

Klimawandel, Ökonomie und Mathematik

Helmut Knolle

Gemäß der herrschenden neoklassischen Lehre ist der Gegenstand der Ökonomie die optimale Allokation knapper Ressourcen [7]. Nach dieser Definition wäre die Ökonomie nur ein Nebenzweig der Mathematik, der die Methode von Lagrange zur Maximierung einer Funktion unter Nebenbedingungen verallgemeinert und auf wirtschaftliche Probleme anwendet. In diesem Sinne hatte schon H. H. Gossen, ein früher Pionier dieser Richtung, jedem Menschen empfohlen, sein Geld so auszugeben, „dass die Summe seines Lebensgenusses ein Größtes werde“ [5]. Mit dem Wort „Wohlfahrt“ statt „Lebensgenuss“ und der Annahme, dass die Wohlfahrt einer Gesellschaft sich als eine Summe über alle Individuen berechnen lasse, konnte dann in den 1920er Jahren A. C. Pigou seine „welfare economics“ entwickeln. Die meisten Ökonomen, die sich heute mit dem Klimawandel befassen, folgen dieser Linie und stellen sich die Aufgabe, die Kosten von Klimaschutzprojekten abzuwägen gegen den Nutzen, der allen zukünftigen Generationen dadurch zuteil würde, dass der Klimawandel aufgehalten würde.

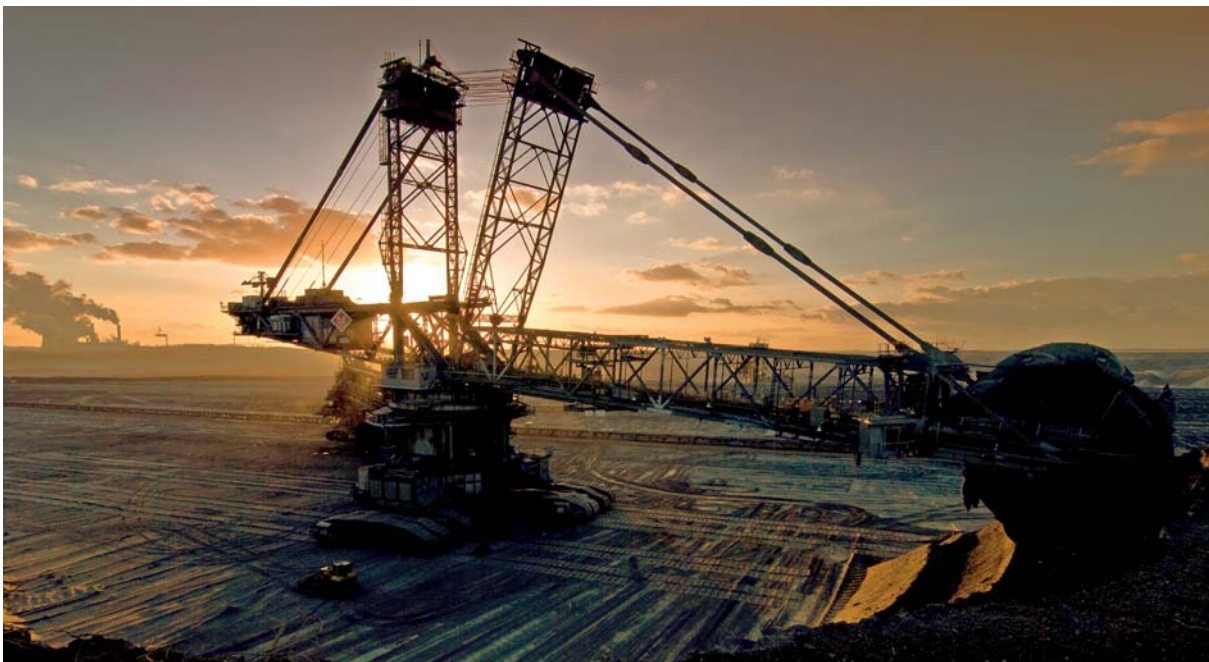
Da nun dieser Nutzen als Integral über ein unendliches Zeitintervall dargestellt wird, muss man dafür sorgen, dass das Integral konvergiert. Die Ökonomen tun das, indem sie den Nutzen zur Zeit t mit e^{-rt} ($r > 0$) multiplizieren. Dieses Verfahren heißt Diskontierung, und dabei ist r die Diskontrate. Die Höhe der Diskontrate ist heftig umstritten, aber sie entscheidet darüber, ob ein

Klimaschutzprojekt bei der Kosten-Nutzen-Analyse gut abschneidet. Der Brite Nicholas Stern, der Herausgeber des viel diskutierten Stern-Reports [9], hat sich für eine tiefe Diskontrate entschieden und empfiehlt deshalb, umfassende Maßnahmen unverzüglich einzuleiten. Die Gegenposition wurde vor allem von dem Amerikaner William Nordhaus vertreten, der damit seiner Regierung (Bush jr.) und der Ölindustrie für ihren Widerstand gegen den Klimaschutz passende Argumente lieferte [6]. Im deutschen Sprachraum gibt es Anhänger und Gegner des Stern-Reports [1].

Der Streit um die Höhe der Diskontrate ist unnötig, wenn man auf die Diskontierung ganz verzichtet. In diesem Fall hat aber das Nutzenintegral nur dann einen endlichen Wert, wenn man annimmt, dass die Menschheit eines Tages aufhört zu existieren. Für diese Lösung hat sich Stern entschieden, und er begründet das mit Berufung auf die Ethik:

The only sound ethical basis for placing less value on the utility [...] of future generations is the uncertainty over whether or not the world will exist, or whether those generations will all be present [9].

Für die Wahrscheinlichkeit einer Katastrophe, die die ganze Menschheit auslöschen würde, nimmt er eine Poissonverteilung mit der willkürlich gewählten Rate 0,1 % pro Jahr an. Stern glaubt, die Diskontierung mit dieser Annahme auf eine solide ethische Grundlage gestellt zu



Rheinbraun-Bagger 255 im Einsatz. Im Hintergrund der Tagebau Inden und das Kraftwerk Eschweiler
(Foto: © Spyridon Natsikos/CC BY 2.0 DE)

haben. Aber wenn man genauer hinsieht, dann wird auch dieser Ansatz ethisch fragwürdig. Schon 15 Jahre vor dem Stern-Report schrieb der deutsche Umweltökonom Ulrich Hampicke im Hinblick auf die Gefahr eines die Menschheit auslöschenden Atomkriegs:

Wenn man den Weltuntergang wirklich nicht wünscht, dann muss man bei der Ressourcennutzung so verfahren, als würde er tatsächlich nicht eintreten; man muss die Existenz künftiger Menschen, denen man pflichtgemäß Ressourcen hinterlassen will, subjektiv für gewiss halten (auch wenn dem objektiv nicht so ist), alles andere ist Heuchelei. [3]

Wenn man aber den künftigen Nutzen nicht diskontiert und den Zeithorizont als unendlich nimmt, dann existiert das Nutzenintegral nicht, und eine Kosten-Nutzen-Analyse für den Klimaschutz ist unmöglich. Dies ist auch die Position einer Minderheit des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Diese schlägt vor, zuerst ein langfristiges Klimaziel zu setzen und dann den Weg zu diesem Ziel zu optimieren [10]. Ein solches Ziel wäre zum Beispiel eine CO₂-neutrale Weltwirtschaft im Sinne der Definition, die später folgt.

Der Klimawandel entsteht nicht durch Knappheit, sondern durch Überfluss, denn die größten Mengen von Treibhausgasen pro Kopf werden in den reichsten Ländern ausgestoßen. Aber die herrschende neoklassische Lehre ist auf dem Begriff der Knappheit aufgebaut. Um in neoklassischem Geist Maßnahmen zum Schutz des Klimas zu entwerfen, musste man daher eine neue Ware erfinden, die künstlich knapp gehalten werden kann. Diese Ware existiert seit zehn Jahren. Sie besteht in dem Recht, eine bestimmte Menge CO₂ zu emittieren. Das Kyoto-Protokoll erlaubt den zwischenstaatlichen Handel mit diesen Rechten. Innerhalb der EU besteht seit 2005 ein Regelwerk für den Handel mit Emissionsrechten zwischen Firmen. Das Emissions Trading Scheme (ETS) der EU schreibt vor, dass alle Firmen der Schwerindustrie und des Energiesektors mit Sitz in der EU für ihre CO₂-Emissionen, die über eine bestimmte Schwelle hinausgehen, von ihrer Regierung ausgegebene Emissionsrechte besitzen müssen. Wenn sie weniger CO₂ ausstoßen, dürfen sie ihre Emissionsrechte an andere Firmen verkaufen.

Damit der Emissionshandel auch tatsächlich eine Reduktion der Emissionen bewirkt, muss der Preis der Emissionsrechte hoch sein, und nach neoklassischer Theorie ist dies nur dann der Fall, wenn sie knapp sind. In der Schweiz betrug die Subventionen für die Einsparung von CO₂ bisher 56 bis 70 CHF pro Tonne (NZZ 18.9.2013). Eine grobe Modellrechnung für die Schweiz hat ergeben, dass der Preis noch viel höher sein müsste, nämlich 245 Franken pro Tonne, damit bis 2020 der Ausstoß von CO₂ um 20% sinken würde [4]. Im Vergleich dazu waren die Preise im Emissionshandel der EU viel zu tief, sie schwankten zwischen 10 und 25 Euro [19]. Stern räumt ein:

Es war schwierig, auf dem Markt des ETS der EU die Knappheit zu gewährleisten. Im Ergebnis betrug die Reduktion der Emissionen in der EU in Phase I schätzungsweise nur 1%. [9]

Angesichts dieses Misserfolgs stellt sich die Frage, ob es nicht besser ist, den Knappheitstheoretischen Ansatz der Neoklassik bei der Behandlung des Klimaproblems ganz aufzugeben und einen Ansatz zu wählen, der von einem präzisen Begriff der Nachhaltigkeit ausgeht. Die Wörter „nachhaltig“ und „CO₂-neutral“ haben durch inflationären Gebrauch fast jede Bedeutung verloren. Deshalb werden hier die folgenden Definitionen gebraucht: Ein geschlossenes Wirtschaftssystem ist nachhaltig, wenn es eine zyklische Struktur hat, sich unendlich oft reproduzieren kann und alle Nebenprodukte, die nicht konsumiert werden können, entsorgt oder recycelt. Ein geschlossenes Wirtschaftssystem ist CO₂-neutral, wenn in ihm ebenso viel CO₂ absorbiert wie emittiert wird.

Es gibt bereits eine ökonomische Theorie, die sich zur Untersuchung von nachhaltigen Wirtschaftssystemen eignet. Sie wurde 1960 in England von Piero Sraffa in seinem Buch *Warenproduktion mittels Waren* publiziert [8]. Wie der Titel schon sagt, betrachtet Sraffa eine Wirtschaft, die alle ihre Produktionsmittel selber produziert. Kuppelproduktion, d. h. die Produktion verschiedener Produkte im gleichen Prozess, wird nicht ausgeschlossen. Angenommen, es gebe n Prozesse und n Produkte. Das Element $a_{ik}(b_{ik})$ der nicht-negativen Matrix $A(B)$ bezeichne die Menge des i -ten Produkts, das in einem Jahr in den k -ten Prozess eingeht (aus dem k -ten Prozess hervorgeht). Die Komponenten des Vektors ℓ geben an, wie viele Arbeitsstunden im Jahr in jedem Prozess aufgewendet werden. Ist r die Profitrate, die für alle Prozesse gleich sein soll, und w der Stundenlohn, dann erfüllt der Preisvektor p nach Sraffa ([8, S. 69–70]) die Gleichung

$$(1 + r)Ap + \ell w = Bp \quad (I)$$

In dem Fall, in dem B eine Diagonalmatrix ist (keine Kuppelproduktion), kann man zeigen, dass alle Preise positiv sind, wenn r kleiner ist als eine Schranke, die von dem Frobenius-Eigenwert der Matrix $B^{-1}A$ abhängt. Wenn Kuppelproduktion vorliegt und B keine Diagonalmatrix ist, dann können sich für einige Kuppelprodukte negative Preise ergeben. Dies können dann schädliche Nebenprodukte sein, deren Entsorgung Kosten verursacht.

In dieses Produktionsmodell kann auch der Kreislauf des Kohlenstoffs integriert werden. Vor der Industriellen Revolution wurde nicht mehr CO₂ emittiert als durch die Vegetation weltweit absorbiert werden konnte. Dieses Gleichgewicht ist heute gestört. Ein Ziel der Klimapolitik ist es, die Absorption von CO₂ zu fördern. Aufforstung und nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern tragen zum Klimaschutz bei und können mit Geldern aus dem Verkauf von Emissionsrechten unterstützt werden [2]. Das folgende Modell soll zeigen, wie der Kreislauf des Kohlenstoffs und der Handel mit Emissionsrechten in

ein Modell der Produktion von Gütern integriert werden können.

Sraffa beginnt mit einem Modell einer sehr einfachen kapitalistischen Volkswirtschaft, in der ein Zweig nur Weizen und ein Zweig nur Eisen produziert. Unter Eisen werden dabei einfache eiserne Werkzeuge verstanden, die nach einem Jahr abgenutzt sind. Die Arbeiter werden nicht mit Geld entlohnt, sondern mit Weizen. Die Verwandlung der Produktionsmittel in Produkte im Laufe eines Jahres werde durch das folgende Schema beschrieben ([8, S. 25]):

$$280 \text{ t Weizen} + 12 \text{ t Eisen} \rightarrow 575 \text{ t Weizen}$$

$$120 \text{ t Weizen} + 8 \text{ t Eisen} \rightarrow 20 \text{ t Eisen}$$

Da der Lohn der Arbeiter als Naturallohn in den Mengen von Weizen auf der linken Seite enthalten ist, kann man in Gleichung (1) $w = 0$ setzen. Mit der Profitrate r und den Preisen p_1 für Weizen und p_2 für Eisen hat man die Gleichungen:

$$(1 + r)(280p_1 + 12p_2) = 575p_1$$

$$(1 + r)(120p_1 + 8p_2) = 20p_2$$

mit der Lösung:

$$r = 0.25 \quad p_1 = 1 \quad p_2 = 15$$

Jetzt wollen wir annehmen, dass es eine mechanisierte und eine traditionelle Landwirtschaft gibt. Letztere wird von Subsistenzbauern betrieben, die außerdem ein Stück Wald nachhaltig bewirtschaften, sodass ihre Betriebe als CO₂-Senken fungieren. Die mechanisierte Landwirtschaft und die Eisenindustrie sind Quellen von CO₂. Das System dieser drei Wirtschaftszweige soll durch das folgende Schema beschrieben werden:

$$280 \text{ t Weizen} + 12 \text{ t Eisen} \rightarrow 575 \text{ t Weizen} + 10 \text{ t CO}_2$$

$$120 \text{ t Weizen} + 8 \text{ t Eisen} \rightarrow 20 \text{ t Eisen} + 90 \text{ t CO}_2$$

$$800 \text{ t Weizen} + 100 \text{ t CO}_2 \rightarrow 800 \text{ t Weizen}$$

In diesem System halten sich Emission und Absorption von CO₂ die Waage, es ist CO₂-neutral. Die Mengen von Weizen auf der linken Seite sind, abzüglich des notwendigen Saatguts im ersten und dritten Zweig, ein Maß für die Zahl der in jedem Zweig tätigen Personen. In den spezifischen Zahlenverhältnissen ist also u. a. die Annahme enthalten, dass die traditionelle Landwirtschaft etwa doppelt so viele Menschen beschäftigt wie Eisenindustrie und mechanisierte Landwirtschaft zusammen.

Wenn das CO₂ ignoriert wird und kein Handel mit Emissionsrechten stattfindet, dann bleiben die Subsistenzbauern isoliert, und im übrigen System bleibt das Preisverhältnis 1 : 15 zwischen Weizen und Eisen bestehen. Nun berechnen wir die Preise und die Profitrate für den Fall, dass die CO₂-Quellen eine Abgabe an die CO₂-Senken zahlen müssen. Die Höhe der Abgabe für 1 t CO₂ wird hier mit p_3 bezeichnet. Mit dieser Abgabe wird ein Anreiz zur Einsparung von CO₂ geschaffen, und gleichzeitig soll mit ihr erreicht werden, dass die Subsistenzbauern an dem Wohlstand, dessen die Industriestaaten sich

durch den Einsatz von fossiler Energie erfreuen, partizipieren können. Dieses Ziel kann abgebildet werden durch die Forderung gleicher Profitraten in allen drei Zweigen. Wenn diese erfüllt ist, dann gelten die Gleichungen:

$$(1 + r)(280p_1 + 12p_2) = 575p_1 - 10p_3$$

$$(1 + r)(120p_1 + 8p_2) = 20p_2 - 90p_3$$

$$(1 + r)800p_1 = 800p_1 + 100p_3$$

Mit der Normierung $p_1 = 1$ erhält man die Lösung

$$r = 0.11 \quad p_1 = 1 \quad p_2 = 19.15 \quad p_3 = 0.88$$

Es zeigt sich also, dass ein Handelsschema, an dem CO₂-Quellen und CO₂-Senken gleichberechtigt teilnehmen können, Preise erzwingt, die von den Preisen in einer Wirtschaft mit kostenloser Emission von CO₂ sehr stark abweichen. Der Preis der Ware, bei deren Produktion sehr viel CO₂ entsteht, ist um rund 28% höher als vorher. Preisaufläge in dieser Größenordnung würden den Übergang zu Produktionsverfahren und zu Lebensstilen, die das Klima weniger belasten, fördern. Gleichzeitig könnten die Transferzahlungen an Länder, wo CO₂ absorbiert wird, dazu dienen, die Armut dort zu bekämpfen.

Literatur

- [1] Frank Beckenbach, Joachim Weimann, Jürgen Minsch, Hans G. Nutzinger, and Ulrich Witt, editors. *Jahrbuch Ökologische Ökonomie, Diskurs Klimapolitik*, volume 6. Metropolis, Marburg, 2009.
- [2] Patrick Bottazzi et al. Assessing sustainable forest management under REDD+ : A community-based labour perspective. *Ecological Economics*, 93:94–103, 2012.
- [3] Ulrich Hampicke. *Ökologische Ökonomie*. Opladen, 1992.
- [4] Marcel Hänggi. *Ausgepowert. Das Ende des Ölzeitalters als Chance*. Rotpunktverlag, Zürich, 2001.
- [5] Heinz D. Kurz. Hermann Heinrich Gossen. In D. Kurz, H. editor, *Klassiker des ökonomischen Denkens*, volume 1. C.H. Beck, 2008.
- [6] William Nordhaus. A review of the Stern review on the economics of climate change. *J. of Economic Literature*, 45:686–702, 2007.
- [7] P. A. Samuelson and W.D. Nordhaus. *Economics*. McGraw-Hill, 14th edition edition, 1992.
- [8] P. Sraffa. *Warenproduktion mittels Waren (a.d. Engl.)*. Suhrkamp, 1976.
- [9] Nicholas Stern. *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press, 2007.
- [10] Ferenc L. Toth. Comments. In William D. Nordhaus, editor, *Economics and Policy Issues in Climate Change*, pages 129–135. Resources for the Future, 1998.

Helmut Knolle, Wohlen bei Bern, Schweiz.
helmut.knolle@bluewin.ch

Helmut Knolle, geb. 1939, studierte Mathematik in Frankfurt am Main und promovierte bei Klaus Deimling. Später kam er in Berührung mit der Medizin. Er habilitierte sich in Biomathematik an der MH Hannover mit einer Arbeit über Zellkinetik und Chemotherapie von Tumoren, die 1988 im Springer-Verlag in der Reihe *Lecture Notes in Biomathematics* erschien. Danach befasste er sich mit mathematischen Modellen der Aids-Epidemie. Seit 1990 lebt er in der Schweiz.