

# **Energieumwandlung, Entropieproduktion und Wirtschaftswachstum: Warum die ökosoziale Steuerreform notwendig ist<sup>1</sup>**

*Reiner Kimmel*

Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Universität Würzburg

## **1. Energie und Entropie**

„Nichts kann auf der Welt geschehen ohne Energieumwandlung und Entropieproduktion“ sagen der erste und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, das „Grundgesetz des Universums“. Dabei ist Energie die in Materie und Kraftfeldern gespeicherte Fähigkeit, Veränderungen in der Welt zu bewirken, und Entropie ist das physikalische Maß für Unordnung. Deshalb ist Energienutzung janusköpfig: Sie schafft materiellen Wohlstand und belastet die Umwelt. Werkeln doch für jeden Deutschen in unseren Maschinen und Verbrennungsanlagen etwa 45 Energiesklaven, von denen jeder rein rechnerisch so viel leistet wie ein Schwerstarbeiter. Deren Energieumwandlung in Arbeit und Wärme geht unvermeidbar einher mit Entropieproduktion, die ihrerseits mit Emissionen von Teilchen und Wärme verkoppelt ist. Sind diese Emissionen zu stark, wirken sie als Umweltbelastungen. Große Sorgen bereiten die Kohlendioxyd-Emissionen aus der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas wegen des anthropogenen Treibhauseffekts. Zudem vermindert die Entropieproduktion den *Exergie* genannten, wertvollen, für jede Energiedienstleistung verwendbaren Anteil einer Energiemenge und erhöht den wertlosen, *Anergie* genannten Anteil, der z.B. aus Wärme bei Umgebungstemperatur besteht. Damit sind Effizienzsteigerungen der Energieumwandlungsprozesse unüberwindbare physikalische Grenzen gesetzt.

## **2. Energie und Wirtschaftswachstum**

„Energiesparen ist die beste Energiequelle“ - darin sind sich alle einig. Denn mit verringertem Energieeinsatz für Produktion und Konsum sinken die Emissionen. Zudem erinnerten schon die Energie-Wirtschaftskrisen im Gefolge der ersten beiden Ölpreisexplosionen 1973-1975

---

<sup>1</sup>Impulsreferat für das Fachgespräch „Auf dem Weg in eine vom Wachstumszwang befreite Gesellschaft“ des Forums ökologisch-soziale Marktwirtschaft e. V. am 8. Oktober 2012 in Berlin

und 1979-1981 Produzenten und Konsumenten daran, dass Energie kein praktisch freies Gut ist, das man unbekümmert verschwenden kann. Begünstigt worden war Verschwendung seit Anfang der 1950er Jahre durch das Sinken des Weltmarktpreises für ein Barrel (159 Liter) Rohöl dank der Erschließung der riesigen Ölfelder im Nahen Osten und Amerika. In inflationsbereinigten US Dollars des Jahres 2009 lag der Ölpreis Ende der 1960er Jahre beim historischen Tief von 10 Dollar. Doch in zwei Sätzen sprang er danach auf knapp 100 Dollar in 1981, das Allzeithoch des 20. Jahrhunderts. Anschließend stürzte er ab und lag Mitte der 1990er Jahre wieder nahe beim Niveau von 1973. Dann begann ein Neuanstieg, der 2009 aufs Neue fast 100 Dollar erreichte. Seitdem oszilliert der Ölpreis je nach Weltkonjunktur um diese Marke.

Die erste und die zweite Ölpreisexplosion gingen auf politisch bedingte Ölverknappungen im Gefolge des Jom-Kippur-Kriegs und des Irak-Iran Kriegs zurück. Sie hatten schwere Einbrüche der Konjunktur in allen westlichen Industrienationen zur Folge. Der ab 2005 besonders starke Anstieg des Ölpreises mag auch für die sich seit 2007 entwickelnde Wirtschaftskrise verantwortlich und ein Vorbote von „Peak Oil“ sein. Gemäß der „Peak Oil (and Gas)“-Theorie werden die Fördermengen von konventionellem Öl und Erdgas zwischen den Jahren 2010 und 2020 ihr Maximum erreichen und dann unvermeidlich abnehmen<sup>2</sup>.

Energiepreissteigerungen signalisieren Energieverknappung. Sollte uns letztere Sorgen machen? Gemäß der herrschenden Volkswirtschaftslehre ist die Antwort eindeutig „Nein“, denn ihr zufolge gibt es für alles Ersatz, für Energie z.B. Kapital (im Sinne von Maschinen und Anlagen). Diese Auffassung formulierte der Nobelpreisträger der Ökonomie Robert A. Solow in einem Artikel über natürliche Ressourcen, insbesondere Energie, folgendermaßen: „Die Welt kann im Effekt ohne natürliche Ressourcen zurechtkommen.“ Allerdings fuhr er warnend fort: „...falls die Wertschöpfung pro Ressourceneinheit begrenzt sein sollte -- eine obere Grenze der Produktivität nicht überschritten werden kann und diese Grenze nicht mehr fern von dem ist, wo wir stehen -- dann ist die Katastrophe unausweichlich.“

Selbstverständlich begrenzt Entropieproduktion die Energieproduktivität. Kommt es deshalb zur Katastrophe?

---

<sup>2</sup> Zum aktuellen Stand der „Peak Oil (and Gas)“-Forschung siehe die Website der „Association for the Study of Peak Oil 2012“-Konferenz in Wien, [www.aspo2012.at/conference-presentations](http://www.aspo2012.at/conference-presentations).

Bisher sieht die (neoklassische) Standard-Ökonomie keinen Anlass zur Sorge. Schließt sie doch aus ihren Verhaltensannahmen über das Streben ins ökonomische Gleichgewicht, d.h. aus „Profitmaximierung“ oder „Maximierung der intertemporalen Wohlfahrt“, dass die Produktionsmächtigkeit eines Produktionsfaktors genau dessen Anteil an den Gesamtkosten für die Wertschöpfung entsprechen müsse. Die Produktionsmächtigkeit (ökonomisch: *Produktionselastizität*) eines Produktionsfaktors gibt - grob gesprochen - das prozentuale Wachstum der Wirtschaft an, wenn der Produktionsfaktor um ein Prozent wächst, während die anderen Faktoren konstant bleiben. **In den großen Industrieländern betrug während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts die Anteile an den Kosten zur Erzeugung des Bruttoinlandsprodukts für die Energie  $E$  nur rund 5 Prozent, fürs Kapital  $K$  etwa 25 bis 30 Prozent und für die Arbeit  $L$  sogar 65 bis 70 Prozent.** Folglich hätte der Rückgang des Energieeinsatzes um bis zu 7 Prozent während der ersten Energiekrise 1973-1975 nur einen Rückgang der Wirtschaftsleistung um 0,35 Prozent verursachen können, während die tatsächlichen Konjunkturerbrüche in den Industrieländern bis zu zehnmal größer waren. Auch das beobachtete *langfristige* Wirtschaftswachstum der Industrieländer kann nicht mit den neoklassischen Produktionselastizitäten reproduziert werden. Es bleibt ein großer, unerklärter Rest von meist mehr als 50 Prozent. Gedeutet wird dieses berühmte „Solow Residuum“ - "the Holy Grail of Economics" - durch Begriffe wie „technischer Fortschritt“ und verwandte Konzepte. Manche sprechen auch von „Manna vom Himmel“.

Doch Produktionselastizitäten sind *nicht* gleich Kostenanteilen. Bei der Herleitung dieser angeblichen Gleichheit wurde übersehen, dass die Kombinationen von Kapital, Arbeit und Energie technologischen Beschränkungen unterworfen sind, derartig, dass die von den Produktionsfaktoren abhängigen Auslastungs- und Automationsgrade des Kapitalstocks 100 Prozent nicht übersteigen können. Berücksichtigt man diese Beschränkungen in den Optimierungsrechnungen (mittels Lagrange-Multiplikatoren und Schlupfvariablen), treten in den Bedingungen für ökonomisches Gleichgewicht *Schattenpreise* zu den Faktorpreisen hinzu. Dadurch wird die Gleichheit von Produktionsmächtigkeiten und Kostenanteilen aufgehoben. Darum müssen die Produktionselastizitäten aus anderen Bedingungen als denen für ökonomisches Gleichgewicht berechnet werden. Hier bieten sich die Differentialgleichungen an, die aus der Standard-Anforderung folgen, dass die Produktionsfunktionen, aus denen man die Wertschöpfung berechnet, nur von den aktuellen

Werten von Kapital  $K$ , Arbeit  $L$  und Energie  $E$  abhängen dürfen und nicht vom Weg zu diesen Werten. Lösungen dieser Gleichungen sind unter anderem die konstanten Produktionselastizitäten der wohlbekannteren energieabhängigen Cobb-Douglas Funktion und die faktorabhängigen Produktionselastizitäten der neueren LinEx-Produktionsfunktion. Letztere hängt *linear* von der Energie und *exponentiell* von den Verhältnissen von Arbeit zu Kapital und Energie zu Kapital ab. Bestimmt man die - unter Umständen zeitabhängigen - freien Parameter der Produktionsfunktion durch Anpassung an die empirischen Zeitreihen der Wirtschaftsentwicklung, unter Berücksichtigung nicht-linearer Beschränkungen, so erhält man für Deutschland, Japan und die USA zwischen 1960 und 2000 gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Empirie bei guten statistischen Gütewerten. Das Solow-Residuum ist verschwunden. Und das wichtigste Ergebnis ist:

**In Deutschland liegt die mittlere Produktionselastizität  
der Energie zwischen 40 und 50 Prozent, die des Kapitals zwischen 30 und 40 Prozent  
und die der Routine-Arbeit zwischen 10 und 20 Prozent.**

In Japan und den USA sind die Verhältnisse ähnlich. Im Gegensatz zur herrschenden Volkswirtschaftslehre ist die Produktionsmächtigkeit der Energie viel größer und die der Arbeit viel kleiner als die jeweiligen Kostenanteile dieser Faktoren.

### **3. Schlussfolgerung: Energiesteuern**

Energie ist billig und trägt viel mehr zu Wertschöpfung und Wirtschaftswachstum bei als die teure menschliche Arbeit. Das erzeugt den Rationalisierungsdruck zur Ersetzung des Faktors Arbeit durch energiegetriebene Maschinen. Es erzeugt auch den Globalisierungsdruck zur Verlagerung von Arbeitsplätzen in die Länder, in denen niedrige Lohnkosten der geringen Produktionsmächtigkeit der Routinearbeit eher entsprechen als in den wohlhabenden Industrieländern. Zudem fördert billige Transportenergie die Globalisierung. Das Resultat sind soziale Probleme und wachsende Emissionen. Darum: Umsteuern mit Energiesteuern!

#### **Quellen:**

Reiner Kümmel: "The Second Law of Economics - Energy, Entropy, and the Origins of Wealth". Springer (The Frontiers Collection), New York, Dordrecht, Heidelberg, London, 2011.

[www.umsteuern-mit-energiesteuern.de/index.html](http://www.umsteuern-mit-energiesteuern.de/index.html)