbia. <http://www.verticalfarm.com/>.
- [Water Footprint Network] Universität Twente Enschede. www.waterfootprint.org.
- [WBCSD 2004] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) "Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability", <http://www.wbcd.org/web/mobilitypubs.htm> (2004)
- [WBGU 2000] Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen: „Schutz und nachhaltige Nutzung der Biosphäre.“ Jahresgutachten 1999. Springer Verlag, Berlin.
- [WBGU 2009] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Hrsg.) (2009): Welt im Wandel - Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin.
- [Wietschel 2008] Wietschel, M. „Die Zukunft des Elektro-Automobils bis 2050“, http://cms.isi.fraunhofer.de/wDefault_1/OrgEinh-2/beitraege/Presseinfos/2008/pri08-14.php, 16.04.2009
- [Winfree et al. 2007] Winfree R., Williams N.M., Dushoff J., Kremen C. (2007). "Wild bees provide insurance against ongoing honey bee losses." Ecology Letters 10, 1105–1113.
- [WWF 2008] WWF: "EU-Mittel versickern wie Regen in der Wüste." <http://www.wwf.de/themen/suesswasser/wasserknappheit/wasserverschwendung-landwirtschaft/eu-subventionen-versickern/>, 26.02.2009
- [Züricher Kantonalbank 2009]: Anlagen Aktuell Nr. 2 Finanzmärkte und Empfehlungen: „Am Anfang ist immer das Wasser.“

Zukünftige Technologien Consulting

ist eine Beratungseinheit der VDI Technologiezentrum GmbH in Düsseldorf.

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) berät Entscheider aus

- Politik / politischer Administration / Regionen
EU - Bund - Länder - etc.
- Industrieunternehmen
Großunternehmen - KMU - junge Unternehmen - etc.
- Verbänden / Vereinen / Organisationen
Industrieverbände - Forschungseinrichtungen - etc.
- Finanzdienstleister
Banken - Venture Capital Gesellschaften - etc.
- Versicherungen
Rückversicherer - etc.

in technologischen und gesellschaftlichen Zukunftsfragen.

ZTC deckt durch ein Team verschiedenster Fachdisziplinen ein breites Themen- und Methodenspektrum ab. Systematisch und mit Unterstützung eigener Softwareinstrumente werden kundenspezifisch strategische Themen identifiziert, Ideen entwickelt sowie praxisnahe Lösungen umgesetzt.

Beispiele für Beratungsdienstleistungen sind:

- Innovations- und Technologiemonitoring
- Technologiefrüherkennung
- Newsmonitoring
- Szenarien und Prospektionen
- Studien und Innovationsanalysen
- Prozessberatungen, Prozessmoderationen
- Innovations- und Technologiemanagement
- Themengenerierung

Weitere Informationen erhalten Sie unter **www.zt-consulting.de**



Zukünftige Technologien Consulting
VDI Technologiezentrum GmbH
Airport City
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf

Telefon: + 49 (0) 211 62 14 - 5 36
Telefax: + 49 (0) 211 62 14 - 1 39
E-Mail: ztc@vdi.de
www.zt-consulting.de