

Vorwort

Am 24. April 2008 hielt Prof. Dr. Jürgen Mimkes im Physikalischen Kolloquium der Universität Paderborn einen Vortrag über „Differenzialformen, ein neues Werkzeug in der Ökonomie. Von biologischen Modellen zur Ökonophysik“. Prof. Mimkes ist Mitbegründer des Arbeitskreises „Physik sozio-ökonomischer Systeme“ der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Komitee Mitglied der EU COST Action „Physics of Competition and Conflicts“ und hat (seit Pensionierung 2004) international aus seinem Forschungsgebiet vorgetragen:

Physik Department Universität Paderborn (2008)
German Physical Society Spring meeting, Berlin (2008)
Technical Univ. ITBA, Buenos Aires, Argentina (2007)
International Conference on Economics, Ancona, Italy (2007)
International Conference Physics of Risk COST P10, Palermo, Italy (2007)
Sommerschool Univ. of Economics, Sibiu, Romania (2007)
International Workshop on Econophysics-Sociophysics, Kolkata, India (2007)
Physics Department University of Maryland, USA (2006)
International Conference Physics of Risk COST P10, Vilnius, Lithuania
Sommerschool Univ. of Economics, Sinaia, Romania (2006)
American Physical Society Spring meeting, Baltimore, USA (2006)
German Physical Society Spring meeting, Dresden (2006)
Sommerschool Univ. of Economics, Navodari, Romania (2005)
International Workshop on Econophysics-Sociophysics, Kolkata, India (2005)
German Physical Society Spring meeting, Berlin (2005)
Kloster Loccum, Seminar zu Wirtschaft und Politik, Loccum (2005)
International Economics Conference WEHIA, Tokyo (2004)
Max Planck Institut für Ökonomik, Jena (2004)
Fachbereich Ökonomie der Uni Kiel (2004)
International Conference Physics of Risk COST P10, Mallorca, Spain (2004)
International Conference Physics of Risk COST P10, Crete, Greece (2004)
International Conference New Economic Window, Salerno, Italy (2004)
International Conference Physics of Risk COST P10, Nyborg, Denmark (2004)

Prof. Dr. Jürgen Mimkes

Physik Department, Universität Paderborn

Einführung in die Ökonophysik

Eine naturwissenschaftliche Analyse ökonomischer Systeme

Einführung

Ökonomie untersucht Produktion, Verteilung und Verbrauch von Gütern und Dienstleistungen. Es ist ein Gebiet, das jeden angeht, und entsprechend fließen auch die Erfahrungen vieler Wissensbereiche ein, biologische, soziologische, juristische und politische Erkenntnisse. Ökonomie ist mehr eine Philosophie als eine Wissenschaft, die Ideen von Marx oder Keynes haben die Weltpolitik bestimmt, die Schulen aus Österreich oder Chicago beherrschten lange Zeit das Feld [Barro, Bofinger, Solow, Valdes]. Viele entscheidenden Impulse für die Ökonomie kamen von außerhalb, Pareto brachte die Erfahrungen des Ingenieurwesens ein, v. Neumann und Nash haben die Mathematik der Spieltheorie, die Grundlage der modernen ökonomischen Theorie in die Ökonomie eingeführt.

Auch die Physik war schon immer ein Vorbild für die Ökonomie. Jeder Investor würde gern den Kurs einer Aktie so vorherberechnen können wie die Flugbahn eines Balles. Aber während sich der Flug eines Balles „ex ante“ berechnen lässt, bevor der Ball sein Ziel erreicht, kann man Kurse, Preise, Gewinne oder Steuererklärungen immer nur nachher, „ex post“, angeben, wenn man das Geld verdient hat. Das Problem „ex ante“ und „ex post“ ist in der Ökonomie seit langem bekannt, aber es konnte bisher nicht exakt formuliert werden. Es soll im folgenden mathematisch durch exakte

und nicht exakte Differenzialformen beschrieben werden [Cartan; Flanders]. Das Integral nicht exakter Differenzialformen tritt in der Thermodynamik auf, es hängt vom Weg ab und lässt sich nur „ex post“ berechnen, wenn der Integrationsweg bekannt ist. Damit haben Thermodynamik und Statistische Mechanik Vorbildcharakter für die Ökonomie. Diese Eigenschaft wird als Ökonophysik bezeichnet.

Ökonophysik ist ein neues interdisziplinäres Forschungsgebiet. Der Name wurde 1993 von H. E. Stanley geprägt und bezog sich zunächst auf die Untersuchung komplexer Finanzfragen mit Hilfe der in der Physik bekannten mathematischen Methoden [R. N. Mantegna and H. E. Stanley]. Inzwischen hat sich die Ökonophysik weltweit entwickelt und bildet heute eine Brücke zwischen den Gesellschaftswissenschaften und den Naturwissenschaften: Ökonomie, Finanzwesen, Betriebswirtschaft, Politik und Soziologie werden mit Erfahrungen und Methoden der Mathematik, Physik, Chemie, Metallurgie, Meteorologie und des Ingenieurwesens gemeinsam mit Finanz- und Betriebswissenschaftlern, Soziologen, Demographen und anderen Sozialwissenschaftlern untersucht.

Während viele Gesellschaftswissenschaftler die Mathematik noch als Grundlage ihres Faches in Frage stellen, sind Naturwissenschaftler eher der Meinung, dass auch die Gesellschaftswissenschaft auf Mathematik als Sprache der Logik begründet sein muss. Dies ist die Grundidee der Ökonophysik. In der Anwendung mathematisch - physikalischer Prinzipien auf die Ökonomie hat sich dann gezeigt, dass sich Gesellschafts- und Naturwissenschaften nicht nur durch Mathematik beschreiben lassen, sondern dass beide auf der gleichen Mathematik basieren, insbesondere auf Statistik und Differenzialrechnung [Mimkes]. Die Ergebnisse in den Gesellschafts- und Naturwissenschaften sind dabei oft so ähnlich, dass sich die Phänomene der Wirtschaft und Sozialwissenschaften an entsprechenden Beispielen aus der Physik erläutern lassen.

Der natürliche Wirtschaftskreislauf

Ökonomie ist die Beschäftigung mit der Verteilung von Gütern und Dienstleistungen in einer Gesellschaft. Als Vorbild diente den ersten Ökonomen die Versorgung der Zellen eines lebenden Körpers mit Nahrung. Das Modell des natürlichen Wirtschaftskreislaufs geht zurück auf den französischen Arzt und Ökonomen François Quesnay (1694 - 1774), der an den geschlossenen Blutkreislauf des Menschen anknüpft, Abb. 1:

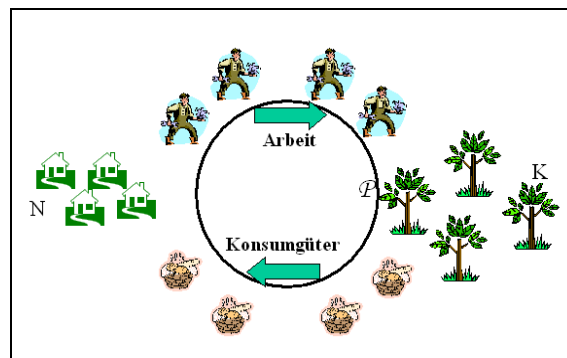


Abb. 1 Das Modell des „natürlichen“ Kreislaufs der Wirtschaft: Die Arbeit der Bewohnern fließt vom Dorf in die Felder. Als Lohn fließen Früchte vom Feld in das Dorf. Dieser Vorgang kann sich zyklisch wiederholen.

Im biologischen Modell des „natürlichen“ Produktionskreislaufes gehen die Bewohner eines Dorfes morgens aufs Feld, um zu arbeiten und bringen abends als Lohn die Feldfrüchte mit nach Hause. Arbeit und Konsumgüter sind direkt korreliert. Wer viel arbeitet, erntet viele Früchte. Wer wenig arbeitet, bringt auch nur wenige Früchte mit nach Hause. Arbeit und Feldfrüchte lassen sich in den gleichen Energieeinheiten messen, in Joule, Kilowattstunden oder Kalorien.

Der moderne Wirtschaftskreislauf

Im modernen Wirtschaftskreislauf gehen Arbeiter oder Angestellte in die Fabrik und montieren Autos oder andere Produkte, Abb. 2.

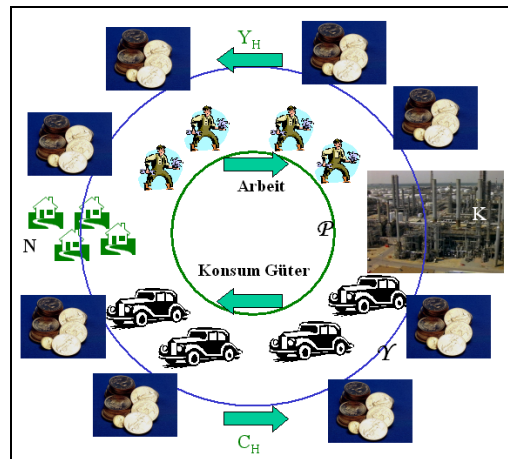


Abb. 2. Moderner Kreislauf der Wirtschaft: Im Produktionskreislauf fließt Arbeit von den Haushalten in die Fabrik. Von der Fabrik fließen Autos als Konsumgüter in die Haushalte.

Im Kreislauf der modernen Produktion fließt die Arbeit von den Haushalten z. B. in die Fabrik. Aus der Fabrik fließen Konsumgüter wie Autos in die Haushalte. Diese sind aber nicht mehr der Lohn der Arbeit. Der Lohn fließt in einem zweiten, entgegengesetzten Kapitalkreislauf von der Industrie zu den Haushalten, und die Konsumkosten fließen von den Haushalten zurück in die Industrie,

$$\oint \delta Y = -\oint \delta P \quad (1).$$

Der Kapitalkreislauf (δY) misst den Kreislauf der Produktion (δP).

Arbeit wird mit Lohn, Konsumgüter mit Konsumkosten bezahlt, im modernen Wirtschaftskreislauf sind Lohn und Konsumkosten entkoppelt. Die Maßeinheit ist jetzt Dollar oder Euro. Dies führt zu einem Umtauschkurs von Arbeit und Energie in Geldwerte, in Dollar oder Euro z. B. auf der Grundlage von Öl- oder Strompreisen.

Das Überlebensprinzip

Die neoklassische Theorie der Ökonomie betrachtet nur den Geldkreislauf.

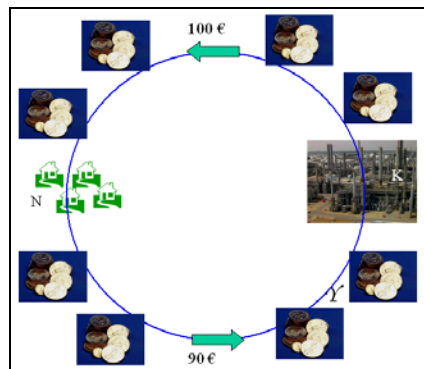


Abb. 3 Die neoklassische Theorie betrachtet nur den Kapitalkreislauf als Maß für den Produktionskreislauf.

Arbeitnehmer erhalten für ihre Arbeit von der Industrie Lohn Y ($= 100$ €) und geben für Konsumgüter die Konsumkosten C ($= 90$ €) aus, die wieder in die Industrie zurückfließen. Sie behalten dann einen Überschuss S ($= 10$ €), den sie sparen können. Wichtig ist, dass die Bilanz positiv ist,

$$\oint \delta Y = Y - C = S > 0 \quad (2).$$

Gl.(2) ist das Überlebensprinzip aller ökonomischen und biologischen Systeme. Nur bei dauerhaftem Gewinn können, Haushalte, Betriebe, Volkswirtschaften wie auch Körperzellen überleben. Das Überlebensprinzip ist der Grund für das permanente Wachstum in der Wirtschaft.

Exakte Differenzialformen und ihre Integrale

Eine exakte Differenzialform in zwei Dimensionen hat immer die Form:

$$dY = (\partial f / \partial x) dx + (\partial f / \partial y) dy = a(x, y) dx + b(x, y) dy \quad (3).$$

Eine exakte Differenzialform wird durch (d) gekennzeichnet, z. B. d Y. Ferner gilt

$$\partial b / \partial x = \partial a / \partial y = \partial^2 Y / \partial x \partial y. \quad (4).$$

Hierbei bedeutet der Ausdruck ∂x partielles Differenzieren nach x bei konstant gehaltenen Werten von y und z. Die Funktion Y(x, y) existiert immer ("ex ante").

Das geschlossene Integral einer exakten Differenzialform (d Y) lässt sich aufteilen in zwei Integrale von (A) bis (B) und von (B) bis (A):

$$\oint dY = \int_A^B dY + \int_B^A dY = \int_A^B dY - \int_A^B dY \equiv 0 \quad (5).$$

Da das Integral nur von den Grenzen (A) und (B) abhängt, ist das geschlossene Integral (5) gleich Null. Das geschlossenen Integral einer exakten Differenzialform (d Y) ist immer gleich Null.

Nicht exakte Differenzialformen und ihre Integrale

Ein nicht exaktes Differenzial in zwei Dimensionen hat immer die Form:

$$\delta Y = a(x, y) dx + b(x, y) dy \quad (6).$$

Das nicht exakte Differenzial ist durch ein (δ) gekennzeichnet, (δY). Für nicht exakte Differenzialform gilt im Gegensatz zu exakten Differenzialen

$$\partial b / \partial x \neq \partial a / \partial y \neq \partial^2 Y / \partial x \partial y. \quad (7).$$

Das geschlossene Integral einer nicht exakten Differenzialform (δY) lässt sich wieder aufteilen in zwei Integrale von (A) bis (B) und von (B) bis (A):

$$\oint \delta Y = \int_A^B \delta Y + \int_B^A \delta Y = \int_A^B \delta Y - \int_A^B \delta Y \neq 0 \quad (8).$$

Das Integral einer nicht exakten Differenzialform hängt nicht nur von den Grenzen (A) und (B) ab, sondern auch vom Integrationsweg! Daher sind geschlossene Integrale einer nicht totalen Differenzialform (δY) niemals gleich Null. Das Integral einer nicht exakten Differenzialform lässt sich immer nur nachher („ex post“) bestimmen, wenn der Integrationsweg bekannt ist. Die Funktion Y existiert nicht „ex ante“, jeder Integrationsweg (i) führt zu einer anderen Funktion Y_i .

Exakte und nicht exakte Differenzialformen sind also eine Lösung für das Problem der Ökonomie, Kurse und Preise nie vorher bestimmen zu können, sondern immer erst nachher, wenn das Geld verdient oder verloren ist. Produktion (δP) und Einkommen (δY) können nur durch nicht exakte Differenzialformen dargestellt werden, wie es in den Gl.(1) und (2) bereits angedeutet ist.

„Ex ante“ und „ex post“ in der Ökonomie

Die geschlossenen Integrale nicht exakter Differenzialformen sind also die Antwort auf das alte ökonomisches Problem: Warum lassen sich Einkommen, Gewinne und Aktienkurse nur nachher („ex post“) und nicht vorher („ex ante“) berechnen? Geld wird durch Produktion verdient. Im Produktionskreislauf steht das vom Weg abhängige Integral für den Produktionsprozess. Jeder neue Produktionsprozess führt zu einem neuen Produkt. Das ist die Grundlage für Konkurrenz in der Wirtschaft. Einkommen und Gewinne sind Integrale, die vom Weg abhängen, die man immer erst nachher berechnen kann, wenn der Produktionsprozess bekannt ist. Die Integralrechnung nicht exakter Differenzialformen führt weg von der einfachen Bilanzbuchhaltung auf ein System von Gleichungen, auf „Hauptsätze“, die man als Grundlage der Ökonomie bezeichnen kann.

Der erste Hauptsatz der Ökonomie

Die Äquivalenz von Geldkreislauf und Kreislauf der Produktion, Gl.(1), lässt sich interpretieren als erster Hauptsatz der Ökonomie:

$$\delta Y = dK - \delta P \quad (9).$$

Die Differenzialformen des Einkommens (δY) und der Produktion (δP) in Gl. (1) sind gleich bis auf ein totales Differenzial ($d K$), dessen geschlossenes Integral nach Gl.(5) ja gleich Null ist. K stellt das Kapital des ökonomischen Systems dar. Die resultierende Gl.(9) lässt sich vergleichen mit dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik, $\delta Q = dE - \delta W$, dem Energiesatz von Wärme (δQ), Arbeit (δW) und innerer Energie ($d E$).

Ökonomen ist der erste Hauptsatz der Ökonomie nicht geläufig, da in der klassischen Ökonomie im allgemeinen nicht mit Differenzialformen gearbeitet wird. Aber Ökonomen können den Aussagen der Gl.(9) zustimmen:

1. der Geldkreislauf misst den Produktionskreislauf.
2. Einkommen (δY) und Produktion (δP) lassen sich durch den Begriff "ex post" charakterisieren.

Der zweite Hauptsatz der Ökonomie

Ein nicht exaktes Differenzial (δY) lässt sich durch einen integrierenden Faktor ($1/\lambda$) in ein exaktes Differenzial ($d F$) umwandeln,

$$d F = \delta Y / \lambda \quad (10).$$

F ist die Produktionsfunktion. Die Bedeutung des integrierenden Faktors λ hängt vom ökonomischen System ab: Auf Märkten ist λ das mittlere Preisniveau, in Gesellschaften ist λ der Lebensstandard, in Volkswirtschaften das Pro Kopf Brutto Inland Produkt, $\lambda = \text{BIP} / \text{capita}$. Gleichung (10) lässt sich umstellen nach δY

$$\delta Y = \lambda d F \quad (11).$$

Der zweite Hauptsatz der Ökonomie entspricht dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, $dS = \delta Q / T$. Der Faktor T ist der integrierende Faktor des ersten Hauptsatzes und führt auf die Entropie S . Der Faktor T bedeutet Temperatur oder mittlere kinetische Energie der Teilchen.

Ökonomen ist auch der zweite Hauptsatz der Ökonomie nicht geläufig, da sie nicht mit Differenzialformen arbeiten. Aber sie Ökonomen können dem Ergebnis des zweiten Hauptsatzes der Ökonomie zustimmen:

1. Jedes ökonomische System besitzt eine Produktionsfunktion F .
2. Das mittlere pro Kopf Brutto Inland Produkt λ ist ein wichtiger Parameter einer Volkswirtschaft.

Die Lagrange Funktion

Die beiden Hauptsätze Gl.(9) und (11) lassen sich zusammenfassen:

$$\begin{aligned}\delta P &= dK - \delta Y = dK - \lambda dF \\ &= dK - \lambda dF - F d\lambda + F d\lambda \\ &= d(K - \lambda F) + \lambda dF = dL + \lambda dF.\end{aligned}\tag{12}$$

L heißt Lagrange Funktion, für sie gilt

$$L = K - \lambda F \rightarrow \text{Minimum!}\tag{13}.$$

Das Optimum eines ökonomischen Systems ergibt sich durch Minimalisierung der Kosten (K) bei maximaler Produktion (F). Der Faktor λ wird auch Lagrange Parameter genannt. Die Lagrange Funktion L entspricht der freien Energie der Thermodynamik, durch die ein thermodynamisches System vollständig bestimmt ist. Also ist durch die Lagrange Funktion L das ökonomische System vollständig bestimmt.

Dividiert man Gl.(13) durch $(-\lambda)$, so erhält man eine weitere Formulierung des Lagrange Prinzips:

$$L' = L / (-\lambda) = F - (1/\lambda) K = F - \lambda' K \rightarrow \text{Maximum}\tag{14}.$$

Das Optimum eines ökonomischen Systems ergibt sich durch Maximalisierung der Produktion (F) bei minimalen Kosten (K). In der Ökonomie wird im allgemeinen die Lagrange Funktion L' verwendet. Durch die Verwendung der Lagrange Funktion kann man bei Optimierungsaufgaben in der Ökonomie Differenzialformen vermeiden. Allerdings enthält die Lagrange Gleichung wieder die Produktionsfunktion F aus dem zweiten Hauptsatz Gl.(10). Daher muss die Produktionsfunktion der klassischen Ökonomie ersetzt werden durch die neue Produktionsfunktion Entropie. Dies wird in einem nächsten Kapitel am Beispiel eines Münchner Biergartens genauer diskutiert.

Ökonophysik

Die Gl.(9) bis (12) ergeben sich aus den biologischen Modellen des Blutkreislaufs und des Überlebens eines ökonomischen Systems. Die Gleichungen entsprechen der thermodynamischen Theorie, die damit eine Modellfunktion für die Ökonomie einnimmt:

<u>Ökonomie</u>	<u>Physik</u>
Y: Einkommen, Gewinn	Q: Wärme
P: Produktion	W: Arbeit
F: Produktionsfunktion	S: Entropie
K: Kapital	E: Innere Energie
L: Lagrange Funktion	F: Freie Energie
λ : mittleres Kapital	T: mittlere Energie

Der Modellcharakter der Thermodynamik für die Ökonomie wird als Ökonophysik bezeichnet. Die Äquivalenz der Gleichungen für Ökonomie und Thermodynamik führt zu neuen Einblicken in der Ökonomie, die bisher nur aus der Thermodynamik, der Chemie oder der Ingenieurwissenschaft bekannt sind. Es folgen jetzt Anwendungen physikalischer Erkenntnisse – insbesondere über die Entropie – auf die Ökonomie.

Arbeit und Entropie

Ein wichtiges Ergebnis der Ökonophysik ist der Zusammenhang von Produktion (δP) und Entropiefunktion ($d F$), Gl. (12),

$$\delta P = d K - \lambda d F \quad (12),$$

auf den bereits Georgescu - Roegen [Roegen] hingewiesen hat.



Abb. 4. Blätterhaufen im Wind.

Abb. 4 zeigt einen Blätterhaufen, den ein ordentliche Mensch zusammen gefegt hat. Mit einem Windstoß können sich die Blätter wieder überall verteilen, sie werden nie von selbst zurück auf einen Haufen fliegen. Entropie, Unordnung vergrößert sich immer nur. Verteilen (von Blättern) bedeutet Entropievermehrung. Gl.(12) sagt, dass eine Entropieverringerung ($- d F$) nur durch zusätzliche Arbeit (δP) erfolgen kann, man muss die Blätter wieder zusammen fegen! Entropie ist ein Maß für die Unordnung eines Systems (von Blättern). Verteilen bedeutet allgemein Vermehrung der Entropie ($d F$), einsammeln bedeutet Verringerung von Entropie ($- d F$). Einsammeln ist immer mit Arbeit verbunden!

Produktion

Aus der Kombination der beiden Hauptsätze Gl(9) und (10) folgt

$$\delta P = dK - \lambda dF \quad (12).$$

1. Produktion (δP) erzeugt Kapital (dK). Arbeit und Produktion sind die Grundlage der Kapitalerwerbs.
2. Produktion (δP) bedeutet Verminderung der Entropie ($-dF$). Entropie ist ein Maß für Unordnung eines Systems und Arbeiten heißt Ordnung machen. Das weiß nicht nur jede Hausfrau, das gilt auch für Industriearbeit.

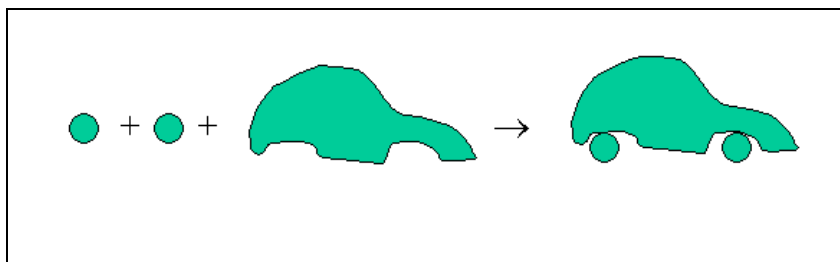


Abb. 5. Produktion bedeutet Reduktion von Unordnung (Entropie) der Bauelemente an Hand eines Bauplans

Abb. 5 zeigt die Produktion eines Autos aus vielen Teilen, die alle richtig miteinander verbunden werden müssen. Die Produktion verringert ständig die Zahl der Möglichkeiten (Entropie), alles falsch zu machen, bis das Produkt hergestellt ist. Das gilt für die Produktion von Autos, Computern, Maschinen, usw. Das selbe gilt für geistige Arbeit, jede Produktion bedeutet ordnen und Reduktion der Entropie: Architektur ist Ordnen von Bauelementen nach Bauplänen, Firmen planen Projekte, Mediziner bringen einen kranken Körper wieder in Ordnung, Lehrer ordnen die Gedanken ihrer Schüler, Wissenschaftler versuchen, die Phänomene der Natur einzuordnen.

Mischentropie



Abb. 6. Durch Öffnen der Flasche mischt sich das Parfum mit der Luft.

Öffnet man eine Parfumflasche, so verteilt sich der Duft des Parfums im ganzen Raum. Die Verteilung des Parfums verläuft nur in eine Richtung, aus der Flasche in den Raum. Niemals wird man beobachten, dass das Parfum von selbst in die Flasche zurückkehrt. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass sich der Anteil p der Parfummoleküle ganz in einem kleinen Raum (Fläschchen) befindet, $p = 1$, während außerhalb dieses Raumes der Anteil der Parfummoleküle gleich Null ist, $p = 0$. Viel wahrscheinlicher ist die gleichmäßige Verteilung der Luft und Parfummoleküle auf den ganzen Raum, $p = \frac{1}{2}$. Entropie (F) ist eng mit der Wahrscheinlichkeit (w) verknüpft,

$$F = \ln w = -p \ln p \rightarrow \text{Maximum} \quad (15)$$

Die Entropie strebt immer auf ein Maximum zu. Das Maximum der Entropie wird erreicht, wenn der Anteil der Parfummoleküle im Raum gleich sich Luft- und Parfummoleküle $p = \frac{1}{2}$ ist, wenn sich Parfum und Luft gleichmäßig gemischt haben.

Handel

Die Produktionsgleichung (12) gilt auch für den Handel.



Abb. 7. Marktfrau mit Spargel vor dem Schwetzingen Schloss.

Öffnet man einen Spargelstand, so verteilt sich der Spargel durch Tausch gegen Geld im ganzen Ort. Die Verteilung des Spargels verläuft nur in eine Richtung, vom Markt in die Haushalte. Niemals wird man beobachten, dass einwandfreier Spargel von selbst wieder von den Haushalten auf den Markt zurückkehrt. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass sich der Anteil p der Spargels ganz auf einem kleinen Markt befindet, $p = 1$, während außerhalb dieses Marktes der Anteil des Spargels gleich Null ist, $p = 0$. Viel wahrscheinlicher ist die maximale Entropie, d. h. die möglichst gleichmäßige Verteilung des Spargels in allen Haushalten. Wenn dies eintritt, ist der Spargelverkauf beendet.

Wichtig ist der Handel mit unterschiedlichen Waren. Zwei Marktfrauen, die beide Spargel verkaufen, können kein Tauschgeschäft miteinander machen. Die Entropieänderung ist dann gleich Null, weil der Anteil des Spargels bei den Marktfrauen immer $p = 1$ oder 100 % bleibt. Entsprechend können zwei Länder nur dann miteinander Handel treiben, wenn sie unterschiedliche Produkte produzieren.

Entropie als Produktionsfunktion

Das wichtigste Ergebnis der Ökonophysik ist bisher die Äquivalenz von Entropie S und Produktionsfunktion F . Die Produktionsfunktion F ist gegeben durch die Entropie des ökonomischen Systems! Entropie bedeutet Vielfalt. Mathematisch ergibt sich die Entropie aus der Kombinatorik,

$$F = \ln \Omega = \ln (N! / (N_1! \dots N_k!)) \quad (16).$$

Ω ist die Zahl der Möglichkeiten, N Objekte in k (Preis-)Klassen zu verteilen. Für $k = 2$ erhalten wir die Normalverteilung. Für große Zahlen N ergibt die Stirling Formel $\ln N! = N \ln N - N$. Dies führt auf

$$F(N_k) = N \ln N - \sum N_k \ln N_k \quad (17)$$

Die Produktionsfunktion F hängt nur ab von der Anzahl N_k der Objekte oder Güter in den verschiedenen (Preis-) Klassen des ökonomischen Systems. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden.

Beispiel 1: Der Münchner Biergarten

Ein Münchner Biergarten hat N_1 Angestellte und N_2 Aushilfskräfte. Der Stundenlohn beträgt $K_1 = 15$ € für die Angestellten und $K_2 = 7,5$ € für die Aushilfskräfte. Die Lagrange Funktion L , Eq.(11), berechnet die maximale Produktivität F bei minimalen Personalkosten (K):

$$K = N_1 K_1 + N_2 K_2 = N (x_1 K_1 + x_2 K_2) \quad (18)$$

Die Variable $x_k = N_k / N$ ist die relative Zahl und N the absolute Zahl aller Beschäftigten. Die Produktionsfunktion (Entropie) für die beiden Arten der Beschäftigten ergibt sich aus Gl.(15),

$$F = N \ln N - N_1 \ln N_1 - N_2 \ln N_2 = -N (x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2) \quad (19)$$

Die Lagrange Funktion, $L = K - \lambda F$ = Minimum! in Gl.(10), führt auf

$$L = (N_1 K_1 + N_2 K_2) - \lambda \{N \ln N - N_1 \ln N_1 - N_2 \ln N_2\} \quad (20)$$

$$L = N \{(x_1 K_1 + x_2 K_2) + \lambda (x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2)\} = \text{Minimum!}$$

1. Im Minimum der Kosten muß die Ableitung von L in Bezug auf N_1 und N_2 oder x_1 und x_2 gleich Null sein. Mit den gegebenen Werten von K_1 und K_2 erhalten wir daraus $\lambda = 15,8$ und

$$\begin{aligned} x_1 &= \exp(-K_1 / \lambda) = 0,38 && \text{(Angestellte)} \\ x_2 &= \exp(-K_2 / \lambda) = 0,62 && \text{(Hilfskräfte)} \\ F / N &= 0,664 && \text{(mittlere Produktivität)} \\ K / N &= 10,35 && \text{(mittlere Lohnkosten)} \end{aligned}$$

Die relative Zahl der Angestellten x_1 und Aushilfskräfte x_2 folgt einer Boltzmann Verteilung. Alle Werte, Mitarbeiter x_1 und x_2 , Lagrange Parameter λ , mittlere Produktivität F / N und mittlere Lohnkosten K / N lassen sich aus den Stundenlöhnen K_1 und K_2 ohne weitere Annahmen berechnen.

2. Wir können die obigen Ergebnisse vergleichen mit Berechnungen nach der Cobb Douglas Produktionsfunktion U ,

$$U = A N_1^\alpha N_2^{1-\alpha} = A N x_1^\alpha x_2^{1-\alpha} \quad (21),$$

die in der Lagrange Funktion der klassischen Ökonomie verwendet wird. Zusätzlich zu den Stundenlöhnen K_i der Mitarbeiter x_i enthält die Cobb Douglas Funktion noch die Parameter "Elastizität" α und den "Fortschritt der Technologie" A . Für $\alpha = 0,7$ und $A = 1$ erhalten wir

$$\begin{aligned} x_1 &= \alpha / [\alpha / K_1 + (1 - \alpha) / K_2] / K_1 = 0,538 && \text{(Angestellte)} \\ x_2 &= (1 - \alpha) / [\alpha / K_1 + (1 - \alpha) / K_2] / K_2 = 0,462 && \text{(Hilfskräfte)} \\ U / N &= x_1^\alpha x_2^{1-\alpha} = 0,514 && \text{(mittl. Produktivität)} \\ K / N &= (K_1 x_1 + K_2 x_2) = 11,54 && \text{(mittl. Kosten)} \end{aligned}$$

Für die Entropie $F = \ln \Omega$ ist die berechnete mittlere (Bier) Produktion F/N höher und die mittleren Lohnkosten K/N niedriger als für die Cobb Douglas Funktion bei $A = 1$. Die Cobb Douglas Funktion ist offenbar nicht die optimale Produktionsfunktion. In Abb. 8 ist die Entropie eines binären

Systems (aus Kellnern und Hilfskräften), Gl.(19), und in Abb. 9 die Cobb Douglas Funktion, Gl.(20), als Funktion der Zahl N_1 (der Kellner) im Bereich von $N_1 = 0$ bis 10 dargestellt. Als Parameter ist die Zahl N_2 (der Hilfskräfte) im Bereich von $N_2 = 0$ bis 10 angegeben.

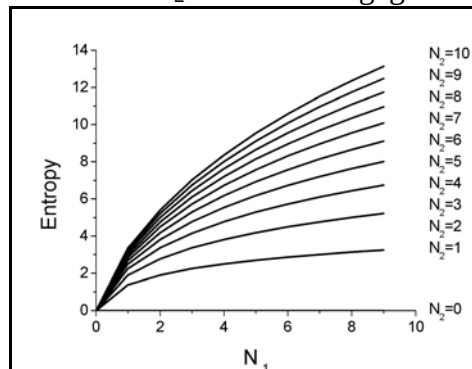


Abb.8. Entropie $F(N_2) = (N_1 + N_1) \ln(N_1 + N_1) - N_1 \ln N_1 - N_2 \ln N_2$ als Funktion von N_1 im Bereich von 0 bis 10. Der Parameter ist N_2 im Bereich von 0 bis 10.

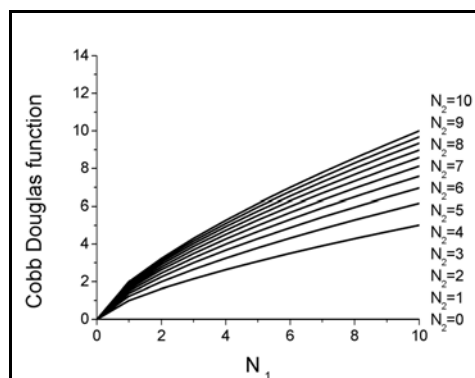


Abb. 9. Cobb Douglas Funktion $U(N_2) = A N_1^\alpha N_2^{1-\alpha}$ als Funktion von N_1 im Bereich von 0 bis 10. Der Parameter ist N_2 im Bereich von 0 bis 10. Die Parameter sind $A = 1$ und $\alpha = 0,7$.

Die Cobb Douglas Funktion [Cobb, Douglas] ist für alle Werte von α um einen Faktor von etwa 1,4 kleiner als die Entropie F . Die Entropie ist deutlich die bessere Optimierungsfunktion, außerdem ist sie unabhängig von weiteren (willkürlichen) Parametern wie α und A .

Die Entropie braucht auch keinen Faktor A des technischen Fortschritts. Denn Entropie ist bereits eng verknüpft mit technischem Fortschritt. Entropie (F) bedeutet Vielfalt, Produktion und technischer Fortschritt sind nach Gl.(10) mit $(-d F)$, mit Reduzierung der Vielfalt, mit Vereinfachung verknüpft. Entropie (F) ist auch ein Maß für die Unordnung eines Systems, Produktion und technischer Fortschritt bedeuten nach Gl.(12) mit $(-d F)$ auch Reduzierung der Unordnung, also ordnen. Die Produktion eines Autos aus vielen tausend Teilen bedeutet Reduktion der Vielfalt und ordnen der vielen Teile.

Vielfalt und Produktivität

Die Bedeutung der Vielfalt (Entropie) für die Produktivität soll am Beispiel einer Fußballmannschaft diskutiert werden.

Beispiel 2: Der Fußballverein

Ein Fußballverein besteht aus elf Spielern. Die Mannschaft soll möglichst produktiv sein, möglichst viele Tore schießen und wenige durchlassen. Die Produktionsfunktion (Entropie) für die Fußballmannschaft ist, Gl.(15),

$$F = N \ln N - \sum (N_i \ln N_i) = -11 (\sum x_i \ln x_i) \quad (22)$$

wobei x_i der Anteil der Spieler in den verschiedenen Qualifikationen (Stürmer, Verteidiger, Torwart, etc) ist.

a) 11 Torwarte. Um Tore zu verhindern, könnte man versuchen, elf Torwarte aufstellen. Die Produktivität ist dann gleich $F = -11 (1 \ln 1) = 0$. Die Mannschaft würde vielleicht alle Tore halten, aber keine Tore schießen.

b) 11 Spezialisten. Bei 11 Spezialisten ist die Produktivität nach Gl.(22) gleich $F = -11 (1/11 \ln 1/11) = \ln 11 = 0,24$. Vielfalt führt zur höchsten Produktivität.

Der Carnot Kreislauf

Während man in der Ökonomie bei Optimierungsprozessen die Lagrange Funktion verwendet, kann man das Problem des ökonomischen Wachstums nur mit den Differenzialformen des ersten und zweiten Hauptsatzes behandeln. Dazu soll als nächstes ein thermodynamischer Kreislauf betrachtet werden, der durch Weg abhängige Integrale beschrieben wird: Der Carnot Kreislauf. Er geht zurück auf den französischen Physiker Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832), einen der Begründer der Thermodynamik. Der Carnot Kreislauf beschreibt den Motor, den Generator, die Wärmepumpe und den Kühlschrank. Dies sind heute wichtige Geräte eines modernen Haushalts.

Mit dem zweiten Hauptsatz der Ökonomie lässt sich jetzt der Geldkreislauf in Abb. 3 berechnen. Nach Carnot wird das geschlossene Integral des Geldkreislaufes, Gl.(2), nicht als Kreis, sondern als Rechteck in der $\lambda - F$ Ebene ausgeführt. Dieser Integrationsweg ist zwar nur ein Weg unter vielen, aber er kann nach dem zweiten Hauptsatz in jedem ökonomischen System verwendet werden.

$$\oint \delta Y = \oint \lambda dF = \lambda_2 \int_A^B dF - \lambda_1 \int_A^B dF = Y - C = S > 0 \quad (23)$$

$$Y = \lambda_2 \Delta F \quad (24),$$

$$C = \lambda_1 \Delta F \quad (25),$$

$$S = \Delta \lambda \Delta F > 0 \quad (26).$$

Die Integration von Gl.(23) wird bei zwei konstanten Werten, λ_1 und λ_2 ausgeführt. Dadurch lassen sich die λ vor das Integral ziehen und die Integration kann ausgeführt werden. Dies ist in Abb. 10 dargestellt.

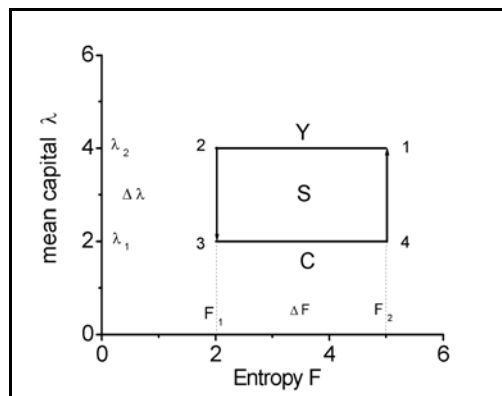


Abb. 10 zeigt den Geldkreislauf nach Carnot. Die Integration erfolgt in der $\lambda - F$ Ebene. Das Einkommen entspricht der Fläche $Y = \lambda_2 \Delta F$, die Kosten der Fläche $C = \lambda_1 \Delta F$. Der Gewinn als Differenz der Flächen und ergibt das zentrale Rechteck $S = \Delta\lambda \Delta F$. Abb. 10 lässt sich auf den Produktionskreislauf und auf den Geldkreislauf anwenden.

Der Produktionskreislauf nach Carnot

Der Produktionskreislauf der Abb. 10 lässt sich am Beispiel deutscher Kohleimporte aus Südafrika erklären:

λ_1 : Preisniveau der Steinkohle in Südafrika

λ_2 : Preisniveau der Steinkohle in Deutschland

$\Delta F > 0$: Positive Änderung der Entropie = Verteilung (von Steinkohle)

$\Delta F < 0$: Negative Änderung der Entropie = Sammeln (von Steinkohle)

Der Produktionskreislauf verläuft von $4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$

$4 \rightarrow 3$: Steinkohle wird von den Gruben in Kapstadt gesammelt, $\Delta F < 0$.

$3 \rightarrow 2$: Steinkohle wird von S.A. nach Hamburg gebracht, $\Delta\lambda > 0$, $\Delta F = 0$.

$2 \rightarrow 1$: Steinkohle wird an die Verbraucher in D ausgeliefert, $\Delta F > 0$.

$1 \rightarrow 4$: Deutschland liefert Autos nach Südafrika, $\Delta F = 0$.

Der Geldkreislauf nach Carnot

Der Geldkreislauf der Abb. 10 lässt sich am Beispiel deutscher Kohleimporte aus Südafrika erklären:

λ_1 : Preisniveau der Steinkohle in Südafrika

λ_2 : Preisniveau der Steinkohle in Deutschland

$\Delta F > 0$: Positive Änderung der Entropie = Verteilung (von Geld)

$\Delta F < 0$: Negative Änderung der Entropie = Sammeln (von Geld)

Der Geldkreislauf verläuft von $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$

$1 \rightarrow 2$: Geld (€) wird von den Verbrauchern in D. gesammelt, $\Delta F < 0$.

$2 \rightarrow 3$: Geld wird von Hamburg nach S. A. transferiert, $\Delta \lambda > 0$, $\Delta F = 0$.

$3 \rightarrow 4$: Geld (Rand) wird an die Arbeiter in S.A. ausbezahlt, $\Delta F > 0$.

$4 \rightarrow 1$: Geld (Rand) wird für Waren (Autos) nach D transferiert, $\Delta F = 0$.

Nach Gl.(1) verlaufen Produktions- und Geldkreislauf entgegengesetzt. Der Produktionskreislauf verläuft von $4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ und der Geldkreislauf von $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$. Der Carnot Kreislauf der Ökonomie Grundlage für alle ökonomischen Unternehmungen, für Haushalte, Produktion, Handel, Banken, Volkswirtschaften. Ein weiteres Beispiel sei der Spargelverkauf:

Spargelverkauf

Der Produktionskreislauf verläuft von $4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$

$4 \rightarrow 3$: Die Marktfrau sammelt Spargel von Feldarbeitern ein, $\Delta F < 0$.

$3 \rightarrow 2$: Die Marktfrau bringt Spargel vom Feld zum Markt, $\Delta \lambda > 0$, $\Delta F = 0$.

$2 \rightarrow 1$: Die Marktfrau verkauft Spargel an die Verbraucher, $\Delta F > 0$.

$1 \rightarrow 4$: Waren werden vom Markt zu den Feldarbeitern gebracht, $\Delta F = 0$.

Der Geldkreislauf verläuft von $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$

$1 \rightarrow 2$: Die Marktfrau sammelt Geld von den Verbrauchern, $\Delta F < 0$.

$2 \rightarrow 3$: Die Marktfrau bringt Geld vom Markt zum Feld, $\Delta \lambda > 0$, $\Delta F = 0$.

$3 \rightarrow 4$: Die Marktfrau verteilt Geld an die Arbeiter, $\Delta F > 0$.

$4 \rightarrow 1$: Die Arbeiter zahlen Geld für Waren auf dem Markt, $\Delta F = 0$.

Die Wärmepumpe

Der Carnot Kreislauf ist die Grundlage der thermodynamischen Maschinen wie Wärmepumpe, Kühlschrank, Motor und Generator. Abb. 11 zeigt das Prinzip einer Wärmepumpe.

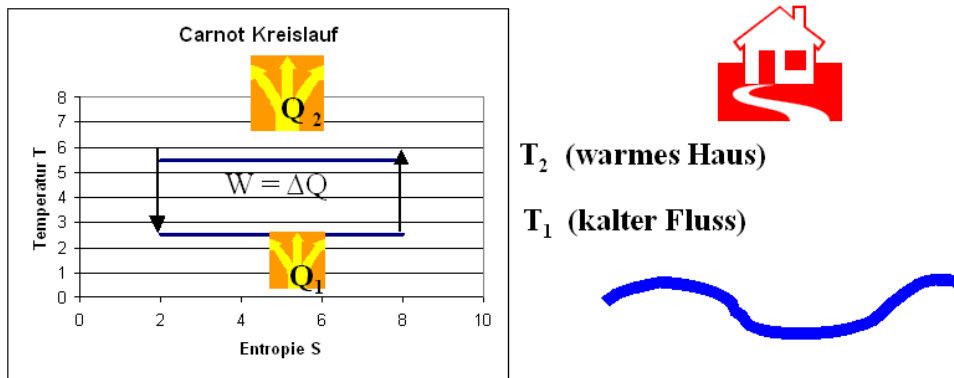


Abb. 11. Carnot Kreislauf und Prinzip einer Wärmepumpe. Die Pumpe zieht aus einem kalten Fluss mit wenig Energieaufwand Wärme (Q_1) und gibt anschließend etwa zehn mal mehr Wärme (Q_2) an ein warmes Haus ab.

Eine Wärmepumpe kann aus einem kalten Fluss eine Wärmemenge (ΔQ_1) herausziehen und dann eine größere Wärmemenge (ΔQ_2) an ein warmes Haus abgeben. Während normalerweise Wärme von warm nach kalt fließt, gelingt es der Wärmepumpe, diesen Effekt umzudrehen, die Wärme fließt von kalt nach warm. Aber das ist noch nicht alles. Man muss bei der Wärmepumpe Arbeit (W) oder elektrische Energie aufwenden, um die Wärme aus dem Fluss herauszupumpen, aber man erhält bis zu zehn mal mehr Wärme zurück als man beim Pumpen als Arbeit oder elektrische Energie hineingesteckt hat. Dieser Pumpeffekt lässt sich periodisch wiederholen und führt sehr effektiv zur Erwärmung des Hauses. Dazu muss die Temperatur (T_1) des kalten Flusses deutlich geringer sein als die Temperatur (T_2) des warmen Hauses.

In Abb. 11 wird der Carnot Prozess der Wärmepumpe dargestellt durch ein Diagramm, in dem die Temperatur (T) über der Entropie (S) aufgetragen ist. Die Entropie ergibt sich als neue Größe in der Thermodynamik, sie hängt direkt mit Wärme zusammen, sie wächst, wenn die Wärme zunimmt, und sie verringert sich, wenn die Wärme abnimmt. Für den Prozess des Pumpen bedeutet dies: Auf dem Hinweg, beim Aufnehmen der Wärmemenge (Q_1) aus dem Flusse wird bei niedriger Temperatur auch Entropie aufgenommen, die Entropie im Diagramm nimmt zu. Auf dem Rückweg, beim Abgeben von Wärme (Q_2) an das Haus wird bei hoher Temperatur (T_2) auch Entropie abgegeben, die Entropie im Diagramm nimmt ab. Die umlaufene Fläche im Diagramm der Abb. 5 ist die aufgewendete Arbeit (W), sie ist gleich der Wärmedifferenz (ΔQ), die bei jedem Umlauf gewonnen wird.

Der Wirkungsgrad der Wärmepumpe ist das Verhältnis der im Haus erzeugten Wärme (Q_2) zur aufgewendeten Arbeit (W). Der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe ist immer größer als eins, in der Praxis liegt er bei zehn.

Die Kapitalpumpe

Der Carnot Kreislauf ist Grundlage für jede Art von Handel und Produktion. Abb. 10 zeigt den Carnot Prozess einer Importfirma. Sie ist der Prototyp einer Kapitalpumpe.

Eine Importfirma aus Japan kann aus einem armen Land wie China mit wenig Lohnkosten (C) Waren importieren und sie dann mit hohem Verdienst (Y) in einem reichen Land wie USA verkaufen. Während normalerweise Geld von reich nach arm fließt, gelingt es dem Carnot Prozess, diesen Effekt umzudrehen, das Geld fließt von arm (China) nach reich (Japan). Aber das ist noch nicht alles. Man muss beim Import geringe Lohnkosten aufzuwenden, um die Waren aus dem armen Land zu importieren. Man erhält dann durch den Verkauf im reichen Land ein vielfaches der investierten Kosten als Einkommen (Y) zurück. Dieser Pumpeffekt lässt sich periodisch wiederholen. Dazu muss im armen Land der Lebensstandard (λ_1) deutlich niedriger sein als im reichen Land (λ_2).

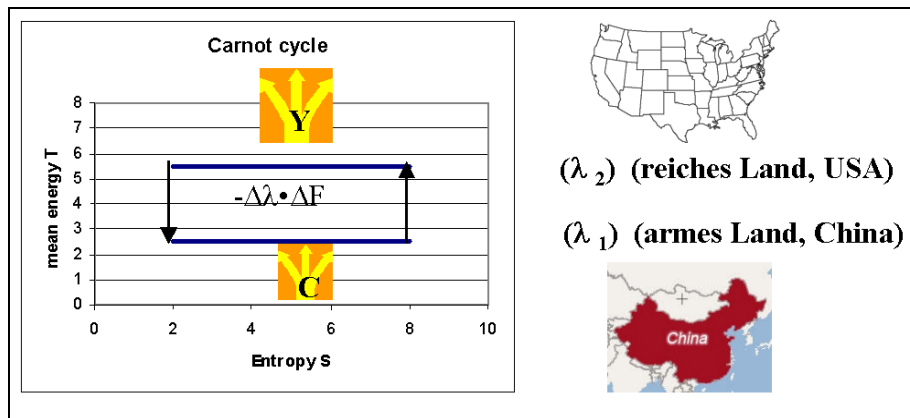


Abb. 12. Carnot Kreislauf und Prinzip einer Importfirma. Die Firma produziert in einem armen Land (China) Waren mit niedrigen Lohnkosten und verkauft die Waren anschließend mit etwa zehnfachen Gewinn in einem reichen Land (USA).

In Abb. 12 wird der Carnot Prozess einer Importfirma dargestellt durch ein Diagramm, in dem der Lebensstandard (λ) über der Funktion (F) aufgetragen ist. Die Funktion (F) heißt in der Ökonomie Produktionsfunktion, sie hat aber genau die Eigenschaften der Entropie. Negative und positive Änderungen der Funktion F sind ein Maß für Sammeln und Verteilen (z. B. von Geld oder von Waren). Für den Kreisprozess des Importierens bedeutet dies: Auf dem Hinweg, beim Verteilen des Lohns in dem armen Land (λ_1) wird die Entropie oder Funktion F erhöht. Auf dem Rückweg, beim Einsammeln des Geldes für die verkauften Waren wird auch die Entropie der Geldverteilung im reichen Land (λ_2) reduziert. Die umlaufene Fläche im Diagramm der Abb. 6 stellt den Arbeitsaufwand (W) oder den Gewinn ($Y - C$) dar, der bei jedem Umlauf hinzukommt. Der Wirkungsgrad einer Kapitalpumpe, das Verhältnis von Einkommen (Y) zu Arbeitsaufwand ($W = Y - C$) ist immer größer als eins.

Der Kühlschrank

Der Kühlschrank ist eine weitere Carnot Maschine. An ihm kann man sich einige Eigenschaften des Carnot Prozesses genauer studieren. Abb. 13 zeigt den Carnot Kreislauf des Kühlschranks.

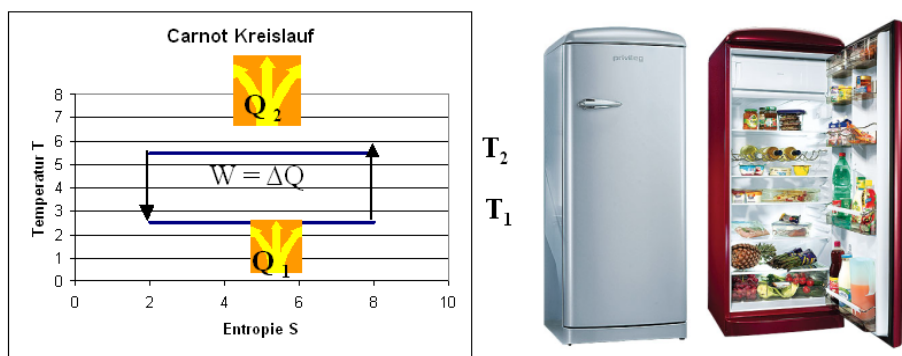


Abb. 13. Carnot Kreislauf und Prinzip eines Kühlschranks. Der Kühlschrank produziert Kälte in dem Moment, in dem man den Strom einschaltet. Allerdings muss man die Tür schließen, sonst kommt kein Kühleffekt zustande.

Der Carnot Kreislauf erzeugt nicht immer nur Wärme wie in der Wärmepumpe. Im Kühlschrank produziert der Carnot Prozess Kälte. Er entzieht dem Inneren des Kühlschranks Wärme und gibt sie nach außen ab. Das entscheidende Merkmal des Carnot Prozesses ist, dass er immer mit zwei Temperaturen verbunden ist. Sobald der Stecker mit der Steckdose verbunden wird, beginnt der Kühlschrank, zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus zu erzeugen, allerdings nur in zwei getrennten Teilsystemen. Dazu muss man beim Kühlschrank die Tür schließen, sonst kann der Kühleffekt nicht eintreten. (Eine Kühltruhe kann allerdings oben offen bleiben, da kalte Luft schwerer ist als warme Luft und daher kalt und warm getrennt bleiben.)

Der Kapitalkreislauf der Wirtschaft

Der Kapitalkreislauf der Wirtschaft lässt sich allgemein als Carnot Maschine interpretieren, er zeigt die gleichen Eigenschaften wie die anderen Carnot Maschinen. Abb. 14 zeigt den Kapitalkreislauf der Wirtschaft.

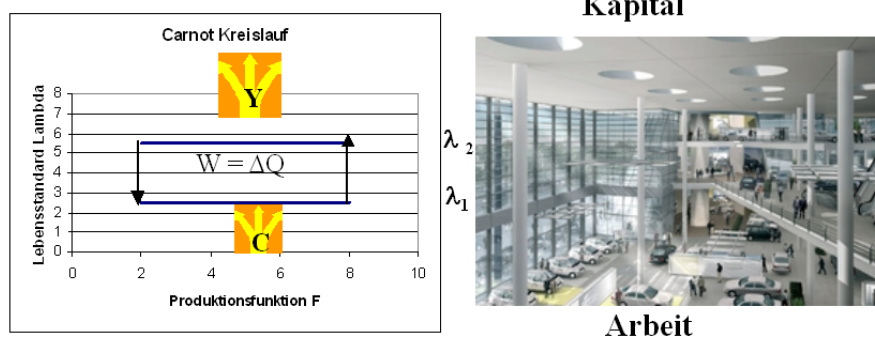


Abb. 14. Der Kapitalkreislauf der Wirtschaft beginnt mit dem Moment der Produktion. Der Prozess erzeugt kontinuierlich reichere und ärmere Betriebszugehörige: Arbeitgeber und Arbeitnehmer, Kapital und Arbeit.

Der Carnot Prozess der Produktion erzeugt automatisch zwei Niveaus des Lebensstandards (λ_1) und (λ_2) in zwei getrennten Systemen. Dazu müssen die Beteiligten in der Wirtschaft in zwei Teilsysteme getrennt werden, in Kapital und Arbeit. Wenn diese Trennung nicht erfolgt, kann der Mechanismus - ähnlich wie beim Kühlschrank - nicht funktionieren. Der Kapitalkreislauf der Wirtschaft kann je nach Konstruktion wie ein Kühlschrank oder auch wie eine Wärmepumpe operieren. Die zeitliche Entwicklung von Kapital und Arbeit kann sehr unterschiedlich verlaufen. Die bekannteste Entwicklung ist die Ausbildung einer „Schere“ zwischen arm und reich.

Der Motor

Abb. 15 zeigt einen weiteren bekannten Carnot Prozess, den Benzin- oder Diesel Motor.

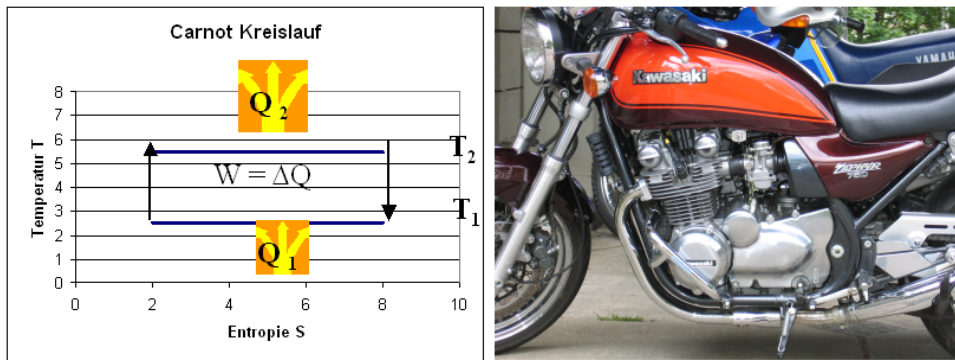


Abb. 15. Carnot Kreislauf und Prinzip eines Motors. Der Motor erzeugt aus Wärme (Bewegungs-)Energie. Er läuft im Temperatur – Entropie Diagramm in Gegenrichtung zu Kühlschrank und Wärmepumpe.

Während in der Wärmepumpe mechanische oder elektrische Energie in Wärme umwandelt wird, setzt der Motor umgekehrt Wärme in mechanische Energie um. Daher verläuft der Carnot Prozess im Motor im Vergleich zur Wärmepumpe in entgegengesetzter Richtung. Dies wird durch die Pfeile in Abbildung 15 angedeutet. Bei jedem Umlauf der Kolben erwärmt sich der Motor im Inneren. Je größer die Temperatur Differenz wird, umso höher wird der Wirkungsgrad, das Verhältnis von erzeugter Bewegungsenergie zu hineingesteckter Wärme in Form von Benzin oder Dieselöl. Um die Temperaturdifferenz möglichst groß werden zu lassen, wird der Motor außen mit Luft oder Wasser gekühlt. Wenn der Motor heiß läuft, also beide Temperaturen im Diagramm gleich groß sind, geht die Leistung des Motors auf Null. Der Motor braucht die Temperaturdifferenz des Carnot Prozesses genau so wie den von außen zugeführten Kraftstoff.

Der Produktionskreislauf der Wirtschaft

Der Produktionskreislauf der Wirtschaft lässt sich am Beispiel des Carnot-Kreislaufs des Motors erläutern, Abb. 16.

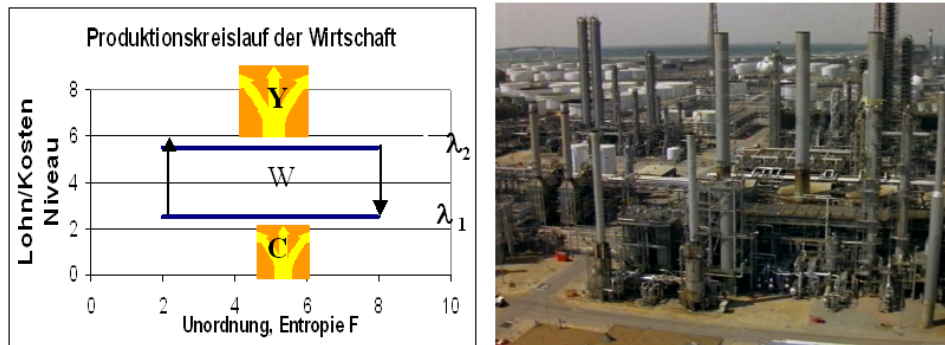


Abb. 16. Carnot-Kreislauf und das Prinzip des Wirtschaftskreislaufs. Die Industrie produziert Konsumgüter aus Energie und Rohstoffen. Der Wirtschaftskreislauf entspricht dem Kreislauf des Motors und verläuft entgegengesetzt zum Geldkreislauf. Motor und Wirtschaftskreislauf benötigen beide unterschiedliche Niveaus und Öl als Treibstoff.

In der Industrie werden aus Rohmaterial Produkte hergestellt. Arbeiter stellen bei niedrigem Lohnniveau (λ_1) mit Hilfe von Maschinen aus Ungeordneten Rohstoffen eine bestimmte Ordnung her, die Entropie wird reduziert. Dabei treten Energie- und Rohstoffkosten (C) für die Industrie auf.

Die Industrieprodukte werden dann auf einem hohen Preisniveau (λ_2) verkauft. Dies führt zu einem Einkommen (Y) der Industrie. Güter verteilen bedeutet im Diagramm der Abb. 16 eine Erhöhung der Entropie. Im nächsten Zyklus können dann wieder Rohstoffe verarbeitet werden. Der Kreislauf der Produktion schließt allerdings auch den Prozess der Pollution ein: jedem ordnen in der Produktion im Betrieb folgt Unordnung in der Umwelt. Diese müssen genauso optimiert werden wie die Produktion.

Energieverbrauch und Lebensstandard

Der Carnot Prozess der Produktion benötigt wie der Motor Öl. Daher lassen sich Produktivität und pro Kopf BIP eines Landes am Energie/Ölverbrauch pro Kopf messen. Dies ist in Abb. 17 dargestellt.

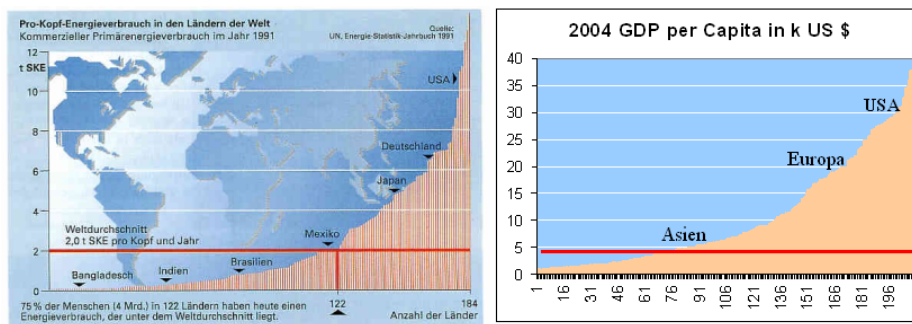


Abb. 17. Der pro Kopf Ölverbrauch eines Landes ist proportional zum pro Kopf BIP. Dies ist für 122 Länder dargestellt. Der Welt Verbrauch beträgt 0,13 Barrel pro Kopf und Tag. Der Welt Ölverbrauch 2006: 84 Mill Barrel täglich (www.deutschebp.de/) und (www.weltbevoelkerung.de). EU: 0,22 Mill Barrel pro Kopf und Tag, USA: 0,74 Barrel pro Kopf und Tag,

Bangladesh und die Länder Südasiens liegen zur Zeit am unteren Ende des Lebensstandards BIP/Kopf) und des pro Kopf Ölverbrauchs. Süd- und Mittelamerika liegen im mittleren Bereich, Europa, USA und Japan liegen im obersten Bereich der Produktivität, des Lebensstandards oder Brutto Inland Produkts (BIP) pro Kopf.

Daraus folgt, dass ein hoher Lebensstandard hohen Energieverbrauch pro Kopf und hohe Umweltschäden bedingt. Das Streben der 2,5 Milliarden Menschen in China und Indien nach höherem Lebensstandard bedingt einen enormen Anstieg des Energieverbrauchs und der Schäden in Klima und Umwelt. Diese beiden Themen werden die Entwicklung der Weltwirtschaft in den kommenden Jahren stark beeinflussen.

Die „Schere“ zwischen arm und reich

Der Carnot Prozess erzeugt automatisch eine „Schere“ zwischen den beiden Niveaus des Kreislaufs. Im Handel sind dies Einkaufs- und Verkaufspreis, die unterschiedlich sein müssen, damit der Handel funktionieren kann. Im Bankwesen heißen die beiden Niveaus Zinssatz für Sparer und Zinssatz für Investoren. In Betrieben nennt man die beiden Einkommensniveaus Arbeit und Kapital, in Gesellschaften arm und reich. Im Kolonialismus wurden die armen Kolonien immer ärmer und die reichen Kolonialmächte noch reicher. Der Mechanismus des Carnot Kreislaufes macht es also möglich, analog zur Wärmepumpe aus einer armen (Kolonial-) Gesellschaft Kapital herauszuziehen und eine reiche Kolonialmacht noch reicher werden zu lassen.

In der modernen Industrie Gesellschaft sorgen Verhandlungen zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmern (Gewerkschaften) im allgemeinen dafür, dass sowohl die Löhne als auch die Aktien steigen können. Wie im Motorenbau hängt der Mechanismus des Carnot Kreislaufes in einem Betrieb von der Konstruktion, hier von der Beteiligung der Arbeitnehmer am Gewinn des Betriebes ab.

Der Carnot Prozess ist die Ursache für die in der Gesellschaft allgemein empfundene „Schere“ zwischen reich und arm. Wegen des besseren Wirkungsgrades für die Wirtschaft tendiert diese Schere immer dazu, weiter auseinander zugehen. Dies ist aber kein Naturgesetz, sondern die bequemste Lösung für hohe Produktivität. Ähnlich wie beim Motorbau lassen sich aber auch die Strukturen eines Betriebes so optimieren, dass die gesamte Bevölkerung an einer positiven wirtschaftlichen Entwicklung teilhaben können. Dies kann z. B. durch eine Beteiligung der Arbeitnehmer am Gewinn, aber auch am Risiko eines Betriebes geschehen.

Eine genauere Analyse der Möglichkeiten zur Verbesserung der Struktur eines Betriebes kann aber erst mit Hilfe der Optimierung nach Lagrange durchgeführt werden. Im folgenden sollen jetzt Arbeitslosigkeit und ökonomisches Wachstum diskutiert werden.

Arbeitslosigkeit

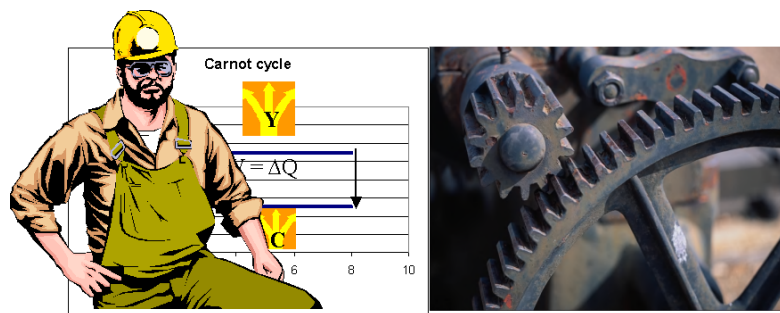


Abb. 18. Arbeitslosigkeit: Maschinen ersetzen Menschen

Die Äquivalenz des Carnot Kreislaufs in Ökonomie und Thermodynamik hat einen großen Nachteil: menschliche Arbeit verläuft nach den gleichen Gesetzen wie maschinelle Arbeit, d. h. Menschen können durch Maschinen ersetzt werden, wenn dies billiger ist. Um 1900 arbeiteten 50 % der Bevölkerung in Deutschland in der Landwirtschaft, heute, im Jahr 2008 sind es nur noch 2 %. Die Arbeit wurde von Traktoren, Mähdreschern, Motoren übernommen.

Aber nicht nur Arbeiter lassen sich durch Maschinen ersetzen. Heute werden Büroangestellte vielfach durch Computer, auf französisch: „ordinateur“, ersetzt. Computer können in schnell und preiswert große Datenmengen ordnen, Buchhaltung übernehmen, Messungen durchführen oder umfangreiche Berechnungen anstellen. Sie dringen in alle Bereiche des Wirtschaftslebens ein.

Aber Maschinen erzeugen auch Arbeitsplätze. Es werden Arbeitskräfte benötigt, die die neuen Maschinen bedienen oder neu konstruieren können. In Zukunft werden Bauarbeiter Technik oder Maschinenbau lernen müssen und Buchhalter programmieren oder Informatik studieren. Kreative Berufe, die nicht durch Motoren oder Computer ersetzt werden können, bringen dann eine größere Zukunftssicherheit.

Ökonomisches Wachstum

Der Carnot Prozess eines Motors benötigt innen und außen zwei unterschiedliche Temperaturen. Die bei jedem Umlauf erzeugte Wärme fließt nach innen und nach außen und beeinflusst den Wirkungsgrad des Motors. Daher kühlt man den Motor außen, um zwei möglichst unterschiedliche Temperaturen und einen hohen Wirkungsgrad zu erhalten. Wenn es bei Ausfall der Kühlung außen zu warm wird, sinkt die Motorleistung.

Entsprechend benötigt und erzeugt der Carnot Prozess der Wirtschaft in Farmen, Firmen, Fabriken, Volkswirtschaften und Gesellschaften immer zwei unterschiedliche Einkommensniveaus: Bauer und Knecht, Chef und Untergebene, Kapital und Arbeit, erste und dritte Welt, arm und reich, $Y = Y_2$ und $C = Y_1$. Beide Gruppen zusammen bilden das ökonomische system. Daher müssen sich beide Seiten einigen, wie der ökonomische Gewinn nach jedem Kreislauf verteilt werden soll. Dies geschieht periodisch zwischen Gewerkschaften und Arbeitgebern und bei Welthandelskonferenzen. In der Ökonomie wird dies mit der Spieltheorie untersucht.

Im Carnot Prozess erhält die untere/ärmere/kältere Seite Y_1 den Anteil p des Gewinns und die obere/reichere/wärmere Seite Y_2 den Anteil $(1 - p)$. Wenn beide Seiten ihren Anteil $p (Y_2 - Y_1)$ und $(1 - p) (Y_2 - Y_1)$ wieder investieren, werden beide Seiten mit jedem Zyklus wachsen. Wir erhalten dann ein gekoppeltes Gleichungssystem für $C = Y_1(t)$ und $Y = Y_2(t)$:

$$d Y_1(t) = p (Y_2 - Y_1) dt \quad (27)$$

$$d Y_2(t) = (1 - p) (Y_2 - Y_1) dt \quad (28).$$

Für $p \neq \frac{1}{2}$ ergibt die Lösung der Differenzialgleichungen:

$$Y_1(t) = Y_{10} + p [Y_{20} - Y_{10}] [\exp((1-2p)t) - 1] / (1-2p) \quad (29)$$

$$Y_2(t) = Y_{20} + (1-p) [Y_{20} - Y_{10}] [\exp(1-2p) t - 1] / (1-2p) \quad (30).$$

Für $p = \frac{1}{2}$ folgt die Lösung

$$Y_1(t) = Y_{10} + \frac{1}{2} [Y_{20} - Y_{10}] t \quad (31).$$

$$Y_2(t) = Y_{20} + \frac{1}{2} [Y_{20} - Y_{10}] t \quad (32).$$

Die Gleichungen (29) bis (32) können für alle Systeme angewendet werden, für Arbeitnehmer und Arbeitgeber, für Gewerkschaft und Industrie, für Handel treibende Staaten. Die Ergebnisse sind in Abb. 19 dargestellt. Für den Anteil $p \neq 0,50$ ist das ökonomische Wachstum beider Seiten exponentiell.

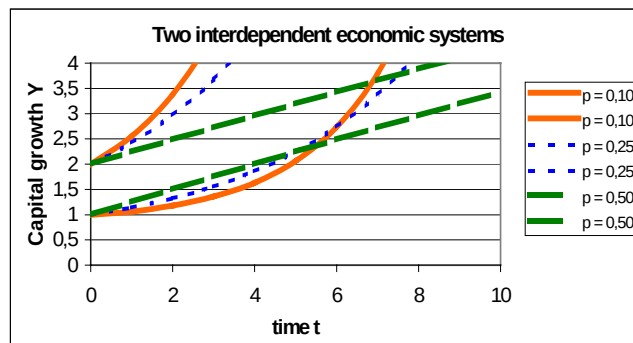


Abb. 19. Ökonomisches Wachstum eines Wirtschaftsystems mit zwei Partnern wie Kapital und Arbeit nach Gl. (29) bis (32). Der ärmere Partner (Y_1) erhält den Gewinnanteil p , der reichere Partner (Y_2) den Anteil $(1-p)$.

Das Wirtschaftswunder

In Abb. 19 gibt es zwei überraschende Ergebnisse:

1. Ein Anteil von $p = 10\%$ ist für Arbeitnehmer auf lange Sicht vorteilhafter als ein Anteil von $p = 25\%$. Bei einem Arbeitnehmer Anteil von nur $p = 0,10$ wächst die Industrie viel schneller als bei einem Arbeitnehmer Anteil von $p = 0,25$. Durch die gekoppelten Differenzialgleichungen haben auch die Arbeitnehmer einen Anteil am Aufschwung und wachsen dann nach einiger Zeit schneller, als wenn sie gleich mit 25 % bei jedem Zyklus am Gewinn beteiligt sind! Dies konnte in Japan und Deutschland nach dem Krieg als Wirtschaftswunder beobachtet werden. Geringe Löhne bei guter Konjunktur brachten nach einer Wartezeit ein plötzliches Ansteigen des Lebensstandards in den '60 Jahren. Eine ähnliches Ergebnis ist in China zu erwarten.

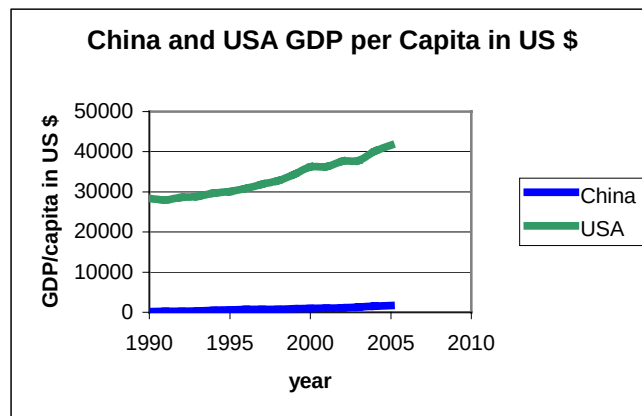


Abb. 20. Ökonomisches Wachstum zweier ungleicher Partner (China und USA). Der ökonomische Motor zwischen China und USA bzw. Den westlichen Staaten ist sehr effizient, die Differenz des pro Kopf BIP in China und USA sehr hoch [World Factbook, USA, 2006].

Abb. 20 zeigt das ökonomische Wachstum von China und USA zwischen 1990 und 2005. Die Differenz des pro Kopf BIP in China und USA sehr hoch, der ökonomische Motor läuft sehr gut, alle beteiligten Länder ziehen einen großen Profit aus dem Handel mit China, das BIP pro Kopf wächst in beiden Ländern exponentiell.

„Fair Deal“

Die zweite Überraschung ergibt sich für $p = 0,50$. Man könnte erwarten, dass die Gleichverteilung des Gewinns auf beide Beteiligte, der „fair deal“, die optimale Verteilung sein sollte. Aber das Gegenteil ist der Fall. Der „fair deal“ führt zu linearem Wachstum und damit zu einer unbefriedigenden Lösung für beide Seiten, wie dies in Abb. 19 deutlich wird. Zunächst ist bei $p = 0,50$ der Gewinn für die ärmere Seite deutlich größer als bei $p = 0,25$, aber schon nach kurzer Zeit ist das lineare Wachstum deutlich geringer als das exponentielle Wachstum für $p = 0,10$ oder $p = 0,25$.

Wachstumsgrenzen

Für jeden Wert von p oberhalb $p = 0,50$ nimmt das Wirtschaftswachstum ab. Bei $p = 0,75$ in Abb. 21 erreichen Y_2 und Y_1 Wachstumsgrenzen. Nachdem Japan und Deutschland einen großen Anteil an Produktionsstätten und am Gewinn im Amerika Handel haben, ist der Faktor p auf über $p = 0,50$ gewachsen. Der Lebensstandard, das BIP pro Kopf ist in USA und Japan gleich, der ökonomische Motor in Abb. 22 läuft heiß.

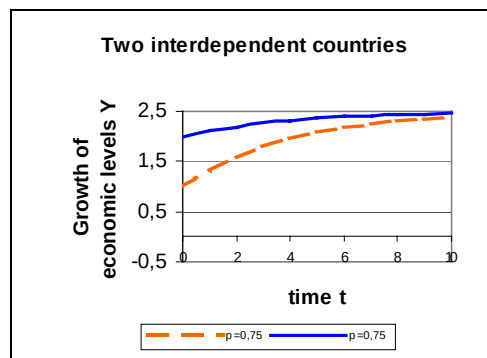


Abb. 21. Die Einkommensentwicklung eines ökonomischen Systems aus zwei Partnern bei $p = 0,75$ erreicht eine Wachstumsgrenze.

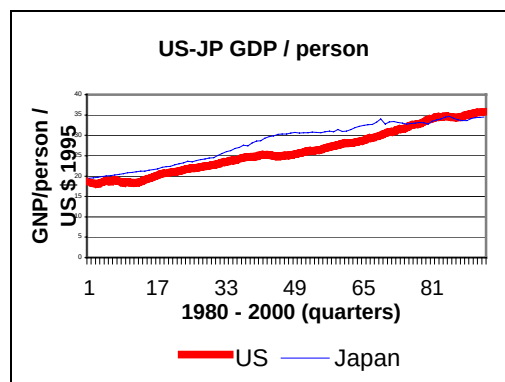


Abb. 22. Die Entwicklung des Lebensstandards (BIP / Person) in USA und Japan zwischen 1980 und 2000. [World Factbook, USA, 2004].

Ausblick

Thermodynamik ist nach Einstein die größte Naturwissenschaft. Sie ist die Grundlage von Physik, Chemie, Biologie, Metallkunde, Meteorologie und den Ingenieurwissenschaften. Durch die Äquivalenz thermodynamischer und ökonomischer Gleichungen wird die Thermodynamik zur Grundlage vieler weitere Gebiete der Sozialwissenschaft. Eine „Chemie der sozialen Bindungen“ ist damit programmiert in bereits in Vorbereitung. Auch eine enge Verbindung der Thermodynamik als atomarer Viel-Teilchen Theorie mit der Politik (poly = viel, viele Menschen) ist naheliegend. In der EU entstehen zur Zeit neue Forschungsprogramme zu „Komplexität“ und zur „Physik des Wettbewerbs und der Konflikte“ in sozialen, ökonomischen und politischen Systemen.

Literatur

- R. J. Barro and X. Sala-i-Martin, *Economic Growth*, New York: McGraw-Hill, 1995. 2. ed. MIT Press, Cambridge, Mass. (2004)
- P. Bofinger, *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*, Pearson, Munich (2003)
- H. Cartan, *Differential Forms*, Dover Publications; Translatio edition (2006)
- Charles W. Cobb, Paul H. Douglas: „A Theory of Production“ in *American Economic Review*, Mar 28 Supplement, 18 (1928) 139-165
- H. Flanders, *Differential Forms with Applications to the Physical Sciences*, Dover Publications Inc. (1990)
- N. Georgescu-Roegen, *The entropy law and the economic process* / Cambridge, Mass. Harvard Univ. Press, (1974)
- Mantegna, R. N. and Stanley, H. E. *Introduction to Econophysics. Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge University Press (2000)
- J. Mimkes, *A Thermodynamic Formulation of Economics*, in *Econophysics and Sociophysics*, B. K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterjee, (Eds.) Wiley - VCH, Weinheim (2006) 1 - 33
- A R. M. Solow, *Contribution to the Theory of Economic Growth*, *The Quarterly Journal of Economics*, 70 (Feb. 1956) 65-94
- B. D. Valdes, *Economic Growth: Theory, Empirics and Policy*, Cheltenham, UK: Edward Elgar, (1999)
- Welt Almanach, Fischer Verlag, Frankfurt, 2007

Vita Prof. Dr. Jürgen Mimkes

- Nach dem Physikstudium in Göttingen und der FU Berlin arbeitete er in der Halbleiterforschung an den Universitäten TU Berlin und Clausthal, in Rolla, Missouri und in College Park, Maryland, USA.
- Er unterrichtete Physik und Festkörperphysik an der Universität in Paderborn von 1977 bis 2004.
- Er war Dekan des Fachbereichs Physik von 1991 bis 1993.
- 1992 begann er mit der Anwendung thermodynamischer Lösungen auf aktuelle politische Probleme wie die türkisch – deutsche Integration, die protestantisch - katholische Aggression in Nord Irland und den Krieg in Bosnien. Er begann mit Vorlesungen über „Politik und Thermodynamik“ und „Thermodynamische Konzepte in sozio-ökonomischen Systemen“.
- Auf der Physiker Tagung in Hamburg 2001 war er Gründungsmitglied des Arbeitskreises „Physik sozio-ökonomischer Systeme“ in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.
- In Nyborg, Dänemark war er 2004 Gründungsmitglied des europäischen Forschungsprojektes „Physics of Risk“ im COST Programm der EU.
- Seit August 2004 ist er pers. Prof. an der Universität Paderborn.

Ausgewählte Publikationen

- J. Mimkes, A thermodynamic formulation of economics in Econophysics & Sociophysics: Trends & Perspectives, Bikas K. Chakrabarti, Anirban Chakraborti, Arnab Chatterjee (Eds.) WILEY-VCH Verlag, Weinheim, Germany (2006) 1 - 34
- J. Mimkes, A thermodynamic formulation of social science, in Econophysics & Sociophysics: Trends & Perspectives Bikas K. Chakrabarti, Anirban Chakraborti, Arnab Chatterjee (Eds.) WILEY-VCH Verlag, Weinheim, Germany (2006) 277 - 308
- Y. Aruka and J. Mimkes, An Evolutionary Theory of Economic Interaction— Introduction to Socio- and Econo-Physics Evol. Inst. Econ. Rev. 2(2): 145–160 (2006)

- Y. Aruka and J. Mimkes, Complexity and Interaction of Productive Subsystems under Thermodynamical Viewpoints *Evol. Inst. Econ. Rev.* 2(2): 145–160 (2006)
- J. Mimkes, Concepts of Thermodynamics in Economic Growth In: The complex Networks in Economic Interactions, Akira Namatame, Taisei Kaizouji, Yuji Aruka, Ed. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer, Berlin, Heidelberg (2006)
- J. Mimkes and G. Willis, *Lagrange Principle of Wealth Distribution* in *Econophysics of Wealth Distribution*, A. Chatterjee, S. Yarlagadda, B.K. Chakrabarti, (Eds.) Springer Italia (2005) 61 - 69
- J. Mimkes and Y. Aruka, *Carnot Process of Wealth Distribution* in *Econophysics of Wealth Distribution*, A. Chatterjee, S. Yarlagadda, B.K. Chakrabarti, (Eds.) Springer Italia (2005) 70 - 78
- J. Mimkes and G. Willis, *Evidence for Boltzmann Distribution in Waged Income*, *Cond. Mat* /0406694 (2004)
- J. Mimkes, *Die familiäre Integration von Zuwanderern und Konfessionsgruppen - Zur Bedeutung von Toleranz und Heiratsmarkt*, in *Partnerwahl und Heiratsmuster*, Thomas Klein (Ed.), Leske und Budrich, Opladen (2001), 233 – 262
- J. Mimkes, Society as a many-particle System, *J. Thermal Anal.* **60** (2000), 1055 - 1069
- J. Mimkes, *Räumliche Mobilität und Wanderungsströme in Deutschland 1995 – Modelle zu statistischen Wanderungs-, Heirats- und Sterbedaten* Materialien zur Bevölkerungswissenschaft **94** (1999) 61- 83
- J. Mimkes, *Integration und Segregation nach Konfession und Staatsangehörigkeit in Deutschland und der Schweiz*, Materialien zur Bevölkerungswissenschaft **90** (1999) 88 - 110
- J. Mimkes, Society as a many particle system, Conference report, Bretsnajder Seminar Krakow (1998)
- J. Mimkes, *Binary Alloys as a Model for Multicultural Society*, *J. Thermal Anal.* **43** (1995) 521-537.