

Mobilität. Kein Begriff verkörpert so gut wie dieser Wünsche, Hoffnungen, aber auch zunehmend Anforderungen, die unsere motorisierte Gesellschaft und ihre beschleunigten Wirtschaftszyklen an jeden Einzelnen stellen. Das eigene Auto bedeutet für viele von uns immer noch die Befreiung von räumlicher Gebundenheit, Urlaubsreisen und mit ihnen eine Art Sehnsuchterfüllung. Mobilität verwandelt auch die Produktionsbedingungen rasant und mit ihnen die Lebens- und Arbeitsbedingungen weltweit.

Mobilität bewegt heute Menschen und Güter in einem nie gekannten Ausmaß. In vielen Ländern hat sich ein modernes Nomadentum entwickelt, das der Arbeit folgt und soziale und regionale Bindungen nur durch ein noch mehr an Mobilität aufrechterhalten kann. Das gilt nicht nur für Wanderarbeiter in Asien, sondern ebenso für viele von uns. Fast ist Bewegung zum Selbstzweck geworden. Aus Mobilität als Chance und Befreiung ist so oft ein Zwang zum Mobil-sein-Müssen entstanden.

Die Verlagerung von Arbeitsplätzen, Transportlawinen auf den Fernstraßen und Zumutungen wie tägliche weite Pendelfahrten zur Arbeit sind die Kehrseiten einer unreflektierten zunehmenden Mobilisierung, für die der Mensch örtlich ungebunden verfügbar sein muss, einfach weil es technisch möglich ist. Die Planer passten Städte und Landschaften den Erfordernissen der zunehmenden Bewegung an. Zunächst war es vor allem der Gedanke, die Trennung von Leben und Arbeit ermögliche die Befreiung aus den als eng und rückständig angesehenen Altstädten.

Die zunehmende Umformung der Landschaft und der Bau immer ausgehnterer Verkehrsnetze folgten. Doch die alten Rezepte stoßen an ihre Grenzen. Mehr Verkehrswege bedeuten in zunehmendem Maße nur noch mehr Verkehr und Stau, aber nicht das erhoffte Mehr an Freiheit. Unsere bisherige energieintensive Mobilität stößt auch aus einem anderem Grund an ihre Grenzen: Ihr geht der Treibstoff aus. Mobilität hat so gleich in mehrfacher Hinsicht bereits ein Maß überschritten, das zur Revision auffordert und nach Lösungen der drängendsten Probleme verlangt.

Wie soll es weitergehen, wenn sich die Ölvorräte ihrem Ende zuneigen? Ist eine Mobilität denkbar, die mit den Ressourcen langfristig schonend umgeht und sie nutzt, anstatt sie zu verbrauchen? Dass es sich dabei sicher nicht um ein bloßes Zurück handeln wird, zeigt der mittlerweile hohe Stand der regenerativen Energiegewinnung und -nutzung, täglich gibt es neue spannende Anwendungen.

Schon der Stand der Technik zur Gewinnung, Speicherung, Vernetzung und Nutzbarmachung regenerativer Energie lässt erkennen, dass zurzeit die Basis für eine neue Ära gelegt wird. Das kommende Ende der fossilen Energieträger bietet so nicht nur die Notwendigkeit, unsere Mobilität zu überdenken, sondern ist vor allem die Chance zum Einstieg in das regenerative Zeitalter.

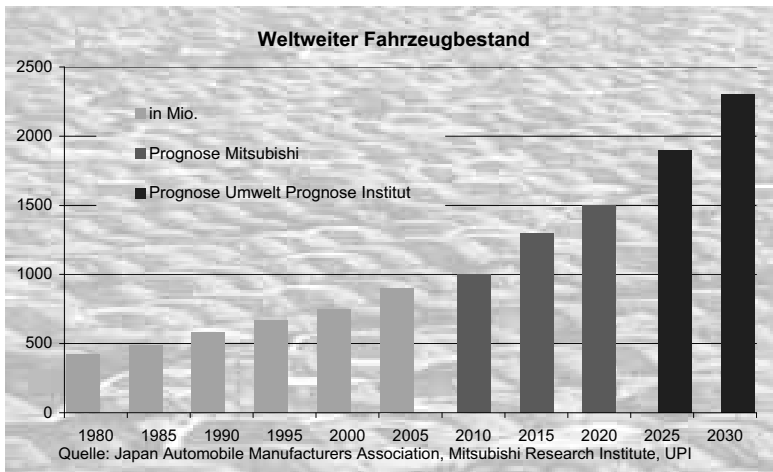
## 1.1 Energieverbrauch

### Ungezügelter Konsum

Wir befinden uns in der Halbzeit des Erdölzeitalters. Aus Sicht der Bundesanstalt für Geowissenschaften wird »Peak Oil«, der Zeitpunkt der maximalen Erdölförderung, auf den der unumkehrbare Rückgang folgt, in der zweiten Hälfte der 2010er-Jahre liegen, also in weniger als 10 Jahren. Das Fördermaximum wird dann bei knapp fünf Milliarden Tonnen Erdöl pro Jahr liegen und danach langsam absinken. Während der Höhepunkt von neuen Funden in den 1960er-Jahren lag und seitdem kontinuierlich zurückgeht, steigt der Ölverbrauch weltweit ebenso kontinuierlich weiter an.

Im Jahr 2006 betragen die weltweit bekannten förderfähigen Erdölreserven 162 Milliarden Tonnen, dazu kommen nach derzeitigen Erkenntnissen noch 82 Milliarden Tonnen Erdölressourcen, die mit heutiger Technik und heutigen Finanzrahmen noch nicht zu erschließen sind. Ihre Förderung wird erfolgen, wenn die Ölpreise im Zuge der Verknappung so stark gestiegen sind, dass ihre Erschließung wirtschaftlich wird. Diese Reserve wird jedoch auch nur für rund 16 weitere Jahre reichen, eine Gnadenfrist für das Erdölzeitalter sozusagen. Wenn sie angebrochen ist, müssen wir bereits über funktionierende regenerative Mobilitätssysteme verfügen. Allzu lange reicht das Öl also nicht mehr.

Es ist hierbei müßig, über ein genaues Datum zu spekulieren, wann denn der letzte Tropfen aus der Pipeline fließen könnte. Denn tragfähige Konzepte müssen schon lange vorher Alltag geworden sein. Sicher wird es auch in 50



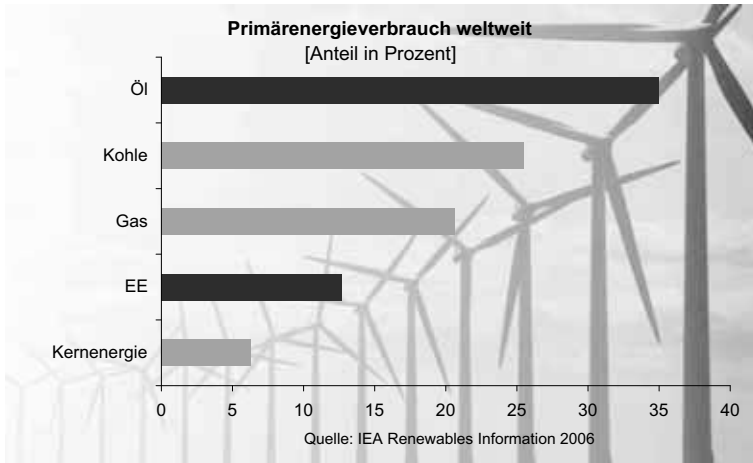
Um 2010 dürfte es eine Milliarde Fahrzeuge auf der Erde geben. Das Wachstum verlief in den letzten Jahrzehnten fast kontinuierlich und wird durch Einbruch der Umsatznachfrage im Zuge der Finanzkrise nur wenig gebremst werden. Eine Folge der fortschreitenden Motorisierung ist, dass die fossilen Kraftstoffe noch schneller zur Neige gehen. Der Einstieg in die regenerative Mobilität rückt näher.

Bild: M. Brake

bis 100 Jahren noch Erdöl geben, jedoch wird es dann ein zu wertvolles Gut sein um, wie bisher, einfach verbrannt zu werden.

Heute ist Erdöl noch das Elixier unserer Mobilität. Transport und Personenverkehr sind in den Industriestaaten fast vollständig auf Öl angewiesen und verursachen ein Viertel des gesamten Energieverbrauchs. Nach Angaben der Internationalen Energieagentur IEA stieg der Energieverbrauch des Verkehrs allein seit 1990 um fast 40 Prozent. An dieser Zunahme hat der Straßenverkehr einen Anteil von 90 Prozent.

Der größte Teil des Welt-Energieverbrauchs stammt heute noch aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas. In ihnen wurde Sonnenenergie von Jahrmillionen chemisch eingelagert. Ihr Abbau ermöglicht uns zurzeit noch unsere energieintensive, mechanisierte Lebens- und Wirtschaftsweise. Experten schätzen, dass es etwa 20 Millionen Jahre Erdgeschichte bedarf, um den Welt-Energiebedarf eines einzigen Jahres an Kohle und Öl zu bilden. In menschlichen Zeiträumen werden die fossilen Energieträger demnach nicht mehr neu gebildet, sie sind also in ihren Vorräten begrenzt. Unsere fossile Energieversorgung erweist sich als nicht zukunftsfähig, weil ihr der Brennstoff ausgehen wird. Hoffnungen, die Kernenergie könnte hier Aufschub bringen, werden sich nicht erfüllen, denn die Vorräte an spaltbarem Material haben ebenfalls ihren Förderhöhepunkt bereits überschritten.



Nach Angaben der Internationalen Energie Agentur IEA wird der weltweite Energiehunger zu 35 Prozent aus Erdöl gestillt. Doch die regenerativen Energiequellen tragen auch bereits 12,7 Prozent dazu bei. An der Stromerzeugung liegt ihr Anteil sogar schon bei 18,4 Prozent – Tendenz steigend. Bild: M. Brake

Die sich beschleunigenden Energiepreisschwankungen und -steigerungen sind ein erstes Anzeichen dafür, dass die Nachfrage an fossilen Energieträgern gegenüber dem verbleibenden Angebot zunimmt. Ein Wechsel zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise, die nur so viele Ressourcen verbraucht, wie uns die Sonne im selben Zeitraum liefert, und die das globale Ökosystem, dessen Teil sie ist, nicht zerstört, ist also notwendig.

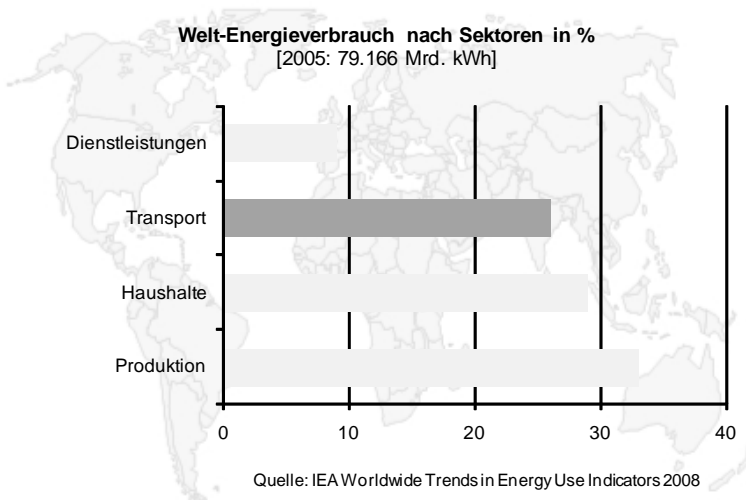
Nehmen wir diesen heute in Angriff, kann der Übergang zum regenerativen Zeitalter gleitend und ohne gravierende Brüche erfolgen. Denn ebenso wenig wie die konventionellen Energieträger von einem Tag zum anderen ausfallen werden, können regenerative Energieträger von heute auf morgen den gesamten Bedarf decken. Dazu müssen sich erst über einen gewissen Zeitraum die notwendige Infrastruktur sowie vor allem auch ein verändertes Bewusstsein und Verhalten entwickeln.

Es wird einen Übergangszeitraum geben, während dessen vorhandene Infrastrukturen wie Strom- und Tankstellennetze, Speicher oder Verkehrswege für fossil und regenerativ gewonnene Energie gemeinsam genutzt werden. Weiter steigende Preise aufgrund hoher Nachfrage bei stagnierendem und schließlich sinkendem Angebot fossiler Energieträger werden dazu führen, dass regenerative Energieträger schneller konkurrenzfähig und wirtschaftlich werden und so allmählich die Energieversorgung übernehmen. Im Übergangszeitraum werden auch konventionelle Energieträger effizienter

eingesetzt werden, als Synergieeffekte werden die hierbei entwickelten Techniken auch bei der Nutzung regenerativer Energie Anwendung finden.

Zwischen 1990 und 2005 stieg der Weltenergieverbrauch insgesamt um 30 Prozent. China legte um 98 Prozent zu, die USA im gleichen Zeitraum um 21 Prozent. Der Primärenergieverbrauch der Europäischen Union stieg um 9 Prozent. Durchschnittlich stieg der weltweite Primärenergieverbrauch in den letzten 10 Jahren so um 1,89 Prozent jährlich, das entspricht einer Verdoppelung des weltweiten Energieverbrauchs alle 38 Jahre und ist alles andere als zukunftsfähig. Die vorhandenen fossilen Energieträger werden vielmehr in weiter steigendem Tempo verbraucht.

Zum weltweiten Energieverbrauch tragen die Kernenergie 6 Prozent, das Erdgas 21 Prozent, die Kohle 25 Prozent bei. Erdöl ist der wichtigste Energieträger mit einem globalen Anteil von 35 Prozent. Sein Jahresverbrauch stieg von 1990 und 2005 sogar noch um 54 Prozent. Besonders die Abhängigkeit des Verkehrssektors vom Öl ist groß, Ölprodukte machen hier 99 Prozent des Verbrauchs aus. Während Straßen-, Flugverkehr und die Schifffahrt heute praktisch gänzlich von Erdölprodukten abhängig sind, setzen die Bahnen weltweit immerhin zu 12 Prozent Elektrizität als Antriebsenergie ein.



Nach Angaben der IEA verbraucht Mobilität mit 26 Prozent mehr als ein Viertel des gesamten Weltenergiebedarfs. Zum Vergleich: Die weltweite Güterproduktion verbraucht mit 33 Prozent nur wenig mehr. Bei derzeitigem Wachstum verdoppelt sich der weltweite Energieverbrauch alle 38 Jahre.

Bild: M. Brake

In Deutschland ist der Energieverbrauch im Jahr 2007 mit 3855 Milliarden Kilowattstunden (kWh) auf das niedrigste Niveau seit der Wiedervereinigung gesunken. Insgesamt sind es 6,89 Prozent weniger als noch 1990. Damit sinkt der Energieverbrauch in Deutschland allmählich, entgegen dem weltweiten Trend. Der Energieverbrauch entkoppelt sich dabei zusätzlich vom Wirtschaftswachstum. Die sogenannte Energieproduktivität, also der Energieeinsatz im Verhältnis zum erwirtschafteten Bruttoinlandsprodukt, stieg zwischen 1990 und 2007 um 39,7 Prozent. Angesichts endlicher fossiler Energieträger ist aber diese geringe Verbrauchsminderung um nur 0,4 Prozent pro Jahr noch viel zu wenig. Auch in Deutschland ist Erdöl mit 34 Prozent wichtigster Energieträger, Kohle mit 26, Erdgas mit 22 und Kernenergie mit 11 Prozent belegen die Plätze. Die regenerativen Energieträger stellten 2008 7 Prozent bei.

## Umweltschutz

Ein wichtiges Argument für den Wechsel hin zu einer regenerativen Energieversorgung sind die bereits heute vielfach absehbaren Kollateralschäden unseres Hungers nach Energie. In den letzten beiden Jahrzehnten konnten »End-of-Pipe«-Lösungen wie Filter oder Katalysatoren den Ausstoß an Giften und Schadstoffen erheblich reduzieren. Doch einem weiter steigenden Ausstoß an Treibhausgasen ist so nicht beizukommen.

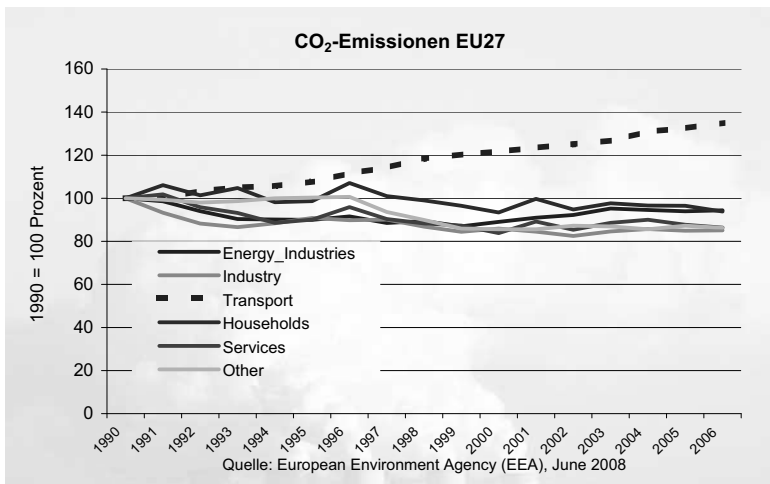
Erste Auswirkungen sind bereits sichtbar. So werden die zunehmend außergewöhnlichen Wetterlagen mit dem Phänomen des »menschengemachten Klimawandels« in Zusammenhang gebracht. Debatten, wie er zu bremsen sei, stehen bereits seit einigen Jahren auf der politischen Tagesordnung.

Die Korrelation zwischen dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch die Verbrennung fossiler Energieträger, der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und steigenden Durchschnittstemperaturen legen einen messbaren Zusammenhang nahe zwischen unserer Art der Energienutzung und den Änderungen des Klimas auf unserem Globus. Eine These, die durch immer mehr Untersuchungsergebnisse gestützt wird. Den aktuellen Kenntnisstand trägt jeweils ein Ausschuss der UNO, das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), zusammen.

Mittlerweile ist durch Messungen gut belegt und daher allgemein anerkannt, dass ein Zusammenhang besteht zwischen der Verbrennung fossiler Energieträger und einem dadurch verstärkten Treibhauseffekt – dass der derzeitige Klimawandel also menschengemacht ist. Die Folge ist eine zunehmende Erwärmung der Atmosphäre, mehr Thermik und damit weitreichende Veränderungen des Klimas.

Seine geopolitischen Folgen sind noch nicht abzusehen. Während sich bei uns zurzeit eine Änderung des Wetters hin zu wärmeren Wintern und regenreicheren Sommern abzeichnet, können in geografisch prekären Regionen Wassermangel und ein steigender Meeresspiegel die Folge sein und Wanderungsbewegungen in Gang setzen, deren geopolitische Folgen wiederum Auswirkungen auf die Verursacherländer des Klimawandels haben werden.

Für Aufsehen sorgte 2008 die Ankündigung Mohamed Nasheeds, des Präsidenten der Malediven, sein Land wolle jetzt mit dem Kauf von Grundstücken in Indien und Sri Lanka beginnen. Der Inselstaat, hierzulande vor allem als Urlaubsziel bekannt, besteht aus Inseln und Atollen, die nur wenig über dem Meeresspiegel liegen, und das Meer ist schon um 20 Zentimeter gestiegen. Wenn der Anstieg in diesem Maße weitergeht, soll die gesamte Bevölkerung umsiedeln.



Beispiel Europäische Union: Mit der Modernisierung der osteuropäischen Industrie sank der CO<sub>2</sub>-Ausstoß zunächst. Seit dem Jahr 2000 stagniert er in allen Wirtschaftsbereichen auf hohem Niveau. Nur der Verkehrssektor scheint gegen alle Bemühungen um Energieersparnis und Effizienzsteigerung immun. Sein CO<sub>2</sub>-Ausstoß nimmt stetig zu, seit 1990 bereits um 40 Prozent. Bild: M. Brake

Stark in der Diskussion ist auch die Feinstaubbelastung durch den Verkehr. Die Einführung des Katalysators hatte zur Folge, dass der energiebedingte Ausstoß der klassischen Luftschadstoffe stark zurückging. Problematisch ist aber noch immer der sogenannte Feinstaub, er besteht aus Partikeln, die kleiner als 0,1 Mikrometer (tausendstel Millimeter) und damit so klein sind,

dass sie teilweise bis in die Lungenbläschen gelangen und dort vom Körper nur sehr langsam oder gar nicht wieder entfernt werden können.

Wegen des linearen Zusammenhangs zwischen Feinstaubbelastung und Erkrankungen gibt es keine unschädliche Feinstaubkonzentration. In Städten beträgt der Anteil des Verkehrs an den Feinstaubemissionen schätzungsweise 20 Prozent. Über die gesundheitliche Relevanz wird gestritten. Die Weltgesundheitsorganisation WHO errechnete allein für Deutschland 70.000 Tote jährlich aufgrund von Feinstaub.

In der Kontroverse um Umweltzonen in den Innenstädten kam der ADAC nach eigenen Berechnungen auf jährlich »nur« 4800 tödliche Lungenkrebs-, Asthma- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen durch Feinstaub aus dem Verkehr. Diese Zahl entspräche dann in etwa so vielen Opfern wie die 4949 Verkehrstoten des Jahres 2007 in Deutschland.

## 1.2 Energiereserven

### Der Countdown läuft

Und wie lange reichen die konventionellen Energievorräte der Welt? Teilt man die aus heutiger Sicht technisch und wirtschaftlich gesichert abbaubaren Reserven durch den aktuellen Verbrauch, ergibt sich die sogenannte statische Reichweite der weltweiten Energievorräte.

Unabhängig voneinander schätzen das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) und der Ölkonzern British Petrol (BP) in seiner Studie Statistical Review of World Energy die Reichweite für Kohle auf rund 150 Jahre, für Erdgas auf 62 Jahre, für Erdöl auf 42 Jahre und für Uran auf 67 Jahre. Bei weiter steigenden Energiepreisen werden auch bis dahin wirtschaftlich nicht gewinnbare Energievorräte rentabel, sodass die Reichweite sich noch ein Stück weiter in die Zukunft ausdehnen wird.

BP nennt insbesondere die kanadischen Ölsandvorkommen und beziffert sie auf 11 Prozent der heute bekannten Ölvorräte. Jedoch bleibt die Endlichkeit der Vorräte erhalten und damit die Notwendigkeit, die Energieversorgung global auf ökologisch verträgliche Weise zu modernisieren.

Die Energievorräte lassen sich unter anderem durch mehr Effizienz bei der Energienutzung strecken, indem mehr Nutzenergie je Primärenergie gewonnen wird. Unter Primärenergie wird die in den eingesetzten Energieträgern wie Öl, Kohle, Gas insgesamt enthaltene Energiemenge verstanden. Nur die letztlich daraus gewonnene sogenannte Endenergie steht für die Nutzung zur Verfügung.