

Universität Bayreuth
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre V - Institutionenökonomik
Prof. Dr. Martin Leschke

Alanus Hochschule für Kunst und Gesellschaft
Juniorprofessur für Philosophie und Wirtschaft
Prof. Dr. Silja Graupe

Bachelor-Arbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Arts“
im Sommersemester 2013

Clockwork Economics

—

Ontologische Grundlagen in der Ökonomik

Vorgelegt von:	Lukas Bäuerle	██████████	██████████
Adresse:	████████████████████ ████████████████████	Abgabetag:	07.05.2013
E-mail:	lukasbaeuerle@posteo.de		
Telefon:	████████████████████		
Studienfach:	Internationale Wirtschaft und Entwicklung, 7. Semester		
Matrikelnummer:	██████████		

„I rationalize; therefore I am‘ might well be the credo of everyman as economist“

Paul A. Samuelson, 1986, S. 1731

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Mechanik als Weltbild	3
2.1	Descartes	3
2.2	Leibniz	6
2.3	Analytische Mechanik	12
2.4	Die energetische Revolution	18
3	Das mechanische Weltbild in der Ökonomik	24
3.1	Ökonomik wird ‚Science‘: Mathematische Revolution	24
3.2	Mechanik der Lehrbücher: Paul A. Samuelson	40
4	Fazit	51
	Literaturverzeichnis	54
	Anhang	A1
	Eidesstattliche Erklärung	

1 Einleitung

„One has to start looking at the ontological windows instead of merely looking through them.“ (Mäki, 2001, S.6)¹

Jede Betrachtung setzt einen Menschen voraus, der von einem gewissen Standpunkt, einer *Perspektive* aus *wahrnimmt*, was sie, bzw. ihn² umgibt. Dies gilt für alltägliche Situationen ebenso wie für wissenschaftliche Forschungsarbeit. Gleich dem alltäglichen, wird der wissenschaftliche Standpunkt durch vielerlei Faktoren, wie beispielsweise Erziehung und Erfahrung, beeinflusst. Zusätzlich wird die Perspektive des Wissenschaftlers durch die Wahl eines bestimmten theoretischen Zugangs ermöglicht und gleichzeitig eingeschränkt: „To a degree, we are all prisoners of our theoretical preconceptions“ (Samuelson, 1976, S. 11). Diese Faktoren mengen sich zu einem ‚ontologischen Fenster‘ – man könnte auch ‚Brille‘, ‚Denkmodell‘ oder ‚Weltanschauung‘ sagen – das bestimmt, *was* überhaupt gesehen werden kann und *wie* es gesehen, beziehungsweise wie das Gesehene *interpretiert* wird. Das Teilgebiet der Philosophie, innerhalb dessen man sich mit diesem ‚Was‘ beschäftigt, ist die Ontologie.³ Die Epistemologie oder Erkenntnistheorie beschäftigt sich dann mit der Frage, nach dem ‚Wie‘: Wie kann ein (wissenschaftlicher) Zugang zu dem aufgebaut werden, was ist. Ontologie und Epistemologie sind dabei aufs Engste miteinander verschränkt. Um nur drei Beispiele zu nennen, die sich auch in dieser Arbeit wiederfinden: aus der ontologischen Hypothese, dass ‚da draußen‘ ein beobachtungsunabhängiges ‚Ding an sich‘ – nennen wir es eine Welt X – existiert, dann wird die erkenntnistheoretische Herausforderung darin liegen, eine Methode M_X zu finden, die die X -beschaffene Welt zu erkennen vermag. Geht man im Rahmen eines zweiten ontologischen Fensters davon aus, dass es ein ‚Ding an sich‘ zwar gibt, ein Zugang jedoch stets verwehrt bleibt, dann bliebe beispielsweise noch die Möglichkeit die aus ihm resultierenden Erscheinungen X^* – die *Phänomene* – mittels der Methode M_{X^*} zu untersuchen. In einer dritten Weltanschauung wiederum, in der Beobachtung das Wahrgenommene beeinflusst, ließen sich Epistemologie und Ontologie nur schwerlich voneinander trennen, da sie sich in einem ständigen Wechselspiel befinden. Wie oben dargelegt, wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass das, was einem als ‚Realität‘ erscheint, unmittelbar aus der Konstitution der eigenen Perspektive folgt. Die Frage nach dem ‚Ding an sich‘ stellt sich somit nicht; vielmehr rückt die Durchleuchtung von Perspektiven in den Vordergrund, um so nachzuvollziehen, *wie* Menschen auf etwas erblicken und *was* sie dadurch sehen (können). Dabei sei angemerkt, dass selbstverständlich auch der vorliegenden Arbeit eine Weltanschauung zugrunde liegt.

¹In der Arbeit werden, soweit nicht anders gekennzeichnet, immer die Hervorhebungen der zitierten Quellen wiedergegeben.

²Für den Rest der Arbeit wird auf diese Unterscheidung verzichtet. Es sind immer beide Geschlechter angesprochen.

³Ontologie wird im folgenden gleichgesetzt mit Metaphysik im Sinne der auf Aristoteles zurück gehenden *allgemeinen* Metaphysik, also der allen Wissenschaften vorausgehenden Wissenschaft des Seienden in Unterscheidung zur *speziellen* Metaphysik, oder ‚Gotteswissenschaft‘ (vgl. Kremer, 1984, S. 1189).

Der Untertitel dieser Arbeit verrät, dass versucht wird, dasjenige Weltbild aufzudecken, das dem Großteil der Wirtschaftswissenschaft zugrunde liegt.⁴ Im Folgenden wird die These vertreten, dass das ökonomische Weltbild aus der physikalischen Disziplin der Mechanik übernommen und im Laufe des 20. Jahrhunderts in der standardökonomischen Ausbildung verankert wurde. Um es mit Irving Fisher zu sagen: „The student of economics thinks in terms of mechanics“ (Fisher, 1965, S. 24). Im ersten Teil der Arbeit widmen wir uns zunächst den ontologischen Grundlagen der klassischen und analytischen Mechanik sowie deren Entwicklung. Im zweiten Teil wenden wir uns dann der Imitation der mechanischen Formalismen durch die sog. ‚frühen Neoklassiker‘ und abschließend der breitenwirksamen Streuung der dieser Methode eigenen Weltanschauung mittels eines festen Lehrbuchkanons zu. Aus dieser Perspektive der *Clockwork Economics* werden ökonomische Zusammenhänge gleichsam einem Uhrwerk als eine Maschine wahrgenommen, die in strenger Analogie zur Mechanik bestimmten Gesetzmäßigkeiten unterliegt und vermeintlich eine vollständige Durchdringung mittels einer bestimmten mathematischen Methode erlaubt. Wem der erste Teil dieser Arbeit müßig erscheinen mag, der sei somit darauf hingewiesen, dass Ökonomik, wie sie heute weltweit gelehrt wird, ohne eine Kenntnis der historischen und (impliziten oder expliziten) philosophischen Entwicklung der Mechanik nicht verstanden werden kann.

Jeder, der sich wundert, warum ausgerechnet eine geometrische Analyse von Marktverhalten Antworten auf drängende Fragen des 21. Jahrhunderts liefern soll, oder warum ein Bachelor in Mathematik oder Physik an vielen Hochschulen zur Aufnahme eines Master-Studiums in Ökonomik (im deutschen Sprachraum auch: Volkswirtschaftslehre) qualifiziert, wird in dieser Arbeit Antworten finden. Sie ist gleichsam keine Rechtfertigung oder gar Ausdruck mathematischen Desinteresses.⁵ Vielmehr geht es darum, nicht mehr glauben – Autoritäten blind vertrauen – zu müssen, dass nur über Mathematik verstanden werden kann, wie Menschen handeln, sondern dazu befähigt zu werden, über (wissenschaftliche) Perspektiven eigenständig *reflektieren* zu können. Denn:

„In matters of philosophy and science authority has ever been the great opponent of truth. A despotic calm is usually the triumph of error [...] In science and philosophy nothing must be held sacred. Truth indeed is sacred; but, as Pilate said, “What is truth?” Show us the undoubted infallible criterion of absolute truth, and we will hold it as a sacred inviolable thing. But in the absence of that infallible criterion, we have all an equal right to grope about in our search of it; and no body

⁴Das im Untertitel enthaltene Wort ‚in‘ soll darauf verweisen, dass es in der Ökonomik prinzipiell auch andere Ontologien gibt. Der Begriff ‚Ökonomik‘ (engl.: ‚Economics‘) wird in Kapitel 3 aus dem Grund synonym mit dem Zugang der neoklassisch-mathematischen Tradition verwendet, weil er in dem zunächst beleuchteten historischen Kontext (3.1) und später im Zuge der Prägung der Ökonomik als *Einheitswissenschaft* (3.2) auch so verwendet wurde. Diese Gleichsetzung liegt aus Sicht von Wissenschaftlern, die von der in dieser Arbeit untersuchten Perspektive abweichende – sog. heterodoxe – Zugänge zu ‚Wirtschaft‘ verfolgen, nicht vor. Diese Position wird im Untertitel berücksichtigt.

⁵„Mathematics is looked upon as an intruder by those students of economics who have not had the mathematical education to understand and make use of them, and who are unwilling to *believe* that others enjoy a point of view unattainable by themselves.“ (Fisher, 1965, S. 119, Hervorhebung L.B.)

and no school nor clique must be allowed to set up a standard of orthodoxy which shall bar the freedom of scientific inquiry.“ (Jevons, 1965, S. 275-276)

Wir wollen uns also hier nicht dem Marshall-Kreuz, den Gossen'schen Gesetzen, walrasianischen Gleichgewichtstheorien oder der Edgeworth-Box widmen, sondern nachvollziehen, welche Welt die Schöpfer dieser Theorien und Modelle vor Augen hatten. Wir wollen das nachholen, was in den Lehrbüchern der modernen Ökonomik und damit auch den Lehrveranstaltungen seit vielen Jahrzehnten keinen Platz mehr findet: eine wissenschaftstheoretische Reflexion der ökonomisch-wissenschaftlichen Perspektive und der Wahrnehmung von Ökonomen als historische, d.h. sozial eingebettete *Menschen*.⁶ Denn nur diese Reflexion befähigt dazu, Möglichkeiten wie Grenzen bestehender oder möglicher Brillen zu erfassen und sich in der Folge seiner Perspektive *bewusst* zu werden.⁷

„Es ist vielmehr so, daß gerade jene wissenschaftstheoretischen Überlegungen, in denen es im Grunde um nichts anderes als den schon erwähnten Begründungszusammenhang von Sätzen geht, (ebenso wie die zuvor erwähnte teleologische Reflexion) zu Wissenschaft selbst gehören, also auch vom einzelnen Wissenschaftler angestellt werden müssen, wenn dieser nicht in einer nun ersichtlich unkritischen Weise von eigenen oder fremden, theoretisch nicht mehr reflektierten, Gewohnheiten abhängig werden will. In diesem Fall gläubte er lediglich, Wissenschaft zu treiben, er wüßte es nicht, weil zu diesem Wissen eine selbst geleistete methodische Begründung gehört.“ (Mittelstraß, 1970, S. 208)

Aus dem bislang Gesagten geht auch der methodische Zugang dieser Arbeit hervor: die (interdisziplinäre) *wissenschaftshistorische* Rekapitulation der Entwicklung der mechanischen Theorie geht in den folgenden Kapiteln mit einer *wissenschaftsphilosophischen* Reflektion der mit ihr verbundenen Implikationen im jeweiligen Kontext einher. Wenden wir uns in einem ersten Schritt demjenigen Wissenschaftler zu, der den neuzeitlich-wissenschaftlichen Zugang zu dem was (nach ihm) *ist*, als Erster expliziert hat: Descartes.

2 Mechanik als Weltbild

2.1 Descartes

„René Descartes ist in der That der wahrhafte Anfänger der modernen Philosophie, insofern sie das Denken zum Princip macht [...] Die Wirkung dieses Menschen auf sein Zeitalter und die neue Zeit kann nicht ausgebreitet genug vorgestellt werden. Er ist so ein Heros, der die Sache wieder einmal ganz von vorne angefangen, und den Boden der Philosophie erst von Neuem konstituiert hat, auf den sie nun erst nach dem Verlauf von tausend Jahren zurückgekehrt ist.“ (Hegel, 1959, S. 331)

⁶„It must be remebered that the character of economists is itself a variable and from generation to generation those choose or reject the pursuit of economics according to what it is at the time of choice.“ (Fisher, 1965, S. 119)

⁷„I rather shy away from discussions of Methodology with capital M. To paraphrase Shawe, those who can, do science, those who can't, prattle about its methodology. Of course I cannot deny that I have a methodology. It is just that there seems little appeal in making it explicit to an outsider. Or, for that matter, in *spelling it out to my own consciousness*.“ (Samuelson, 1993, S. 240; zitiert nach Cross, 2006, S. 330; Hervorhebung L.B.)

Der cartesianische Bruch mit der Tradition, die Begründung einer *neuen Zeit* sollte der (mechanischen) Naturerschließung einen festen wissenschaftlichen Standpunkt liefern. Er folgt aus der Ontologie René Descartes', welche mit dem Begriff des ‚Cartesianischen Dualismus‘ treffend umschrieben werden kann. Dieses Denkmodell sieht die Spaltung der Welt in zwei Weltheiten vor:⁸ erstens in einen Geist (*res cogitans*), der nichts *tut* als zu denken und in diesem Denken ist. Somit kann er als aktiv und nicht-dinglich umschrieben werden. Und zweitens in eine materielle Welt (*res extensa*), die als einzige Eigenschaft ‚Ausdehnung‘, also eine Körperschaft, aufweist. Sie ist vollkommen frei von psychischen Einflüssen (Magie, Mystik, Animistik) (vgl. Westfall, 1977, S. 31). Beide Formen des Seins sind wahrhaftig und genau definiert durch ihre Spezifika: „Denken und Ausdehnung können als das angesehen werden, was die Natur der denkenden und der körperlichen Substanz ausmacht“ (Descartes, 1961, S. 23). Diese cartesianische Spaltung wird – wie wir sehen werden – das Fundament der neuzeitlichen Erkenntnissuche bilden. Zuvor wenden wir uns der genauen Beschaffenheit der Elemente dieses Dualismus zu.

Das denkende, vernunftbegabte Ich wird für Descartes zum einzig sicheren Felsen, auf dem stehend der Wissbegierige die *res extensa* erkunden kann. Dieses Ich ist gestaltlos, besitzt also keine Ausdehnung. Es existiert nur im Denken und wird durch den berühmten Satz „cogito ergo sum“, bzw. „Ich denke, also bin ich“ (Ebd., S. 2) konstituiert. Es ist der Prototyp von Wissenschaftlichkeit, die sich durch logisches Denken und begriffliche Exaktheit, also eine intersubjektiv überprüfbare *Methode* auszeichnet. Einziger Anker für diesen wissenschaftlichen Neuanfang ist der klare Verstand (lat.: *ratio*). Das *ego cogito* kennt somit keine Identität, Gefühle oder Sinneswahrnehmungen. Es ist anonym und apersonal *in* seiner Wissenschaftlichkeit. Aus dem Plural der sinnlich Erfahrenden wird der Singular des durch Verstand schließenden Wissenschaftlers. Dieser Verstand ist radikal gedacht: Geschichte und Tradition werden im reinen Denken als Schleier, als Vorturteile entlarvt (vgl. Mittelstraß, 1970, S. 328). Vielmehr wird es zum Ausgangspunkt von Wissenschaftlichkeit, mit eben diesen Traditionen zu brechen, sie einem „systematischen Zweifel“ (Westfall, 1977, S. 32) zu unterziehen und eine wahre, objektive Welt aus dem Verstand, also aus dem *ego cogito* selbst heraus zu *erschließen*:

„Da wir als Kinder auf die Welt kommen und über sinnliche Gegenstände urteilen, bevor wir den vollen Gebrauch unserer Vernunft erlangt haben, so werden wir durch viele Vorurteile an der Erkenntnis der Wahrheit gehindert, und es scheint kein anderes Mittel dagegen zu geben, als einmal im Leben sich zu entschließen, an allem zu zweifeln, worin man auch nur den geringsten Verdacht einer Ungewißheit antrifft.“ (Descartes, 1961, S. 1)

Im Bruch mit der Tradition, mit *Meinungen*, verliert auch der wissenschaftliche Diskurs an Bedeutung. Schließlich liegen alle Antworten bereits in der *res cogitans*, im Denken;

⁸Diesen beiden Seinssphären wird von Descartes noch eine dritte, göttliche hinzu gestellt. Der cartesianische Gottesbeweis ist jedoch für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit – der durch Descartes begründeten Erkenntnistheorie – nicht relevant.

sie zu ergründen kann nur in der „methodischen Isolierung“ (Mittelstraß, 1970, S. 391) erfolgen. Diskurs wird in der cartesianischen Welt obsolet: „Der Neuanfang bei Descartes, der damit vollzogene Traditionsbruch ist *kategorial* die Ersetzung des Dialogs durch das Selbstgespräch“ (Brodbeck, 2009, S. 52; vgl. auch Descartes, 1961, S. XLV). Für das Selbstgespräch gibt Descartes sich im ‚Discours de la méthode‘ [1637] bestimmte Regeln vor: so erkennt er (1) nur das für wahr, was keinen Zweifel mehr lässt, zerlegt (2) jede Frage in möglichst viele kleinere und leichte Fragen, ordnet (3) seine Gedanken und Schlüsse von den einfachsten zu den schwersten und warnt sich schließlich (4) einen allgemeinen Überblick zu wahren, um nicht Gefahr zu laufen, etwas Bedeutendes zu übersehen (vgl. Descartes, 1870, S. 32-3).

Nachdem er die Welt gespalten (Ontologie) und skizziert hat, wie die Brücke zwischen beiden Teilen gebaut werden könne (Erkenntnistheorie), führt er nun seine vernunftbegabte Analyse der materiellen Welt, der *res extensa*, durch. Wie bereits beschrieben, *ist* die *res extensa* ihre Ausgedehntheit. Folglich kann sie auch nur in Begriffen und Einheiten erkannt werden, die Ausgedehntheit zu erfassen vermögen. Die analytische Geometrie – als dessen Gründervater Descartes gilt – avanciert dadurch mitsamt ihrem Instrumentarium zur *einzig möglichen* Brücke. Diese Brücke impliziert eine Etablierung des Menschen *als ego cogito* im Zentrum der Naturerkenntnis und -beherrschung. Es findet somit eine ‚Hierarchisierung des Wahrhaftigen‘ statt. Descartes nimmt sich als *ego cogito* aus der dinglichen Welt heraus, blickt von außen auf sie und erkennt sie als Maschine, die einzig mit Hilfe der analytischen Geometrie erfasst werden kann. Das *ego cogito* projiziert geometrisch-mechanische Gedanken auf die Natur und reproduziert sie *darin* als „maschinelles Artefakt“, als eine Kunstwelt (vgl. Gloy, 1995, S. 164, 178, 194). Veränderungen in der Körperwelt werden als ‚Materie in Bewegung‘ verstanden, welche mechanisch erklärt werden können. Es gibt schlichtweg keinen Platz für okkulte oder mystische Elemente, für alternative Erklärungsweisen (vgl. Westfall, 1977, S. 33, 120-2). Die Konstante der cartesianischen *res extensa* ist dabei die *Kraft*. In der kontinuierlichen Weitergabe von Bewegung im Raum bleibt die Kraft (Masse · Geschwindigkeit = $m \cdot v$) gänzlich erhalten: „Wenn wir aber anerkennen, daß unmöglich aus Nichts Etwas werden kann, dann gilt der Satz: Aus Nichts wird Nichts“ (Descartes, 1961, S. 17). Descartes gilt somit auch als Wegbereiter des Energieerhaltungssatzes, indem er in allen Veränderungen der Natur eine Konstante sieht (vgl. Mach, 1883, S. 429). Konsequenterweise ist für Descartes auch die organische Welt eine mechanische, Tiere sind nichts anderes als Maschinen. Einzige Ausnahme ist der Mensch, der Körper *und* Geist in sich vereint (vgl. Westfall, 1977, S. 38). Dieses Weltbild mag dem Leser im 21. Jahrhundert aufstoßen: „Wir sagen: Der Körper leistet auch Widerstand, hat Geruch, Geschmack, Farbe; ohne solche ist kein Körper. [...] Cartesius will aber nur denken; Widerstand, Farbe u.s.w. denkt er nicht, er faßt es nur als sinnlich“ (Hegel, 1959, S. 360-1). Geometrische Variablen sind die einzigen Maßstäbe der cartesianischen Welt. Durch die in seiner zweiten methodischen Regel

angelegten universale Zergliederung der Welt (*methodologischer Reduktionismus*) ist nur noch das Messbare sichtbar. Einheit wird in dieser Welt durch die Zahl vermittelt, durch sie wird sie ein „vollständiges und selbstbezogenes Ganzes“ (Koyré, 1980, S. 100):

„Wenn wir z.B. zwei Steine sehen und nicht auf ihre Eigentümlichkeit, sondern nur darauf achten, daß es zwei sind, so bilden wir die Idee dieser Zahl, welche wir die Zwei nennen. Sehen wir später zwei Vögel oder zwei Bäume und beachten ihre Natur weiter nicht, sondern nur, daß sie zwei sind, so treffen wir die frühere Idee, die deshalb universal ist, und wir nennen diese Zahl mit demselben universellen Wort Zwei [...] Hieraus kann man auch leicht abnehmen, daß die Materie des Himmels keine andere als die der Erde ist, und daß, wenn es unzählige Welten gäbe, sie doch alle aus ein und derselben Materie bestehen müßten, und daß es deshalb nicht mehrere, sondern nur eine Welt geben kann.“ (Descartes, 1961, S. 20, 41)

Physik wird in dieser Perspektive auf Mechanik reduziert und als wissenschaftliches Ideal konstituiert. Mit der cartesianischen Weltanschauung vollzieht sich gleichsam ein Wandel der Mechanik von einem *möglichen* Zugang zur Natur zum Synonym von Physik, zum qualifizierten Zugang zu Allem (vgl. Gloy, 1995, S. 169-70).

Wie ist Descartes' Werk nun nach dem bis hierher dargelegten einzuordnen? Das grundlegend Neue liegt im Dualismus, in der Möglichmachung von wissenschaftlichem Erkenntnisgewinn mithilfe einer Trennung des Erkennenden vom Erkannten. Fortan wird die Wissenschaft in vielfältige Teildisziplinen ausdifferenziert, die sich alle daran machen, die *res extensa* zu ergründen. Den ersten Anstoß für diese Erkundungsreise gibt Descartes durch ungelöste Probleme, bzw. theoretische Inkonsistenzen selbst. Dazu gehört u.a. das vage Verhältnis von Körper und Geist („Leib-Seele-Problem“), ferner die Gleichsetzung von Materie und Raum und die damit verbundene Unmöglichkeit eines Vakuums, sowie die genaue Beschreibung der Bewegungsgesetze (vgl. Mittelstraß, 1970, S. 334-7; Koyré, 1980, S. 96).

Trotz massiver Auseinandersetzungen im Hinblick auf diese Fragestellungen denken von Gassendi, über Moore bis hin zu Hobbes und Spinoza bereits alle ihre Kritik und Alternativen *in* der cartesianischen Perspektive:

„Das Ich stellt sich *vor* seinen Gegenstand, um diesen äußerlich *vorzustellen* (=englischer Empirismus), innerlich *vorzustellen* (=Descartes) oder *herzustellen* (=Vico). [...] Der cartesianische Beobachter *trennt* sich von seinem Gegenstand, er schafft eine Distanz zwischen sich und ihm, um ihn als *gegen-stehend* klar analysieren zu können und uns den logischen Atomen seiner Analyse dann wie ein Baumeister, ein neues Theoriegebäude zu errichten, das die gegebene Welt überwindet und *mehr* erschafft, „als die sichtbare Welt enthält“. Darin stimmen im Wesentlichen alle Spielarten der an Descartes anschließenden philosophischen Systeme überein.“ (Brodbeck, 2009, S. 54-5)

2.2 Leibniz

Ein zentraler Streitpunkt bildet die cartesianische Gleichsetzung von Materie und Raum. Sie impliziert (1) falsche Stoßgesetze aufgrund der Reduktion von Kraft auf Bewegungs-

quantität ($m \cdot v$), (2) die Einschränkung des Erhaltenen auf einen statischen, nicht aber dynamischen Kontext, (3) eine zur Erfahrung konträren Reduktion der Masse auf Volumen, (4) die Unmöglichkeit der Erklärung von Bewegungen in der voll ausgefüllten Welt und deren Jenseits ohne einen zentralen Fixpunkt (Ursprung des geometrischen Koordinatensystems). Das verhindert schließlich auch (5) eine Unterscheidung ruhender von bewegten Körpern (vgl. Gueroult, 1988, S. 513).

Gottfried Wilhelm Leibniz⁹ gelingt es nach anfänglicher Sympathie für den ontologischen Entwurf Descartes', in den 80er Jahren des 17. Jahrhunderts diese Unklarheiten durch die Entwicklung einer alternativen Perspektive aufzulösen und damit eine Reintegration von Metaphysik und Physik zu vollziehen. Dreh- und Angelpunkt dieser Entwicklung ist der Kraft-Begriff und seine ontologische Deutung.

Als Ausgangspunkt der Beschreibung der Leibniz'schen Ontologie soll uns die 1686 veröffentlichte Schrift mit dem Titel „Kurzer Beweis eines bemerkenswerten Irrtums Descartes“ (Leibniz, 1992b) dienen. Als zentrales Problem der cartesianischen Bewegungsgesetze arbeitet Leibniz darin deren Verwechslung von *Bewegungskraft* und *Bewegungsmaß* heraus. Nur in statischen Situationen sei die Kraft gleich dem Bewegungsmaß ($m \cdot v$). Statische Situationen seien allerdings nur ein Grenzfall der beobachtbaren Bewegungen und dienen daher weder zur Beschreibung aller Bewegung, noch zur Identifizierung des in diesen Bewegungen Erhaltenen. Kraft müsse man anhand des *Effektes* messen, den sie verursachen kann. Es stellt sich also die Frage nach dem Maßstab des Effektes. Diesen identifiziert er mit dem, was Huygens aufbauend auf Experimenten Galileis' in der Formel $F = mv^2$ beschrieben hatte und nennt diese Größe *vis viva* („lebendige Kraft“). Die Konsequenzen dieses neuen Kraftverständnisses könnten bahnbrechender nicht sein:

„Leibniz wird [...] dazu gebracht, die cartesianische Gleichsetzung der Ausdehnung und der Substanz der Körper zu verwerfen und *sowohl* die Ausdehnung *als auch* die Substanz in einer anderen Weise zu denken als Descartes. Seiner Ansicht nach kann man die wirklichen Bewegungen nur durch das Einschalten eines extra-geometrischen Faktors erklären, nämlich der lebendigen Kraft, deren Formel $m \cdot v^2$ etwas bezeichnet, das nicht auf rein Geometrisches zurückzuführen ist; dieses Etwas schließt nämlich schon in der Gegenwart die zukünftige Wirkung (welche an der Arbeit gemessen werden kann) ein; das Geometrische aber liefert uns nur Aktuelles.“ (Gueroult, 1988, S. 513)

Somit wird auch die *Zeit* in die physikalische Betrachtung aufgenommen. Aus der unendlichen *res extensa* wird das grenzenlose Raum-Zeit-Kontinuum, in der die Zeit allerdings, wie geometrische Größen, nur als Modalität von Bewegung auftritt und dadurch von Beginn an ihrer *qualitativen* Dimensionen entledigt wird (vgl. Wellhöner, 2002, S. 55). Mit diesem Rahmen ist aber noch nicht beschrieben, worin das *Wesen* der Kraft besteht. Die Lebendigkeit, die Kraft entfaltet sich *spontan* und wird in dieser Entfaltung zu Realität. Alles was *ist*, ist lebendige Kraft: das Universum erscheint somit „als unendliche Zahl

⁹In diesem Abschnitt wird an die reduktionistische Leibnizdeutung nach Russell, Cassirer und Courat angelehnt. Siehe zu den Strömungen der Leibnizforschung (Heinekamp, 1988).

unendlich kleiner Elementarkräfte, die in jedem Augenblick wie die Differentiale einer Kurve ihre eigenen mathematisch bestimmbaren Kennzeichen haben. Jede dieser Kräfte ist Spontaneität, eine Expansion von innen nach außen“ (Gueroult, 1988, S. 514). Aus der statisch-geometrischen *res extensa* ist ein dynamisch-kraftgeladenes Universum geworden.

In dieser Betrachtung kann auch die Bewegung eines bestimmten Körpers zu einem bestimmten Zeitpunkt durch die Relation zu einem anderen genau bestimmt werden; alles ist miteinander vernetzt, voneinander bedingt und in den Modi Zeit und Raum verständlich rekonstruierbar. In der cartesianischen *res extensa* war diese gegenseitige Bedingtheit noch nicht möglich, da man in einem voll ausgefüllten Raum (Plenum) keine Bewegung von Ruhe unterscheiden, geschweige denn die Bewegung eines bestimmten Körpers nachzeichnen konnte (vgl. Turck, 1967, S. 60-1, 141). Ebenso wenig wie man eine gedachte Bewegung der in einem Granitblock enthaltenen Sandkörner verfolgen kann.

Allerdings räumt Leibniz ein, dass die lebendige Kraft als physikalische Kraft nur das offenbart, was uns *phänomenal* entgegentritt. Das wahre Wesen, die Quelle der Existenz, bleibt uns stets verschlossen. Leibniz prägt für diese Quelle, den Begriff der *Monade*. Alles was der Mensch erkennen kann, sind nur die *Erscheinungen* der nach außen drängenden Monaden-Kräfte. Die mechanische Physik kann in der lebendigen Kraft nur den Spiegel der Wirklichkeit, die äußeren *Reaktionen* auf die Aktivität der ewigen Spontanität (mathematisch) erfassen: „Die derivative Kraft ist das notwendige Verbindungsglied zwischen dem Phänomen der Bewegung und ihrem substantiellen Grunde“ (Ebd., S. 70). Das einzig Seiende sind die Monaden. Alles, was sein will, muss aus ihnen abgeleitet sein. Außer ihnen ist Nichts. Leibniz prägt mit seiner Monadenlehre somit ein Naturverständnis der Erscheinungen (*phaenomena*), die auf das Tatsächliche, auf das Seiende hinter Materialität und Ausdehnung hinweisen. Wie kann nun dieser substantielle Grund – die Monade – als eigentlich jenseits der Möglichkeit menschlicher Erkenntnis liegende dennoch gedacht werden?

„Jedes Mögliche strebt nach der Existenz entsprechend seinem Grad an „Vollkommenheit“, d.h. an Realität. Im Inneren des göttlichen Verstandes, welcher „das Reich der möglichen Realitäten“ ist, streiten alle Möglichkeiten miteinander um die Existenz. Das Ergebnis dieses Kampfes ist der unausbleibliche und automatische (um nicht zu sagen notwendige) Sieg desjenigen Systems oder Compossibilia, welches das Höchstmaß an Wesenheit oder „Vollkommenheit“ enthält. Die Welt ist so das Produkt eines „metaphysischen Mechanismus“ und „einer göttlichen Mechanik“. Die Schöpfung ist die Lösung einer Extremwertaufgabe.“ (Couturat, 1988, S. 64-5)

Monaden sind Ideen – Möglichkeiten – Gottes, die nach außen streben und in der Vollkommenheit der Schöpfung verwirklicht werden. Sie sind spontane Kräfte, die sich entfalten wollen. Der göttliche Geist, das Denken, wird dann Realität in der ‚besten aller Welten‘ und zwar *nur* in dieser. Gott ist in seiner Wahl dessen, was Realität werden soll, unfrei: „ich halte frei und bestimmt nicht für Gegensätze“ (Leibniz, 1968, S. 194). Er muss

immer das Beste, das Vollkommenste, eben das wählen, wodurch sich ein Maximum an Mannigfaltigkeit bei gleichzeitigem Minimum an Aufwand ergibt:

„Alles ist in der Natur miteinander verbunden; und wenn ein geschickter Handwerker, ein Ingenieur, ein Architekt und ein reiner Politiker schon ein und dieselbe Sache für verschiedene Zwecke zu gebrauchen wissen, wenn man, sobald es sich bequem tun läßt, mit einer Klappe zwei Fliegen schlägt; dann muß man von Gott, dessen Weisheit und Allmacht vollkommen ist, sagen, daß er stets so handelt. Das heißt Platz, Zeit, Raum und Stoff ersparen, welche sozusagen seine Unkosten bilden.“ (Ebd., S. 175)

Die Wirklichkeit ist maximal, weil eben diese real gewordene Kombination ein Maximum an Wesenheit hervorzubringen vermochte. Sie kann als mechanisches Produkt beschrieben werden, sie ist vorbestimmt, *prädeterminiert*: „so hat Gott ein für allemal alles im voraus geregelt“ (Ebd., S. 101). Monaden sind zwar spontan, in ihrer Verwirklichung durch die Wahl Gottes jedoch jäh schon auserwählt. Zu diesem Extremwert gehört auch die Verneinung der Wiederholung, denn eine solche widerspräche dem Maximalprinzip der Realität. Nur in dem Spannungsverhältnis zwischen der grundsätzlichen Möglichkeit des Seins bei gleichzeitiger Unmöglichkeit des *Zugleichseins* aller Möglichkeiten wird Existenz logisch möglich: „Da sich alle Möglichkeiten untereinander in ein und derselben Weltverknüpfung nicht vertragen, so kann eben aus dem Grunde nicht alles Mögliche hervorgebracht worden sein“ (Ebd., S. 257). Leibniz' Welt ist ein einziges Kontinuum, eine *sukzessive* Existenz, in der der Augenblick als Grenzwert keine Wirklichkeit besitzt. Das ‚Gute‘ oder ‚Beste‘ ist in dieser besten aller Welten nur insofern moralisch gewendet, als dass es aus einem Maximum an Realität besteht. Schließlich folgt die Mechanik dem Prinzip von Ursache und Wirkung und damit der Logik und nicht einer Moral (vgl. Couturat, 1988, S. 72). Wir nähern uns dem Kern der Leibniz'schen Metaphysik, dem Prinzip des Grundes:

„Ich reduziere die gesamte Mechanik auf einen einzigen metaphysischen Satz, [...] daß nichts ohne Grund ist oder jede Wahrheit ihren Beweis *a priori* hat“ (Leibniz, 1992a, S. 276). Wie schon bei Descartes, lässt sich jede Wahrheit also durch Analyse (Zerlegung in Ursache-Wirkungs-Verhältnisse) begreifen, die Welt ist durch den Verstand vollkommen erschließbar, sie ist *intelligibel*. Man könnte sagen, dass die Leibniz'sche Welt nur aus Ursachen und Wirkungen besteht, sie ist radikal mechanisch. Aus diesem letzten Grund ist alles weitere ableit- bzw. zurückverfolgbar, alles Seiende ist miteinander verwoben: „Wissen muß man, daß in jeder möglichen Welt alles miteinander in Verbindung steht: jedwedes Universum ist ein Ganzes aus einem Stück, gleich dem Ozean“ (Leibniz, 1968, S. 101). Wir sehen, dass im Prinzip des Grundes zwei zentrale Aspekte enthalten sind: einerseits ein radikaler Determinismus, der jedes Ereignis durch seine Vergangenheit vollkommen festlegt¹⁰ und andererseits ein übergeordneter Finalismus, der alles Geschehen im Licht einer harmonischen Welt darstellt. Hier wird der Grund für das moderne Kausa-

¹⁰ „In der Erkenntnis der Zukunft liegt nichts, was nicht auch in der Erkenntnis der Vergangenheit oder Gegenwart läge.“ (Leibniz, 1968, S. 121)

litätsverständnis gelegt, wobei Leibniz noch zwei Arten von Kausalität kennt:¹¹ einerseits die (mechanischen) *causa efficiens* der Spiegel-Welt, sowie die (göttlichen) *causa finalis*, die auf das zielgerichtete, also teleologische Moment der Schöpfung verweisen. Die Welt ist eine Maschine, ihre letzte Ursache ist die Urmonade Gott und die durch ihn einmal geschöpfte, in ihr weitergegebene Kraft bleibt erhalten. In diesem Licht ist Leibniz' Philosophie „der vollständigste und systematischste Ausdruck des intellektualistischen Rationalismus. Es gibt eine vollkommene Übereinstimmung zwischen dem Denken und den Sachen, zwischen der Natur und dem Geist. Die Wirklichkeit kann von der Vernunft vollständig durchdrungen werden, weil sie von Vernunft durchdrungen ist“ (Heinekamp, 1988, S. 11). In ihrem Ursprung sind die beiden cartesianischen Weltheiten also vereint. Die Monade ist ein seelenartiges Wesen, das aus sich heraus das Körperhafte hervorbringt. Nur in ihrer Einheit ist die Welt möglichst einfach und damit perfekt. Der ontologische Entwurf Leibniz' ist damit selbst Ausdruck der göttlichen Perfektion, in dem sie mit maximaler Einfachheit (Deduktion aus nur *einem* Prinzip) ein Maximum an Wesenheit zu erklären vermag (vgl. Turck, 1967, S. 99). An die Stelle der auseinandergerissenen Welt Descartes' tritt ein inneres und ewiges Gleichgewicht, für das Leibniz den Begriff der *prästabilierten Harmonie* einführt.

Die Idee der prästabilierten Harmonie kann treffend mit dem Bild einer Pendeluhr erläutert werden. Gott, der Baumeister, der Mechaniker, baut eine Pendeluhr, die noch bis in ihre kleinsten Teile und Zahnräder aufeinander abgestimmt ist. Dreht sich ein Rad, so greift diese Bewegung auf das gesamte System über. Die Teile der Uhr sind miteinander verzahnt und stellen in ihrer Gesamtheit ein perfektes Ganzes dar, welches in seiner Konstruktion bereits so angelegt wurde, dass es seiner Bestimmung von selbst nachkommen kann:

„Er [Gott] gleicht hierin einem guten Bildhauer, der aus seinem Marmorblock nur das bilden will, was er für das Beste hält, und ihn richtig zu beurteilen versteht. Gott erschafft aus der Materie die schönste aller möglichen Maschinen, er bildet aus den Geistern die schönste aller denkbaren Regierungen, und darüber hinaus errichtet er aus ihrer Verbindung die vollkommenste aller Harmonien.“
(Leibniz, 1968, S. 192)

Die Perfektion der Schöpfung äußert sich darin, dass Gott nicht mehr in sie eingreifen muss, sie sich selbst *erhält*. In der Abwesenheit einer Notwendigkeit des göttlichen Eingriffs offenbart sich die Vollkommenheit der sich selbst erhaltenden Schöpfung. Schönheit liegt eben nicht im Auge des Betrachters, sondern kann objektiv, d.i. quantifizierbar-eindeutig, gefasst werden: diese Einheit der Vielen als Ganzes, der Zahnräder als Uhr ist – wie schon bei Descartes – die *Zahl*. Entgegen dem cartesianischen Entwurf, ist die Einheit der Zahl jedoch nicht nur in der *res extensa* zu finden, sondern in der göttlichen Einheit alles

¹¹Aristoteles unterscheidet noch vier Arten von Ursachen (vgl. Brodbeck, 2011, S. 156): (1) Zweck: *causa finalis*, 2) Form: *causa formalis*, 3) Materie: *causa materialis* und 4) Wirkendes: *causa efficiens*.

Seienden, dem *bewussten* Produkt eines maximierenden Verstandes.¹²

Wenden wir uns abschließend noch den wissenschaftstheoretischen Implikationen des Leibniz'schen Weltentwurfs zu. Wenngleich der Mensch das Wahrhaftige – die Monaden – nicht erkennen kann, da ihm dafür die göttliche Einsicht, das Allwissen fehlt, so kann er dennoch deren phänomenalen Spiegel erkunden. Auch der Spiegel erhält seine Einheit in der Zahl. Der Mensch kann diese Ordnung verstehen lernen, da er mit der göttlichen Vernunft gesegnet ist. Hoffnung auf Verständnis des Mannigfachen, der Komplexität ist ihm durch die Ordnung gegeben, durch die Möglichkeit der *einen Deutung* vom Beobachterstandpunkt aus, welcher in der bleibenden Struktur der Mathematik konstituiert wird. Objektivität ergibt sich in der Leibniz'schen Perspektive also auch aus einer intersubjektiven Übereinstimmung, die ihren Ausdruck in der Zahl findet. Subjektives (Gefühle, Erlebnisse, usw.) ist nicht mitteilbar, daher auch unfähig zur Bildung einer Relation (zu anderen Monaden, zu anderen Wissenschaftlern). Objektives kann im ontologischen Entwurf Leibniz' jedoch nur in der Relation, analog zur universalen Vernetzung des Seienden, vermittelt werden (vgl. Turck, 1967, S. 162-164). Wissenschaft spielt sich also in den Zusammenhängen ab, bzw. versucht diese aufzudecken. Nur in der mathematischen Ordnung kann die Wirklichkeit nachvollzogen werden: „Die Mathematik wird zum Prototyp einer jeden wahren Erkenntnis“ (Ebd., S. 137). Dabei ist man aufgrund der Beschaffenheit der Welt auf nicht irgendein mathematisches Instrument angewiesen, sondern ein solches, das ein Maximum aufzuspüren vermag (denn nichts anderes ist die Realität). Das von Leibniz entwickelte Differentialkalkül, welches unendlich kleine Größen zu fassen vermag, ist eben dieses Instrumentarium.

Wir sehen, dass – wie schon Descartes – Leibniz Ontologie und Physik, Wissenschaftstheorie und Naturwissenschaft zusammen denkt. Die Erklärung muss mathematisch erfolgen, die Prinzipien und Gesetze sind jedoch aus der Ontologie abzuleiten: „Da man ja schon immer die Weisheit Gottes im Detail der mechanischen Struktur gewisser Körper anerkannt hat, so muß sie sich auch in der allgemeinen Ökonomie der Welt und in der Verfassung der Naturgesetze zeigen lassen“ (Leibniz, 1992a, S. 201). Die innere Geschlossenheit der Monadenlehre impliziert somit für die Untersuchung der Natur, bspw. im Rahmen von empirischen Experimenten, eine künstliche Rekonstruktion derselben. Wenn hierdurch überhaupt etwas erkannt werden will, *muss* z.B. ein experimentaler Aufbau gerade die Gleichheit von Ursache und Wirkung, also das, was den ontologischen Entwurf konstituiert, erfassen können. Wir lernen hier eine zentrale Eigenschaft einer jeden Perspektive kennen: man kann nur das erkennen, was in ihrer *Konstitution* bereits angelegt ist.

Leibniz führt mit seinem Kraftbegriff und dessen ontologischer Interpretation die Dyna-

¹²Vgl. hierzu: „Hätte Herr Descartes diese Regel [der lebendigen Kraft, Anm. L.B.] gekannt, so [...] hätte ihn [das] geradewegs auf die Hypothese von der prästabilierten Harmonie geführt, worauf mich diese Regel geführt hat.“ (Leibniz, 1968, S. 135)

mik als mechanische Disziplin ein, die auf lebendigen Kräften beruht. Trotzdem kann er noch nicht erklären, wie Kraft in allen Fällen erhalten wird. Die Konstante zu Descartes, nämlich die Überzeugung, Kraft als etwas den Körpern inhärentes und nicht als etwas, das von außen auf Körper wirkt, zu verstehen, beraubt Leibniz der Möglichkeit, situationsunabhängige Bewegungsgesetze aufzustellen (vgl. Westfall, 1977, S. 137-8; Mirowski, 1989, S. 18-20). Die Erklärungsnot verleitet ihn zu einer Axiomatisierung des Erhaltungsprinzips: Für das Universum als Ganzes bleibe die Kraft stets erhalten. Die Streitfrage nach dem Erhaltenen wird in den Lagern der cartesianischen auf der einen und der Leibniz'schen Tradition auf der anderen Seite fortgeführt.

2.3 Analytische Mechanik

Die Streitigkeiten zwischen den Anhängern der beiden Kraftbegriffe sind als vis-viva-Kontroverse in die Wissenschaftsgeschichte eingegangen. In der Retrospektive wird sie teilweise als bloßer Streit um Begrifflichkeiten abgetan: „So lange man also mit dem Wort Kraft keine klare Vorstellung verband, war ein Streit über das Maß der Kraft vollständig gegenstandslos“ (Planck, 1908, S. 9). Letztlich wird die Kontroverse erst Mitte des 19. Jahrhunderts mit der Einführung des Energiebegriffs und der damit verbundenen Unterscheidung zwischen Kraft und Arbeit aufgelöst. Die Mechanik wird zunächst jedoch durch Isaac Newtons' ‚Philosophiae Naturalis Principia Mathematica‘ (1687) auf den Höhepunkt geführt und axiomatisiert. Aus seinem Kraftmaß der beschleunigten Kraft und der vis-viva-Kontroverse ergeben sich schließlich drei physikalische Kraftbegriffe (vgl. Hund, 1942, S. 498):

1. Newton'sches Kraftmaß ($m \cdot dv = m \cdot a$), welches auch heute noch als Kraft verstanden wird
2. Cartesianisches Bewegungsmaß ($m \cdot v$), was heute unter ‚Impuls‘ verstanden wird
3. Leibniz'sches Maß der lebendigen Kraft ($m \cdot v^2$), was heute kinetische Energie genannt wird

„Damit war die Frage nach dem richtigen Kraftmaß nicht entschieden, sondern es war gezeigt, daß es unterschiedliche Sichtweisen auf die Kraft gibt und die Wahl für oder gegen ein Maß von der Anwendbarkeit in dem Kontext (z.B. Gleichgewichts- oder Stoßtheorien) abhängt“ (Henrich, 2010, S. 122). Auf Basis der Newton'schen Axiome wird die Mechanik im 18. Jahrhundert in Frankreich auf eine neue (mathematische) Stufe gehoben.

Ein weiterer Streitpunkt der Jahrhundertwende (17./18.) ist die Frage nach der Existenz und Beschaffenheit des zu untersuchenden Gegenstands der Mechanik, namentlich der bewegten Masse. Der Term ‚m‘ wird von Newton entgegen den Weltauffassungen Descartes' und Leibniz' in atomistischem Sinne gewendet: Er ist davon überzeugt, dass die Härte eines Körpers von der Unteilbarkeit seiner Partikel herrührt, gesteht aber gleichzeitig zu, dass man im Geiste alles mathematisch teilen könne.

Leonhard Euler begründet die Dynamik schließlich als Dynamik unendlich kleiner Körper. D'Alembert und Lagrange folgen ihm darin: Sie sprechen nicht mehr von Materie, sondern von Körpern („corps“). Auch Laplace stellt sich eine homogene Materie, kleinste Teile, sog. Moleküle vor, die allem zugrunde liegen: „Die Masse eines Körpers ist gleich der Summe der Massenpunkte, seiner ‚points matériels‘“ (Ebd., S. 114). Was ein Massenpunkt genau ist, bleibt unklar. Als zentraler Begriff der neuen Mechanik ist er somit von Beginn an ein unbestimmter und wird lediglich über die Zuweisung von *Eigenschaften* (z.B. Härte, Undurchdringlichkeit, Trägheit) definiert. Ob Gravitation auch eine Eigenschaft ist, klärt Laplace nicht, sein Materiebegriff bleibt hier vage (vgl. ebd., S. 114, 174). Dennoch ist das mechanische System praktikabel: es geht von Massenpunkten im dreidimensionalen, euklidischen Raum aus, der durch ein cartesisches (d.i. rechtwinkliges) Koordinatensystem vollständig beschrieben werden kann. Der Raum ist dabei stetig, an jeder Stelle differenzierbar und unabhängig von der Existenz von Materie darin: Er ist ein *absoluter Raum*, in dem nichts als die Gesetze der analytischen Mechanik gelten (vgl. ebd., S. 147).

Diese Kraftgesetze sind schon bei Euler die einzig mathematisch fassbare Realität: „Mit Euler setzt ein, daß sich die Mechanik auf die Mathematisierung beschränkt und die Angabe der mechanischen Ursachen der Kräfte für die Gemeinschaft der Newton-Anhänger sekundär wird: Nach Euler reiche es aus, daß Kräfte vorhanden seien, was deren Wirkung belege“ (Ebd., S. 119). Zur genauen Bestimmung dieser Kräfte und ihrem Verhältnis zur *vis viva* bietet Euler die ersten Gleichungen an:¹³

$$F \cdot dt = m \cdot dv$$

Er multipliziert die Kraft mit einer infinitesimalen Veränderung der Zeit ($dt =$ unendlich kleiner Wirkungszeitraum) und setzt dieses Produkt gleich mit dem von dieser Kraft beeinflussten Massenpunkt mal einer infinitesimalen Veränderung seiner Geschwindigkeit. Dies besagt nichts anderes, als dass sich die Veränderung der Bewegung eines Massenpunktes proportional zur Dauer des Einflusses einer von außen einwirkenden Kraft verhält. Teilt man beide Seiten durch dt so erhält man den Term, der auch heute unter ‚Kraft‘ verstanden wird:

$$F = m \frac{dv}{dt} = m \cdot a$$

Integriert man diese Gleichung, so sieht man, dass für die Summe der einwirkenden Kräfte (entlang des Weges ds) gilt:¹⁴

$$\int F \, ds = \frac{1}{2}mv^2$$

¹³Die Darstellungen der Formalismen in diesem und im folgenden Abschnitt sind folgenden Quellen entlehnt: (Coelho, 2001, S. 25-8, 36-44), (Mirowski, 1989, S. 30-4, 402-3), (Budó, 1976, 41-69, 138-154), (Wellhöner, 2002, S. 80-8), (Mach, 1883, 307-360, 438-452), (Nolting, 1998, S. 9-17, 83).

¹⁴Der Faktor $\frac{1}{2}$ markiert den Unterschied zwischen *vis viva* und der später so bezeichneten kinetischen Energie (vgl. Henrich, 2010, S. 123).

Euler schafft damit die Grundlagen für die analytische Untersuchung der *vis viva* und ihrer Erhaltung (vgl. Mirowski, 1989, S. 22). Den Newton'schen Axiomen fügt er noch die formalisierte Version des von Maupertius erstmals beschriebenen Prinzips der kleinsten Wirkung hinzu. Die ihm zugrunde liegende Frage könnte man wie folgt formulieren: „Welche Kurve zwischen zwei Punkten A und B führt dazu, daß eine Kugel nur durch ihre Schwere beschleunigt die Strecke in kürzester Zeit durchläuft?“ (Henrich, 2010, S. 133-4). Während Maupertius bei der Interpretation des Prinzips das Leibniz'sche Argument von der vollkommenen Schöpfung aufnimmt und die Natur als die Äußerung einer göttlichen Extremwertaufgabe sieht, die nur mittels derselben Methode entdeckt werden kann, beschränkt sich Euler auf die rein mathematische Ausgestaltung des Prinzips. Die Lösung besteht in einer Kurve, die ein Minimum an Strecke ($\partial[\int_A^B v ds] = 0$) benötigt, um von Zustand A nach Zustand B zu kommen. Laplace wird später gemäß seiner überzeugten Ablehnung von Metaphysik von einer „économie de la nature“ sprechen, die hier mathematisch ausgedrückt wird. Die mannigfachen Möglichkeiten, bzw. Variationen, in der Natur erscheinen kann, werden mit Hilfe dieses *Variationsprinzips* auf eine einzige reduziert (vgl. ebd., S. 134-5, 156).

In seinem ‚Traité de Dynamique‘ (1743) bereitet Jean-Baptiste le Rond d'Alembert schließlich die neue analytische Methode zur Lösung mechanischer Probleme vor, wobei sein Verdienst insbesondere in der Erhellung statischer Situationen liegt. Um die sich in einem geschlossenen System von Massenpunkten ergebenden Bewegungen genau berechnen zu können, nimmt er eine Zerlegung der initialen Bewegungen (eines Systems, im einfachsten Fall eines einzigen Massenpunktes) in Zwangskräfte (F^z) und (von außen) eingeprägte Kräfte (F^e) vor. Unter Zuhilfenahme des zweiten Newtonschen Axioms ($F = m \cdot a$) und der zentralen Annahme, dass die virtuelle¹⁵ Verrückung der sog. ‚Zwangskräfte‘ auf dem Weg s (∂s) gleich Null ist, formuliert er das Gleichgewichtsgesetz für statische Situationen, auch d'Alembert'sches Prinzip genannt:

$$\int (m \cdot a - F^e) \partial s = 0 \quad , \text{ bzw. } \quad \int m \cdot a \partial s = \int F^e \partial s$$

Ein System ist demnach im Gleichgewicht, wenn $a = 0$, d.h., wenn die beschleunigte Kraft bei einer infinitesimal kleinen, virtuellen Verrückung gleich Null ist. Eine statische Situation liegt also vor, wenn die beschleunigten Kräfte sich gegenseitig aufheben.

Kraft ist für d'Alembert die Möglichkeit zur Veränderung des Zustands eines Körpers, aber abgesehen von Stößen sind Kräfte nicht über Erfahrung zugänglich (z.B. Gravitation). Er plädiert daher für ein Studium der Wirkungen – der *Phänomene*. Kraft ist bei ihm somit implizit ontologisch gegeben, für den Erkenntnisprozess aber irrelevant, bzw. nicht brauchbar, da nicht zugänglich. Sowohl d'Alembert als auch Lagrange erwähnen das Wort

¹⁵Virtuelle Verschiebungen erkennt man an dem Ausdruck ‚ ∂ ‘, wohingegen tatsächliche Bewegungen mit ‚ d ‘ ausgedrückt werden (vgl. Nolting, 1998, S. 9-10).

„Metaphysik“ fast an keiner Stelle ihrer Hauptwerke mehr. Alle über Mechanik hinausgehende Spekulationen werden als *nutzlos* abgetan. Denn für den Beweis der mechanischen Gesetze ist die Kenntnis der Kraft nicht notwendig. Dadurch wird die vis-viva-Debatte zwar nicht gelöst, allerdings wird die mechanische Theorie praktikabel (vgl. Coelho, 2001, S. 29, 33; Henrich, 2010, S. 144-5).

Joseph-Louis Lagrange führt die analytische Mechanik mit seinem Hauptwerk ‚*Mécanique Analytique*‘ (1788) und den darin enthaltenen Bewegungsgleichungen zu ihrer Vollendung. Er interpretiert die Statik als die Lehre der Gleichgewichte von Kräften und die Dynamik als die Wissenschaft von Kräften und erzeugten Bewegungen. Über die verbindende Variable der Kraftmomente vermag er Statik und Dynamik zu vereinen: so findet er eine Lösung, die von d’Alembert künstlich vorgenommene Trennung in Zwangskräfte und eingeprägte Kräfte aufzuheben.

„Wenn einem solchen physikalischen Sachverhalt [statische Gleichgewichtssituation, Anm. L.B.] ein System von Kräften hinzugefügt wird, das der sich ergebenden Bewegung symmetrisch ist, wird die Gesamtheit der Körper ruhen [...] Auf diese Weise, so hebt Lagrange vor, werde die von dem d’Alembertschen Prinzip verlangte Zerlegung vermieden.“ (Henrich, 2010, S. 43-4)

Als Beweis zieht er einen weiteren Satz der Statik heran, der besagt, dass wenn zwei Systeme an Kräften äquivalent sind, die Summen ihrer Momente es auch sein müssen. Stellen wir uns in diesem Zusammenhang ein beschleunigtes, also dynamisches System (F) von Kräften vor ($a \neq 0$), das von außen auf ein statisches System (G) einwirkt. Wenn die beiden Systeme vollkommen äquivalent sein sollen – wenn die Ursache gleich der Wirkung sein soll – dann muss gelten:

$$\begin{aligned} \sum \text{Kraftmomente } F &= - \sum \text{Kraftmomente } G, \text{ bzw.} \\ \sum \text{Kraftmomente } F &+ \sum \text{Kraftmomente } G = 0 \end{aligned}$$

Im Gleichgewicht ist somit die Summe aller wirkenden virtuellen Kraftmomente ($\frac{d^2s}{dt^2} \partial s$) gleich null. Die Ursache geht vollkommen in einer ihr äquivalenten Wirkung auf. Somit ist die Statik und Dynamik in den Lagrange’schen Bewegungsgleichungen mathematisch integriert. Das Prinzip des Grundes oder Kausalitätsprinzip von Leibniz ist über die Weitergabe im dritten Newton’schen Axiom in der analytischen Mechanik zum Grundpfeiler der Formalismen heran gereift.

Pierre-Simon Laplace fasst schließlich die Entwicklungen des 18. Jahrhunderts zusammen und festigt darin das neue Wissenschaftsideal (Henrich, 2010). In der Anlehnung an d’Alembert opfert er der stringenten Mathematisierung der Mechanik jegliche ontologische Interpretation des Kraftbegriffes. So kann er bspw. durch das Fehlen einer essentialistischen Gravitations-, bzw. Fernwirkungstheorie nicht erklären, ob das bei ihm zentrale Gravitationsgesetz Letztursache, oder aus einem höheren Prinzip ableitbares ist.

Diese Bestimmung hätte eine schlüssige Materietheorie, als eine Theorie darüber, was tatsächlich *ist*, liefern können. Die Mechanik als die Wissenschaft der Relationen (Bewegungen) hat aber, wie wir bereits gesehen haben, keine ontologische Erklärung der Relate (,m‘) hervorgebracht, weswegen Laplace dazu übergeht, die erfolgreichen Ergebnisse der mechanischen Forschung und Anwendung *selbst* in den Rang des Beweises der Existenz mechanischer Naturgesetzmäßigkeiten zu erheben (vgl. ebd., S. 125-6). Für ihn ist nur noch der Leibniz’sche Spiegel, nämlich das, was im Denkraum des idealisiert-absoluten Raumes in mechanischen Naturgesetzen erklärt werden kann: Erklärungen müssen entweder materialistisch (z.B. Druck, Stoß) sein oder auf Fernwirkungen (z.B. Gravitation) hinweisen (vgl. ebd., S. 147, 155).

Henrich (2010) attestiert Laplace daher einen „Wissenschaftsatheismus“, der wissenschaftlichen Fortschritt als oberste Maxime ansieht und spekulative, nicht-praxisrelevante Forschungen ablehnt: „Der für die Wissenschaften relevante Hauptaspekt scheint die Einsicht in die *Nutzlosigkeit* solcher Debatten zu sein“ (Ebd., S. 166, Hervorhebung L.B.). Indem wir Kräfte und Materie messen können, welche uns faktisch-phänomenal entgegentreten, sind sie da. Weitere Begründungen sind nicht notwendig. Für die Naturgesetze, denen diese Kräfte und Materie folgen, gilt dasselbe. Offenbar schlüssige Erklärungen und erfolgreiche Prognosen mithilfe von Mathematik legitimieren die Theorie: „die Überzeugungskraft der Prognose wirkt sich hier auf die Ontologie aus“ (Ebd., S. 172). Wenn Naturerscheinungen durch die mechanischen Gesetze richtig vorausgesehen werden können, *dann muss Natur so sein*. Die Trennung von Ontologie (was ist?) und Epistemologie (wie kann ich es erkennen?) wird somit aufgehoben. Ich erkenne es (so), also ist es so.

Die strikte Ablehnung von Theologie, bzw. Teleologie begründet Laplace dreifach: (1) sie ist methodologisch problematisch, da nicht mathematisch, (2) für jedes Naturphänomen liegen wissenschaftliche Alternativerklärungen vor¹⁶ und (3) theologisch-teleologische Argumente haben in der Wissenschaftsgeschichte stets als Kaschierungen wissenschaftlichen Unvermögens herhalten müssen (vgl. ebd., S. 162). Die beiden Parallelgleise (mechanischer) *causa efficiens* und (teleologischer) *causa finalis* bei Leibniz, werden voneinander getrennt; letztere wird als Abstellgleis für metaphysische Spekulation ausgewiesen. Alles, was im Laplace’schen Weltsystem bleibt, ist die Verkettung von Ursachen und Wirkungen. Er folgt Leibniz zwar darin, dass Naturerscheinungen nur in ihren *Wirkungen* erkannt werden können, koppelt aber die Identifikation der Kraft*ursache* ab. Für Laplace gibt es keine Finalursachen oder Zufälle mehr. Die mechanistische Erklärung ist durch Lagranges’ Bewegungsgleichungen abgeschlossen und die wissenschaftliche Praxis besteht nur noch in einer infinit-reduktionistischen Zerlegung des zu untersuchenden Systems, sowie in der

¹⁶Laplace entwickelt für die Schöpfungsgeschichte eine alternative Entstehungslehre des Sonnensystems, in der auf eine Vielzahl von Letztbegründungen und ad-hoc-Annahmen zurückgreifen muss, die selbst mit der mechanischen Methode nicht vereinbar scheinen. Henrich sieht deswegen eine Priorität des Wissenschaftsatheismus vor der Mechanik (vgl. Henrich, 2010, S. 179, 183).

Bestimmung der Zustandsbestimmung des Systems (seiner Kraftmomente). Mit anderen Worten: in der vollständigen Erschließung dessen, was im Laufe des 19. Jahrhunderts im Begriff des Kraftfeldes aufgehen sollte. Könnte man das ganze Universum in einer Funktion – in einer Weltformel – ausdrücken, so wäre der Moment zum Zeitpunkt t deren Ableitung und ließe somit *prinzipiell* eine totale Rekonstruktion eben dieser Funktion – des Universums, des Raum-Zeit-Kontinuums – zu, wenn man nur in den Besitz einer universalen Beschreibung des Zeitpunktes t gelangte. Diese Daten erlauben dann in der Auflösung von Differentialgleichungen die gesamte Geschichte und Zukunft der Massenpunkte und ihrer Bewegungen nach-, bzw. vorzuzeichnen. Die Möglichkeit einer solch vollkommenen und zeitlich unbeschränkten Erschließung der Natur ist der *Laplace'sche Traum*, der von Leibniz vorgedacht und dem Ende des 18. Jahrhunderts ontologisch verkürzt durch die Bewegungsgleichungen neue Hoffnung verliehen wurde.

Im Hinblick auf diese Methode der Naturerschließung äußert sich Laplace dahingehend, dass sie selbst dem Anspruch der Vollkommenheit und Exaktheit bei gleichzeitiger begrifflicher Sparsamkeit gerecht wird. Sie scheint somit eine perfekte Sprache zu sein: Die Bewegungsgleichungen können jegliche Zustände in Raum und Zeit erfassen, außerhalb von ihnen ist nichts. Gleichzeitig wird durch die Beschaffenheit mathematischer Gesetze selbst ihre Tragweite bekannt: je einfacher, desto fundamentaler. Ernst Mach hat für diesen Aspekt der Verdienste der analytischen Mechaniker den Begriff der ‚Ökonomie des Denkens‘ geprägt:

„Lagrange bestrebt sich, alle nothwendigen Ueberlegungen ein für allemal abzuthun, möglichst viel in einer Formel darzustellen. Jeden vorkommenden Fall kann man nach einem sehr einfachen symmetrischen und übersichtlichen Schema behandeln, und was noch zu überlegen bleibt, wird durch rein mechanische Kopfarbeit ausgeführt. Die Lagrange'sche Mechanik ist eine grossartige Leistung in Bezug auf die Oekonomie des Denkens.“ (Mach, 1883, S. 439)

In diesem Licht erscheint auch der genuin analytische Aspekt der neuen Formalismen wegweisend: Die Analyse zerlegt alles und ordnet die Einzelteile nach ihren Gesetzmäßigkeiten. Eine Synthese findet nur insofern statt, als dass die Einzelteile in den Bewegungsgleichungen durch ein Summenzeichen (\sum , bzw. \int ¹⁷) *aggregiert* werden. Auch die Synthese folgt somit mathematischen Gesetzmäßigkeiten, die schon durch das Newton'sche Superpositionsprinzip vorgezeichnet wurden (vgl. Mach, 1883, S. 438). Synthese *als* Aggregation lässt somit keinen Spielraum für weitere Bindeglieder als die Zahl. Das Zahlenmotiv Descartes' und Leibniz' als einzig verbindendes Element der mechanistischen Welt begegnet uns bei den analytischen Mechanikern somit in seiner totalen Form wieder. Daher kann auch die Ablehnung ontologischer Interpretationen als Kritik an einer unzulässigen Synthese verstanden werden, die aus dem analytischen Reduktionismus herrührt.

¹⁷Das Integralzeichen ist nichts anderes, als ein gestrecktes ‚S‘ für ‚Summe‘ (vgl. Lange, 2002, S. 125-6).

Die Mathematik des 18. Jahrhunderts war in der exakten Beschreibung und Vorhersage der Naturphänomene so erfolgreich, dass sie die Verbannung der (expliziten)¹⁸ Philosophie aus der naturwissenschaftlichen Forschungspraxis zu leisten vermochte und über das Kausalitätsprinzip die Naturgesetzmäßigkeit als Leitfaden physikalischer Erforschung einführt: „Die Naturwissenschaft kennt überhaupt nur ein Postulat: das Kausalitätsprinzip; denn dasselbe ist ihr Existenzbedingung“ (Planck, 1908, S. 155). Binnen weniger Jahrzehnte sollte dieses neue Wissenschaftsverständnis so sehr tradiert werden, dass der Wissenschaftstheoretiker und Physiker Ernst Mach 1883 schreiben konnte: „Nach unserer heutigen Meinung hätten diese Männer [Descartes, Leibniz, Newton, Euler, Anm. L.B.] mindestens bemerken sollen, dass die [metaphysischen, Anm. L.B.] Fragen dort nicht hingehören, wo sie dieselben behandeln, dass es keine naturwissenschaftlichen Fragen sind“ (Mach, 1883, S. 424). Nach 300 Jahren mechanisch-naturphilosophischer Tradition werden philosophische Spekulationen im Laufe des 19. Jahrhunderts endgültig als ‚Meinungen‘ aus der nunmehr nüchternen, *naturwissenschaftlichen* Forschung verbannt. Wenden wir uns nun der Frage zu, wie die mechanistische Weltauffassung und ihre wissenschaftstheoretischen Implikationen über die Entwicklung des Energieerhaltungssatzes zur Blaupause der Erklärung *aller* Naturphänomene avanciert.

2.4 Die energetische Revolution

Wie wir in Abschnitt 2.3 gesehen haben, wird das Äquivalenzprinzip von Ursache und Wirkung im Laufe des 18. Jahrhunderts fest in den Formalismen der Mechanik verankert. Um die Jahrhundertwende zeichnet sich in diesem Zuge erstmalig ein Ende der vis-viva-Debatte über die Konstante der ständigen Naturerscheinungen ab. So ist mittlerweile ein wissenschaftlicher Konsens heran gereift, dass die Leibniz’sche *vis viva* eben diejenige Größe ist, die erhalten bleibt. Obwohl die unterschiedlichen Interpretationen der ‚Kraft‘ nach wie vor durcheinander gebracht werden, wächst die Aufmerksamkeit für dieses verbindende Element physikalischer Erscheinungen. Während für Newton selbst das erhaltene Maß zweitrangig war, wird die weitere Ausbildung des vis-viva-Begriffs hin zum Begriff der *Arbeit* und damit auch des späteren Energiebegriffs in Leibniz’scher Tradition durch die Basler Schule (Johann Bernoulli, Leonhard Euler und Daniel Bernoulli) vorgenommen (vgl. Planck, 1908, S. 11-2).

Der entscheidende Schritt in Richtung der Auflösung des Zusammenhangs von Arbeit und Kraft wird 1824 von Sadi Carnot vollzogen. Als Ingenieur ist Carnot an einer zufriedenstellenden Erklärung des Zusammenspiels mechanischer und thermischer Gesetzmäßigkeiten im Rahmen der Dampfmaschine interessiert. Bis dahin fußen thermische Erklärungen auf einer materiellen Wärmetheorie, die von einer Wärmematerie – dem sog. Phlogiston – ausgeht. Aus dieser Tradition stammend, nimmt Carnot zunächst an, dass es auch bei

¹⁸Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die angesprochene Verkürzung *selbst* eine ontologische Positionierung darstellt. Das ontologische Fenster ist gewissermaßen verengt worden.

thermischen Phänomenen eine Analogie zur Gravitationskraft geben müsse und schließt auf den Drang der Wärmematerie, von warm nach kalt zu fließen. Das Äquivalent der dabei verrichteten Arbeit (die sich mechanisch übersetzen lässt) ist dann gleich der gewechselten Wärmemenge multipliziert mit dem Temperaturintervall. Carnot zieht aus seinen Überlegungen den Schluss, dass überall dort, wo mechanische Wirkungen erzeugt werden, grundsätzlich auch Wärmeerzeugung möglich sei und vice versa. Er hebt somit erstmals die Trennlinie zwischen den Disziplinen Mechanik und Wärmelehre auf (vgl. ebd., S. 15-9).

Der Durchbruch gelingt vier Wissenschaftlern beinahe zeitgleich: Der Heilbronner Arzt Julius Robert von Mayer bestimmt 1842 den Wert für das mechanische Arbeitsäquivalent von Wärme.¹⁹ Durch dieses Maß ist belegt, dass eine mechanische Ursache nicht nur eine mechanische, sondern auch eine thermische Wirkung hervorbringen kann und zwar in einem quantitativ feststehenden Verhältnis. Somit scheint es eine Größe zu geben, die sowohl beim Übergang eines mechanischen Zustands in einen mechanischen, als auch in einen thermischen erhalten bleibt. Auch wenn er den Begriff noch nicht verwendet, formuliert Mayer darin eine erste Definition des Energieerhaltungsprinzips. Er schließt den Satz dabei deduktiv aus dem auf Leibniz zurückgehenden Prinzip des Grundes: „Mayer betrachtete den Energiesatz als die physikalisch genaue Fassung des alten Satzes ‚causa aequat effectum‘ und setzte ihn damit in enge Beziehung zum Prinzip der Kausalität“ (von Weizsäcker, 1976, S. 72).

James Prescott Joule, legt von 1843 bis 1847 mehrere Arbeiten vor, in denen er durch zahlreiche Experimente die genaue Bestimmung des mechanischen Arbeitsäquivalents weiter treibt und darin die ‚latente Wärme‘ als ein der Gravitation analoges Phänomen interpretiert, die *potentiell* ebenso imstande ist, Arbeit zu verrichten. Ludwig August Colding stellt 1843 ebenfalls eine Arbeit über die bei Reibung entstehende Wärme vor und sieht ein konstantes Verhältnis zwischen verrichteter Arbeit und Wärme. Wie auch Mayer schließt er das Energieerhaltungsprinzip deduktiv,ergänzt es jedoch um eine metaphysische Spekulation der Naturkräfte als beseelte, immaterielle und unsterbliche Wesen (vgl. Planck, 1908, S. 34-8, 56-7, 152).

Hermann von Helmholtz fügt die verschiedenen Arbeiten 1847 zusammen und stellt der lebendigen Kraft eine Spannkraft gegenüber, die in der Folge alle Zweifel über die Bedeutung der *vis viva* ausräumen wird. So versteht er das Energieprinzip als Verallgemeinerung des mechanischen Satzes der Erhaltung der lebendigen Kraft und leitet den Satz deduktiv aus der Unmöglichkeit des *Perpetuum mobile* her: die Unmöglichkeit, Arbeit aus nichts zu gewinnen (vgl. ebd., S. 3, 39-40). Das grundlegend Neue bei Helmholtz ist die Bestimmung der lebendigen Kraft als kinetische Energie (T), der eine Spannkraft, bzw.

¹⁹Schon Carnot hatte ein solches Maß gefunden, allerdings werden seine diesbzgl. Arbeiten erst 1878 posthum von seinem Bruder veröffentlicht.

potentielle Energie (U) anbei gestellt wird, wobei

$$T + U = E = \textit{konst.}$$

Genauer: Die Summe aus kinetischer Energie (durch die jeweiligen *Geschwindigkeiten* der Körper bestimmt) und potentieller Energie (durch die jeweiligen *Lagen* bestimmt) ändert sich während der Bewegung in einem abgeschlossenen System nicht, in dem von Reibung abgesehen werden kann. Die Spannkraft drückt dabei nichts anderes aus als das Potential Arbeit verrichten zu können. Stellen wir uns zur Veranschaulichung eine Schüssel vor, an deren Innenrand eine Kugel losgelassen wird, so besitzt diese Kugel in dieser Position eine sehr hohe potentielle Energie, ihre kinetische Energie beträgt (noch) null. Wird sie losgelassen, so entwickelt sie im Abrollen kinetische Energie, bis sie schließlich am Schüsselboden angelangt ist und ihre potentielle Energie aufgrund des flachen Untergrunds dort null beträgt, ihre kinetische Energie jedoch ihr Maximum erreicht hat. Wir sehen an diesem einfachen Beispiel, dass man mithilfe der vollständigen Beschreibung der Ausgangsbedingungen des Systems (Testkörper + Schüssel), also der Anfangsgeschwindigkeit (hier = 0) und der Lage unseres Körpers, sowie der potentiellen Energie *aller* Lagen des untersuchten Systems durch Differentialgleichungen eine vollständige Prognose darüber entwickeln kann, wie sich der Testkörper verhalten wird. Wenden wir uns, bevor wir diese Funktionen kennenlernen, zunächst der weiteren Entwicklung des Energiesatzes zu.

Bis zu diesem Zeitpunkt vermochte es keiner der Genannten, trotz der Arbeiten zum mechanischen Wärmeäquivalent eine geschlossene (mechanische) Wärmetheorie zu entwickeln, welche die materielle abzulösen vermochte. Dieser Schritt bleibt Rudolf Clausius überlassen, der 1850 die Thermodynamik begründet, indem er das Energieerhaltungsprinzip als erstes und in der Auseinandersetzung mit den Carnot'schen Arbeiten ein zweites thermodynamisches Gesetz (Entropie-Gesetz)²⁰ über die Bedingungen der gegenseitigen Verwandelbarkeit von Energieformen aufstellt (vgl. ebd., S. 60, 64). Thomson baut diese Arbeiten dann 1852 zu einer abgeschlossenen dynamischen Wärmetheorie aus, in der sich auch zum ersten Mal Begriff und Definition der mechanischen Energie wiederfinden. Rankine beschäftigt sich daneben mit einer exakten Definition von Energie.²¹ Mit einer Würdigungsrede des Präsidenten der ‚British Association‘ für die energetischen Forscher (Joule, Thomson, Rankine) auf deren Hauptversammlung des Jahres 1853 und der Veröffentlichung von Rankines „*Outlines of the science of energetics*“ (1855) scheint der neue Mainstream als energetischer beschlossen. Durch Clausius schwappt der Energiebegriff in den 1860ern dann schließlich auch auf den Kontinent über (vgl. ebd., S. 71, 76-8, 100).

²⁰Dieses Gesetz spielt für die in Kapitel 3 dargelegten Entwicklungen *keine* Rolle, weswegen es auch nicht näher erläutert wird.

²¹Thomas Young verwendet 1807 erstmals den Begriff Energie im heutigen Verständnis. Allerdings geht er im Hinblick auf das wahre *Kraftmaß* noch von der cartesianischen Kraft ($m \cdot v$) aus (vgl. Planck, 1908, S. 13).

Über die Arbeiten von Thomson, Joule und Hirn kommt es 1862 zu einer genauen numerischen Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents. In nur 20 Jahren ist das Energieerhaltungsprinzip zum Grundpfeiler einer neuen Physik und darüber hinaus zur Hoffnung einer Einheitswissenschaft geworden, in der *alle* Naturerscheinungen mechanisch erklärt werden können.

„Von dieser Zeit ab datiert für die Entwicklung aller exakten Naturwissenschaften eine neue Epoche [...] von jetzt an war man im Besitze eines Prinzips, das, auf allen bekannten Gebieten durch sorgfältige Untersuchungen erprobt, nun auch für gänzlich unbekannte und unerforschte Regionen einen vortrefflichen Führer abgab. Erstens war schon die ganze Fragestellung die ja eins der wesentlichen Elemente einer jeden Erfolg versprechenden Untersuchung ausmacht, in die richtige Bahn gelenkt, und dann hatte man an allen Punkten dieser einmal beschrittenen Bahn stets eine unfehlbare Kontrolle bei der Hand, deren Anwendung nie versagte. Für alle naturwissenschaftlichen Spekulationen bildet seitdem das Prinzip der Energie den solidesten Ausgangspunkt.“ (Ebd., S. 100-1)

Es dauert nicht lange bis *alle* Naturphänomene der mechanischen Erklärungsweise einverleibt werden. Der Konsequenzen ihrer Entdeckungen sehr wohl bewusst, erweitern Carnot, Mayer, Colding, Joule und Helmholtz und die an sie anschließende Tradition ihren Ansatz auf Chemie, Elektrizität, Magnetismus, die organische Natur, Astronomie, u.a. (vgl. ebd., S. 27-8). Das verbindende Element ist in einem genauen Zahlenverhältnis zu suchen, genauer: in dem mechanischen Arbeitsäquivalent²² der Erscheinungen. Das mechanische Äquivalent drückt bei all seiner phänomenalen Wandelbarkeit stets die Fähigkeit aus, Arbeit zu leisten. In ihm lässt sich das quantitativ Unzerstörbare des qualitativen Wandlungskontinuums der Natur ausmachen: Energie.

Sehen wir uns abschließend noch die Formalismen dieser energetischen Revolution und deren ontologische Implikationen an. Wir haben in Abschnitt 2.3 gesehen, dass Laplace nur zwei Arten von mechanischen Erklärungen gekannt hat; erstens materialistische, d.h. den direkten Kontakt von Körpern beschreibende, sowie zweitens fernwirkende (bspw. die Graviationskraft). Daneben gibt es noch eine dritte Wirkungsweise, nämlich jene, die sich in einem kontinuierlichen Medium fortpflanzt. In diesem Zusammenhang hatten sich sog. *Feldtheorien* als starkes Erklärungsmittel bewährt. Wie bereits erwähnt, werden die Grundlagen für die Feldtheorien bei Euler und Lagrange gelegt. Ihrem Kausalitätsverständnis liegt ein Raumbereich (Feld) zugrunde, deren Punkte durch bestimmte Kennzahlen beschrieben werden können (Lage, Geschwindigkeit, Moment, später auch elektrische Ladung, etc.). Dies sind die potentiellen Kraftmomente der Lagen. Die Entwicklung der Feldtheorien auf Basis der analytischen Mechanik war in der ersten Hälfte des 19. Jahrhun-

²²In der Suche nach einem *mechanischen* (und eben nicht elektromagnetischen oder thermodynamischen) Äquivalent für alle Naturerscheinungen begegnet uns die Hierarchisierung der beiden Weltheiten ‚rationaler Mensch‘ und ‚mechanische Natur‘ wieder, die wir schon in Abschnitt 2.1 kennen lernten. Energie ist schließlich nichts anderes, als das Vermögen (menschliche) Arbeit zu verrichten und die Natur in diesem Arbeitsprozess den menschlichen Bedürfnissen nach zu formen (vgl. Abschnitt 3.1; Mirowski, 1989, 124-7).

derts so weit herangereift, dass ihr schließlich die Integration von Fernwirkungstheorien gelingt. So kann Gravitation mithilfe vektorieller Kraftfunktionen (T) sowie mit skalarer Potentialfunktionen (U) erklärt werden. Der scheinbar allerklärende Charakter der Feldtheorien veranlasst selbst Faraday dazu, ontologische Spekulationen²³ über das Wesen der Felder aufzunehmen. Die Überlegungen führen wieder zurück zum Begriff des Atoms, verstricken sich aber in der Folge in Widersprüche, weswegen Faraday 1839 vorschlägt, den Raum als ein von Energie durchdrungenes Medium zu verstehen, welches sich wiederum selbst durchdringen kann. Somit lässt sich jedem Punkt im Raum neben einem Kraftvektor auch ein skalarer Energiewert zuordnen. Der substanzielle Atom-Begriff ist Mitte des 19. Jahrhunderts einem diffusen und nach wie vor unbestimmten Energie-Äther gewichen, der sich in ständiger (qualitativer) Metamorphose befindet (vgl. Wellhöner, 2002, S. 76-9).

„Praktisch muß man, da die Energie des Feldes durch den Raum ausgedehnt ist, den Begriff der räumlichen Dichte der Energie einführen. Die Energie kann durch den Raum strömen. [...] Der Energiesatz besagt dann, daß das Integral der Energiedichte über einen Raum, dem Energie weder zugeführt noch entzogen wird, konstant ist.“ (von Weizsäcker, 1976, S. 59)

Für die vollständige Bestimmung der Bewegungen, die ein Körper vollzieht, wenn man ihn an einem beliebigen Punkt im Raum aussetzt, ist in diesem Weltverständnis nur noch die Definition eines skalaren Gradientenfeldes notwendig, aus dem das Kraftfeld abzuleiten ist. In eben dieser skalaren Potentialfunktion (U) begegnet uns die potentielle Energie wieder. Im mechanischen Kontext käme dies einer Raumbeschreibung des untersuchten Bewegungssystems (Schüssel) gleich. Die Möglichkeit, eine solche Funktion zu bestimmen, gelingt im mechanischen Kontext im Rahmen konservativer Kraftfelder. Rufen wir uns für diesen Zweck noch einmal die Lagrange'sche Bewegungsgleichung in Erinnerung. Die Summe der Kraftmomente eines Systems, die wir in der Variablen T zusammenfassen, lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$T = \sum \text{Kraftmomente} \quad F = \int F ds = 0$$

Wir befinden uns im dreidimensionalen Raum und wollen den Arbeitsaufwand messen, der dabei verrichtet wird, einen Massenpunkt von A nach B zu bringen:

$$T = \int_A^B F_x dx + F_y dy + F_z dz$$

Wenn $[F ds = F_x dx + F_y dy + F_z dz]$ ein vollständiges Differential ist, d.h., wenn es globale Gültigkeit besitzt (an jeder Stelle von $-\infty$ bis $+\infty$ differenzierbar ist), dann ist es möglich,

²³Auf die explizite ontologische Ausgestaltung der energetischen Bewegung (bspw. in Ostwald, 1902, S. 163-201) wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da sie den formal-physikalischen Entwicklungen ex post zugeschrieben wurden und für die in Abschnitt 3.1 aufgezeigten Entwicklungen nicht von Bedeutung ist (vgl. Mirowski, 1989, S. 267).

eine Skalarfunktion U anzugeben, für die gilt:

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}; \quad F_y = -\frac{\partial U}{\partial y}; \quad F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

Feldtheoretisch bedeutet dies, dass mit F ein *konservatives* Kraftfeld vorliegt, d.h. dass die Arbeit, die geleistet wird, um ein Massenpunkt von A nach B zu bringen, nur von den jeweiligen Zuständen in A und B abhängt. Es liegt also keine Pfadabhängigkeit vor. Logisch äquivalent: Das Wegintegral eines konservativen Kraftfeldes ist gleich Null, d.h. im Endzustand B liegt wieder genau dieselbe Menge an potentieller Energie vor wie im Anfangszustand A, ganz gleich, wie die Zustandsänderung von A nach B erfolgt ist. Mathematisch lässt sich das wie folgt ausdrücken:

$$\oint_c F ds = 0$$

Die Konfigurationen des Systems sind also durch Ortsverschiebungen beliebig reproduzierbar, alle Prozesse sind *reversibel*, die historische Zeit spielt keinerlei Rolle. „Wir erkennen jetzt in aller Klarheit, daß dem Prinzip der Energieerhaltung, welches nichts anderes darstellt, als eine Operationalisierung des mechanischen Kausalitätsbegriffs, mathematische Formalismen entsprechen, denen die thematischen Grenzen dieses Begriffs eingepflanzt sind“ (Wellhöner, 2002, S. 82). Die Skalarfunktion enthält dabei Angaben zum Zustand des Feldes an einem bestimmten Ort (je nach Anwendung: Temperatur, Luftdruck, elektrische Ladung etc.). Genau diese Auftrennung in verschiedene Arten von potentieller Arbeit wird aber, wie erwähnt, mit dem Energiebegriff obsolet. In der Skalarfunktion gibt es nur noch Energie, die im allgemeinen mechanischen Arbeitsäquivalent ausgedrückt werden kann. Sie und die kinetische Energie machen die einem System innewohnende Gesamtenergie aus. Wir lernen hier also den entscheidenden Vorteil zwischen der klassischen Mechanik nach Newton und der analytischen Mechanik kennen: Die Newton'schen Größen sind alle aus den übergeordneten skalaren Größen ableitbar, weil sie *in ihnen* bereits enthalten sind. „In der Newton-Mechanik sind *Impuls* und *Kraft*, also Vektoren, die dominierenden Größen. In der Lagrange-Mechanik sind es *Energie* und *Arbeit*, also Skalare“ (Nolting, 1998, S. 15). Alles, was ein Forscher zu tun hat, ist die energetische Gesamtmenge eines untersuchten Systems zu bestimmen. Durch diesen Wert und die Bewegungsgleichungen wird das System vollständig durchschaubar. Letztere werden durch Hamilton zu ihrer vollendeten Darstellung geführt:

$$\text{Energie} = H(p, q, t) = T + U$$

Wobei p für Impuls ($m \cdot v$) des Massenpunktes und q im mechanischen Kontext für dessen Raumkoordinaten steht. Wenn für die in der Funktion implizierten Kräfte wiederum eine (konservative) Skalarfunktion – von Hamilton *Kräftefunktion* genannt – $U(q, t)$ existiert,

so gelangt man zu den kanonischen Hamilton'schen Bewegungsgleichungen:

$$\dot{q} = \frac{\partial H(p, q, t)}{\partial p}; \quad \dot{p} = -\frac{\partial H(p, q, t)}{\partial q}$$

Dies sind die Gleichungen des Laplace'schen Traumes, mit denen jede erdenkliche Situation erschließbar wird. Der Erfolg der energetischen Revolution liegt somit auch darin begründet, dass Feldtheorien Mitte des 19. Jahrhunderts vermögen, auch nicht-mechanische Vorgänge (wie Magnetismus, Elektrizität und Wärmefluss) zu erklären (vgl. Wellhöner, 2002, 74-5). Ist man im Besitz der Summe der einem System immanenten Energie, so benötigt man nur noch die Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Bewegungen erfolgen (Variationsprinzip) und man kann es nach der Zeit vollständig beschreiben (vgl. Planck, 1908, S. 120, 124). Wird ein System von außen, d.h. exogen, beeinflusst, so entspricht dieser Einwirkung wiederum genau deren Ursache. Man kann sich die Welt nun in beliebig großen oder kleinen Einheiten zum Gegenstand machen: „für jeden solchen Komplex liefert das Prinzip [der Energieerhaltung, Anm. L.B.] eine besondere Gleichung“ (Ebd., S. 136). Damit ist der Energieerhaltungssatz gefasst und ein paralleles Gesetz zu dem der Erhaltung der Materie gefunden. Wie auch bei der Materie scheint es ein quantitativ unzerstörbares Etwas zu geben, das sich in qualitativer Vielfalt darbietet. Die Physik geht Mitte des 19. Jahrhunderts in einem festen Standpunkt, einer *einheitlichen Perspektive*, auf.

Descartes hat in seiner Spaltung des *ego cogito* von der *res extensa* die Möglichkeit zur rationalen Naturerschließung angelegt. Leibniz führt in seinem Prinzip des Grundes das naturwissenschaftliche Kausalitätsverständnis ein. Die analytische Mechanik verleiht sich dieses im Innersten ihrer Formalismen ein und verbannt ontologische Interpretationen der Naturerscheinungen aus der Forschungspraxis. Zusammen mit dem Energiebegriff dienen die Lagrange'schen und Hamilton'schen Bewegungsgleichungen als Leitsterne auf dem Weg zu einer universal-mechanistischen Einheitswissenschaft, die über die Grenzen der Physik hinaus an Bedeutung gewinnen wird. Der ökonomisch interessierte Leser mag sich an dieser Stelle fragen: „Now what in the world has all this to do with economics?“ (Samuelson, 1992, S. 68). Wenden wir uns der Beantwortung dieser Frage zu, genauer, der Übernahme des mechanischen Weltverständnisses durch Ökonomen.

3 Das mechanische Weltbild in der Ökonomik

3.1 Ökonomik wird ‚Science‘: Mathematische Revolution

„*Mécanique Sociale*‘ may one day take her place along with ‚*Mécanique Celeste*‘,²⁴ throned each upon the double-sided height of one maximum principle, the supreme principle of moral as of physical science. [...] The statuesque beauty of the one is manifest.“ (Edgeworth, 1881, S. 12)

²⁴‚*Mécanique Celeste*‘ ist der Titel von Laplace' Hauptwerk.

Die Wissenschaftsgeschichte misst üblicherweise Adam Smith' ‚Wohlstand der Nationen‘ das Verdienst bei, die ‚Politische Ökonomie‘ als Wissenschaft begründet zu haben. Die darin formulierte zentrale Idee besagt, dass eigennütziges Verhalten von Individuen zu gesamtwirtschaftlicher Wohlstandsmehrung führt. Als greifbare Metapher bringt Smith die ‚unsichtbare Hand‘ ins Spiel, die wie durch ein Wunder das Marktgeschehen so zu lenken und ordnen weiß, dass der Wohlstand der Nationen kontinuierlich anwächst, wenn man sie nur walten lässt. Metaphern wie diese oder der dem Marktgeschehen zugrunde liegende ‚natural course of things‘ machen deutlich, dass Smith und die auf ihn folgende klassische Nationalökonomie ihre zentralen Ideen einem natürlichen Gleichgewichtsdenken entlehnt und somit von Beginn an unter einem mechanischen Stern steht (vgl. Brodbeck, 2011, Mirowski, 1989, S. 139-192). Tatsächlich werden vereinzelt Versuche unternommen, die Interaktionen innerhalb der ökonomischen Sphäre (Produktion, Distribution, Konsumtion) anhand der klassischen Mechanik nach Newton zu integrieren (vgl. Wellhöner, 2002, S. 125). Die größten Köpfe der Tradition jedoch – Smith, David Ricardo, Karl Marx, John Stuart Mill – belassen es bei *metaphorischen* Sympathien für das prestigeträchtige Programm der rationalen Mechanik. Wenngleich sie ihre Werke mit zahlreichen Rechnungen und numerischen Beispielen füllen, so erfolgt kein Ausbau zu einem formalen System, welches die Prozesse der ökonomischen Welt in ihrer Gesamtheit darzustellen vermögen. Mit den Feldformalisten und deren erfolgreicher Integrationsleistung von großen Teilen der Physik liegt in der Mitte des 19. Jahrhunderts erstmals eine mathematische Methode vor, die einen Transfer in die Ökonomie „*unter Erhaltung der wesentlichen Modellstrukturen* gestattet“ (Ebd., S. 125).

Der atemberaubende Siegeszug des Energiekonzepts lässt zu diesem Zeitpunkt keinen Zweifel mehr daran, dass die Mechanik die Astronomie auf dem Thron der Wissenschaften abgelöst hat. In den 1840ern werden auch erstmals Standards für wissenschaftliches Arbeiten gesetzt. Unter dem Einfluss des Maxwell'schen Elektromagnetismus gewinnen Feldtheorien den Rang eines solchen wissenschaftlichen Standards. *Wissenschaftlichkeit* wird in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts an dem Vermögen bewertet das Differentialkalkül und Variationsprinzipien erfolgreich auf den jeweiligen *Gegenstand* einer Disziplin anzuwenden; eine Überzeugung, die sich in den 1860ern und 70ern in Frankreich und ab 1867 in England ausbreitet (vgl. Mirowski, 1989, S. 35, 201, 217). Diese Entwicklungen machen auch vor der Politischen Ökonomie nicht halt: Spätestens um das Jahr 1870 keimt die Hoffnung, über die Anwendung der mathematischen Methode endlich in das Konzert der bedeutenden Wissenschaften mit einstimmen zu können.²⁵

²⁵Es wird an dieser Stelle auf die Übernahme der Energieformalisten in die ökonomische Disziplin und deren Bedeutung als Maßstab für *Wissenschaftlichkeit* im betrachteten historischen Kontext eingegangen. Auf die Darstellung der Verflechtung von Ökonomie und Naturwissenschaft als Ausdruck neuzeitlichen Denkens und deren wechselseitige Bedingtheit, bzw. gar der Vorrang der ökonomischen Rationalität *vor* der naturwissenschaftlichen (vgl. Brodbeck, 2011, S. 211-4) wird daher verzichtet. Weiterhin konzentrieren wir uns ausschließlich auf das Wirken der Marginalisten ab 1870. Schon ab 1830 waren erste Versuche

Alle Ökonomen, die rückblickend als ‚Marginalisten‘²⁶ oder ‚frühe Neoklassiker‘²⁷ bezeichnet wurden, kennen sich mit der Ingenieurs-Physik und der dazu gehörigen Mathematik hinreichend aus.²⁸ So hört William Stanley Jevons öffentliche Vorlesungen von Faraday, einem der wenigen Feldtheorieanhänger im England der 1850er Jahre. Jevons unterhält außerdem Kontakt zu Joule und wird durch Maxwell beeinflusst. Weiterhin sind seine zentralen Fragestellungen (Nutzenmaximierung, Ausbeutung von Energiereserven, ökonomische Krisen durch exogene Energieschocks) durch die Energetik inspiriert (vgl. ebd., S. 256-8, 267). Léon Walras ist zwar zunächst kein guter Mathematiker, interessiert sich aber früh für die Hintergründe der analytischen Geometrie, des Differentialkalküls und der Mechanik und liest in diesem Zusammenhang die Werke von Descartes, Newton und Lagrange. Mit der Hilfe von Mechanik-Professor Piccard lernt er in den 1860ern auch mathematische Methoden kennen. Alfred Marshall studiert in Cambridge Mathematik mit dem Wunsch Molekularphysiker zu werden und absolviert mit Bestleistungen. Inspiriert von seinen wissenschaftlichen Vaterfiguren Jevons und Marshall bringt sich Francis Edgeworth autodidaktisch Mathematik bei und beschäftigt sich zudem mit feldtheoretischen Grundlagen. Irving Fisher, der erste große Ökonom aus den Vereinigten Staaten, steht unter dem starken Einfluss seines Doktorvaters und seinerzeit führenden Thermodynamikers Josiah Willard Gibbs und kennt sich daher mit Feldtheorien aus (Niehans, 1990, S. 207-9, 237, 267-8, 280). Wir sehen also, dass der Nährboden für eine mathematisch fundierte Wirtschaftswissenschaft im vierten Viertel des 19. Jahrhunderts bereitet ist.

Jevons formuliert die neue ökonomische Wissenschaft als mathematische in seiner ‚Theory of Political Economy‘ [1871] als Erster:

unternommen worden, einzelne ökonomische Teilgebiete mittels des Differentialkalküls zu beherrschen. Zu erwähnen sind insbesondere die Arbeiten von Johann Heinrich von Thünen, Antoine-Augustin Cournot sowie Hermann Heinrich Gossen. Sie stellten allerdings nur partielle Anwendungen des Optimierungskalküls dar. Außerdem vermochten die erwähnten Forscher es aus verschiedenen Gründen nicht, den (wirtschafts)wissenschaftlichen Betrieb zu beeinflussen. So waren alle ‚Fachfremde‘ oder im Falle Gossens gar nicht in der Wissenschaft tätig. Weiterhin konnten sie teilweise aufgrund von sprachlichen Barrieren ihre neue Idee nicht in Kanäle leiten, die ihnen eine höhere Aufmerksamkeit versprochen hätten. Schließlich verstanden klassische Ökonomen i.d.R. nichts von Mathematik und konnten die Anwendung der Differentialrechnung auf ihren Gegenstand damit nicht verstehen (vgl. Niehans, 1990, S. 161-90).

²⁶Walras, Menger und Jevons kennen den Begriff ‚Marginalismus‘ nicht und verstehen sich selbst auch nicht als solche. Er wird erst 1909 von John A. Hobson eingeführt, etabliert sich aber erst 1946 durch den Aufgriff von Richard A. Lester (vgl. Wellhöner, 2002, S. 121).

²⁷Thorstein Veblen benutzt die Bezeichnung erstmals um die Jahrhundertwende, um im Unterschied zur Auslegung Marshalls die Diskontinuität zur Klassik deutlich zu machen (vgl. Niehans, 1990, S. 163).

²⁸Die Rolle Carl Mengers wird vielfach unterschiedlich interpretiert. Vor dem Hintergrund der hier vertretenen These, dass sich die ‚Revolution‘ in erster Linie um das Ringen um Wissenschaftlichkeit mittels mathematischer Ausgestaltung der Theorien drehte, wird auf Menger nicht näher eingegangen. Obwohl er die Bedeutung der exakten Wissenschaften unterstrich und seine eigene Methode als ‚Kausalanalyse‘ bezeichnete, lehnte Menger die Einführung der mathematischen Methode in die Sozialwissenschaften strikt ab. Weiterhin ist sein Einfluss im betrachteten Zeitraum außerhalb des deutschsprachigen Raumes als gering einzuschätzen. Menger wurde kein einziges mal von Jevons zitiert. Walras und Menger schrieben sich zwar, Menger lehnte die Arbeit Walras‘ aber als zu mathematisch ab. Er selbst wollte nie zu den Marginalisten gehören und stritt Verbindungen ab (vgl. Mirowski, 1989, S. 259; Niehans, 1990, S. 221, 225).

„Mill [...] speaks of an equation as only a proper mathematical *analogy*. But if Economics is to be a real science at all, it must not deal merely with analogies; it must reason by real equations, like all the other sciences which have reached at all a systematic character.“ (Jevons, 1965, S. 101)

Der Wunsch eines Ökonomen als *Wissenschaftler* ernst genommen zu werden, kann als zentrales Motiv der Marginalisten gar nicht hoch genug eingeschätzt werden. Während Smith die unbedarfte Beobachter-Position noch als Wunschdenken abtut und Erfahrung und Empathie als mögliche Zugänge zum wirtschaftenden Menschen sieht, ziehen sich die frühen Neoklassiker auf die mathematisch-objektive Insel zurück (vgl. Graupe, 2012, S. 79). Fisher macht die Unterscheidung zu den Klassikern in seiner Dissertation [1891] deutlich:

„There is a higher economics just as there is a higher physics, to both of which a mathematical treatment is appropriate [...] The introduction of mathematical method marks a stage of growth – perhaps it is not too extravagant to say, the entrance of political economy on a scientific era [...] Up to this time political economy had been the favorite field for those persons whose tastes were semi-scientific and semi-literary or historical.“ (Fisher, 1965, S. 109)

Im Gegensatz zur ‚Political Economy‘ geht es in der neuen Wissenschaft in erster Linie um Wissenschaftlichkeit, erst dann um die praktische Anwendung. Darin unterscheidet sich die Ökonomik als *science* mit dem Maßstab „truth“ von der Politischen Ökonomie als *art* mit dem Maßstab „usefulness“ (vgl. Walras, 1965, S. 53, 64). Smith’ Definition der Disziplin als *angewandte Wissenschaft* sei zwar nicht falsch, in jedem Fall aber verkürzt:

„Pure mechanics surely ought to precede applied mechanics. Similarly, given the pure theory of economics, it must precede applied economics, and this pure theory of economics is a science which resembles the physico-mathematical sciences in every respect. If the pure theory of economics [...] is a physico-mathematical science like mechanics or hydrodynamics, then economists should not be afraid to use the methods and language of mathematics. The mathematical method is not an experimental method; it is a *rational* method.“ (Ebd., S. 71)

Wir sehen, dass der *Inhalt* einer Wissenschaft – um als solche ausgewiesen zu werden – in den Hintergrund rückt. Entscheidend ist die *Form*. Während es den Klassikern noch um wirtschaftspolitische Gestaltung ging, setzen Jevons, Walras und die frühen Neoklassiker alles auf die Karte *hard science*. Der ‚mathematical economist‘ wird zum neuen Selbstverständnis, welches seinen Schatten auch auf die Bezeichnung der ökonomischen Wissenschaft in Analogie zu anderen – etablierten – Wissenschaften wirft. In der zweiten Auflage seiner ‚Theory‘ verwendet Jevons im Fließtext nur noch die neue Bezeichnung ‚Economics‘. Marshall besiegelt sie schließlich 1890 durch seine ‚Principles of Economics‘ (vgl. Jevons, 1965, S. xiv-xv). Mit der Ökonomik als Wissenschaft der „economic forms and relations“ (Ebd., S. xvi) ist die perfekte Analogie zur Mechanik als der Wissenschaft von ‚matter in motion‘ geschaffen: „The central idea of economics, even when its Foundations alone are under discussion, must be that of living force and movement“ (Marshall, 1977, S. xiii). Die Form der wissenschaftlichen Methode kommt *vor* jeder theoretischen

Ausgestaltung, denn sie selbst garantiert nach Auffassung der Marginalisten Objektivität:

„The theory here given may be described as the *mechanics of utility and self-interest*. Oversights may have been committed in tracing out its details, but in its main features this theory must be the true one. Its method is as sure and demonstrative as that of kinematics or statics, nay, almost as self-evident as are the elements of Euclid“ (Jevons, 1965, S. 21)

Damit gelangt man scheinbar auch als Wirtschaftswissenschaft in den Besitz einer exakten, intersubjektiv überprüfbaren Methode: „The theory of economic science thus acquires the rigor of rational mechanics“ (Pareto, 1971, S. 117; zitiert nach Wellhöner, 2002, S. 125). Mit diesen Entwicklungen gelangt auch das Selbstverständnis der Ökonomik als Königsdisziplin aller Sozialwissenschaften auf einen neuen Höhepunkt (vgl. Marshall, 1977, S. 12, 643). Wenden wir uns einigen Grundelementen, bzw. Folgen dieses neuen Selbstverständnisses zu.

Als ‚Soziale Mechanik‘ war man mit dem zentralen Grundproblem konfrontiert, dem die Naturwissenschaften gegenüber stehen: dem Nachweis von Kausalität (Mirowski, 1989, S. 142). Da die Methode für alle Wissenschaften gleich ist und, wie wir in Abschnitt 2.3 gesehen haben, das Kausalitätsprinzip verinnerlicht hatte, so muss sich nun auch die (Sozialwissenschaft) Ökonomik der „scientific investigation of the natural laws of Economics“ (Jevons, 1965, S. 11) widmen. Gegen die Kritik, dass soziale Gebilde keinen Naturgesetzmäßigkeiten unterliegen, setzen sich die Marginalisten von Beginn an entschieden zur Wehr:

„There is the old prejudice still reviving, however often slain, against the reign of law in psychology, as incompatible with the higher feelings. But it is too late. The reign of law is established, and will not become more oppressive to feeling by becoming mathematical.“ (Edgeworth, 1881, S. 97)

Man weiß zwar um die Schwierigkeit der Anwendung rationaler Mechanik auf den sozialen Kontext: „Political Economy tends to be more deductive than many of the physical sciences, in which closely approximate verification is often possible“ (Jevons, 1965, S. 19); nichtsdestotrotz ist man davon überzeugt, dass auch die ökonomische Welt klaren Gesetzmäßigkeiten unterliegt:

„The laws of human action are not indeed as simple, as definite or as clearly ascertainable as the law of gravitation; but many of them may rank with the laws of those natural sciences which deal with complex subject-matter.“ (Marshall, 1977, S. 32)

Dass man für die Errichtung einer solchen determinierten Gesetzeswelt notwendigerweise abstrahieren muss, liegt auf der Hand. Schließlich ist auch der Leitdisziplin kein anderes Schicksal vergönnt:

“This much is certain, however, that the physico-mathematical sciences [...], do go beyond experience as soon as they have drawn their type concepts from it. From real-type concepts, these sciences abstract ideal-type concepts which they define, and then on the basis of these definitions they

construct *a priori* the whole framework of their theorems and proofs. After that they go back to experience not *to confirm but to apply* their conclusions [...] The return to reality should not take place until the science is completed and then only with a view to practical applications.“ (Walras, 1965, S. 71, letzte Hervorhebung L.B.)

Die Herausforderung, welcher sich die frühen Neoklassiker gegenüber sehen, ist es, für die Konstruktion ihrer ‚ideal-type world‘, ganz der Tradition Descartes’ folgend (vgl. Descartes, 1961, S. 65), *mehr* zu zeigen, als die sichtbare, also mit den Sinnen erfahrbare Welt, preisgibt: „the causes and effects lie far outside“ (Fisher, 1965, S. 24). Dieses ‚Mehr‘, die unsichtbaren Gesetzmäßigkeiten, sehen die Marginalisten aber immer noch in der realen Welt.²⁹ Wie auch die Naturwissenschaftler sind die Neoklassiker in der Bestimmung dieser Gesetze auf Quantitäten angewiesen. Schließlich vermag es nach diesem Verständnis nur die mathematische Abstraktion durch die Zahl, kausale Zusammenhänge aufzudecken. Auch hier leistet die Mechanik eine wertvolle Geburtshilfe mit den zentralen mathematischen Kategorien:

„Scarcely a writer on economics omits to make some comparison between economics and mechanics [...] In fact the economist borrows much of his vocabulary from mechanics. Instances are: Equilibrium, stability, elasticity, expansion, inflation, contraction, flow, efflux, force, pressure, resistance, reaction, distribution (price), levels, movement, friction.“ (Ebd., S. 24)

Das Problem, analysierbare Zahlen aufzutreiben, ist also schnell gelöst: „Are they not all quantitative conceptions, best treated by means of the science of quantity?“ (Edgeworth, 1881, S. 98). Auch im Hinblick auf den erkenntnistheoretischen Zugang zur Zahl leistet die rationale Mechanik als Leitdisziplin Schützenhilfe. Wie auch in der Physik müsse die schiere Komplexität der „economic world“ (Fisher, 1965, S. 85) mittels weniger Grundprinzipien – Axiome – versteh- und erklärbar gemacht werden:

„As all the physical sciences have their basis more or less obviously in the general principles of mechanics, so all branches and divisions of economic science must be pervaded by certain general principles. It is to the investigation of such principles – to the tracing out of mechanics of self-interest and utility, that this essay has been devoted. The establishment of such a theory is a necessary preliminary to any definite drafting of the superstructure of the aggregate science [...] From these axioms we can deduce the laws of supply and demand, the laws of that difficult conception, value, and all the intricate results of commerce, so far as data are available.“ (Jevons, 1965, S. xvii-xviii, 18)

Hat man diese Axiome erst einmal gefunden, so kann man alle für die ökonomische Welt relevanten Gesetzmäßigkeiten, die „Laws of Economics“ (Marshall, 1977, S. v), ableiten. Wir nähern uns nunmehr dem Kern der vorliegenden Arbeit: den ontologischen Grundlagen in der Ökonomik.

Um zu den grundlegenden Axiomen ihrer Wissenschaft zu gelangen, folgen die frühen Neo-

²⁹Die Unterscheidung von Modell und Realität setzt erst später ein, siehe Abschnitt 3.2.

klassiker der strikten Regel mechanischer *Analyse* und versuchen zunächst zu ergründen, wie ihr spezifisch-ökonomischer Massenpunkt – der *ökonomische Mensch* – beschaffen ist:

„At least *the conception of Man as a pleasure machine* may justify and facilitate the employment of mechanical terms and Mathematical reasoning in social science.“ (Edgeworth, 1881, S. 15)

Das soziale Atom ‚Individuum‘ wird von nur einem Gefühl angetrieben: Nutzen, bzw. ‚pleasure and pain‘.³⁰ In dieser Eigenschaft sind alle Menschen gleich. Der Plural von Menschen wird zum Singular, zur *Einheit* des „economic man“ (Fisher, 1965, S. 30-1), der später von Pareto zum ‚homo oeconomicus‘ stilisiert wird: „We may perhaps throw out of view the number of consumers in this theory, by supposing that we are always dealing with the single average individual, the unit of which population is made up“ (Jevons, 1965, S. 64). Aus dem bei Descartes angelegten *methodologischen Reduktionismus* wird der *methodologische Individualismus*. Das verbindende Element aller Individuen in strenger Analogie zur mechanischen (potentiellen) Energie ist der Nutzen:

„The application of mathematics to the world of soul is contemned by the hypothesis [...], that Pleasure is the concomitant of Energy [...] *Energy* may be regarded as the central idea of Mathematical Physics; *maximum energy* the object of the principal investigations in that science. By aid of this conception we reduce into scientific order physical phenomena, the complexity of which may be compared with the complexity which appears so formidable in Social Science. The many unknown are reduced to one unknown, the one unknown is connected with the known.“ (Edgeworth, 1881, S. 9-11)

Wie verhält sich nun das „mathematical subject“ (Ebd., S. 45) zu diesem Nutzen? Nutzen, als Sammelbegriff für alles dem menschlichen Wohlbefinden Zuträgliches will selbstredend vermehrt, ja will *maximiert* werden. Den Individuen ihrer Modellwelt geben die Marginalisten für dieses Unterfangen das entsprechende Werkzeug an die Hand: die Differentialrechnung, welche über Hinzunahme des Variationsprinzips dazu befähigt, Maxima und Minima zu bestimmen. Mit diesen Mitteln eines berechnenden *Kalküls* ausgestattet wird der ökonomische Mensch zum *rationalen Akteur*, der nur durch ein einziges Motiv angetrieben wird, namentlich seinen Akteurs-Nutzen zu maximieren: „The theory which follows is entirely based on a calculus of pleasure and pain; and the object of Economics is to maximise happiness by purchasing pleasure, as it were, at the lowest cost of pain“ (Jevons, 1965, S. 23). Nutzen muss dabei als *Eigen-Nutzen* verstanden werden. Nur selbst Erlebtes, bzw. Gekauftes kann auch als Nutzen Wirklichkeit werden: „The first principle of Economics is that every agent is actuated only by self-interest“ (Edgeworth, 1881, S. 16). Jevons begründet das wie folgt: „Each person is to other persons a portion of the outward world – the *non-ego* as the metaphysicians call it“ (Jevons, 1965, S. 14).

Wie die Vokabeln ‚purchasing‘ und ‚consumers‘ in den obigen Zitaten bereits andeuten, ist

³⁰Das Begriffspaar ‚pleasure and pain‘ und damit auch der Nutzen-Begriff entstammt der auf Jeremy Bentham zurückgehenden, moraltheoretischen Schule des Utilitarismus.

für die mathematischen Ökonomen die Frage nach dem, was Nutzen stiften kann schnell beantwortet: die Ware, das *Gut*. „Intensity of feeling, however, is only another name for degree of utility, which represents the favourable effect produced upon the human frame by the consumption of commodity“ (Ebd., S. 65-6). Aus der Beziehung zwischen nutzenstiftender Ware und nutznießendem Mensch ergibt sich zugleich der ökonomische Wert der Ware, weswegen die Werttheorie der Marginalisten auch ‚subjektive Wertlehre‘ genannt wird: „The economic man is to be regarded as a number of cisterns or stomachs, each relative to a particular commodity“ (Fisher, 1965, S. 30-1). Die zentrale Eigenschaft, die eine Ware zu einer nutzenstiftenden Ware macht, ist ihre Knappheit (vgl. Walras, 1965, S. 65; Jevons, 1965, S. 43; Edgeworth, 1881, S. 7). Nur was einer quantitativen Beschränkung unterliegt, kann in der Beziehung zwischen Ware und Konsument einen Wert entwickeln. Brodbeck (2011, S. 130, 141) sieht in der Knappheit den für neuzeitliches Denken traditionsreichen Ausdruck natürlichen Widerstandes. Der Mensch muss mit der ihm zur Verfügung stehenden Kraft gegen die Natur an-arbeiten um sie seiner Nutzenfunktion (s.u.) entsprechend zu formen. Gleichzeitig steuert die „rareté“ (Walras, 1965, S. 188) als Preisgeber die einer Marktgesellschaft zur Verfügung stehenden Kräfte zur Naturüberwindung mit Hilfe von Technik. Damit kann auch nur noch wertschaffend sein, was gegen den natürlichen Widerstand erarbeitet wurde. Zwischenmenschliches (Bildung, Fürsorge, Kunst, etc.) kann keinen Wert entwickeln, weil es in der Dualität Mensch-Ware nicht auftaucht.³¹

Wie muss man sich dieses Mensch-Waren-Szenario nun konkret vorstellen?³² Denken wir uns zunächst ein Individuum, das sich in einem virtuellen Markt befindet und dort Gut A gegen Gut B tauscht. Das Individuum wird dies so lange tun, bis der aus der letzten hinzugewonnenen infinitesimal kleinen Einheit von B generierte Nutzengrad genau dem Nutzengrad einer unendlich kleinen Einheit von Gut A entspricht: $dU_A = dU_B$. In anderen Worten: eine winzig kleine, also virtuelle Verrückung des Individuums im Warenraum von A nach B wird fortgeführt, bis sich die „virtual utility“ (Walras, 1965, S. 118)³³ der beiden Güter entsprechen.

„Just as coincidence is the test of equality and inequality of geometrical figures, and the tip of the scales the test of equality and inequality of weights, so is the desire of the individual, the test of the equality and inequality of utilities.“ (Fisher, 1965, S. 12)

Ist diese Bedingung erfüllt, so steht das Individuum den beiden Gütern indifferent gegenüber, d.h. sie sind ihm *gleich nützlich*. Diese Tatsache spiegelt sich in den sog. Indifferenzkurven oder Präferenzfeldern wieder, mittels derer das Individuum fortan repräsentiert

³¹In dem „right of persons over things“ (Walras, 1965, S. 62) begegnen wir gleichsam der nunmehr *expliziten* Form der Hierarchie des Menschen über die Natur wieder.

³²In der folgenden Darstellung wird an Fishers’ Darstellung angelehnt (vgl. Fisher, 1965, 12-4, 18). Von ihm stammt das kanonische neoklassische Modell als Vektoren-basiertes (vgl. Mirowski, 1989, S. 222).

³³Wobei der virtuelle Charakter der Verschiebung nicht als solcher (∂) gekennzeichnet wird. Zum mangelnden Verständnis der physikalischen Theorie bei den frühen Neoklassikern siehe unten.

wird. Der Akteur weiß dann ganz genau, in welchem Verhältnis er die infinitesimal kleinen Mengen dA und dB tauschen muss, nämlich so, dass gilt: $\frac{dU_A}{dU_B} = \frac{dA}{dB}$. Schließlich folgt unter der Annahme des Law of one Price (LOOP),³⁴ „that the last increments in an act of exchange must be exchanged in the same ratio as the whole quantities exchanged“ (Jevons, 1965, S. 100). Also stehen die absoluten Mengen im gleichen Verhältnis wie die Mengen eines marginalen Tausches. Und die marginalen Mengen entsprechen dem Verhältnis ihrer respektiven Nutzenstiftung:

$$\frac{dU_A}{dU_B} = \frac{dA}{dB} = \frac{A}{B}$$

Die getauschten Mengen können dann wie folgt beschrieben werden:

$$\frac{dU_A}{dA} \cdot A = \frac{dU_B}{dB} \cdot B$$

Somit bestimmen die ‚final degrees of utility‘ (Jevons), bzw. der ‚Grenznutzen‘ (Marshall) eines Gutes, nämlich in diesem Fall $\frac{dU_A}{dA}$ und $\frac{dU_B}{dB}$ die Mengen der an Märkten getauschten Güter und deren Preise. Den Gesamtnutzen, die Rente, bzw. die „total pleasure-energy“ (Edgeworth, 1881, S. 24) des Individuums kann dann am Integral der Güternutzung abgelesen werden: $\int_0^x \frac{dU}{dx} dx$.

„This corresponds to the mechanical equilibrium of a particle the condition of which is that the component forces along all perpendicular axes should be equal and opposite. [...] If marginal utilities and disutilities are thus in equilibrium ‚gain‘ must be a maximum. This is the mere application of the calculus and corresponds exactly to the physical application of the calculus which shows that at equilibrium the balancing of forces implies that energy is a maximum. Now energy is force times space, just as gain is marginal utility times commodity.“ (Fisher, 1965, S. 85)

Wir sehen also, dass die mechanischen Gleichungen eines statischen Gleichgewichts als *exakte* Grundlage der neoklassischen Gleichgewichtstheorie dienen. So leitet beispielsweise Jevons diese Tauschgesetze ganz explizit mittels eines Mechanik-Lehrbuchs aus den physikalischen Hebelgesetzen ab (vgl. Jevons, 1965, S. 102):

„The Theory of Economy thus treated presents a close analogy to the Science of Statical Mechanics, and the Laws of Equilibrium of a lever as determined by the principle of virtual velocities. The nature of Wealth and Value is explained by the consideration of indefinitely small amounts of pleasure and pain [...] It is from the quantitative effects of the feelings that we must estimate their comparative amounts. [...] just as we measure gravity by its effects in the motion of a pendulum, so we may estimate then equality or inequality of feelings by the decisions of the human mind. The will is our pendulum, and its oscillations are minutely registered in the price lists of the markets.“ (Ebd., S. vii, 11-2)

In dieser *Feldtheorie des Wertes* taucht das Individuum nur noch als vektorielles Prä-

³⁴Das LOOP besagt, dass homogene Güter einen einheitlichen Preis besitzen (vgl. Jevons, 1965, S. 91). Dies ist Bedingung für ein Marktgleichgewicht, da ohne LOOP der Markträumungspreis nicht einzigartig wäre. Diese Annahme ist die entscheidende Modifikation der Neoklassiker, weswegen man das originale Energieintegral nicht in den ökonomischen Lehrbüchern findet (vgl. Mirowski, 1989, S. 227, 240).

ferenzfeld auf, welches von einer zu maximierenden skalaren Nutzenfunktion durch den euklidischen Raum getrieben wird, in dem jede Dimension einer beliebig mit anderen kombinierbaren Ware entspricht, die ein gewisses Quantum des Nutzen-Äthers verspricht. Im „composite mechanism of a *competitive field*“ (Edgeworth, 1881, S. 34) ergeben sich die Warenpreise dann als konservatives Kraftfeld aus dem Nutzenskalarfeld und geben die Präferenzrichtung an. Sie unterliegen, wie wir schon in Abschnitt 2.3 gesehen haben, bestimmten Bedingungen, wie bspw. der Nicht-Rotation oder der Stetigkeit, bzw. der Kontinuität (vgl. ebd., S. 18, 90). Einzige Beschränkung der Maximierungsreise durch den Warenraum ist die verfügbare Menge an einzutauschenden Gütern (bspw. Geld als ‚Budgetbeschränkung‘) (vgl. Wellhöner, 2002, S. 134). Unter diesen Bedingungen bleibt nichts anderes übrig, als die Nutzenfunktion des ‚economic man‘ abzuleiten und gleich null zu setzen, diese Stelle als Maximum oder Minimum zu identifizieren und damit die mannigfaltigen Konsummöglichkeiten auf eine einzige, nämlich die maximale, einzuschränken. Damit ist die Neoklassik als solche mit einer neuen, grundlegenden Werttheorie konstituiert: „the final degree of utility is that function upon which the Theory of Economics will be found to turn“ (Jevons, 1965, S. 52). Die bemerkenswerte Darstellung der totalen mechanischen Analogie in Fishers Dissertation „Mathematical Investigations in the Theory of Value and Price“ (1972) findet sich im Anhang der vorliegenden Arbeit.³⁵

Für die Anwendung der Theorie auf drei bis n Güter verwendet Fisher dann schlichtweg multiple Algebra (vgl. Fisher, 1965, S. 81). Die Ausformulierung der allgemeinen Gleichgewichtstheorie von Walras verlangt zusätzlich noch Produktionsfunktionen der Unternehmen (mit konstanten Skalenerträgen), fixierte Ressourcenbestände, sowie die Annahme des Tausches bei Gleichgewichtspreisen (vgl. Brodbeck, 2011, S. 84). Da alle Akteure dem gleichen Maximierungskalkül folgen,³⁶ ist die Berechnung des Nutzens für Aggregate von Individuen einfach durch das Summen- bzw. Integralzeichen zu lösen:

„The integration may be equally well illustrated by ideal mechanism. We have only to add another dimension expressing the number of sentient, and to integrate through all time and over all sentience to constitute the end of pure utilitarianism.“ (Edgeworth, 1881, S. 102)

Da alle das Gleiche fühlen und dies durch das Nutzenmaß objektiviert werden kann, sind die Gesetze *universale*: „The general forms of the Laws of Economics are the same in the case of individuals and nations“ (Jevons, 1965, S. 15). Wie die Physiker kann man sich als Ökonom seinem Gegenstand ‚Wirtschaft‘ in beliebig großen oder kleinen

³⁵Es sei darauf hingewiesen, dass die Analogien Fishers’ in der modernen Haushaltstheorie nicht mehr vollständige Gültigkeit besitzen. Die (wenigen) Modifikationen lassen sich bei (Wellhöner, 2002, S. 134-41) nachvollziehen.

³⁶An dieser Stelle wird deutlich, dass die radikal-individualistische Wertlehre zwingend auf ein Kollektiv angewiesen ist: „Accordingly, questions which appear, and perhaps are, quite indeterminate as regards individuals, may be capable of exact investigation and solution in regard to great masses and wide averages.“ (Jevons, 1965, S. 16)

Einheiten widmen und das betrachtete System mittels der *ceteris-paribus*-Annahme³⁷ um ein winziges, virtuelles Moment verrücken lassen, die Zustände A und B vergleichen und somit kausale Zusammenhänge aufdecken. Im Hinblick auf die lästige Verteilungsfrage, die in der Vergangenheit stets die ‚Moralisten‘ auf den Plan gerufen hatte, keimt gleichwohl die Hoffnung auf, mit dem Nutzen endlich auf eine Formel gestoßen zu sein, die auch die Ethik – als *utilitaristische* Ethik – zu einer bloßen Extremwertaufgabe werden lässt: „*Greatest possible happiness is the greatest possible integral of the differential ,Number of enjoyers x duration of enjoyment x degree thereof‘*“ (Edgeworth, 1881, S. 56). Wir sehen also, dass die Frage der *Anwendbarkeit* der Grenznutzentheorie mittels der durch die infinit-reduktionistische Analyse gewonnenen Gesetzmäßigkeiten nur noch eine Frage der mathematischen Raffinesse und Einfallskunst darstellt. Hier stoßen wir auf die Stärke des Rationalitätsaxioms als *potentiell universelles*, welches in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zur ‚Rational Choice Theory‘ ausgebaut werden wird.

Die von Descartes’ entwickelte Methode der rationalen Naturerschließung findet somit als berechnende Methode in die Welt selbst Einzug, genauer: in die Köpfe der ökonomischen Akteure. Sie sind nichts anderes als *Rechenmaschinen*. Die Ähnlichkeit zur Leibniz’schen Urmonade – Gott – die nur das wirklich werden lässt, was ein Maximum darstellt, ist erdrückend. Wie der Leibniz’sche Gott³⁸ ist der rationale Akteur in seiner Wahl gänzlich eingeschränkt. Er kann nach den ökonomischen Gesetzen nur das Beste – genauer: das quantitativ Größte – wählen: er ist nicht mehr dazu in der Lage, einen Grund, bzw. ein Motiv aufzugeben.³⁹ Der von den Marginalisten angenommene Mensch, wird dadurch als kalkulierender gleichsam kalkulierbar: ein unendlicher Verstand, welcher unendlichen Bedürfnissen unterworfen ist, die er fortwährend zu stillen gesucht. Damit ist auch dessen Produkt – die ökonomische Welt – vollkommen berechenbar.

Dass der Maximierer hierbei auch seine Entscheidungsfreiheit verliert, liegt auf der Hand: „Each labourer, in the absence of other motives, is supposed to devote his energy to the accumulation of wealth“ (Jevons, 1965, S. 27). Bei Walras: „Man is a creature endowed with reason and freedom, and possessed of a capacity for initiative and progress. In the production and distribution of wealth, and generally in all matters pertaining to social

³⁷Die *ceteris-paribus*-Annahme hält – bis auf eine – alle Variablen eines Systems konstant.

³⁸Vergleiche auch im Hinblick auf die göttliche Harmonie Leibniz’: „There are diversities of conditions, but one maximum-principle; many stages of evolution, but ‚one increasing purpose‘ [...] The statuesque beauty of the one is manifest“ (Edgeworth, 1881, S. 12). Auch Marshall setzt seine ‚Principles‘ unter die Ägide des Leibniz’schen Ausdrucks für das Raum-Zeit-Kontinuum: „*Natura non facit saltum*“.

³⁹Holen wir uns zum Vergleich nochmal den Leibniz’schen *Menschen* in Erinnerung: „Die Einsicht macht in der Tat den Menschen frei vom physischen Determinismus, weil sie die Vorgänge, die ihre Handlung bestimmen, bis ins *Unendliche* verwickelt (durch die Aufmerksamkeit und Reflexion), so daß man niemals sicher voraussagen kann, welches Motiv ihn mit sich reißen wird. Die menschlichen Handlungen sind zumindest für einen endlichen Verstand ‚unkalkulierbar‘, was allerdings nicht verhindert, daß sie an sich absolut determiniert sind und daß Gott sie im Voraus kennt, nicht durch ein einfaches ‚schauendes Wissen‘, welches nur ein rein empirisches Voraussehen wäre, sondern durch ein ‚einsichtiges Wissen‘, das ihm gestattet, den Grund zu sehen und, wenn nötig ‚den Grund aufzugeben‘“ (Couturat, 1988, S. 69)

organisation, man has the choice between better and worse“. Sieht man davon ab, dass er das Entscheidungsspektrum auf nur zwei Alternativen reduziert („better and worse“), so hebt er die menschliche Entscheidungsfreiheit noch im gleichen Satz wieder auf, indem er sagt: „and tends more and more to choose the better part“ (Walras, 1965, S. 55). Fisher bringt es auf den Punkt: „Individuals are not free to stop consuming or producing at any point“ (Fisher, 1965, S. 104). In diesem Licht erscheint das Rationalitätspostulat als eine strikte *Entscheidungsmechanik*. In den „laws of human enjoyment“ (Jevons, 1965, S. 39) ist die Wahl bereits vorweggenommen. Ursachen, Umstände, Sachzwänge werden in diesem Handlungsmodell zu Notwendigkeiten – zu *ökonomischen Anreizen* –, die den Willen lenken und dann *automatisch* in Handlungen übersetzt werden. Das Individuum ist in der neoklassischen Ontologie zum „human frame“ (Ebd., S. 206) geworden, das als ‚pleasure machine‘ die ihm zur Verfügung stehende Muskel- bzw. monetäre Kraft dazu nutzt, ein Maximum an Nutzen aus einer Warenwelt zu generieren.⁴⁰ Damit ist in strenger Analogie zur mechanischen Welt der *Zweck* einer Handlung (*causa finalis*) vollständig in einer Ursache (*causa efficiens*) aufgegangen, die dem rationalen Akteur im Gewand des Nutzenbegriffs eine Handlung aufzwingt.⁴¹ Die cartesianische Spaltung wird im rationalen Verhaltensmodell somit (für die im Modell befindlichen Akteure!) aufgegeben, da sowohl Geist, als auch Körper einem determinierten Ursache-Wirkungsschema unterliegen. Den Ausweg, den die frühen Neoklassiker in Anlehnung an die liberale Tradition nehmen, um die Begriffe ‚Freiheit‘ und ‚Naturgesetz‘ zusammen zu bringen, ist der, mechanisches Verhalten *als* freie Entscheidung zu modellieren (vgl. Brodbeck, 2011, S. 50-6, 157, 206-10). Die „unity of nature in the midst of plurality of persons“ (Edgeworth, 1881, S. 39) wird durch die analytische Verbindung des *ego cogito* mit der *res extensa* im rationalen Akteur geschaffen und drückt sich als Nutzenszahl aus, die alle menschlichen Handlungen berechnen- und begreifbar werden lässt (vgl. Wellhöner, 2002, S. 127). Mit der Einführung der *ratio* in die *res extensa* wird der durch das mechanische Weltbild erklärbare Gegenstand gleichsam radikal ausgeweitet. Dem Mach’schen Ideal einer ‚Ökonomie des Denkens‘, der Erklärung eines Maximums an Wahrhaftigkeit mit einem Minimum an Axiomen, wird dadurch aufs Neue entsprochen (vgl. Gloy, 1995, S. 170-1).

Es ist eben diese durch die Entscheidungsmechanik gewonnene Einheit der Handlungen in der Zahl als *einzig wirklich werdendem Motiv*, die es nun auch den Ökonomen erlaubt, den

⁴⁰So geht die neoklassische Arbeitstheorie von Arbeit als ‚Unnutzen‘, also von negativen Müdigkeitskoeffizienten in der skalaren Nutzenfunktion aus: „Had we a determination of the exact relations of time, space, and fatigue, it would be possible to solve many interesting problems“ (Jevons, 1965, S. 208).

⁴¹Ein solches System kann natürlich nur dann funktionieren, wenn die Massenpunkte sich auch völlig frei bewegen können, d.h. wenn keine Marktimperfectionen vorliegen. Um die Schwierigkeit zu umgehen, die sich für den Nachweis kausaler Zusammenhänge unter Berücksichtigung von Störvariablen ergibt, wird von vollständiger Bewegungsfreiheit, d.h. vollständiger Konkurrenz des „hedonico-magnetic field“ (Edgeworth, 1881, S. 104) ausgegangen: „Pure economics is, in essence, the theory of the determination of prices under a hypothetical régime of perfectly free competition“ (Walras, 1965, S. 40). Wir wollen an dieser Stelle aber nicht weiter auf die notwendigen Annahmen einer schlüssigen Übernahme der mechanischen Analogie eingehen.

Laplace'schen Traum zu träumen. Man ist im Besitz eines grundlegenden Rationalitätsaxioms (Annahme über Relate), sowie von Tausch- und Produktionsgesetzen (Annahme über Relation). Wenn sich nun noch alle Variablen der skalaren Nutzenfunktionen ermitteln lassen, so ist man imstande, einen Zustand X (Preise, Renten, Beschäftigung, Zinsen, etc.) vollständig zu bestimmen, denn sein Wert ist schon im funktionalen Zusammenhang des feldtheoretischen Gleichungssystems angelegt: „If we know *something* about the construction of the mechanism, [...] we may be able to deduce a similarly indefinite conclusion about the motion“ (Edgeworth, 1881, S. 9). Damit ist man ebenso *prinzipiell* in der Lage, Prognosen zu wagen, denn schließlich sind auch zukünftige Ereignisse vollständig von den Gesetzen determiniert, die der „moral arithmetic“ (Ebd., S. 60) zugrunde liegen:

„The function then of analysis and deduction in economics is not to forge a few long chains of reasoning, but to forge rightly many short chains and single connecting links [...] While in so far as our knowledge and analysis are complete, we are able by merely inverting our mental process to reduce and predict the future almost as certainly as we could have explained the past on a similar basis of knowledge.“ (Marshall, 1977, S. 638)

Die historische – also durch Menschen qualitativ interpretierte – Zeit ist aus dieser Welt vollkommen verbannt. Zeit ist nur noch eine objektive Modalität des Güterkonsums, verlangt also keiner subjektiven Auslegung oder Erfahrung mehr. Das Zeit-Kontinuum ist zur unendlich teilbaren Zahl geworden, sie ist bloßes Residuum:

„For the element of Time, which is the centre of the chief difficulty of almost every economic problem, is itself absolutely continuous: Nature knows no absolute partition of time into long periods and short; but the two shade into one another by imperceptible gradations, and what is a short period for one problem, is a long period for another.“ (Ebd., S. vii)

In der Welt der *Clockwork Economics* ist keine Geschichte vorgesehen, sondern nur willkürliche, virtuelle Sequenzen (z.B. kurze vs. lange Frist), analog zu den virtuellen Verrückungen im euklidischen Raum. Vergangenheit und Zukunft existieren nur als determinierende Ursache oder determinierte Wirkung und sind damit schon im Augenblick erhalten. Wenn aber *alle* Variablen eines mechanischen Systems von Differentialgleichungen die gleiche Beziehung zur Uhr aufweisen (z.B. als konstante Skalenerträge in einer linear-homogenen Produktions- oder Nutzenfunktion), dann spielt die Zeit keine Rolle mehr und lässt sich heraus kürzen:

„Thus the time eliminates itself, and we arrive at a quantity of the dimensions correctly represented by a curvilinear area, one dimension of which corresponds to each of the factors in $M [=Ware] \cdot U [=deren Nutzen, \text{Anm. L.B}]$.“ (Jevons, 1965, S. vii; vgl. auch Brodbeck, 2011, S. 79, 87-9)

Nachdem wir die Welt, wie sie von den frühen neoklassischen Ökonomen gesehen wurde, erkundet haben, möchten wir uns noch einmal dem Selbstverständnis dieser neuen Tradition widmen.

Wie wir gesehen haben, stellen sich auch die Ökonomen ganz in der Tradition Descartes'

vor das „object of Social Science“ (Edgeworth, 1881, S. 15), den Menschen. Sie trennen sich von ihrem Gegenstand, was im sozialwissenschaftlichen Kontext nichts anderes bedeutet, als dass sie versuchen, sich aus den Beziehungen ihrer sozialen Umwelt herauszulösen. Aus dieser nüchternen Vogelperspektive vermag der Ökonom nun frei von Vorurteilen die Gesetzmäßigkeiten erblicken, denen das Handeln seiner Mitmenschen unterliegt: „In the science of Economics we treat men not as they ought to be, but as they are“ (Jevons, 1965, S. 38). Denn schließlich ist seine einzige Zielgröße als Wissenschaftler die reine Wahrheit: „Indeed the distinguishing characteristic of a science is the complete indifference to consequences, good or bad, with which it carries on the pursuit of pure truth“ (Walras, 1965, S. 52). Und diese Wahrheitssuche muss mittels der einzig möglichen wissenschaftlichen Methode erfolgen: „There is no need to point the moral. Until the economist is reconciled to a refined ideal analysis he cannot profess to be scientific“ (Fisher, 1965, S. 102). Der Ökonom ist imstande die Naturgesetze des Sozialen, bzw. der sozialen Modellwelt zu erforschen: „Of justice and humanity there was no pretence; but there seemed to command respect the majestic neutrality of Nature“ (Edgeworth, 1881, S. 50). Wir sehen an diesen Beispielen deutlich, dass sich in der Tradition der von den analytischen Mechanikern übernommenen ontologischen, auch eine axiologische Reflexionsverkürzung breit macht und Werturteile aus der Ökonomik als strikt heraus gehalten werden.⁴²

Weiterhin kann nur die *eine* wahre Methode auch die wahren Gesetze hervorbringen:

„If the matter is important let us take account of it as far as we can. If it is one as to which there exist divergent opinions, such as cannot be brought to the test of exact and well-ascertained knowledge; if it is one which the general machinery of economic analysis and reasoning cannot get any grip, then let us leave it aside in our purely economic studies.“ (Marshall, 1977, S. 23)

So wird bspw. die Deutsche Historische Schule als Sammelbecken von „Praktikern“ oder „Metaphysikern“ abgestraft, die nicht in den Rang von Wissenschaftlern gelangen können, weil sie die „refined mathematical analysis“ ablehnen (Fisher, 1965, S. 102). Verbale Ökonomik verkommt zum „accidence“ oder „matter of mere convenience“ (Jevons, 1965, S. 4). Ebenso wird die Interdisziplinarität ausgeschlossen: „the economist need not envelop his own science in the hazes of ethics, psychology, biology and metaphysics“ (Fisher, 1965, S. 23). Somit ist eine Tradition von mathematischen Ökonomen geschaffen, die über ihre ‚refined ideal analysis‘ auch fortan das Monopol davontreten, als wissenschaftliche *Experten* wahrgenommen und konsultiert zu werden.⁴³

⁴²An teleologischen Andeutungen wird dennoch nicht gespart: „The integration must be extended from the present to the infinitely future time to constitute the end of pure egoism“ (Edgeworth, 1881, S. 101). Auf axiologische Implikationen der mathematischen Ökonomik kann an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

⁴³Vergleiche hierzu: „Comte did good service therefore by insisting that the solidarity of social phenomena must render the work of exclusive specialists even more futile in social than in physical science“ (Marshall, 1977, S. 636). Auf Comte wird in diesem Abschnitt nicht weiter eingegangen, da hier die Position vertreten wird, dass nicht dessen Positivismus, sondern (Natur)Wissenschaftlichkeit zentrales Motiv der Marginalisten war.

Wenden wir uns abschließend noch einigen Problemen zu, mit denen die junge Tradition der mathematischen Ökonomik zu kämpfen hat. Zunächst ist die Frage des *Wertmaßstabes* aufzugreifen. Die Klassiker haben versucht, ein absolutes, substanzartiges Wertmaß *hinter* dem Geld zu entwickeln, welches *in* der Ware selbst liegt (bspw. der Arbeitswert). Die Marginalisten wollen diesen unbefriedigenden Versuch mit ihrer neuen feldtheoretischen Methode ablösen und ein Wertmaß der *Relationen* zwischen Mensch und Ware erschaffen (vgl. Mirowski, 1989, S. 186, 192; Jevons, 1965, S. 77). Auch sie wissen um die Probleme des schwankenden Geldwertes (z.B. Inflation) und meinen im Nutzen ein objektives Wertmaß gefunden zu haben. Die Aufgabenstellung ist klar:

„To construct a positive science, force must be defined with respect to its connection with *space, time* and *mass*. So also; while utility has an original ‚common sense‘ meaning relating to feelings, when economics attempts to be a positive science, it must seek a definition which connects it with objective *commodity*.“ (Fisher, 1965, S. 17)

Während Fisher den objektiv-ökonomischen Maßstab in der Nutzeinheit „util“ (Ebd., S. 18) gefunden haben will, schafft Walras den „numéraire“ (Walras, 1965, S. 185) als neue Nutzeinheit. Edgeworth will sich gar den Messapparat „hedimeter“ bauen lassen, um den Nutzenmaßstab greifbar zu machen:

„To precise the ideas, let there be granted to the science of pleasure what is granted to the science of energy; to imagine an ideally perfect instrument, a psychophysical machine, continually registering the height of pleasure experienced by an individual, exactly according to the verdict of consciousness, or rather diverging therefrom according to a *law of errors*.“ (Edgeworth, 1881, S. 101)

Der ausbleibende Erfolg dieser Unternehmung führt die Marginalisten wieder dazu, nur den *Effekt* der Maximierungsbestrebungen, nämlich die aus Märkten zu entnehmenden Preise als Wertmaßstab zu übernehmen. So gibt Marshall schon 1890 zu:

„It is essential to note that the economist does not claim to measure any affection of the mind in itself, or directly, but only indirectly through its effect [...] ‚money‘ or ‚general purchasing power‘ or ‚command over material wealth‘, is the centre around which economic science clusters; this is so, not because money or material wealth is regarded as the main aim of human effort, nor even as affording the main subject-matter for the study of the economist, but because in this world of ours it is the one convenient means of measuring human motive on a large scale.“ (Marshall, 1977, S. 13, 18)

In *ihrer* Welt werden die Ökonomen also durch Bequemlichkeit getrieben und finden schnell zum Geldmaß zurück (vgl. auch Walras, 1965, S. 189; Edgeworth, 1881, S. 7, 98). Ende des Jahrhunderts wird das Wertmaßproblem dann endgültig *per definitionem* gelöst, indem Geld ein konstanter Grenznutzen zugeschrieben wird und damit fortan in einem konstanten Verhältnis zum Nutzen steht (vgl. Mirowski, 1989, S. 251; Samuelson, 1983, S. 99). Während das Maximierungskalkül zunächst noch auf einen unbestimmten Nutzen bezogen wird, ist schnell klar, dass man um den Maßstab Geld nicht herum kommt

und somit dem rechnenden Ego nur eine Formel mit an die Hand geben kann: monetäre Maximierung (vgl. Brodbeck, 2011, S. 210).

Die Essenz neoklassischer Theorie ist die Aneignung des physikalischen Feldkonzepts. Wie wir gesehen haben, können Feldtheorien aber nur mit Erhaltungsprinzipien funktionieren. Dieser Imperativ wird von Neoklassikern jedoch nicht beachtet. Sie zeigen an vielen Stellen ihrer Arbeit eine mangelnde Einsicht in die physikalische Theorie des Feldes (vgl. Mirowski, 1989, S. 31, 229-31). Während für Physiker die Erhaltungssätze immer den *Ausgangspunkt* ihrer Analyse darstellen, werden sie für die Ökonomen zum Problem. So fehlt in Fishers' Dissertation (siehe Anhang) bspw. eine direkte Analogie zur kinetischen Energie, also dem eigentlich *dynamischen* Element der mechanischen Bewegungsgleichungen. Die Werttheorie wird folglich nicht auf der Hamilton-Dynamik aufgebaut (vgl. Wellhöner, 2002, S. 130). Aus dem Unvermögen heraus, die Analogie zu vervollständigen, erhalten die mathematischen Ökonomen je nach Anwendung mal den Gesamtnutzen, mal die Gesamtausgaben, mal die Summe aus beiden (vgl. Mirowski, 1989, S. 272-4). Der Nutzenbegriff bleibt somit im Vergleich zum Energiebegriff stets ein *verkürzter*; die Marginalisten haben nicht nur außerhalb der „terra firma of physical analogy“ (Edgeworth, 1881, S. 99) ihre Schwierigkeiten. Wellhöner (2002, S. 141) hat darauf hingewiesen, dass in der Mechanik stets eine scharfe Trennung zwischen Massenpartikel und der Existenz des Feldes gegeben ist. Ein Feld existiert auch ohne Testkörper. In der ökonomischen Feldtheorie hingegen ist Nutzen nur schwerlich ohne den Menschenpartikel zu denken. Er ist untrennbar mit der Spezifikation des Feldes verbunden, denn die „Psyche des Akteurs wird zu einem Spiegelbild der mechanistisch verstandenen Außenwelt“.

Ungeachtet dieser Problematiken setzen die ‚frühen Neoklassiker‘ den Ausbau ihrer Theorien fort und verwenden große Mühen auf die Vernetzung ihrer Arbeiten. So erstellen und versenden sie Bücherlisten mathematisch-ökonomischer Literatur (vgl. Jevons, 1965, S. xix-xx) und wirken zunehmend auf die Besetzung von Lehrstühlen hin. Weiterhin kommt es zur Gründung von Institutionen wie der ‚American Economic Association‘ (1885), sowie von mathematisch-ökonomischen Journalen wie dem ‚Quarterly Journal of Economics‘ im darauf folgenden Jahr. Diese institutionellen Festigungen verhelfen dem neuen Theoriekomplex zu einer wirkungsvollen Vernetzung. Dennoch brauchen die Bücher von Jevons und Walras mehr als 20 Jahre, um zu allgemeiner Bekanntheit zu gelangen (vgl. Niehans, 1990, S. 161-2). Das große Verdienst der Breitenwirkung muss Marshall und seinen ‚Principles‘ zugeschrieben werden, welches für 40 Jahre das zentrale Lehrbuch ökonomischer Ausbildung wird (vgl. Samuelson, 1998, S. 1382): „It was the fate of British economics to produce two such talents about forty years apart [Jevons und Marshall]. As a consequence, it was dominated for three-quarters of a century by just two books“ (Niehans, 1990, S. 247). Wie wir sehen werden, ist der Erfolg der neuen Theorie so umfassend, dass die Jevons'sche Aussage binnen weniger Jahrzehnte zum Imperativ heranreift: „I contend that

all economic writers must be mathematical so far as they are scientific at all“ (Jevons, 1965, S. xxi).

Die ‚unsichtbare Hand‘ von Adam Smith ist in der mathematischen Ökonomik zur „invisible energy of pleasure“ (Edgeworth, 1881, S. 13) geworden, derer man mithilfe der Formalismen der analytischen Mechanik Herr zu werden hofft. Die von Smith übernommene zentrale Grundidee der Wohlstandsmehrung bei Verfolgung von Eigeninteresse wird mit den Marginalisten nun feldtheoretisch ausgebaut und einem mathematischen *Beweis* unterzogen. Im Aufbau dieser mathematischen Welt rational-maximierender Individuen in Anlehnung an die energetische Revolution der Physik hofft die neue Tradition in den Rang einer *hard science* aufzusteigen. In diesem Zusammenhang wird mit deren Methode auch das reduktionistisch-deterministische Weltverständnis übernommen, das von kausalen Naturgesetzen ausgeht. War für die Klassiker ihre Wissenschaft noch ein Vehikel für die Beschäftigung mit wirtschaftspolitischen Fragestellungen im Sinne einer ‚applied science‘, so geht es den Neoklassikern nunmehr nur noch um den Aufbau einer *in sich* konsistenten, da mathematisch geschlossenen, Theoriewelt, um mit den Ergebnissen der Analyse *innerhalb* dieses Systems erst dann wieder in die Realität zurück zu kehren, sobald es alle ökonomischen Sachverhalte zu fassen vermag. Wenden wir uns nun der Frage zu, wie diese abstrakten Gedanken für jedermann zugänglich gemacht worden sind.

3.2 Mechanik der Lehrbücher: Paul A. Samuelson

„One’s view of the world can never be quite the same after even a single semester of economics.“ (Samuelson, 1976, S. 5)

In den 1920ern erlebt die ökonomisch-mathematische Theoriebildung einen ersten Tiefpunkt (vgl. Niehans, 1990, S. 313). Institutionell ist die neue Schule noch zu schwach abgesichert, politisch gerät sie im Zusammenhang mit der Weltwirtschaftskrise unter Druck und inhaltlich stößt das Nutzenkonzept immer mehr auf Kritik: „Prior to the mid-1930’s, utility theory showed signs of degenerating into a sterile tautology. Psychic utility or satisfaction could scarcely be defined, let alone be measured“ (Samuelson, 1992, S. 69). Aus einem interdisziplinären Blickwinkel betrachtet, geraten die mathematischen Ökonomen auch zunehmend wegen ihrer Methode unter Druck. So sind die von ihnen benutzten Feldformalismen in der Physik längst überkommen und sie sehen sich einem Spannungsfeld zwischen Anpassung an die neuen Theorien der Physik (Verlust der Formalismen) und einem Verharren in der von den Marginalisten übernommenen Methode gegenüber (vgl. Mirowski, 1989, S. 358, 363).

Im Zusammenhang mit den politischen Verwerfungen in Europa emigrieren im Laufe der 1930er viele Wissenschaftler in die USA: „Hitler (and Lenin) did much for American science“ (Barnett/Samuelson, 2007, S. 157). Auch die Ökonomik erlebt an den US-amerikanischen Universitäten einen regelrechten Boom. Das Zentrum ökonomischer

Forschung und Ausbildung wird damit von Europa in die USA verlegt. Während die Arbeiten der Marginalisten noch unter teils prekären Zuständen geschrieben worden sind, ist nun die Ökonomik in der günstigen Lage, auch die ‚hot brains‘ der colleges anzuziehen (vgl. Niehans, 1990, S. 317). Zeitschriften wie das ‚Economic Journal‘, das ‚Journal of Political Economy‘, die ‚Review of Economic Studies‘ und ‚Econometrica‘ entstehen, bzw. werden ausgebaut (vgl. Rizvi, 2003, S. 379). Viele Ökonomen dieser Blütephase, wie bspw. Frank Ramsey, Ragnar Frisch und Michael Kalecki bringen einen naturwissenschaftlichen Ausbildungshintergrund mit „and looked at the economic world with the eyes of scientists“ (vgl. Niehans, 1990, S. 314). Sie vermögen durch ihre mathematischen Fertigkeiten die Feldformalismen nun auch auf komplexere Gleichgewichtssysteme anzuwenden und dadurch bislang ungelöste Probleme anzugehen.

In genau diesem Umfeld tritt der junge Paul A. Samuelson auf den Plan: „I was lucky to enter economics in 1932. Analytical economics was praised for its take-off. I faced a lovely vacuum that young economicists today can hardly imagine. So much remained to be done. Everything was still in an imperfect state“ (Samuelson, 1983, S. xxv). Samuelson wird wie kein zweiter Ökonom des 20. Jahrhunderts dieses Vakuum füllen und damit nach Smith und Walras die Rolle einer Leitfigur für die Disziplin einnehmen (vgl. Niehans, 1990, S. 314, 420; Mirowski, 1989, S. 378). In Chicago und Harvard genießt er beste Ausbildungsbedingungen in einem sehr breiten Fächerspektrum von Mathematik über Biologie bis hin zu Humanwissenschaften (vgl. Barnett/Samuelson, 2007, S. 152). Besondere Begeisterung entwickelt er jedoch für Ökonomik und Physik: „Being the son of Schumpeter, I am the grandson of Böhm-Bawerk and Menger. Being the son of Leontief, I am the grandson of Bortkiewicz and am the great-grandson of Walras. Being the son of E.B. Wilson, I am one of those rare grandchildren of Yale’s great physicist, Willard Gibbs“ (Samuelson, 1972d, S. 684). In Abschnitt 3.1 lernten wir Willard Gibbs bereits als Doktorvater Irving Fisher’s kennen. Neben Fisher ist noch Edward B. Wilson als zweiter Protégé des großen Thermodynamikers zu nennen und Samuelson lässt in seinen Schriften keine Gelegenheit aus, den zentralen Einfluss der Thermodynamik Gibbs’ über Wilson zu verdeutlichen: „Wilson was my master, first among equals. Through his lineage I could claim Gibbs as my grandfather“ (Samuelson, 1990, S. 255; siehe auch Samuelson, 1992, S. 68, sowie Barnett/Samuelson, 2007, S. 154, 160). Von Wilson lernt Samuelson den ‚Advanced Calculus‘:

„One of the most joyful moments of my life was when I was led by listening to E.B. Wilson’s exposition of Gibbsian thermodynamics to inter an *eternal truth that was independent of its physics or economics exemplification*. (A student who studied only one science would be less likely to recognize what belonged to *logic* rather than to the nature of things).“ (Samuelson, 1983, S. xix, Hervorhebung L.B.)

Mit diesem Hintergrund macht sich Samuelson daran, die ökonomische Wissenschaft zu

alter Stärke zurückzuführen. Mit den ‚Foundations of Economic Analysis‘ markiert er 1947 den Start einer neuen Ära für die Ökonomik, indem er die bislang offenen Problemstellungen zusammenfasst und eine klare Heuristik für deren ökonomisch-wissenschaftliche Lösung bereitstellt: „With every economic problem, (1) reduce the number of variables and keep only a minimum set of simple economic relations; and (2) if possible, rewrite it as a constrained optimization problem“⁴⁴ (Barnett/Samuelson, 2007, S. 144). Wenden wir uns einem längeren Zitat aus den ‚Foundations‘ zu (für die Samuelson 1970 der sog. ‚Wirtschaftsnobelpreis‘ der schwedischen Reichsbank verliehen wurde), in dem die Grundlagen der modernen Ökonomik gefasst sind:

„This method of comparative statics is but one special application of the more general practice of scientific deduction in which the behavior of a system (possibly through time) is defined in terms of a given set of functional equations and initial conditions. Thus, a good deal of theoretical physics consists of the assumption of second order differential equations sufficient in number to determine the evolution through time of all variables subject to given initial conditions of position and velocity. Similarly, in the field of economics dynamic systems involving the relationship between variables at different points of time [...] have been suggested for the purpose of determining the evolution of a set of economic variables through time [...] Logically the determination of output of a given firm under pure competition is precisely the same as the simultaneous determination of thousands of prices and quantities. In every case *ceteris paribus* assumptions must be made [...] It is clear, however, that logically there is nothing fundamental about the traditional boundaries of economic science. In fact, a system may be as broad or as narrow as we please depending upon the purpose in hand [...] one employs such constructions throughout the whole field of theoretical economics including monetary and business cycle theory, international trade, etc. In fact, any sector of economic theory which cannot be cast into the world of such a system must be regarded with suspicion as suffering from laziness.“ (Samuelson, 1983, S. 8-9)

„It may be pointed out that this is essentially the method of Thermodynamics, which can be regarded as a purely deductive science based upon certain postulates (notably the First and Second Laws of Thermodynamics). That such abstract reasoning should in the hands of Gibbs and others lead to fruitful theorems testifies to the validity of the original hypotheses [...] It so happens that in a wide number of economic problems it is admissible and even mandatory to regard our equilibrium equations as maximizing (minimizing) conditions [...] In some cases [...] it is possible to formulate our conditions of equilibrium as those of an extremum problem, even though it is admittedly not a case of any individual’s behaving in a maximizing manner, just as it is often possible in classical dynamics to express the path of a particle as one which maximizes (minimizes) some quantity despite the fact that the particle is obviously not acting consciously or purposively [...] For all of these reasons the study of maximizing behavior affords a unified approach to wide areas of current and historical economic thought [...] The high degree of abstractness will be more than compensated

⁴⁴Es ist in diesem Zusammenhang mehrfach auf den Mach’schen Einfluss auf Samuelson hingewiesen worden (vgl. bspw. Cohen, 1995; Cross, 2006). Beeindruckt von der Idee einer ‚Ökonomie des Denkens‘, versucht auch Samuelson mit einem Minimum an Theorie, ein Maximum an Wirklichkeit zu beschreiben: „Mach, you will remember, said that what the scientist seeks is an ‚economical‘ description of nature [...] he is saying that the scientist who formulates laws of observed empirical phenomena is essentially an economist or economizer [...] Often the physicist gets a better, a more economical, description of nature if he is able to formulate the observed laws by a maximum principle. Often the economist is able to get a better, a more economical, description of economic behaviour from the same device.“ (Samuelson, 1992, S. 64; vgl. auch S. 262; Samuelson, 1964b, S. 739; Samuelson, 1993, S. 242)

for in the ease with which numerous applications can be deduced as special cases.“ (Ebd., S. 21-3)

Wir sehen, dass in diesem Auszug *alle* der in der vorliegenden Arbeit beleuchteten Motive kulminieren. Der Reihe nach: (1) die in der cartesianischen Spaltung angelegte rational-deduktive Methode als Leitbild einer objektiven Wissenschaft, (2) ein prädestiniertes dynamisches System als wissenschaftlicher Gegenstand, das dem Laplace'schen Traum nach berechenbar wird, (3) der Ausschluss jeder anderen Betrachtungsweise als nicht *wissenschaftlich*, was (4) durch die Imitation (verkürzter) physikalischer Methoden abgesichert wird, (5) das Menschenbild des (unbewusst) maximierenden Akteurs sowie (6) die Unterstreichung der Nützlichkeit dieser Arbeitsweise im Sinne einer ‚*applied science*‘. Wenden wir uns diesen Punkten im Detail zu:

(1) Obwohl Samuelson für eine starke empirische Ausrichtung der Disziplin, bspw. im Hinblick auf die Fundierung der Nutzentheorie im Rahmen der ‚Theory of Revealed Preferences‘ (TRP) plädiert, so ist auch bei ihm ein starkes axiomatisches Vorgehen zu erkennen. Die TRP selbst basiert auf zwei Axiomen sowie einer objektiven Beobachterrolle, deren Gültigkeit nicht begründet wird (vgl. Cohen, 1995, S. 54-5). In seiner „objectivity of distance“ (Samuelson, 1983, S. xvii) ist es ihm aber auch als Sozialwissenschaftler möglich, die „fundamental laws of economics“ (Samuelson/Nordhaus, 2010, S. 3) zu erkennen, denen das „human guinea pig“ (Samuelson, 1972a, S. 456) folgt: „There are no separate methodological problems that face the social scientist different in kind from those that face any other scientist. It is true that the social scientist is part of the reality he describes. The same is true of the physical scientist [...] if we enumerate one by one the alleged differences between the social sciences and other sciences, we find no differences in kind“ (Samuelson, 1952, S. 61-2). Schließlich geht es ihm „as a positivistic scientist“ (Samuelson, 1992, S. 65-7) nur um die Suche nach „operational meaningful theorems“ (Samuelson, 1964b, S. 738), die das ‚Mehr‘ hinter dem *augenscheinlichen* zu beschreiben vermögen: „There is a reality out there that all too slowly reveals itself and forces the hand of the observing scientist“ (Samuelson, 1987, S. 110).

(2) Für diese Beschreibung wird eine in sich konsistente Modell-Welt aufgebaut, die aufgrund ihres axiomatischen Aufbaus in Differentialgleichungen den Laplace'schen Traum in greifbare Nähe rücken lässt:

„The position of the universe determines its own notions at the instant, and thus forever. As far as the mathematics is concerned, there are no time lags involved. And the same existence theorems that guarantee the uniqueness of a determinate solution forward in time also guarantees its existence backward in time. Just as we can know where the earth will be five minutes of millenia from now, we can know where it must have been five minutes or millenia ago. What has just been said is true of *any* set of differential equations.“ (Samuelson, 1972b, S. 444-5)

Wie wir in den vorangegangenen Abschnitten gesehen haben, gibt es in einer solchen Welt, die allein von ihren Ausgangsbedingungen determiniert ist, nichts außer diesen, der

Zeit als Modus der systemischen Entwicklung und den Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich die Entwicklung vollzieht. Die historische Zeit fällt also auch in der von Samuelson vorgedachten dynamischen Analyse⁴⁵ als einer durch und durch mechanischen heraus:

„A truly dynamical system may be completely nonhistorical or causal in the sense that its behavior depends only upon its initial conditions and the time which has elapsed, the calendar date not entering into the process [...] In fact, every historical system is to be regarded as an *incomplete* causal system.“ (Samuelson, 1983, S. 315)

Die Gesetzmäßigkeiten sind universal und zeitlich nicht begrenzt: „Today will not simply repeat yesterday. But to think that the laws of the universe were born anew this morning when you opened your eyes is pitiful nonsense“ (Samuelson, 1964a, S. 276). Mittels der *ceteris-paribus*-Annahme, die Samuelson „nothing but the ‚perturbation‘ technique of classical mechanics“ (Samuelson, 1983, S. 321) nennt, lassen sich dann direkte Ursache-Wirkungs-Verhältnisse nachweisen. Diese einer Uhr gleichen Welt, einer getakteten Maschine, ist der Kern der mathematisch-ökonomischen Ontologie. Wie wir bald sehen werden, wird Samuelson diese Brille der *Clockwork Economics* so verpacken, dass sie sich jeder aufsetzen kann.

(3) Da es sich bei den hier gefundenen Gesetzmäßigkeiten der ökonomischen Welt um „the facts of life“ (Samuelson, 1972b, S. 432) handelt, ist auch gesagt, dass alternative – z.B. nicht-mathematische oder mathematische, aber nicht-feldtheoretische – Zugänge zu ‚Wirtschaft‘ gar nicht in der Lage sind, zu wissenschaftlich validen Ergebnissen zu führen:

„At the rough and ready level that concerns the scientist in his everyday work, the above facts are widely recognized by scientists in every discipline. The only exceptions are to be found in certain backwaters of economics, and I shall not here do more than point the finger of scorn at those who carry into the twentieth century ideas that were not very good even in their earlier heyday.“ (Samuelson, 1952, S. 62)

Eines dieser toten Gewässer ist bspw. die von Darwin motivierte biologische Theorie⁴⁶ von Wirtschaft, ein Sammelbecken für „economists dissatisfied with mechanistic economics and mathematical methodology“ (Samuelson, 1990, S. 263).

(4) Mirowski (1989, S. 368, 380-5) sieht das zentrale Verdienst Samuelson’s im Hinblick auf die Formung und Etablierung der Disziplin in der sensiblen Lösung des oben angesprochenen Spannungsfelds: So stellt Samuelson zwar zahlreiche Vergleiche zwischen der Ökonomik und den Entwicklungen der physikalischen Theorien im 20. Jahrhundert

⁴⁵Ein interessantes Beispiel der in Punkt (4) skizzierten verkürzten Vergleichen Samuelson’s zwischen Physik und Ökonomik ist die hier angesprochene Etablierung der dynamischen Analyse. Er deutet den Schritt von der (ökonomischen) Statik zur Dynamik als den Sprung der (physikalischen) Statik zur Quantenmechanik, obwohl er nur den Schritt von d’Alembert zu Lagrange vollzieht, indem er die Dynamik aus der Statik herleitet (vgl. Samuelson, 1983, S. 22, 284).

⁴⁶Jegliche Verbindungen zu diesem Forschungsstrang weist Samuelson weit von sich: „Here I need only stress that it was his [Lotkas] *physical*-reductionist biology that interested me, and this is far removed from Marshall’s palaver about a biological paradigm in economics.“ (Samuelson, 1998, S. 1383)

(Quantenmechanik, Relativitätstheorien) an, nichtsdestotrotz vermeidet er es konsequent, auch deren Formalismen und theoretische Implikationen zu übernehmen. Während Feldtheorien in der Physik längst Geschichte sind, werden sie in der Ökonomik beibehalten und durch gelegentliche Verweise auf oberflächliche Parallelen zu den aktuelleren Theorien der Physik kaschiert (vgl. Samuelson, 1990, S. 263; Barnett/Samuelson, 2007, S. 157; Samuelson, 1972c, S. 673). Diskussionen *innerhalb* der Disziplin werden technisch gehalten; insb. philosophische Implikationen der Differentialmethode werden nicht thematisiert, da diese auch die neuen Entwicklungen in der Physik hätten streifen müssen. Alles, was sich außerhalb der Standardmethode bewegt, wird erfolgreich als unwissenschaftlich abgetan und aus den Journalen gehalten. Besonders deutlich wird dies in Samuelson's Ablehnung des zweiten thermodynamischen Gesetzes, welches durch die Marginalisten *nicht* (von Clausius) übernommen wurde und daher auch nicht im methodischen Kanon enthalten ist: „How many dreary papers have I had to referee in which the author is looking for something that corresponds to entropy or to one or another form of energy“ (Samuelson, 1992, S. 68; vgl. auch Samuelson, 1990, S. 256, 253; Samuelson, 1972a, S. 450; Samuelson, 1972c, S. 673). Was er der klassischen Thermodynamik – dem „archetype of a successful scientific theory“ (Samuelson, 1993, S. 242; zitiert nach Cross, 2006, S. 335) – entlehnt, ist eben nur das erste Gesetz: „It is the *mathematical* structure of *classical* (phenomenological, macroscopic, nonstochastic) *thermodynamics* that has isomorphisms with *theoretical economics*. In both cases a set of state extensive variables (x_1, \dots, x_n) is involved“ (Samuelson, 1990, S. 263). So lässt sich bspw. aus den Axiomen seiner TRP ein thermodynamisches System ableiten, aber eben nur ein solches, in dem es keine Entropie, d.h. keine irreversible Zeit, gibt (vgl. Mirowski, 1989, S. 366-7). Der methodische Zugang für *alle* Teilbereiche der Ökonomik – ein System von Differentialgleichungen, das mittels des Variationsprinzips gelöst wird – ist mit den ‚Foundations‘ festgelegt. „The existence of analogies between central features of various theories implies the existence of a general theory which underlies the particular theories and unifies them with respect to those central features“ (Samuelson, 1983, S. 3). ‚Operationally meaningful theorems‘ *müssen* diesen Zugang implizieren. Damit ist das Gerippe der Feldtheorien vom inhaltlichen Ballast des 19. Jahrhunderts befreit und bereit zur Anwendung auf die verschiedensten ökonomischen Probleme. So beschert Samuelson – neben der Mirkoökonomie – über die Verteidigung der sog. ‚Neoklassischen Synthese‘, die sein Lehrer Alvin Hansen in die USA bringt, auch der Makroökonomie einen einheitlichen Zugang und festigt den Begriff der ‚Neoklassik‘ als Bezeichnung für das gesamte Spektrum ökonomischer *Analyse* (vgl. Gottesman et al., 2005, S. 96; Niehans, 1990, S. 316; Barnett/Samuelson, 2007, S. 144).

(5) Die Extremstellenanalyse fest im Korpus des wissenschaftlichen Konsens verankert, wird selbstverständlich auch weiterhin von der Rationalität der „irreducible atoms of the economists' theory“ (Samuelson, 1992, S. 67) ausgegangen, die das nach wie vor unbestimmte Nutzenkonzept maximieren: „in my technical work in mathematical economics,

I often reduce my equations down to those of such a maximum system and then reason correctly from the obvious properties of a maximizer“ (Samuelson, 1972b, S. 470). Ganz im Sinne der Marginalisten geht das zielgerichtete Handeln der Akteure vollkommen in ein *Reagieren* auf ein gegebenes System von Anreizen über:

„Brute Cause and Lady Purpose seem to be quite distinct, and even opposites. But appearances can be deceiving. And often, just as the behavior of light shows both corpuscular and wave properties, so does the waltz of a pendulum show teleology as well as causality [...] Let us watch a ball roll down an inclined plane. Newton describes this casually [...] But Hamilton (and before him, Fermat, Maupertius, Euler, and Lagrange) can describe the ball's motion thus: It moves with that special velocity which minimizes a certain integral of action, in comparison with any other behavior-pattern which starts and ends at the same points in the same time! Mathematically, the Newton-Galileo causal law is the necessary and sufficient condition for minimizing Hamilton's integral [...] Hamilton's Principle is applicable to all conservative mechanical systems and not merely to falling bodies. According to it, Nature is a great Economist, or economizer. Nature acts *as if* she was purpose and aims.“ (Samuelson, 1972b, S. 454)

Die *causa finalis* vollständig in eine *causa efficiens* umzudeuten ist die „true teleology“, denn „important aspects of what we ordinarily call teleology can be related to certain aspects of causality“ (Ebd., S. 469). Dass dabei der freie Wille des Akteurs verloren geht, macht für Samuelson keinen Unterschied, denn schließlich sei man mit dieser Methode in der Lage nützliche Vorhersagen⁴⁷ zu treffen: „The observing economist can set up the fictional hypothesis that there is such a maximizing mind, and often he can make fruitful predictions from it [...] Thus far, I have been describing positive facts about economic behavior“ (Ebd., S. 470; vgl. auch S. 449, 553-4).

(6) Hier begegnet uns das letzte zentrale Motiv, namentlich das der Nützlichkeit wissenschaftlicher Forschung, wieder. Da man in der Lage ist, brauchbare Resultate und Handlungsanweisungen für den „practical businessman or bureaucrat“ (Samuelson, 1992, S. 62) zu liefern, spielt die Reflexion über die philosophischen Implikationen des wissenschaftlichen Arbeitens keine Rolle mehr:

„Far from enhancing my own reputation with peers or with gullible amateurs by employing in economic analyses the abracadabra of physical science, I have risked acquiring a reputation for abstractness and posturing, I have done so simply because of the fruitfulness imparted by the shared mathematical structure.“ (Samuelson, 1990, S. 263)

Bei der wissenschaftlichen Forschung bleibt weder Zeit noch Geduld, um diese Reflexionen anzustellen:

„And working scientists, to tell the simple truth, have neither the time nor the patience to bother

⁴⁷Besonders deutlich wird dies in der Theorie rationaler Erwartungen, in der der Versuch unternommen wird, subjektive Erwartungen durch ein Kalkül zu objektivieren und dadurch wieder in den Augenblick zu integrieren. Das zentrale Element der Zukunft – ihre qualitative Ungewissheit – ist damit ausgeschaltet. Brodbeck (2011, S. 91, 96, 99) sieht daher, dass das eigentlich Revolutionäre im Werk Keynes' über die Theorie rationaler Erwartungen verloren gegangen ist.

with the history of their subject: they want to get on with making that history. Philosophers of science, historians of science, sociologists of science, may not be without honor in their own houses; but the customers who take in their washings, and swap garments with them, are unlikely to be working scientists still in the prime of life.“ (Samuelson, 1983, S. xvi)

Während die Marginalisten die Begrenzungen und teilweise auch die Implikationen ihrer Methode noch in den Anhängen ihrer Werke behandelt haben, fallen wissenschaftstheoretische Diskussionen nun endgültig aus dem Aufgabengebiet des modernen Ökonomen heraus. An den wenigen Stellen, an dem Samuelson dann zu einer wissenschaftsphilosophischen Positionierung gezwungen wird, löst er das Problem definitorisch: „Nature seems to show an inexplicable simplicity. This is a brute fact“ (Samuelson, 1964b, S. 739). Oder an anderer Stelle: „it should perhaps explicitly mentioned that no metaphysical significance attaches to this definition“ (Samuelson, 1983, S. 319; vgl. auch Samuelson, 1983, S. 8, 22).

Hier wird ein weiterer Unterschied der modernen mathematischen Ökonomen zu den Marginalisten deutlich: während Jevons, Walras und Edgeworth tatsächlich davon ausgingen, dass sich Menschen (in der großen Zahl) so verhalten, wie sie es in ihren Werken beschreiben, sieht Samuelson *nur noch* das Modell, ohne jeden Bezug zur Realität:

„Economists deal with maximum systems, and these behave in definite ways. After you have dealt with such systems for a long time, you may fall into the natural anthropomorphic habit of imputing ‚will‘ and ‚volition‘ to them. This is perhaps only a figure of speech; but often it is a useful one, for the maximum systems do react to certain disturbances *as if* they were reasoning beings [...] how detailed will be the predicted reactions of a maximum system, just as if it were exercising intelligence.“ (Samuelson, 1972b, S. 469-70)

Die im cartesianischen Dualismus angelegte Trennung zwischen Wissenschaftler und Gegenstand gipfelt in einer vollkommen verselbstständigten *as-if*-Welt, die keinen Bezug mehr zu Realität hat, ihn aber auch nicht haben muss. Die mangelnde Reflektion moderner Ökonomen über Ursprung und Implikationen dieser Herangehensweise findet nunmehr Ausdruck in einer ‚ontologischen Schizophrenie‘, in der Trennung der Ontologie der Methode von der Ontologie des Wissenschaftlers (vgl. Mäki, 2001, S. 6, 10). Nur so kann man behaupten, dass es selbstverständlich keine Naturgesetze des Sozialen gibt, dies aber gleichzeitig in der täglichen Forschungsarbeit in Differentialgleichungssystemen *implizit* unterstellen. Mit Samuelson’s ‚Foundations‘ an der Hand, ist die Ökonomik nun endlich so weit, der Walras’schen Aufforderung zu folgen und als ‚science‘ mit einer geschlossenen Theorie in die Realität zurückzukehren, nicht um sie zu testen, sondern um sie *anzuwenden* (vgl. Cohen, 1995, S. 72).

Auch in diesem Zusammenhang ist das Wirken Samuelson’s bahnbrechend. Neben seinen beratenden Tätigkeiten für zahlreiche Entscheidungsträger (darunter John F. Kennedy und Bill Clinton), ist insbesondere sein Lehrbuch ‚Economics‘ zu nennen: Kein Lehrbuch irgendeiner Disziplin war so erfolgreich wie das 1948 erstmals erschienene ‚Economics‘.

Die ersten 15 Editionen verkaufen sich bis 1995 über vier Millionen Mal in englischer Sprache. Darüber hinaus wird es in 41 Sprachen übersetzt und damit zum „internationale[n] Standardwerk der Makro- und Mikroökonomie“ (vgl. Skousen, 1997, S. 137; Samuelson/Nordhaus 2007). Kein anderer Ökonom von Rang und Namen hatte sich zuvor um ein grundlegendes Lehrbuch gekümmert. Durch einen lockeren Schreibstil und die ständig verbesserte didaktische wie inhaltliche Aufbereitung des Materials verliert das Werk im Laufe des 20. Jahrhunderts nie an Bedeutung. So wird bspw. eine Fülle von Zusatzmaterial, vom Study Guide für den Studenten, über das Instructor’s Resource Manual und Power-Point-Foliensätze für die Lehrkräfte, bis hin zu Websites und einer Testfragen-Bank, entwickelt (vgl. Samuelson/Nordhaus, 2010, S. xxi). ‚Economics‘ wird damit zur Vorlage für die ökonomische Lehrliteratur bis heute (vgl. Gottesman et al., 2005, S. 101; Skousen, 1997, S. 150): „*Economics* grew into something more than just another obscure textbook; its wide popularity meant that it strongly influenced the way that economists, the American public, and the entire world perceived economics“ (Gottesman et al., 2005, S. 98). Der Erfolg des Buches wurde von Samuelson selbst zum 50. Geburtstag des Buches wie folgt bewertet: „What I did not anticipate was how strong this new virus would be and how durable would be the market prominence of my evolving brainchild“ (Samuelson, 1997, S. 157).

Samuelson betont an vielen Stellen, dass es keine ökonomischen Motive waren, die ihn beim Verfassen antrieben: „Let those who will write the nation’s laws if I can write its textbooks“ (Barnett/Samuelson, 2007, S. 143; vgl. auch Samuelson, 1997, S. 154; Samuelson, 1952, S. 59). Während Studenten in aller Welt „with a wide range of backgrounds and with many preconceptions about how the world works“ (Samuelson/Nordhaus, 2010, S. xx) an die Universitäten strömen, ist es Samuelson ein Anliegen, dass auch sie mit den „enduring truths of economics“ (Ebd., S. xviii) konfrontiert werden, um in allen Lebenslagen gerüstet zu sein:

„There is one overriding reason to learn the basic lessons of economics: All your life – from cradle to grave and beyond – you will run up against the brutal truths of economics [...] Of course, studying economics will not make you a genius. But without economics the dice of life are loaded against you.“ (Ebd., S. 3)⁴⁸

Aufgrund der Universalität dieser Gesetze ist die Zielgruppe des Buches selbstredend nicht nur auf wissenschaftlich Interessierte beschränkt: „The book is directed primarily toward readers who, for the most part, will never be going on to further formal study in economics“ (Samuelson, 1976, S. vii). Jeder kann nun Ökonom werden, mithilfe von ‚Economics‘ in die ökonomische Gedankenwelt eingeführt werden und an allererster Stelle lernen, dass die in dem Buch dargelegten Inhalte universale Gültigkeit besitzen: „There

⁴⁸Siehe dazu im Widerspruch: „What was great in Edition 1 is old hat by Edition 3; and maybe has ceased to be true by Edition 14.“ (Samuelson/Nordhaus, 1992, S. xiv)

is not one theory of economics for Republicans and one for Democrats, one for workers and one for employers, one for the Russians and still another for the Chinese“ (Ebd., S. 7). Oder in der letzten (19.) Edition von 2010:

„Our primary goal is to emphasize the core economic principles that will endure beyond today’s headlines [...] there are a few basic concepts that underpin all of economics [...] We have therefore chosen to focus on the central core of economics – on those enduring truths that will be just as important in the twenty-first century as they were in the twentieth.“ (Samuelson/Nordhaus, 2010, S. xviii-xix)

Dies impliziert die oben angesprochene *alleinige* Deutungshoheit der mathematischen Ökonomen über den Gegenstand ‚Wirtschaft‘ und findet sich im ‚family tree of economics‘⁴⁹ wieder, der neben der ins Leere laufenden Achse Marx-Lenin nur den Sammelbegriff ‚Modern Mainstream Economics‘ in der Tradition Keynes’, Walras’, Marshalls’ und Fishers’ kennt (Samuelson/Nordhaus, 2010). Auch wenn die Dogmengeschichte in der letzten Auflage beinahe komplett verschwunden ist (vgl. Samuelson/Nordhaus, 2010, S. xix), lernen die Leser immerhin noch Adam Smith, den „first apostle of economic growth“ (Ebd., S. 30), kennen: „Adam Smith answered his questions in *The Wealth of Nations* (1776), where he explained the self-regulating natural order by which the oil of self-interest lubricates the economic machinery in an almost miraculous fashion“ (Ebd., S. 30).

Im Hinblick auf die Inhalte der ökonomischen Theorie begegnet der Leser zunächst der Beschreibung der ökonomischen Welt: „Ours is a world of scarcity, full of economic goods“ (Ebd., S. 4). Durch Ausgangsbedingungen und die ökonomische Gesetze der „*impersonal* workings of supply and demand“ (Samuelson, 1976, S. 59), läuft die ökonomische Sphäre vollkommen automatisch auf vorgeschriebenen Bahnen. Die Erläuterung des zentralen Nutzenkonzepts als Substitut für ‚Eigeninteresse‘ beschränkt sich nunmehr auf wenige Sätze:

„Utility is a scientific construct that economists use to understand how rational consumers make decisions. We derive consumer demand functions from the assumption that people make decisions that give them the greatest satisfaction or utility.“ (Samuelson/Nordhaus, 2010, S. 84)

Auch Mach begegnet uns implizit und explizit auf eine eigentümliche Weise wieder:

„Every theory, whether in the physical or biological or social sciences, distorts reality in that it oversimplifies. But if it is good theory, what is omitted is outweighed by the beam of illumination and understanding thrown over the diverse empirical data!“ (Samuelson, 1976, S. 9)

⁴⁹Graupe (2012, S. 66) hat darauf hingewiesen, dass das Lehrbuch für die ökonomische Wissenschaft als klar umgrenzte Disziplin mit einer gemeinsamen Historie identitätsstiftend wirkte. Mit einem kanonischen Lehrkatalog sei sie zu einer ‚textbook science‘ im Kuhn’schen Sinne heran gereift. Vgl. dazu: „For members of the economics profession, looking back at Samuelson’s text is like looking into a mirror that reflects many of our past beliefs“ (Skousen, 1997, S. 138). Damit gelangt sie in Besitz eines weiteren Alleinstellungsmerkmals von Wissenschaftlichkeit im Vergleich zu anderen Sozialwissenschaften: „the oldest of the arts, the newest of the sciences – indeed the queen of the social sciences“ (Samuelson, 1976, S. 1).

Außerdem wird das cartesianische Ideal des vom Gegenstand getrennten Wissenschaftlers skizziert, der politische Entscheidungen mit klarem Verstand zu analysieren weiß: „By using cool heads to inform warm hearts, economic science can do its part in finding the appropriate balance for an efficient, prosperous, and just society“ (Samuelson/Nordhaus, 2010, S. 6). Hat er erst einmal gelernt in der ökonomischen Perspektive zu denken, so kann sich der erfolgreiche Student als „objective observer“ (Ebd., S. 4) oder „social engineer“ (Graupe, 2012, S. 80) daran machen, Anreize in seinem konkreten Wirkungsraum so zu gestalten, dass eine möglichst effiziente Allokation der zur Verfügung stehenden Ressourcen erfolgt. Dieser Gedanke zieht sich von der ersten Ausgabe: „The private economy is not unlike a machine without an effective steering wheel or governor [...] Compensatory fiscal policy tries to introduce such a governor or thermostatic control device“ (Samuelson, 1948, S. 412; zitiert nach Skousen, 1997, S. 137); bis zur bislang letzten: „A market economy is an elaborate mechanism for coordinating people, activities, and businesses through a system of prices and markets“ (Samuelson/Nordhaus, 2010, S. 26). Das Anwendungsgebiet ist dabei nun nicht mehr nur ein genuin ökonomisches:

„Economics has increased its scope greatly over the past half-century. The flag of economics flies over its traditional territory of the marketplace, but it also covers the environment, legal studies, statistical and historical methods, gender and racial discrimination, and even family life.“ (Ebd., S. 26)

Warum die Wirtschaft und viele andere gesellschaftliche Bereiche ausgerechnet einem maschinenartigen Mechanismus gleichkommen sollen und in dergestaltigen Termen zu denken sind, erfährt der Student allerdings nicht: „Although every introductory textbook must contain geometrical diagrams, knowledge of *mathematics* itself is needed only for the higher reaches of economic theory“ (Samuelson, 1976, S. 6). In der Zwischenzeit ist die Gültigkeit der Gesetze schlichtweg anzunehmen, schließlich hat man es mit wissenschaftlichen Autoritäten zu tun: „Economists use the *scientific approach* to understand economic life [...] Economic theorists have *proved* that under limited conditions a perfectly competitive economy is efficient“ (Samuelson/Nordhaus, 2010, S. 5, 30, zweite Hervorhebung L.B.).

Wir erleben hier die letzte Stufe einer langen Tradition von sukzessiven Reflexionsverkürzungen. Während die cartesianische Spaltung den wissenschaftlichen Zugang im 17. Jahrhundert möglich macht und in der *res extensa* eine Maschine erblickt, trennen die analytischen Mechaniker im 18. Jahrhundert zunächst Metaphysik von Physik und setzen damit die mechanische *Naturbeschreibung* mit dem, was nach ihnen *ist*, gleich. Dass auch diese eingeschränkte Perspektive eine ontologische Positionierung *impliziert*, wird nicht erkannt. Mit der Imitation einer ohnehin schon verkürzten Weltanschauung durch die Marginalisten, wird im ausgehenden 19. Jahrhundert noch eine zusätzliche Reflexionsverkürzung hinsichtlich der *Anwendbarkeit* des Denkmodells beigemischt. So darf es

nicht verwundern, wenn Samuelson Mitte des 20. Jahrhunderts Ursprung und Grundlagen seiner Methode systematisch missdeutet und die ökonomisch-mechanische Brille als ‚ready-to-use analytical engine‘ für den modernen Ökonomen praktikabel macht. Dem Studenten der Wirtschaftswissenschaften des 21. Jahrhunderts bleibt am Ende des Tages dann nichts anderes mehr übrig, als die „core truths of economics“ (Ebd., S. xix) in ihrer machtvollen Demonstration rund um den Globus als Tatsachen hinzunehmen und mit dem von Descartes paraphrasierten Leitspruch „I rationalize; therefore I am“ (Samuelson, 1986, S. 1731) die ökonomische Theorie Wirklichkeit werden zu lassen: „And so, as in the classic tales, we have lived happily ever after. What matters is that the book stays young, pointing to where the mainstream of economics will be flowing“ (Samuelson/Nordhaus, 1998, S. xxvi). Betrachten wir diese Wirklichkeit – aus welcher Perspektive auch immer – heute, so mag eine Frage auftauchen, die sich Samuelson 1993 selbst stellte: „If the Band X textbook was so damn good and used so widely from Timbuktu to East Arizona Tech, then how come the world is in its lousy present shape?“ (Samuelson, 2011, S. 414). Vielleicht trifft in diesem Zusammenhang auf Samuelson’s wirkmächtiges Buch zu, was er fünf Jahre später über Marshall’s Lehrbuch schreiben sollte:

„In 1935, Alfred Marshall still ruled the roost in fame. What goes up too far comes down too low. Like Gustav Cassel’s, his textbook filled a real need; but, like Isaac Newton, he had an inhibiting influence on two generations of followers.“ (Samuelson, 1998, S. 1382)

4 Fazit

„This is the sort of political economy which is being fashioned and taught today. Is that not reason enough to hold that the structure is cracked and the facade deceptive and that in such a case it is the right and the primary duty of the economist carefully to formulate a philosophy of his science?“ (Walras, 1965, S. 61)

Wir sind am Ende unserer kurzen Begleitung des mechanischen Denkmodells durch die neuzeitliche Geistesgeschichte angelangt. Während sich Descartes einer mechanischen Welt von ‚Materie in Bewegung‘ gegenüber sieht, weitet Leibniz den Gedanken um eine göttliche Entscheidungsmechanik aus. Mit der energetischen Revolution wird die mechanische Perspektive zur Perspektive auf alle Naturphänomene. Die Marginalisten blicken durch dieses ontologische Fenster schließlich auf die ökonomischen Sphäre, bis in der modernen Lehrbuch-Ökonomik jeder die ökonomisch-mechanische Brille aufsetzen und sie als ‚rational maximizer‘ realisieren kann.

Es ist eine Ironie dieses Stücks Wissenschaftsgeschichte, dass während der Laplace’sche Traum in den Wirtschaftswissenschaften Fahrt aufnahm, er in den Naturwissenschaften zeitgleich zum Erliegen kam.⁵⁰ Mit den Poincaré-Resultaten (1889) und dem Noether-

⁵⁰Zu möglichen Erklärungsansätzen dafür, warum die mathematischen Ökonomen dem unheilvollen Schicksal der Energetiker entgehen konnten (vgl. Mirowski, 1989, S. 267-70).

Theorem (1918) wurde das Bild einer linear-kausalen Entwicklung der Natur widerlegt, das zweite thermodynamische Gesetz hob den Gedanken des reversiblen Zeit-Kontinuums auf und die theoretischen Entwicklungen des 20. Jahrhundert taten das Übrige bei:

„Thermodynamics introduced irreversibility into Laplacian determinism; quantum mechanics extirpated continuity at the micro level; relativity and cosmology reconceptualized energy conservation merely as a mathematical symmetry, an expendable analytical convenience; chaos theory reconciled determinism and indeterminism by revealing the nightmare underneath the Laplacian Dream.“ (Mirowski, 1989, S. 374)

Während der Ökonom nach wie vor vom cartesianisch-objektivierbaren Gegenstand ‚Mensch‘ ausgeht, weiß der Quantenphysiker längst, dass Beobachtung als *wechselseitiger Prozess zwischen Beobachtetem und Beobachtendem*, Wirklichkeit stets verändert, bzw. sie überhaupt erst erschafft:⁵¹

„Der Atomphysiker hat sich damit abfinden müssen, daß seine Wissenschaft nur ein Glied in der endlosen Kette der Auseinandersetzungen des Menschen mit der Natur, *daß sie aber nicht einfach von der Natur ‚an sich‘ sprechen kann*. Die Naturwissenschaft setzt den Menschen immer schon voraus, und wir müssen und, wie Bohr es ausgedrückt hat, dessen bewußt werden, daß wir nicht nur Zuschauer, sondern stets auch Mitspielende im Schauspiel des Lebens sind.“ (Heisenberg, 1955, S. 12)

Insofern stimmt es nachdenklich, welche Wirklichkeit durch die zahlreichen Rückwirkungen (Lehre, wirtschaftspolitische Beratung, etc.) der ökonomischen Wissenschaft auf das ‚Schauspiel des *sozialen* Lebens‘ geformt wird:

„Thus free competition, or rather, freedom of industry and enterprise, has set loose to run, like a huge untrained monster, its mayward course. The abuse of their new power by able but uncultured business men led to evils on every side.“ (Marshall, 1977, S. 9)

Schließlich trägt die ‚positive‘ Beschreibung von Wirtschaft und der Glaube daran dazu bei, grundsätzliche ethische Fragestellungen auszuklammern: Wie wollen wir Menschen miteinander leben? Welche alternativen Welten sind möglich und in Anbetracht vielfältiger Krisenerscheinungen sogar nötig? Die *implizite* Beantwortung dieser Fragen durch Ökonomen und deren Umsetzung wird in der Regel nicht mehr reflektiert.

Die Entwicklungen in der physikalischen Disziplin lassen gleichwohl die Hoffnung keimen, dass es auch in der Ökonomik zur Ablösung von TINA,⁵² von dem Glauben an nur *eine* mögliche Welt kommen kann. Einige Forschungsrichtungen orientieren sich dabei weiterhin an der Physik und versuchen deren theoretischen Wandel wieder auf den ökonomischen Kontext zu übertragen (vgl. Georgescu-Roegen, 1971, oder auch Ansät-

⁵¹Vgl. zum Unverständnis dieser wissenschaftstheoretischen Implikationen: „Yet many physicists and laymen thought that the discovery of radioactivity and of quantum mechanics broke the spell of mere causality and reopened the way for free will. This view seems rather odd.“ (Samuelson, 1972b, S. 449)

⁵²„There Is No Alternative“ wurde von der Regierung Thatcher als politischer Slogan zu Unterstreichung der Alternativlosigkeit liberaler Wirtschaftspolitik geprägt.

ze der noch jungen Komplexitätsökonomik). Neben den immer wieder aufkommenden Marxistischen Ansätzen, hält die Dogmengeschichte der Ökonomik im auslaufenden 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts weiterhin die Deutsche Historische Schule und den (amerikanischen) Institutionalismus bereit. Beide Denktraditionen verstehen den Menschen (und nicht zuletzt den Wissenschaftler) nicht als vereinzelt, rechnendes Ego, sondern als historisch und sozial eingebettete Wesen, deren Handlungen ohne die Kontextualisierung nicht verstanden werden können. Folglich haben Historiker wie Roscher und Knies oder Institutionalisten wie Veblen, Commons und Mitchell in der Kritik am reduktionistisch-deterministisch Weltverständnis der (Neo)Klassiker ihren Zugang zu ‚Wirtschaft‘ in einem holistischen Erklärungsansatz gesucht. In Gegenüberstellung zur kanonisch-orthodoxen Perspektive werden solch alternative Zugänge heute unter dem Begriff der ‚heterodoxen Ökonomik‘ zusammengefasst. Für viele Bereiche, die durch die standard-ökonomische Brille nicht gesehen werden *können*, haben sich Denkrichtungen wie die Ökologische Ökonomik, Feministische Ökonomik, Evolutionsökonomik oder der Postkeynesianismus herausgebildet. Sie machen deutlich, dass die standard-ökonomische Brille als eine wirklich werdende alsbald von der abstrakten Sphäre des Denkens zu einem handfesten Problem heranreifen kann.⁵³ Während die Anhänger dieser Schulen unter vergleichbar prekären Bedingungen arbeiten müssen wie die frühen Neoklassiker, so gehen für sie mehr und mehr Möglichkeiten verloren, ihre Forschung auch um- und durchzusetzen (vgl. Dobusch/Kapeller, 2009).

Abgesehen von der Herausforderung, sich in einer Welt, in der das standard-ökonomische Denkmodell zunehmend an Boden gewinnt, überhaupt noch die Möglichkeit des Anders-Denkens zu bewahren, stellt sich im Hinblick auf diesen bunten Blumenstrauß an ontologischen Fenstern (inkl. des in dieser Arbeit untersuchten) die Frage nach der *bewussten Wahl*, nach einer *aufgeklärten Perspektive*. Wie in dieser Arbeit deutlich geworden ist, scheint die wissenschaftsphilosophische Reflexion in diesem Zusammenhang unabdingbar. Wer aus der standard-ökonomischen Perspektive auszubrechen versucht, dem bleibt wohl nichts anderes übrig, als die geistesgeschichtliche Uhr mühsam um über 400 Jahre zurück zu drehen und schließlich wieder das an den Anfang zu stellen, was schon Descartes an den Anfang stellte: den systematischen Zweifel. Um jedoch der Wiederholung einer unreflektierten Gleichschaltung des Denkens zu entgehen, erscheint die Formulierung einer (Wissenschafts-)Ethik ein Gebot der Stunde zu sein.

⁵³Vgl. hierzu: „Admittedly no steady state is possible in [a] Club-of-Rome model of exhaustible resources. The ball, however, is in the court of those who believe that Clausius-Gibbs formulations can give us more insights than are already in this ad hoc model.“ (Samuelson, 1990, S. 266)

Literaturverzeichnis

- Barnett, William A. und Samuelson, Paul A. (2007). An Interview with Paul A. Samuelson. In: Barnett, W. A. und Samuelson, P. A. (Hrsg.), *Inside the economist's mind: conversations with eminent economists*. Malden: Blackwell Pub.
- Brodbeck, Karl-Heinz (2009). *Die Herrschaft des Geldes. Geschichte und Systematik*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Brodbeck, Karl-Heinz (2011). *Die fragwürdigen Grundlagen der Ökonomie: Eine philosophische Kritik der modernen Wirtschaftswissenschaften* (5. Aufl.). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Budó, Ágoston (1976). *Theoretische Mechanik* (8. Aufl.). Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Coelho, Ricardo Lopes (2001). *Zur Konzeption der Kraft der Mechanik*. Band 358 in Internationale Hochschulschriften. Münster: Waxmann.
- Cohen, Joshua (1995). Samuelson's operationalist-descriptivist thesis. *Journal of Economic Methodology* 2(1), 53–78.
- Couturat, Louis (1988). Über Leibniz' Metaphysik. In: Schupp, F. und Heinekamp, A. (Hrsg.), *Leibniz' Logik und Metaphysik*, S. 57–80. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Cross, Rod (2006). Paul Samuelson's Mach. In: Szenberg, M.; Ramrattan, L. und Gottesman, A. A. (Hrsg.), *Samuelsonian economics and the twenty-first century*. Oxford; New York: Oxford University Press.
- Descartes, René (1870). Abhandlung über die Methode. In: v. Hirschmann, J. (Hrsg.), *René Descartes' philosophische Werke*, Band 25 in Hauptwerke der Philosophie alter und neuer Zeit, S. 17–83. Berlin: L. Heimann.
- Descartes, René (1961). *Die Prinzipien der Philosophie* (6. Aufl.). Hamburg: Meiner.
- Dobusch, Leonhard und Kapeller, Jakob (2009). „Why Is Economics Not an Evolutionary Science?“ New Answers to Veblen's Old Question. *Journal of Economic Issues* 43(4), 867–898.
- Edgeworth, Francis Y. (1881). *Mathematical Psychics*. London: C. Kegan Paul & Co.
- Fisher, Irving (1965). *Mathematical Investigations in the Theory of Value and Prices*. New York: Kelley.

- Georgescu-Roegen, Nicholas (1971). *The entropy law and the economic process*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Gloy, Karen (1995). *Das Verständnis der Natur*. München: C.H. Beck.
- Gottesman, Aron A.; Ramrattan, Lall und Szenberg, Michael (2005). Samuelson's economics: The continuing legacy. *The Quarterly Journal of Austrian Economics* 8(2), 95–104.
- Graupe, Silja (2012). The Power of Ideas: The Teaching of Economics and its Image of Man. *Journal of Social Science Education* 11(2), 60–85.
- Gueroult, Martial (1988). Raum, Zeit, Kontinuität und Principium indiscernibilium. In: Schupp, F. und Heinekamp, A. (Hrsg.), *Leibniz' Logik und Metaphysik*, S. 512–528. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1959). *Vorlesungen über die Geschichte der Philosophie* (3. Aufl.). Band 3 in Sämtliche Werke. Stuttgart: Fr. Frommanns Verlag.
- Heinekamp, Albert (1988). Einleitung. In: Schupp, F. und Heinekamp, A. (Hrsg.), *Leibniz' Logik und Metaphysik*, S. 561–586. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Heisenberg, Werner (1955). *Das Naturbild der heutigen Physik*. Hamburg: Rowohlt.
- Henrich, Jörn (2010). *Die Fixierung des modernen Wissenschaftsideals durch Laplace*. Berlin: Akademie Verlag.
- Hund, Friedrich (1942). Zur Geschichte des Energiesatzes. *Naturwissenschaften* 30(33), 497–500.
- Jevons, William Stanley (1965). *The Theory of Political Economy* (5. Aufl.). New York: Sentry Press.
- Koyré, Alexandre (1980). *Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kremer, Klaus (1984). Ontologie. In: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Band 6, Mo - O, S. 1189–1198. Basel: Schwabe.
- Lange, Marc (2002). *An introduction to the philosophy of physics: locality, fields, energy and mass*. Oxford: Blackwell.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1968). *Die Theodizee* (2. Aufl.). Hamburg: Felix Meiner.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1992a). Abhandlung über Metaphysik. In: Goldenbaum, U. (Hrsg.), *Philosophische Schriften und Briefe, 1683-1687*, S. 168–226. Berlin: Akademie.

- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1992b). Kurzer Beweis eines bemerkenswerten Irrtums Descartes'. In: Goldenbaum, U. (Hrsg.), *Philosophische Schriften und Briefe, 1683-1687*, S. 61–65. Berlin: Akademie.
- Mach, Ernst (1883). *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Leipzig: F.A. Brockhaus.
- Mäki, Uskali (2001). Economic ontology: what? why? how? In: Mäki, U. (Hrsg.), *The economic world view: studies in the ontology of economics*, S. 3–14. Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- Marshall, Alfred (1977). *Principles of economics: an introductory volume* (8. Aufl.). London; Basingstoke: Macmillan Press Ltd.
- Mirowski, Philip (1989). *More heat than light: economics as social physics, physics as nature's economics*. Cambridge [Mass.]; New York: Cambridge University Press.
- Mittelstraß, Jürgen (1970). *Neuzeit und Aufklärung: Studien zur Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft und Philosophie*. Berlin; New York: De Gruyter.
- Niehans, Jürg (1990). *A history of economic theory: classic contributions, 1720-1980*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Nolting, Wolfgang (1998). *Analytische Mechanik*. Berlin; Heidelberg: Springer.
- Ostwald, Wilhelm (1902). *Vorlesungen über Naturphilosophie* (2. Aufl.). Leipzig: Veit. & Comp.
- Pareto, Vilfredo (1971). *Manual of political economy*. New York: A. M. Kelley.
- Planck, Max (1908). *Das Prinzip der Erhaltung der Energie* (2. Aufl.). Leipzig und Berlin: Teubner.
- Rizvi, S. Abu Turab (2003). Postwar Neoclassical Economics. In: Samuels, W. J.; Biddle, J. und Davis, J. B. (Hrsg.), *A companion to the history of economic thought*, Blackwell companions to contemporary economics. Malden: Blackwell.
- Samuelson, Paul A. (1948). *Economics*. New York: McGraw-Hill.
- Samuelson, Paul A. (1952). Economic Theory and Mathematics - An Appraisal. *The American Economic Review* 42(2), 56–66.
- Samuelson, Paul A. (1964a). Economic forecasting and science. *Michigan Quarterly Review* 4(4), 274–280.
- Samuelson, Paul A. (1964b). Theory and Realism: A Reply. *American Economic Review* 54(5), 736–739.

- Samuelson, Paul A. (1972a). Market Mechanisms and Maximization. In: Stiglitz, J. E. (Hrsg.), *The collected scientific papers of Paul A. Samuelson*, Jahrgang 1, S. 425–492. Cambridge [Mass.]: MIT Press.
- Samuelson, Paul A. (1972b). Some Notions on Causality and Teleology in Economics. In: Merton, R. C. (Hrsg.), *The collected scientific papers of Paul A. Samuelson*, Jahrgang 3, S. 428–472. Cambridge [Mass.]; London: MIT Press.
- Samuelson, Paul A. (1972c). Structure of a Minimum Equilibrium System. In: Stiglitz, J. E. (Hrsg.), *The collected scientific papers of Paul A. Samuelson*, Jahrgang 1, S. 651–683. Cambridge [Mass.]: MIT Press.
- Samuelson, Paul A. (1972d). The way of an economist. In: Merton, R. C. (Hrsg.), *The collected scientific papers of Paul A. Samuelson*, Jahrgang 3, S. 675–685. Cambridge [Mass.]; London: MIT Press.
- Samuelson, Paul A. (1976). *Economics* (10. Aufl.). New York: McGraw-Hill.
- Samuelson, Paul A. (1983). *Foundations of economic analysis* (Erw. Aufl.). Band 80 in Harvard economic studies. Cambridge [Mass.]; London: Harvard University Press.
- Samuelson, Paul Anthony (1986). American Economics. In: Stiglitz, J. E. (Hrsg.), *The collected scientific papers of Paul A. Samuelson*, Jahrgang 2, S. 1650–1655. Cambridge [Mass.]: MIT Press.
- Samuelson, Paul A. (1987). How Economics Has Changed. *Journal of Economic Education* 18(2), 107–110.
- Samuelson, Paul A. (1990). Gibbs in economics. In: Caldi, D. G. und Mostow, G. D. (Hrsg.), *Proceedings of the Gibbs Symposium: Yale University, May 15-17, 1989*, S. 255–268. American Mathematical Soc.
- Samuelson, Paul A. (1992). Maximum Principles in Analytical Economics. In: Lindbeck, A. (Hrsg.), *Nobel Lectures in Economic Sciences: The Sveriges Riksbank (Bank of Sweden) Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel*, Jahrgang 1, S. 62–77. Singapore: World Scientific Publishing Co.
- Samuelson, Paul A. (1993). My Life Philosophy: Policy Credos and Working Ways. In: Szenberg, M. (Hrsg.), *Eminent economists: their life philosophies*, S. 236–247. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press.
- Samuelson, Paul A. (1997). Credo of a Lucky Textbook Author. *Journal of Economic Perspectives* 11(2), 153–66.

- Samuelson, Paul A. (1998). How Foundations Came to Be. *Journal of Economic Literature* 36(3), 1375–1386.
- Samuelson, Paul A. (2011). Realities for a fine june day. In: Murray, J. (Hrsg.), *The collected scientific papers of Paul A. Samuelson*, Jahrgang 7, S. 414–419. Cambridge [Mass.]: MIT Press.
- Samuelson, Paul A. und Nordhaus, William D. (1992). *Economics* (14. Aufl.). New York: McGraw-Hill Irwin.
- Samuelson, Paul A. und Nordhaus, William D. (1998). *Economics* (16. Aufl.). Boston: McGraw-Hill Irwin.
- Samuelson, Paul A. und Nordhaus, William D. (2007). *Volkswirtschaftslehre*. Landsberg: Mi-Fachverlag, Redline.
- Samuelson, Paul A. und Nordhaus, William D. (2010). *Economics* (19. Aufl.). Boston: McGraw-Hill Irwin.
- Skousen, Mark (1997). The Preseverance of Paul Samuelson's Economics. *Journal of Economic Perspectives* 11(2), 137–152.
- Turck, Dieter (1967). *Die Metaphysik der Natur bei Leibniz*. Inauguraldissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- von Weizsäcker, Carl Friedrich (1976). *Zum Weltbild der Physik*. Stuttgart: S. Hirzel.
- Walras, Léon (1965). *Elements of Pure Economics* (2. Aufl.). Homewood: Richard D. Irwin, Inc.
- Wellhöner, Volker (2002). *Ökonomik, Physik, Mathematik: die allgemeine Gleichgewichtstheorie im interdisziplinären Kontext*. Band 12 in Institutionelle und Sozial-Ökonomie. Frankfurt am Main; New York: P. Lang.
- Westfall, Richard S. (1977). *The construction of modern science: mechanisms and mechanics*. History of science. Cambridge [Mass.]: Cambridge University Press.

Anhang

<i>„In Mechanics</i>		<i>In Economics</i>
A particle	corresponds to	An individual
Space	” ”	Commodity
Force	” ”	Marginal utility or disutility
Work	” ”	Disutility
Energy	” ”	Utility

Work or Energy = force x space. Force is a vector (directed in space). Forces are added by vector addition. (“parallelogram of forces.”) Work and Energy are scalars.

The total *work* done by a particle in moving from the origin to a given position is the integral of the *resisting forces* along all space axes (resisting forces are those directed toward the origin) multiplied by the distances moved along those axes.

The total *work* done by a particle in moving from the origin to a given position is the integral of the *resisting forces* along all space axes (resisting forces are those directed toward the origin) multiplied by the distances moved along those axes.

The “total energy” (the work done *upon* the particle) may be defined as the like integral with respect to *impelling forces*.

The *net energy of the particle* may be defined as the “total energy” less the “total work.”

Equilibrium will be where net energy is maximum; or equilibrium will be where the impel. and resist. forces along each axis will be equal.

(If “total energy” be subtracted from “total work” instead of vice versa the difference is “potential” and is minimum).

Disutility or Utility = marginal utility x commodity Marginal utility is a vector (directed in com.) Marginal utility are added by vector addition. (parallelogram of marginal utility) Disutility and utility are scalars.

The *total disutility* suffered by an individual in assuming a given position in the “economic world” is the integral of the *marginal disutility* along all commodities axes (marginal disutility are directed toward the origin) multiplied by the distances moved along those axes.

The *total disutility* suffered by an individual in assuming a given position in the “economic world” is the integral of the *marginal disutility* along all commodities axes (marginal disutility are directed toward the origin) multiplied by the distances moved along those axes.

The *total utility* enjoyed by the individual is the like integral with respect to *marginal utilities*.

The net utility or *gain* of the individual is the “total utility” less the “total disutility.”

Equilibrium will be where gain is maximum; or equilibrium will be where the marginal utility and marginal disutility along each axis will be equal.

(If “total utility” be subtracted from “total disutility” instead of vice versa the difference may be called “loss” and is minimum).“

(Fisher, 1965, S. 85-6)

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Abschlussarbeit

“Clockwork Economics – Ontologische Grundlagen in der Ökonomik”

selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Lukas Bäuerle, Bühlertal den 7. Mai 2013