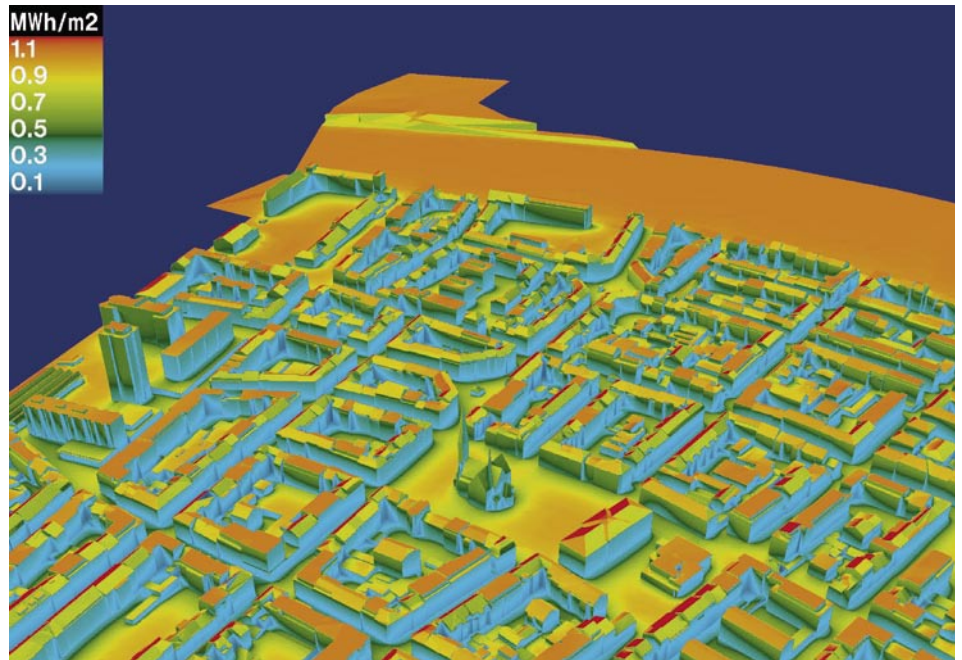


Ressourcenknappheit, Innovation und nachhaltige Entwicklung

Veränderte Ressourcenpreise wirken auf Anpassungen in der Wirtschaft hin, die nicht kostenlos sind und meist auch Zeit benötigen. Oft wird die Anpassungsfähigkeit von Marktwirtschaften in der kurzen Frist überschätzt, in der langen Frist aber eindeutig unterschätzt. Entsprechend wird die Last der Anpassung an andere Energiebedingungen über den langen Zeithorizont überschätzt. Wird einer Wirtschaft genügend Zeit gelassen, können sich zusätzliche Kapitalinputs bilden und die Strukturen ohne übermässige Kosten anpassen. Der Strukturwandel ist für eine nachhaltige Entwicklung zentral, denn ressourcenarme Sektoren können expandieren und so die gesamte Anpassung erleichtern. Allerdings gestaltet sich die Anpassung in ressourcenintensiven Sektoren naturgemäss schwieriger.



Prof. Dr. Lucas Bretschger
 Professor für Ökonomie/
 Ressourcenökonomie am
 CER-ETH Center of Economic
 Research, Department
 Management, Technologie
 und Ökonomie (MTEC),
 ETH Zürich



Die Verringerung des Ressourcenverbrauchs kann nach vorsichtiger Interpretation vorliegender wissenschaftlicher Untersuchungen eine wesentliche Triebkraft der langfristigen wirtschaftlichen Entwicklung sein. Damit sind die Aussichten für ein weiteres Wachstum unter ökologischen Vorzeichen als günstig zu interpretieren. Im Bild: Energie-Atlas des Mattheusquartiers, Basel-Stadt. Bild: Keystone

Ressourcenpreise und Rezessionen

Der jüngste Anstieg der Ölpreise hat allgemein zu Besorgnis über die langfristigen Wachstumsaussichten der Weltwirtschaft geführt. Denn die Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten scheinen zu zeigen, dass Verknappungen beim Ressourcenangebot und hohe Energiepreise negative Auswirkungen auf die wirtschaftliche Dynamik haben. So folgten nach den Ölpreissprüngen von 1973/74, 1978/80 und 1989/90 – mit leichter Verzögerung – weltweite Rezessionen. Entsprechend haben die Finanzminister der G8-Staaten die hohen Ölpreise wiederholt als Bedrohung für die Entwicklung der Weltwirtschaft bezeichnet und die Ölproduzenten aufgefordert, ihre Förderquoten zu erhöhen.

In den Siebzigerjahren trafen die Erdölpreissprünge eine Gesellschaft, die sich nach den Kriegsjahren auf ein gleichmässiges Wachstum der Wirtschaft eingestellt hatte. Allerdings wurden die Volkswirtschaften durch die rasant steigenden Ölpreise rasch aus dem Tritt geworfen. Vergleicht man diese Entwicklung mit den ersten Jahren des

dritten Millenniums, wird klar, dass es deutliche Unterschiede zwischen den zwei Phasen gibt.

Insgesamt hat die Weltwirtschaft den massiven Anstieg der Rohstoffpreise zwischen 2003 und 2008 sehr gut verkraften können. Als Gründe dafür können vor allem folgende angeführt werden:

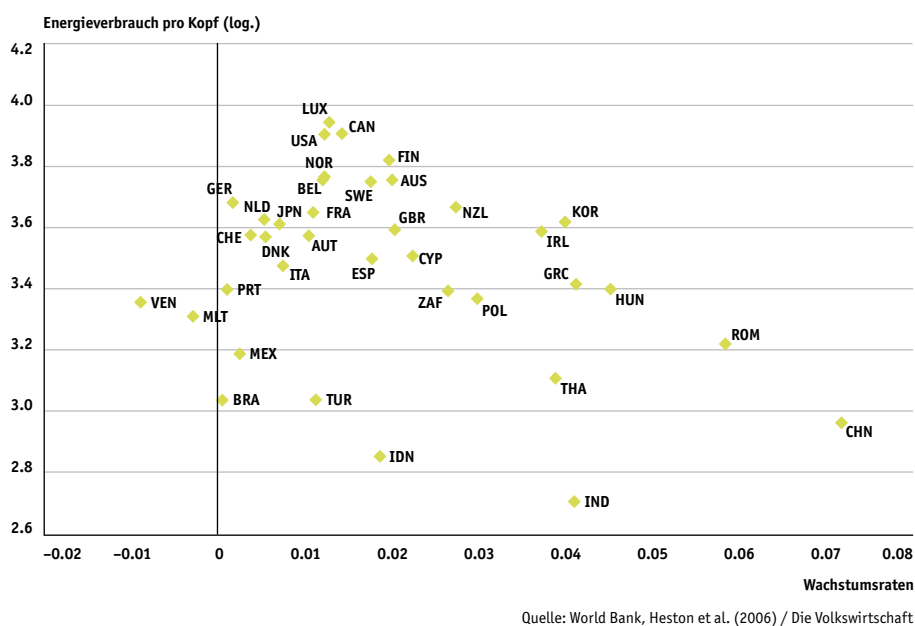
- der Zeitraum des Preisanstiegs war dieses Mal länger;
- die Energieeffizienz der gesamten Wirtschaft hat sich deutlich erhöht;
- die Wirtschaftsstruktur hat sich in Richtung Dienstleistungen entwickelt;
- die aussenwirtschaftlichen Beziehungen wurden in Richtung Osten diversifiziert;
- in den Siebzigerjahren gab es zusätzliche Turbulenzen, wie z.B. auf den Devisen- und Exportmärkten, welche die Entwicklung mitprägten.

Ressourcenverbrauch im internationalen Vergleich

Der Faktor Zeit spielt für den Ressourcenverbrauch eine grosse Rolle. Die Entwicklung neuer Technologien zur Steigerung der Ener-

Grafik 1

Vergleich von Energieverbrauch pro Kopf und Wachstum in 37 Ländern, 2000–2004



steuerung dominiert. Da die internationalen Unterschiede in den Steuersätzen über längere Zeiträume ziemlich konstant geblieben sind, lässt sich aus dem Ländervergleich ablesen, wie sich Wirtschaften längerfristig an hohe bzw. tiefe Energiepreise anpassen.

Bei einer genaueren Analyse des Querschnitts stellt sich heraus, dass verschiedene Länder mit hohen Energiepreisen – wie z.B. Japan – wirtschaftlich recht erfolgreich waren, während viele Energie-Tiefpreisländer – vor allem weniger entwickelte Erdölländer wie Nigeria oder Venezuela – anhaltend niedrige Wachstumsraten aufweisen. Grafik 1 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Energieverbrauch pro Kopf und dem Wachstum im Durchschnitt des Zeitraums 2000–2004 für 37 wirtschaftlich führende Staaten. Die Gegenüberstellung ergibt eine Streuung der Beobachtungen, wobei die einfache Korrelation (der durchschnittliche Zusammenhang) zwischen Energieverbrauch und Wachstum leicht negativ ist. Allerdings ist zu beachten, dass wirtschaftliche Zusammenhänge immer mehrdimensional sind, was in diesem Fall bedeutet, dass es andere (und wichtigere) Erklärungen für Wachstumsunterschiede zwischen den Ländern gibt als die Energie. Einer der Gründe für den gefundenen negativen Zusammenhang liegt z.B. darin, dass einige Volkswirtschaften mit hohem Aufholpotenzial und daher hohem Wachstum – wie Indien und China – weniger Energie pro Kopf verbrauchten als reichere Länder. Immerhin zeigt die Grafik, dass die einfache Gleichung «weniger Energie = weniger Wachstum» nicht stimmen kann.

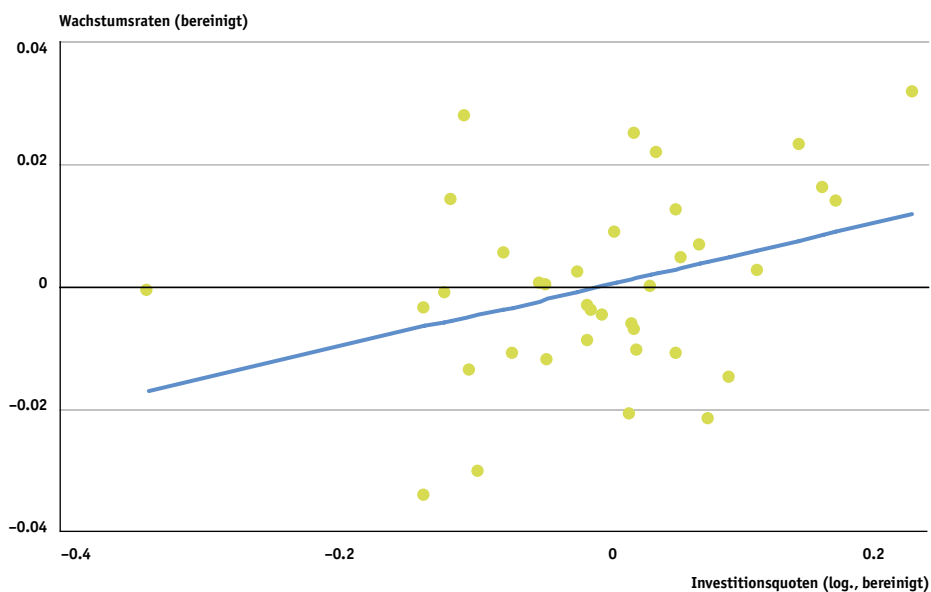
Wachstumsszenarien

Wachstum wird grundsätzlich durch die Anhäufung (Akkumulation) von Kapital bestimmt, das sich aus physischem Kapital (Maschinen, Ausrüstung, Bauten) sowie Wissens- und Humankapital zusammensetzt.¹ Die Zunahme an verfügbarem Kapital hat in den letzten zwei Jahrhunderten in vielen Ländern zu einer bis dahin nie beobachteten Zunahme des Wohlstands geführt. Aus den Daten sollte damit ein positiver Einfluss der Investitionen auf das Wachstum ersichtlich sein. Dasselbe gilt entsprechend für die Innovationstätigkeit, welche das Wachstum ebenso fördert. Hingegen gilt das Erreichen von hohen Wachstumsraten normalerweise als umso schwieriger, je höher das Einkommensniveau eines Landes liegt.

Grafik 2 zeigt den Einfluss der Investitionsquoten auf die Wachstumsraten in denselben 37 Ländern, wenn die zusätzlichen Einflussfaktoren Forschungsausgaben und Einkommensniveau konstant gehalten wer-

Grafik 2

Einfluss der Investitionsquote auf das Wachstum in 37 Ländern, 2000–2004



Anmerkung: Die Faktoren Einkommen pro Kopf und Anteil der Forschungsausgaben am Einkommen wurden konstant gehalten.

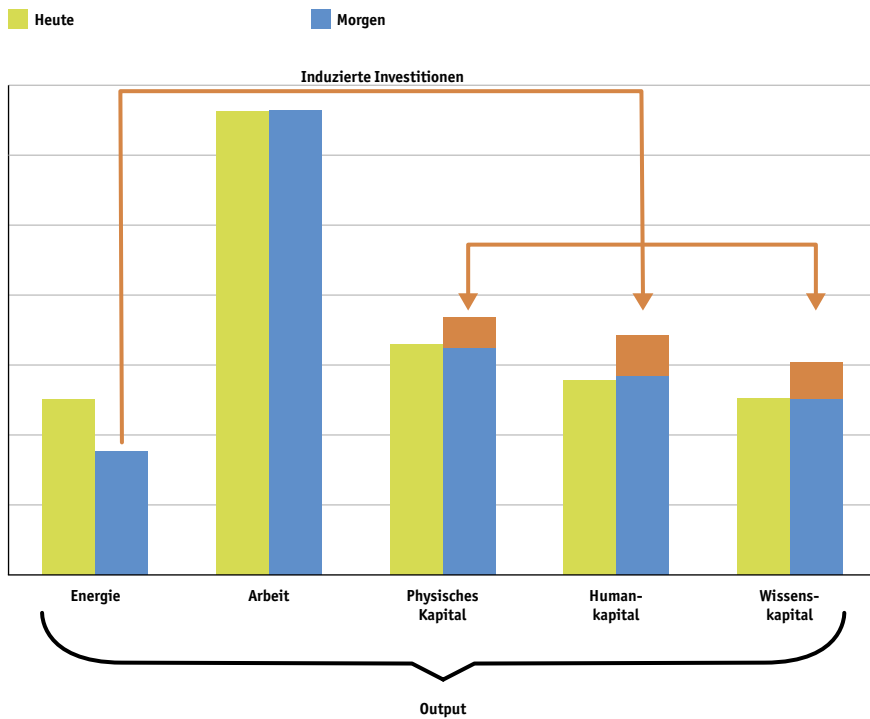
Quelle: Heston et al. (2006), OECD (GERD-Daten) / Die Volkswirtschaft

gieffizienz braucht Zeit, ebenso der Ausbau von Marktstellungen und die Diversifikationsstrategien. Daher sollte die Ressourcenknappheit (bzw. die hohen Energiepreise) nicht allein in der kurzen Frist analysiert werden. Neben historischen Analysen eignet sich für den Vergleich langfristiger Wirkungen auch der internationale Querschnitt, d.h. der Vergleich von verschiedenen Ländern. Die Ressourcenpreise sind im Ländervergleich stark von der länderspezifischen Be-

1 Vgl. Bretschger (1999).

Grafik 3

Theorie der induzierten Kapitalbildung



Quelle: Bretschger / Die Volkswirtschaft

den. Diese mehrdimensionale Analyse wird mit Hilfe eines geeigneten statistischen Verfahrens durchgeführt, der so genannten multiplen Regressionsanalyse. Aus der Grafik wird ersichtlich, dass der Einfluss der Investitionen auf das Wachstum unter diesen Annahmen klar positiv ist. Allerdings ist diese Aussage wieder ein internationaler Durchschnitt; d.h. für einzelne Länder kann der Effekt schwächer oder stärker sein.

Wie hängt aber die Akkumulation des Kapitals und der verschiedenen Kapitalarten vom Ressourcenverbrauch ab? Wird es in der Zukunft bei einem geringeren Ressourceneinsatz tiefere oder höhere Wachstumsraten geben? Grundsätzlich sind zwei Szenarien denkbar: Das erste Szenario beruht auf der Annahme, dass teure Energie und Energiesparen zu einer grösseren Kapitalbildung führen, womit sich eine zunehmende Entkoppelung der Einkommensentwicklung vom Ressourcenverbrauch ergibt. In diesem Fall kann Kapital – vor allem spezialisiertes Wissenskapital – natürliche Ressourcen wirkungsvoll ersetzen. Beispiele sind der Passivhausstandard mit minimaler Energiezufuhr oder Autos mit geringem Treibstoffverbrauch. Die Effekte können aber viel weiter gehen, wenn sich z.B. Siedlungsstrukturen, sektorale Strukturen oder Handelsströme an höhere Energiepreise anpassen. In den Siebzigerjahren wurden die grossen Potenziale zur Anpassung an höhere Energiepreise

deutlich sichtbar, gerade auch in den USA. Die Bemühungen haben sich allerdings stark verflacht, als die Energiepreise wieder sanken und sich die Wirtschaftslage verbesserte. Wurde der auf intensiven Umweltverbrauch angelegte Lebensstil von gewissen politischen Gruppen unlängst noch als «nicht verhandelbar» bezeichnet, hat sich die Mentalität nun wieder deutlich gewandelt – insbesondere in Kalifornien, das in der Umweltpolitik schon des Öfteren eine Vorreiterrolle übernommen hat.

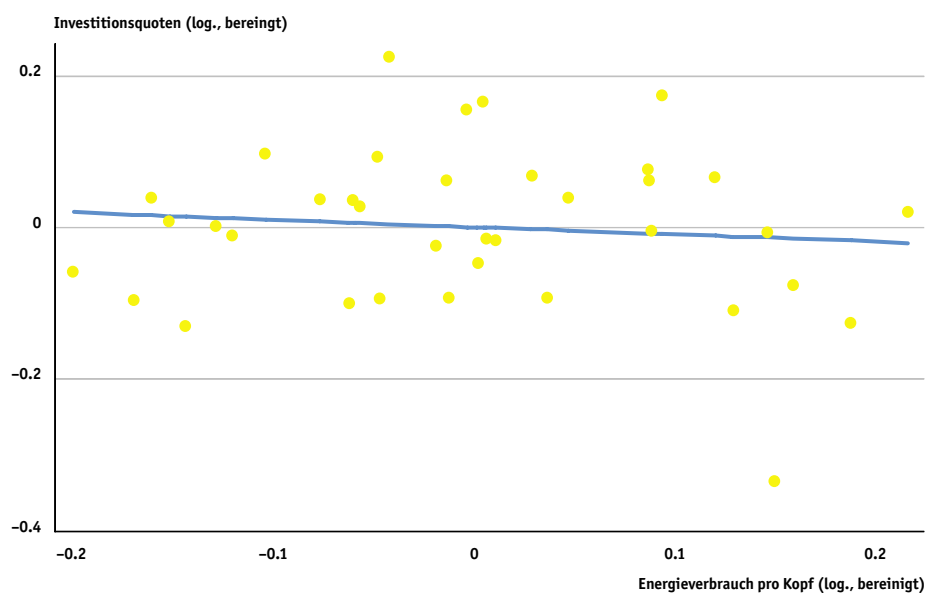
Das zweite Szenario geht von einer weniger flexiblen Wirtschaft aus. Aus dieser Sicht wird prognostiziert, dass sich Kapital und Einkommen parallel zum Ressourcenverbrauch entwickeln und entsprechend zurückgehen werden, wenn die natürlichen Ressourcen knapper werden. Der Grund liegt vor allem darin, dass höhere Ressourcenpreise zu grösseren Ausgaben für Ressourcen führen, womit weniger Mittel für Investitionen zur Verfügung stehen. Eine solche Vorstellung entspricht der seinerzeitigen Prognose des Club of Rome.² Darin wurde gefolgert, dass jeder Tag mit weiterem Wachstum das Weltsystem näher an seine fixen Grenzen treibt. Ohne eine Mässigung der Wirtschaft, so wurde argumentiert, würden sich die Gefahren des Zusammenbruchs vergrössern. Damit wird eine begrenzte Substituierbarkeit des Naturkapitals durch akkumuliertes Kapital unterstellt, also eine negative Reaktion der Investitionen in Kapital, wenn sich der Ressourceneinsatz vermindert.

Induzierte Investitionen

Neben dem physischen Kapital werden Human- und Wissenskapital für das Wachstum in modernen Wirtschaften immer wichtiger. Neues Wissen baut auf altem auf. Technisches Know-how wird mit organisatorischem und institutionellem Wissen verknüpft, und zwar in jeder spezifischen Situation auf andere Art und Weise. Im Gegensatz zu den Rohstoffen gehen beim Wissen die Vorräte nicht aus. Der Wissensaustausch funktioniert anders als der Gütertausch, denn viele können dasselbe Wissen gleichzeitig produktiv einsetzen. Es gibt derzeit keine begründete Vermutung einer globalen Begrenzung der weiteren Wissensvermehrung.

In der Ressourcendiskussion sind bei der Wissensbildung die so genannten induzierten Investitionen speziell zu beachten. Schon in den Dreissigerjahren entwickelte Sir John Hicks die Theorie des induzierten technologischen Wandels.³ Er postulierte, dass eine Änderung der relativen Preise der Produktionsfaktoren Anreize vermittelt, zusätzliche

Grafik 4

Einfluss des Energieverbrauchs pro Kopf auf die Investitionsquote in 37 Ländern, 2000–2004


Anmerkung: Die Faktoren Einkommen pro Kopf, Anteil der Forschungsausgaben am Einkommen und Bevölkerungszahl wurden konstant gehalten.

Quelle: World Bank, Heston et al. (2006) / Die Volkswirtschaft

Innovationsanstrengungen bei dem Produktionsfaktor zu unternehmen, der relativ teurer geworden ist. Im aktuellen Kontext würde dies bedeuten, dass steigende Energiepreise über ausgelöste Innovationen zu einer zusätzlichen Erhöhung der Energieeffizienz führen.

Grafik 3 zeigt schematisch, wie der Output in einer Volkswirtschaft von den Inputs Energie, Arbeit und Kapital (in drei Ausprägungen) abhängt. Im Vergleich zwischen zwei Zeitpunkten (heute und morgen) ist ein sinkender Energieverbrauch dargestellt. Sorgt der abnehmende Einsatz der Energie für induzierte Investitionen, ergibt sich ein Zuwachs an Kapital, der – je nach Marktanreizen – über die verschiedenen Kapitalarten verteilt ist. Als Resultat wird «morgen» im Vergleich zu «heute» kapitalintensiver und energieextensiver produziert. Das ermöglicht einen konstanten oder sogar steigenden Output, garantiert ihn aber nicht. Die Stärke der verschiedenen Effekte muss über geeignete empirische Verfahren ermittelt werden.

Was zeigt der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Investitionstätigkeit im internationalen Vergleich? Ohne die Berücksichtigung von weiteren Determinanten der Investitionsquoten ist der Streubereich ziemlich gross, und es wird keine klare Korrelation ersichtlich. Wird aber berücksichtigt, dass das Einkommensniveau, die Forschungsintensität und die Grösse einer Wirtschaft ebenfalls einen Einfluss auf die Investitionen haben, wird der Zusammenhang leicht negativ, wie in *Grafik 4* darge-

stellt. Mit anderen Worten: Wenn andere Effekte konstant gehalten werden, wird etwas mehr investiert, sobald die Energie knapper wird.⁴

Für das Human- und Wissenskapital können ähnliche statistische Aussagen gefunden werden. Werden demnach zusätzliche Effekte konstant gehalten, sind die Korrelationen von allen Arten der Kapitalinvestitionen mit dem Energieverbrauch leicht negativ. Zur Abschätzung des induzierten technischen Fortschritts sind auch Beispiele aus der Praxis hilfreich. Die Internationale Energieagentur (IEA) betont beispielsweise, dass ein erhebliches Potenzial für die Verbesserung der Energieeffizienz existiert, insbesondere in den energieintensiven Sektoren.⁵ Die Auswirkungen der Energiepreise auf energie-nahe Innovationen lassen sich am Beispiel Ungarns zeigen, das als eines von wenigen Ländern über detaillierte Forschungsdaten verfügt: Die Forschungsausgaben im Bereich der Energie stiegen in der Zeit der Energiepreis-Hausse von 2001 bis 2005 um rund 300% – also weit mehr als die allgemeinen Forschungsaufwendungen. Damit kann die Hypothese der induzierten Investitionen von Hicks gestützt werden; allerdings sind die Effekte im internationalen Durchschnitt nicht sehr stark. Dieser Befund könnte damit zusammenhängen, dass seit den Siebzigerjahren die Energieproblematik etwas in den Hintergrund geriet und erst seit 2003/04 wieder an Intensität gewonnen hat. Es ist daher notwendig, die weitere Entwicklung zu verfolgen.

Was leistet der Markt?

Jeden Tag werden in einer modernen Wirtschaft milliardenfache Zuteilungsprozesse über den Preismechanismus gesteuert. Das Gesetz der Nachfrage, wonach bei höheren Preisen weniger von einem Gut gekauft wird als bei niedrigeren Preisen, ist empirisch gut gestützt, gerade auch beim Ressourcenverbrauch. Jedoch wird die Effizienz der Märkte oft bezweifelt. Da Energie im täglichen Leben ein sehr spürbarer Input ist, versteht sich der Wunsch, dass sie in genügendem Ausmass jederzeit und sicher zur Verfügung steht. Die auf den Märkten übliche Regulierung von Angebot und Nachfrage durch die Preise und die fortgeschrittene Internationalisierung erscheinen einigen nicht als ausreichend. Es hat sich aber gezeigt, dass die Nachfrage auch bei der Energie systematisch auf die Preise reagiert, genau wie es die Theorie voraussagt. Ebenso ist der Energiehandel – insbesondere in der Schweiz – zu einem blühenden Wirtschaftszweig herangewachsen. Die täglich beobachteten Preisschwankungen und Arbi-

2 Vgl. Meadows et al. (1972).

3 Vgl. Hicks (1932).

4 Für detaillierte statistische Ergebnisse zu diesem Zusammenhang vgl. Bretschger (2006).

5 Vgl. IEA (2008).

tragegeschäfte lassen auf ein sehr gut funktionierendes Marktsystem schliessen.

In der Energieidebatte haben sich in letzter Zeit einige Mythen bezüglich des Marktverhaltens gebildet, die einer genaueren Betrachtung nicht standhalten. So kann gezeigt werden, dass sich Individuen im Umgang mit natürlichen Ressourcen genau so verhalten wie in anderen Bereichen und nicht etwa besonders inkonsequent sind. Es ist zu berücksichtigen, dass energieintensive Produkte (z.B. grosse Autos) wie alle anderen Güter immer auch Eigenschaften aufweisen können, die besonders hoch in der Konsumentengunst liegen. Es ist auch nicht generell plausibel, dass eine Verminderung der inländischen Energieproduktion zu Versorgungslücken und einer geringeren Versorgungssicherheit führt. Die induzierten Investitionen fallen im Inland an. Zudem ist die Wirtschaft in vielen Bereichen äusserst stark internationalisiert und wird dennoch ohne Lücken und sicher versorgt. Zentral für die Versorgung sind vor allem Diversifikation und Flexibilität.

Allerdings können Märkte nicht reibungsfrei funktionieren, wenn Externalitäten vorliegen, d.h. wenn Unbeteiligte durch Tätigkeiten geschädigt oder bevorzugt werden, ohne dass eine Abgeltung über den Markt stattfindet. Externalitäten sind ein klassisches Beispiel von Marktversagen. Mit einigem Recht wurde festgestellt, dass das Klimaproblem weltweit das bisher bedeutendste Beispiel von Marktversagen darstellt. Nur durch eine Internalisierung der externen Effekte kann das Versagen der Märkte beseitigt werden. Im Falle des Klimas müssen staatliche und sogar überstaatliche Stellen und Kooperationen diese schwierige Leistung erbringen.

Nachhaltige Entwicklung?

Zentral in der Debatte über die Nachhaltigkeit ist die Forderung, dass die Lebensbedingungen künftiger Generationen mindestens dem heutigen Niveau entsprechen sollten.⁶ Damit wird eine Fairness-Bedingung für den Generationenvergleich formuliert. Die Lebensbedingungen bestehen dabei aus verschiedenen Komponenten, vor allem aber aus dem materiellen Wohlstand und dem Zustand der natürlichen Umwelt. Steigende Ressourcenpreise helfen, das Naturkapital zu schonen und eine Anpassung an eine ressourcenarme Produktion zu ermöglichen. Höhere Ressourcenpreise führen zu steigenden Forschungsanstrengungen und zur Erhöhung des Potenzials, Wissen von reichen in arme Länder zu transferieren. Dadurch können Entwicklungsimpulse ausgelöst werden, was ver-

teilungspolitisch erwünscht ist. Jedoch werden hohe Energiepreise oft als ungerecht dargestellt, da sie die Armen der heute lebenden Bevölkerung scheinbar mehr belasten. Der empirische Befund ist allerdings ein anderer: Im internationalen Vergleich ist in Ländern mit niedrigen Energie- und Rohstoffpreisen die Verteilung von Einkommen und Vermögen keineswegs gleichmässiger als in den anderen Staaten. Es ist eher umgekehrt.

Durch die Reflektion der ökologischen Knappheiten in den Marktpreisen und dadurch induzierte Innovationen kann eine Überwindung der Abhängigkeit des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch gelingen. Die Grenzen der Leistungserstellung der Wirtschaft werden durch die Verfügbarkeit der Inputs und vor allem von deren Produktivität bestimmt, die nur mit technischen Neuerungen wachsen kann. Fossile Energieträger müssen nicht zwingend durch neue Energieträger wie beispielsweise Biobrennstoffe abgelöst werden: Der zunehmende Einsatz von (Wissens-)Kapital ist in vielen Fällen effizienter. Das Bevölkerungswachstum ist dabei eine weit weniger grosse Bedrohung für die Nachhaltigkeit, als gemeinhin angenommen wird, weil das für die Nachhaltigkeit zentrale Wissen in sehr arbeitsintensiven Prozessen gewonnen wird. Die Arbeit wurde deshalb auch schon als «ultimative» Ressource bezeichnet.

Ressourcenknappheit als mögliche Triebfeder

In der langen Frist werden wir in jedem Fall mit weniger Ressourcen auskommen müssen als bisher, da die fossilen Energieträger nach und nach wegfallen werden. Die Verringerung des Ressourcenverbrauchs muss dabei nicht eine Behinderung sein, sondern kann sich als wesentliche Triebkraft der langfristigen Entwicklung erweisen, wenn sie die Kapitalakkumulation geeignet in Gang bringt und in Schwung hält. Eine genügende Menge induzierter Investitionen ist für die nachhaltige Entwicklung zentral. Eine sehr vorsichtige Auswertung der bisher vorliegenden empirischen Ergebnisse ergibt, dass negative Auswirkungen von sinkenden Energiemengen auf die Bildung von Kapital in den Daten nicht ersichtlich sind. Dies gilt sowohl für das physische Kapital als auch für Human- und Wissenskapital. Damit sind die Aussichten für ein weiteres Wachstum unter ökologischen Vorzeichen als günstig zu interpretieren. ■

Kasten 1

Literatur

- Bretschger, Lucas (1999): *Growth Theory and Sustainable Development*, Cheltenham, UK and Northampton, MA, US: Edward Elgar.
- Bretschger, Lucas (2006): *Energy Prices, Growth, and the Channels in Between: Theory and Evidence*, Economics Working Paper Series 06/47, ETH Zurich.
- Heston, Alan, Robert Summers and Bettina Aten (2006): *Penn World Table Version 6.2*, Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania.
- Hicks, John (1932): *The Theory of Wages*, Macmillan, London.
- IEA (2008): *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050*, www.iea.org.
- Meadows, Donella, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, and William W. Behrens III (1972): *Die Grenzen des Wachstums – Berichte des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Deutsche Verlags-Anstalt, München.
- OECD: *Gross Domestic Expenditure on Research and Development*, <http://puck.sourceoecd.org>.
- Pittel, Karen (2002): *Sustainability and Endogenous Growth*, Cheltenham, UK and Northampton, MA, US: Edward Elgar.
- World Bank: *World Development Indicators*, <http://web.worldbank.org>.

6 Vgl. Pittel (2002).