

## Stoffwechsel, Energie und Entropie in Marx' Kritik der Politischen Ökonomie: Jenseits des Podolinsky-Mythos (Teil 2)\*

### 3. Kapitalistische Industrialisierung, Materie, Energie und Entropie

Thermodynamische Überlegungen zu Fragen der Energieerhaltung, der entropischen Dissipation durch Reibung sowie zur Wechselwirkung physikalischer Kräfte spielen im ersten Band des *Kapital* eine zentrale Rolle. Sie finden sich vor allem im Kapitel über *Maschinerie und große Industrie*, das den zentralen Teil der Marxschen Untersuchung der industriellen Entwicklung im Kapitalismus darstellt.

#### 3.1 Energie, Reibung und biochemische Prozesse in der kapitalistischen Industrie

Bei der Beschreibung der industriellen Revolution geht Marx davon aus, dass das Maschinensystem „aus drei wesentlich verschiedenen Teilen [besteht], der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine“ (MEW 23: 393). Danach zeichnet sich die auf Maschinen basierende Produktion durch die Übertragung von Kräften von einem Teil des Systems auf einen anderen aus – beginnend mit der Bewegungsmaschine, die „als Triebkraft des ganzen Mechanismus“ wirkt, über den Transmissionsmechanismus, der die Bewegung regelt und sie auf die Werkzeugmaschinerie überträgt, welche „den Arbeitsgegenstand anpackt und zweckgemäß verändert“ (ebd.). Dieses Modell ist stark von Marx' Auseinandersetzung mit Problemen der Energieerhaltung und der Mechanik der Energieübertragung geprägt (Baksi 1996: 274-278).

In einem Brief an Engels, in dem er seine Recherchen für das Kapitel über die Maschinerie beschrieb, schrieb Marx 1863, dass er nicht nur seine Hefte mit Auszügen über technische Literatur nachgelesen, sondern auch einen praktisch-experimentellen Kurs bei Prof. Willis belegt habe, den dieser für Arbeiter hielt (MEW 30: 320). Der Dozent, den er hier erwähnt, war Reverend Robert Willis (1800-1875), ein brillanter britischer Architekt und Ingenieur, der ab

---

\* Der erste Teil ist in PROKLA 159, S.217-240 erschienen.

1837 eine Professur für Natur- und Experimentalphilosophie an der Universität Cambridge innehatte. Betrachtet man die Arbeitsmodelle, die Willis selbst entwickelt und in seinen Unterricht integriert hat, ist klar, dass die Mechanik der Energietransmission ein zentrales Thema seiner Vorträge bildete (Willis 1851). Der Technologiepädagoge Eric Parkinson schreibt dazu: „Willis entwickelte einen speziellen Konstruktionsbausatz, um seinen Studenten bestimmte mechanische Prinzipien zu demonstrieren. Die verschiedenen Komponenten des Bausatzes ließen sich während des Vortrags schnell und präzise zusammenzufügen, einzeln wieder entfernen oder umbauen.“ (Parkinson 1999: 67)<sup>1</sup> Diese praktischen Vorträge und Experimente führten Marx vor dem Hintergrund seiner theoretischen und historischen Studien zu der Auffassung, dass die industrielle Revolution nicht mit dem Antriebsmechanismus und dessen Energiequellen begann, sondern mit der Werkzeugmaschine – insbesondere mit der Mechanisierung derjenigen Arbeiten, die die Bearbeitung der für die Industrialisierung zentralen Materialien betraf. Im *Kapital* stellt Marx fest:

„Die ganze Maschine [ist] nur eine mehr oder minder veränderte mechanische Ausgabe des alten Handwerksinstruments (...). Die Werkzeugmaschine ist also ein Mechanismus, der nach Mitteilung der entsprechenden Bewegung mit seinen Werkzeugen dieselben Operationen verrichtet, welche früher der Arbeiter mit ähnlichen Werkzeugen verrichtete. Ob die Triebkraft nun vom Menschen ausgeht oder selbst wieder von einer Maschine, ändert am Wesen der Sache nichts.“ (MEW 23: 393f.)

Diese ganzen Überlegungen stellen einen „Zusammenhang menschlicher Gesellschaftsverhältnisse mit der Entwicklung dieser materiellen Produktionsweisen“ (MEW 30: 321) her. Die Tatsache, dass der Kapitalist das Werkzeug vom Arbeiter trennt und in eine Maschine einfügt – und die daran anschließende wissenschaftliche Verbesserung der Maschinerie zum Zwecke der Profitmaximierung – setzt jedoch voraus, dass die soziale Trennung des Arbeiters von den Produktionsmitteln bereits vollzogen ist.<sup>2</sup> Die historische Bedeutung der Veränderung der sozialen Beziehungen und der damit korrespondierende Vorrang der Werkzeugmaschinen gegenüber Energiequellen und mechanischen Konstruktionen, hielt Marx jedoch nicht davon ab, die zentrale Rolle der Energieversorgung und -übertragung für die industrielle Revolution zu betonen. Der Mechanisierungsprozess bedeutete, dass die Werkzeuge von der Begrenztheit der Arbeitskraft des einzelnen Arbeiters befreit wurden. „Vorausgesetzt, daß er (der Arbeiter) nur noch als einfache Triebkraft wirkt, also an die Stelle seines Werkzeugs eine Werkzeugmaschine getreten ist, können Naturkräfte ihn

---

1 Parkinson fügt hinzu, dass Willis modellbasierter Zugang „neue Standards in der Mechanikausbildung gesetzt hat. Willis war ganz klar ein führender Vertreter seines Fachs, etablierte eine neue, praxisorientierte Lehrmethode und erreichte mit seinen Ideen viele zukünftige und einflussreiche Ingenieure“ (ebd. 67).

2 Eine genauere Auseinandersetzung mit Marx' Analyse der kapitalistischen Entwicklung und Anwendung der Wissenschaften als einer Form der Entfremdung der Arbeiter von ihren Produktionsmitteln findet sich bei Burkett (1999: 158-163).

jetzt auch als Triebkraft ersetzen“ (MEW 23: 396). Ist das Werkzeug erst einmal in einer Maschine installiert, kann es durch unterschiedliche Energiequellen und auf viel höherem Energieniveau angetrieben werden. In der Tat geht der wachsende Maschineneinsatz Hand in Hand mit der Einschränkung der Anwendung menschlicher Arbeitskraft als Antriebskraft:

„Die Erweiterung des Umfangs der Arbeitsmaschine und der Zahl ihrer gleichzeitig operierenden Werkzeuge bedingt einen massenhafteren Bewegungsmechanismus, und dieser Mechanismus zur Überwältigung seines eignen Widerstands eine mächtigere Triebkraft als die menschliche, abgesehen davon, daß der Mensch ein sehr unvollkommenes Produktionsinstrument gleichförmiger und kontinuierlicher Bewegung ist.“ (MEW 23: 396)

Der Ersatz der Arbeitskraft durch andere Antriebskräfte beginnt mit der „Anwendung von Tieren, Wasser, Wind“ als Bewegungskräfte und führt zur Entwicklung der kohlegetriebenen Dampfmaschinen (MEW 23: 395). Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Motors und seiner Antriebsquellen als Antwort auf den wachsenden Energiebedarf (der wiederum auf zunehmend komplexe und große Systeme von Werkzeugmaschinen zurückzuführen ist) betont Marx auch die Rolle der Reibung als fundamentalen entropischen Prozess.<sup>3</sup> Er stellt fest, dass „die Erweiterung des Umfangs der Arbeitsmaschine und der Zahl ihrer gleichzeitig operierenden Werkzeuge (...) einen massenhafteren Bewegungsmechanismus“ sowie eine Erweiterung der Motorenstärke bedingt (MEW 23: 397). Im Zuge des Industrialisierungsprozesses stellte sich daher die Frage, wie der wachsende Energiebedarf befriedigt werden konnte. Denn die Wasserkraft, welche in England bis dahin als Hauptenergiequelle genutzt worden war, erwies sich zunehmend als unzureichend:

„Die Anwendung der Wasserkraft überwog (...) schon während der Manufakturperiode. Man hatte bereits im 17. Jahrhundert versucht, zwei Läufer und also auch zwei Mahlgänge mit einem Wasserrad in Bewegung zu setzen. Der geschwollne Umfang des Transmissionsmechanismus geriet aber jetzt in Konflikt mit der nun unzureichenden Wasserkraft, und dies ist einer der Umstände, der zur genauem Untersuchung der Reibungsgesetze trieb“ (MEW 23: 397).

An dieser Stelle zeigt sich Marx' akkurates Verständnis davon, wie Wasser und Dampf als zeitgenössische Energietechnologien die frühe Geschichte der Industrialisierung beeinflussten. Obwohl der Beginn der industriellen Revolution für gewöhnlich mit den Jahren 1760 oder 1780 assoziiert wird, blieb Wasserkraft in der britischen Industrie noch bis weit ins 19. Jahrhundert hinein die Hauptantriebskraft. Im 18. und frühen 19. Jahrhundert erforschten Wissenschaftler und Ingenieure wie Parent, Smeaton, Déparcieux, Lazare Carnot die Effizianzforderungen an die Wasserkraft, das Reibungsproblem und – im

---

3 Dass Engels ebenfalls ein großes Interesse an der Reibung hatte, allerdings stärker theoretisch motiviert war, geht aus etlichen Passagen in der *Dialektik der Natur* hervor. Dies erklärt vielleicht auch, warum Georgescu-Roegen diese Arbeit sehr schätzte (Martinez-Alier 1997: 231). Kaum verständlich ist allerdings, wie Georgescu-Roegen die praktischen Abhandlungen über das Problem der Reibung im *Kapital* übersehen konnte.

Fall von Lazare Carnot – auch die maximale Effizienz unter idealen Wasserflussbedingungen. Trotz der Verbesserung von Watts' Dampfmaschine, bot das Wasserrad zu dieser Zeit noch die weitaus beste Form der Antriebskraft. Die Dampfmaschine wurde dagegen eher ergänzend zur Wasserkraft eingesetzt. Nichts desto trotz führte die zunehmende Effizienz der Dampfmaschine zusammen mit ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeit (die Regionen, in denen Wasserkraft überhaupt zur Verfügung stand, vor allem in Schottland und im Norden Englands, waren bereits weitgehend industriell erschlossen) im Laufe des 19. Jahrhunderts zur Verdrängung der Wasserkraft (Cardwell 1971: 67-88; Lindley/Kelvin 2004: 64-65).

Nicht nur war Marx sich dieser Entwicklungen bewusst, in seinen Überlegungen scheint er auch die Tatsache zu reflektieren, dass der schottische Physiker James Thomson und sein Bruder William Thomson (der spätere Lord Kelvin) erst über ihre praktischen Experimente mit Wasserreibung zur Erforschung der Thermodynamik kamen (Smith 1998: 39, 48). Es war William Thomson, der Sadi Carnots bis dahin weitgehend unbekannte Arbeit über die Thermodynamik im Jahr 1824 entdeckte und dann verbreitete. Der eigentliche Begriff der „Thermodynamik“ (der sich zunächst auf die Gesetze der Wärme als Energiequelle bezog) wurde 1849 von Thomson eingeführt.

Trotz der gern falsch verstandenen Polemik, die Marx mit Proudhon führte, und in der er schlagfertig feststellte, dass „die Handmühle (...) eine Gesellschaft mit Feudalherren (ergibt), die Dampfmaschine eine Gesellschaft mit industriellen Kapitalisten“ (MEW 4: 130), war Marx ganz eindeutig nicht der Meinung, dass die Dampfmaschine für die Entstehung des Kapitalismus oder der Industrialisierung verantwortlich war (siehe Foster 2000: 280). Er erkannte, dass es die Wasserkraft gewesen war, die die frühe Periode des Merkantilismus und der Manufaktur dominiert hatte, der Industrialisierung vorausgegangen war und den Weg in die Anfangsphase der Industrialisierung geebnet hatte (die Zeit der „Maschinenfabrik“). Tatsächlich betont Marx in seiner Analyse, dass Dampfkraft erst zu einem Zeitpunkt die Wasserkraft ersetzte, als die Mechanisierung der Produktion (die selbst ein Ergebnis der sich entwickelnden sozio-ökonomischen Beziehungen war) zunehmend große Konzentrationen und den flexiblen Einsatz von Energie erforderte.

Insbesondere beobachtete Marx, dass „nachdem erst die Werkzeuge aus Werkzeugen des menschlichen Organismus in Werkzeuge eines mechanischen Apparats (...) verwandelt“ worden waren, „nun auch die Bewegungsmaschine eine selbständige, von den Schranken menschlicher Kraft völlig emanzipierte Form“ erhielt. Damit wurde es möglich, „die einzelne Werkzeugmaschine (...) zu einem bloßen Element der maschinenmäßigen Produktion“ zu machen. Dies setzte jedoch voraus, dass die „Bewegungsmaschine (...) jetzt viele Arbeitsmaschinen gleichzeitig treiben [konnte]. Mit der Anzahl der gleichzeitig bewegten Arbeitsmaschinen wächst die Bewegungsmaschine und dehnt sich

der Transmissionsmechanismus zu einem weltläufigen Apparat aus“ (MEW 23: 398f.). Insofern „der Arbeitsgegenstand eine zusammenhängende Reihe verschiedener Stufenprozesse durchläuft, die von einer Kette verschiedenartiger, aber einander ergänzender Werkzeugmaschinen ausgeführt werden“, muss die Energiequelle dem erforderlichen Bedarf und den Anforderungen an Flexibilität und Transmission gerecht werden (MEW 23: 400). Vor allem in den Industrien, in denen Präzisionsmaschinen maschinell gefertigt werden, „war eine jeder Kraftpotenz fähige und doch zugleich ganz kontrollierbare Bewegungsmaschine (...) die wesentlichste Produktionsbedingung“ (MEW 23: 405). Die materiellen Bedingungen der Anwendung von Wasserkraft, also z.B. der Reibungsverlust, die Kontrollierbarkeit und die Transportmöglichkeit von Wasser, schloss deren Nutzung über ein gewisses Niveau und bestimmte Orte und Regionen hinaus aus.

„Indes war auch der Gebrauch der Wasserkraft als herrschender Triebkraft mit erschwerenden Umständen verbunden. Sie konnte nicht beliebig erhöht und ihrem Mangel nicht abgeholfen werden, sie versagte zuweilen und war vor allem rein lokaler Natur. Erst mit Watts zweiter, sog. doppelt wirkender Dampfmaschine war ein erster Motor gefunden, der seine Bewegungskraft selbst erzeugt aus der Verspeisung von Kohlen und Wasser, dessen Kraftpotenz ganz unter menschlicher Kontrolle steht, der mobil und ein Mittel der Lokomotion (...), und universell in seiner technologischen Anwendung, in seiner Residenz verhältnismäßig wenig durch lokale Umstände bedingt.“ (MEW 23: 397f.)

Offensichtlich spielen bei der Betrachtung der Energetik der kapitalistischen Industrialisierung im *Kapital* auch die Stoffe eine wichtige Rolle („matter matters“). Vor diesem Hintergrund wird auch verständlich, warum Marx der physikalischen Abnutzung der Maschinerie so viel Aufmerksamkeit schenkte. Im Kapitel über *Maschinerie und große Industrie* heißt es:

„Der materielle Verschleiß der Maschine ist doppelt. Der eine entspringt aus ihrem Gebrauch, wie Geldstücke durch Zirkulation verschleifen, der andre aus ihrem Nichtgebrauch, wie ein untätig Schwert in der Scheide verrostet. Es ist dies ihr Verzehr durch die Elemente. Der Verschleiß erster Art steht mehr oder minder in direktem Verhältnis, der letztere zu gewissem Grad in umgekehrtem Verhältnis zu ihrem Gebrauch.“ (MEW 23: 426)

Dieser materielle Verschleiß ist zentral für die Analyse der Kosten, die durch den Ersatz und die Reparatur des fixen Kapitals entstehen (siehe das achte Kapitel im zweiten Band des *Kapital*). Marx unterscheidet hierbei zwischen Verschleiß durch „täglichen Gebrauch“ und durch „Naturkräfte“ und zeigt entlang zahlreicher realer Beispiele, wie die notwendige Arbeit durch unterschiedliche Arten von Verschleiß in Warenwert verwandelt wird.

Neben dem Reibungsargument gibt es einen weiteren wichtigen Grund dafür, dass Marx in seiner Analyse der Industrie nicht dem Energiereduktionismus verfällt: Er war sich bewusst, dass die fortschreitende „Vervollkommnung der *gesellschaftlichen Kräfte der Arbeit*“ im Kapitalismus nicht nur Maschinen und ihre Antriebskräfte betraf, sondern auch die „Anwendung chemischer und anderer natürlicher Kräfte“ – und zwar in einer Art und Weise, die nicht auf

reine Energieübertragung reduzierbar ist (MEW 16: 127; Hervorh. i. O.). Am deutlichsten wird dies in Marx' Analyse der kapitalistischen Landwirtschaft, in der die „bewußte, technologische Anwendung der Wissenschaft“ zum Zwecke der Profitmaximierung auf die Grenzen der „ewige(n) Naturbedingung dauernder Bodenfruchtbarkeit“ und deren notwendige Basis stößt, den „Stoffwechsel zwischen Mensch und Erde“ (MEW 23: 527f.). Allerdings gibt es in jedem Produktionsprozess einen biochemischen Anteil, insofern etwas „dem Rohmaterial zugesetzt [wird], um darin eine stoffliche Veränderung zu bewirken, wie Chlor zur ungebleichten Leinwand, Kohle zum Eisen, Farbe zur Wolle“ (MEW 23: 197). „In allen diesen Fällen“, wie Marx es im Zuge seiner Überlegungen zur Wertakkumulation ausdrückt, „besteht also die Produktionszeit des vorgeschossenen Kapitals aus zwei Perioden: Einer Periode, worin das Kapital sich im Arbeitsprozeß befindet; einer zweiten Periode, worin seine Existenzform – die von unfertigem Produkt – dem Walten von Naturprozessen überlassen ist, ohne sich im Arbeitsprozeß zu befinden“ (MEW 24: 242). Derartige biochemische Produktionsprozesse reduzieren offensichtlich die Relevanz von Analysen, die sich ausschließlich auf der energetischen Ebene bewegen.<sup>4</sup>

Für Podolinsky bestand das Hauptziel des Sozialismus darin, die Akkumulation von Energie auf der Erde durch eine möglichst effiziente Nutzung der perfekten ‚menschlichen Arbeitsmaschine‘ zu maximieren – eine Analogie, die von Carnots idealem Kreislaufprozess abgeleitet war (Carnot 1977). Carnots Modell war jedoch ein abstraktes und isoliertes System – ein rein theoretisches Konstrukt, das dazu diente, die maximale Effizienz thermischer Maschinen unter idealen Bedingungen zu erforschen. Obwohl es sich dabei um den Grundstein zur Entwicklung der Thermodynamik handelte, war sein Idealmodell auf der Grundlage umkehrbarer Prozesse entwickelt worden. Carnots Zyklus abstrahierte also gerade von irreversiblen Prozessen wie Leitung, Reibung, Erschütterung etc., die später als besondere Erscheinungen der Entropie angesehen werden sollten (der zweite Hauptsatz der Thermodynamik). Podolinskys Fehler bestand also darin, das Modell eines isolierten Systems auf die menschliche Produktion anwenden zu wollen, welche vielmehr als offenes und dissipatives System verstanden werden muss. Indem Podolinsky der menschlichen Arbeit die Charakteristika von Carnots perfekter Maschine zuschrieb (komplette Umkehrbarkeit von Prozessen und daher die Abwesenheit von Entropie), negierte seine Analyse gerade die Relevanz des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik für die menschliche Produktion. Podolinskys Modell scheint

---

4 Ted Benton hat diese Art von Prozessen als „eco-regulated“ bezeichnet (Benton 1989: 51-86). Eine detaillierte Entgegnung auf Bentons Behauptung, Marx beziehe solche Prozesse nicht in seine Analyse ein, findet sich bei Burkett (1998: 125-133; 1999: 41-47). Es sollte darauf hingewiesen werden, dass komplexe energetische Ansätze die qualitativen Aspekte biochemischer Prozesse zwar nicht leugnen, jedoch ebenfalls einer Art Energiereduktionismus neigen. Für ein zeitgenössisches Beispiel siehe etwa die Arbeit von Smil (1991).

zuweilen sogar über Carnots idealen Kreislauf hinauszugehen, wenn er nahelegt, dass Menschen durch die einfache Verausgabung ihrer Arbeitskraft (also ohne zusätzliche Energiezufuhr abgesehen von ihrer eigenen) einen Nettozuwachs an Arbeit erzeugen können, also sozusagen ihre eigene Maschine befeuern könnten. Dies wäre ein *perpetuum mobile*, eine Situation, die auch Carnot nicht für möglich hielt, da hier alle physikalischen Gesetze gebrochen würden (vgl. z.B. Giampietro/Mayumi 2004: 617-631).

Angesichts der Tatsache, dass Podolinskys Analyse der Arbeit die entropischen Prozesse der Produktion unter realen Bedingungen ignoriert, ist es alles andere als überraschend, dass seine Berechnungen der Energieausgaben extrem vereinfacht waren, insbesondere an den Stellen, an denen er sie auf die Industrie anwandte. Engels schrieb:

„Bei der Industrie hört vollends alle Berechnung auf: die dem Produkt hinzugefügte Arbeit läßt sich meist gar nicht mehr in WE [Wärmeeinheiten] ausdrücken. Wenn dies z.B. bei einem Pfund Garn allenfalls noch angeht, indem dessen Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit sich mit Ach und Krach noch in einer mechanischen Formel wiedergeben läßt, so erscheint es hier doch schon als reine nutzlose Pedanterie und wird schon bei einem Stück Rohtuch, noch mehr beim gebleichten, gefärbten, gedruckten, absurd. Der Energiewert, den Produktionskosten nach, eines Hammers einer Schraube, einer Nähnadel ist eine unmögliche Größe.“ (Engels am 19. Dezember 1882 an Marx, MEW 35: 134).

Ähnlich wie Marx argumentiert Engels also gegen einen Energiereduktionismus. Er betont den irreduziblen biochemischen Charakter der menschlichen Arbeit und ihrer Produkte sowie die Tatsache, dass Gebrauchswert nicht auf reine Energie reduziert werden kann. Die Stoffwechselprozesse im menschlichen Körper, die auf die Interaktionen des Menschen mit seiner physischen Umwelt zurückwirken, sind qualitativer Natur und können nicht einfach in Energiebilanzen aufgerechnet werden. Hierin stimmt Engels mit vielen späteren Ökologischen Ökonomen überein (vgl. etwa Georgescu-Roegen 1975; Daly 1981; für eine weiterführende Diskussion siehe Burkett 2003: 140-141).

Eine weitere wichtige Beziehung zwischen Marx' Analyse und der Ökologischen Ökonomie - insbesondere der Entropie-Schule - betrifft deren Feststellung, dass die menschliche Produktion in dem Moment die Nachhaltigkeitsgrenze verletzt, als sie das „solare Energieeinkommen“ überschritt (Daly 1992: 23). Doch obwohl Daly das post-solare Einkommensregime auf die „vergangenen 200 Jahre“ beschränkt, liefern weder er noch Georgescu-Roegen eine strukturelle Erklärung dafür - d.h. eine Erklärung, welche die spezifischen Produktionsverhältnisse mit der Entwicklung bestimmter Technologien kombiniert, die auf fossilen Brennstoffen oder anderen Formen des „geologischen Kapitals“ beruhen (ebd.; Burkett 2005: 117-153). Wie wir gesehen haben, leistet Marx' Analyse der Maschinerie und der großen Industrie (und der industrialisierten Landwirtschaft im Kapitalismus) genau diese Erklärung für die wachsende Gier der industriellen Mechanisierung nach Materie und Energie. Neben der Standardinterpretation der Podolinsky-Debatte waren es vielleicht

Passagen wie die folgende, die – wenn sie aus dem Kontext gerissen werden – die Fehlwahrnehmung, die Marx durch die Ökologischen Ökonomen erfahren hat, befördert haben:

„Zunächst verselbständigt sich in der Maschinerie die Bewegung und Werkätigkeit des Arbeitsmittels gegenüber dem Arbeiter. Es wird an und für sich ein industrielles Perpetuum mobile, das ununterbrochen fortproduzieren würde, stieße es nicht auf gewisse Naturschranken in seinen menschlichen Gehilfen: ihre Körperschwäche und Ihren Eigenwillen.“ (MEW 23: 425)

Der Begriff „Perpetuum mobile“, den Marx hier benutzt, bezieht sich, wenn man den Ausdruck im Kontext betrachtet, auf den gesamten sozialen Mechanismus hinter der Produktion. Marx beschreibt hier die Entfremdung des Arbeiters von den Produktionsmitteln, wie sie sich aus dessen individueller Perspektive darstellt. „Perpetuum mobile“ meint also die materiell-soziale Klassenbeziehung und keine physische Eigenschaft. Es handelt sich um eine Metapher, die mit den Gesetzen der Thermodynamik nichts zu tun hat. Marx Hauptargument zielt darauf ab, dass „die große Industrie“ im Maschinensystem „einen ganz objektiven Produktionsorganismus (besitzt), den der Arbeiter als fertige materielle Produktionsbedingung vorfindet“ (MEW 23: 407).

„Als gegliedertes System von Arbeitsmaschinen, die ihre Bewegung nur vermittelt der Transmissionsmaschinerie von einem zentralen Automaten empfangen, besitzt der Maschinenbetrieb seine entwickeltste Gestalt. An die Stelle der einzelnen Maschine tritt hier ein mechanisches Ungeheuer, dessen Leib ganze Fabrikgebäude füllt und dessen dämonische Kraft, erst versteckt durch die fast feierlich gemeßne Bewegung seiner Riesenglieder, im fieberhaft tollen Wirbeltanz seiner zahllosen eigentlichen Arbeitsorgane ausbricht.“ (MEW 23: 402)

Marx' Verweis auf die „Arbeitsorgane“ der Maschinenmonster geht zurück auf den griechischen Begriff *organon*, der sich sowohl auf Werkzeuge als auch auf körperliche Organe bezieht und somit auf eine Theorie der Naturtechnologie hinausläuft. Aus dieser – von Marx aufgenommenen und weitergedachten – Perspektive sind Werkzeuge im Prinzip anorganische Erweiterungen der Organe des Körpers (Foster/Burkett 2000: 412-413). Die Unterscheidung zwischen Organen des menschlichen Körpers und deren instrumentellen Erweiterungen hat auch in der Ökologischen Ökonomie eine lange Tradition – allerdings haben die Ökologischen Ökonomen diese Begrifflichkeit im Gegensatz zu Marx nie in eine Klassenanalyse der Produktion integriert (Daly 1968: 396ff.; Foster/Burkett 2001: 452; Foster 2000: 200ff.). Zumindest fällt es nicht schwer, sich angesichts der oben zitierten Passage vorzustellen, was Marx wohl über Podolinskys Beschreibung des Arbeiters als „perfekte Maschine“, d.h. als idealisierte Dampfmaschine gedacht haben muss. Podolinsky ist vor allem deshalb „auf Abwege gekommen“, weil er den entfremdeten Charakter der Maschinerie und mechanisierten Arbeit im Kapitalismus ignorierte und stattdessen, wie es Engels in seinem Brief an Marx vom 19. Dezember 1882 formulierte, „einen neuen naturwissenschaftlichen Beweis für die Richtigkeit des Sozialismus finden wollte und daher Physikalisches und Ökonomisches vermengt hat“ (MEW 35:

135). Auch wenn die zeitgenössische Ökologische Ökonomie im Gegensatz zu Podolinsky (überwiegend) keine Vertreterin des Sozialismus ist, leidet sie unter einem ähnlichen Problem: Sie verwechselt die Physik mit der Ökonomie und macht sich keinen Begriff von den tiefgreifenden materiell-sozialen Widersprüchen der kapitalistischen Produktion und der monetären In-Wert-Setzung (Burkett 2006). Mit unserer Kritik an der „Podolinsky-Geschichte“ hoffen wir den Weg zu einem produktiven Dialog zwischen Marxismus und Ökologischer Ökonomie zu ebnen, der sich mit den für das zukünftige Überleben der Menschheit notwendigen Veränderungen der sozio-ökonomischen Verhältnisse auseinandersetzt. Ein wichtiger Punkt dieses Dialogs betrifft den „Durchsatz“ (d.h. die in einem Zeitraum verbrauchte oder bearbeitete Menge) von Stoff und Energie der durch die kapitalistischen Industrie erzeugt wird.

### 3.2 Der Durchsatz von Stoff und Energie im Kapitalismus

Marx betont, dass die kapitalistische Entwicklung der „Produktivkraft der Arbeit“ abhängig ist „von den *Naturbedingungen* der Arbeit, wie Fruchtbarkeit des Bodens, Ergiebigkeit der Minen usw.“ (MEW 16: 127). Kapitalistische Industrialisierung ist ein Prozess, in dem „die Wissenschaft Naturkräfte“ unter dem Druck von Profitwirtschaft und Wettbewerb „in den Dienst der Arbeit zwingt“ (ebd.). Die Natur liefert dem kapitalistischen Unternehmen Gebrauchswerte, die nicht nur als Träger von Wert fungieren, sondern auch als „Gratisnaturproduktivkraft der Arbeit“ (MEW 25: 754; siehe auch Burkett 1999, Kapitel 6). Beide Aspekte werden von Marx' in seiner Analyse der Verarbeitung von Rohstoffen im kapitalistischen Akkumulationsprozess behandelt.

Marx' Hauptinteresse gilt in diesem Zusammenhang der kapitalistischen Entwicklung der maschinenbasierten Produktion: Die komplexe Arbeitsteilung zwischen konkurrierenden Unternehmen bringt eine historisch einmalige Zunahme der Arbeitsproduktivität hervor, welche notwendiger Weise mit einer beispiellosen Nachfrage nach Rohstoffen einhergeht. Marx stellt fest, dass sich

„...die wachsende Produktivität der Arbeit gerade in dem Verhältnis aus[drückt], worin ein größeres Quantum Rohstoff ein bestimmtes Quantum Arbeit absorbiert, also in der wachsenden Masse Rohstoff, die z.B. in einer Arbeitsstunde in Produkt verwandelt, zu Ware verarbeitet wird.“ (MEW 25: 118) „Die Vergrößerung der Maschinerie sowohl wie der Arbeitsteilung zieht nach sich, daß in kürzerer Zeit ungleich mehr produziert werden kann“, so dass „sich notwendig der in Rohstoff verwandelte Teil des Kapitals“ vergrößert (MEW 6: 550)

In dem Maße, in dem die Arbeitsproduktivität wächst, nimmt auch die Menge an Materialien zu, die das Kapital sich aneignen und verarbeiten muss, um die jeweilige Expansion an Werten zu realisieren.

Wie wir bereits gesehen haben, war Marx sich auch der zentralen Bedeutung der Energieversorgung für die kapitalistische Industrie bewusst. Die Frage der Energiequellen behandelt er im Rahmen der wachsenden Nachfrage nach „Hilfsstoffen“, die laut Marx zwar nicht „die Hauptsubstanz eines Produkts

bilden“, jedoch „vom Arbeitsmittel konsumiert“ werden oder „die Verrichtung der Arbeit selbst“ unterstützen (MEW 23: 196).<sup>5</sup> Sie produzieren Wärme, Licht, chemische und andere notwendige Produktionsbedingungen, die von der unmittelbaren Verarbeitung der Hauptmaterialien zu unterscheiden sind. Die Konsumtion von Energiequellen („Kohle von der Dampfmaschine, Öl vom Rade, Heu vom Zugpferd“ oder „Beleuchtung und Heizung des Arbeitslokals“) betrifft einen erheblichen Teil der Nutzung der Hilfsstoffe (MEW 23: 196). „Nachdem der Kapitalist ein größeres Kapital in Maschinen gesteckt hat, ist er gezwungen, ein größeres Kapital auf den Ankauf des Rohstoffs und des zur Treibung der Maschinen nötigen Rohstoffs zu verwenden.“ (MEW 6: 550) Im Zuge der kapitalistischen Industrialisierung „wird in derselben Zeit mehr Rohmaterial verarbeitet, tritt also größere Masse von Rohmaterial und Hilfsstoffen in den Arbeitsprozeß ein“ (MEW 23: 650).<sup>6</sup>

Das bedeutet nicht etwa, dass es das Ziel der kapitalistischen Produktion wäre, den Durchsatz von Stoff und Energie einfach nur zu maximieren. Der Kapitalismus ist ein Konkurrenzsystem, in dem die einzelnen Unternehmen einem konstanten Druck zur Kostensenkung ausgesetzt sind. Auf seine eigene und historisch begrenzte Art und Weise bestraft der Kapitalismus sogar die Verschwendung von Materialien und Energie. Marx stellt fest, dass „der wirkliche Wert einer Ware (...) nicht durch die Arbeitszeit gemessen (wird), die sie im einzelnen Fall dem Produzenten tatsächlich kostet, sondern durch die gesellschaftlich zu ihrer Produktion erheischte Arbeitszeit“ (MEW 23: 336). Die Konkurrenz bestraft also exzessiven Durchsatz von Stoff und Energie, indem sie die im Produkt tatsächlich vergegenständlichte Arbeitszeit nicht als notwendige und wertschaffende Arbeit anerkennt. In diesem Sinne „darf kein zweckwidriger Konsum von Rohmaterial und Arbeitsmitteln stattfinden, weil vergeudetes Material oder Arbeitsmittel überflüssig verausgabte Quanta vergegenständlichter Arbeit darstellen, also nicht zählen und nicht in das Produkt der Wertbildung eingehn“ (MEW 23: 210). Dieser „zweckwidrige Konsum“ schließt auch alle Formen von Abfällen (bei Marx: Exkrementen) ein, die „wieder neue Produktionsmittel und daher neue selbständige Gebrauchswerte bilden“ können – zumindest insoweit Konkurrenten in der Lage sind, die dazu

---

5 „Unter Rohstoff werden hier auch die Hilfsstoffe einbegriffen, wie Indigo, Kohle, Gas etc. Ferner, soweit die Maschinerie in dieser Rubrik in Betracht kommt, besteht ihr eigener Rohstoff aus Eisen, Holz, Leder etc. (...) Selbst in Industriezweigen, worin kein eigentlicher Rohstoff eingeht, geht er ein als Hilfsstoff oder als Bestandteil der Maschine usw.“ (MEW 25: 116).

6 In diesen Zusammenhang diskutiert Marx auch die für den Kapitalismus spezifische „Vorbildung“. Sie betrifft das „Arbeitsmaterial auf den verschiedensten Stufen der Verarbeitung und aus Hilfsstoffen. Mit der Stufenleiter der Produktion und der Steigerung der Produktivkraft der Arbeit durch Kooperation, Teilung, Maschinerie usw. wächst die Masse des Rohmaterials, der Hilfsstoffe etc., die in den täglichen Reproduktionsprozeß eingehn“ (MEW 24: 143).

notwendigen Recyclingtechnologien einzusetzen (MEW 23: 220). „Mit der kapitalistischen Produktionsweise“, so Marx Argument, „erweitert sich die Benutzung der Exkremate der Produktion und Konsumtion“ (MEW 25: 110). Allerdings findet die konkurrenzvermittelte Ökonomisierung und das Recycling unter den Bedingungen wachsender Arbeitsproduktivität statt, d.h. bei stetig zunehmender Menge von Materie und Energie, die in Waren verwandelt wird. Denn „für jeden einzelnen Kapitalisten“ existiert „das Motiv, die Ware durch erhöhte Produktivkraft der Arbeit zu verwohlfeilern“ (MEW 23: 336). Indem sie die Kosten für die produzierte Ware senken, können diese Kapitalisten einen Extraprofit und/oder größere Marktanteile realisieren. Obgleich die Unternehmen unter dem Druck stehen den Durchsatz von Stoff und Energie auf oder möglichst unter den normalen Stand zu senken, wächst dieser normale Stand, da der Output pro Stunde beständig steigt.

Darüber hinaus kommt es zur Steigerung dieses Durchsatzes auf Grund des „moralischen Verschleißes“ des fixen Kapitals. Dieser hat seinen Grund in der Weiterentwicklung von Produktionstechnologien oder in der wachsenden Arbeitsproduktivität der Industrien, in denen diese hergestellt werden (MEW 23: 426f.). Durch den moralischen Verschleiß „zwingt der Konkurrenzkampf“ die einzelnen Kapitalisten „die alten Arbeitsmittel vor ihrem natürlichen Lebensende durch die neuen zu ersetzen“ – eine ökologisch höchst bedenkliche Beschleunigung des Stoffdurchsatzes (MEW 24: 171) siehe auch (Horton 1997). Die ständige Bedrohung durch moralischen Verschleiß verleitet individuelle Unternehmen dazu, den Umschlag ihres fixen Kapitals durch die Verlängerung von Betriebszeiten und die Intensivierung des Arbeitsprozesses zu beschleunigen, was wiederum den normalen Durchsatz von Stoff und Energie weiter erhöht (MEW 25: 120ff.). Im fortgeschrittenen Kapitalismus wird die Beschleunigung des Umschlags auch auf Konsumgüter (PCs, Fernseher, Audio- und Küchengeräte, etc.) ausgedehnt und die entropischen Dynamiken wird noch schlimmer (Huws 1999: 29-55; Strasser 1999).

Vor diesem Hintergrund wird auch Engels Kritik an Podolinskys Versuch, die Energieproduktivität der landwirtschaftlichen Arbeit zu berechnen, besser verständlich. Aus der Marxschen Perspektive übersetzt sich die kapitalistische Entwicklung der Produktivkräfte in einen wachsenden Durchsatz von Stoff und Energie pro Arbeitsstunde. In seiner Antwort auf Podolinsky stellte Engels fest: „Ob nun die durch Aufwendung der 10.000 WE [Wärmeeinheiten] der täglichen Nahrung fixierten *neuen* 5.000, 10.000, 20.000 oder eine Million betragen, das hängt allein von dem Entwicklungsgrad der Produktionsmittel ab“ (MEW 35: 134, Hervorh. i. O.). Mit anderen Worten: Die Menge an Energie, die in jeder Arbeitsstunde (zeitweilig) stabilisiert wird, hängt von der gesamten Menge an Stoff und Energie ab, die pro Stunde verarbeitet wird, sowie von der Menge an Hilfsenergie, die pro Output-Einheit verbraucht wird – beide Werte wiederum korrelieren mit dem Entwicklungsstand der Produkti-

on. Angesichts der Tatsache, dass das Wachstum der Arbeitsproduktivität im Kapitalismus generell mit einem Wachstum des stofflichen Durchsatzes einher geht, stellt Podolinskys Versäumnis, neben der Arbeit noch andere Inputs in seine Kalkulation aufzunehmen, in der Tat einen schwerwiegenden Fehler dar. Denn „der Energiewert der Hilfsstoffe“ (ebd.) muss ebenfalls berücksichtigt werden – und das sogar mit wachsender Bedeutung. Das Fazit besteht darin, so Engels an Marx, „dass der arbeitende Mensch nicht nur ein Fixierer *gegenwärtiger*, sondern ein noch viel größerer Verschwender *vergänger* Sonnenwärme ist. Was wir in Verschleuderung von Energievorräten, Kohlen, Erze, Wälder usw. leisten, kennst Du besser als ich“ ebd., Hervorh. i. O.).<sup>7</sup>

#### 4. Der Riss des Stoffwechsels und die Entropie

Engels Kritik an Podolinskys energiereduktionistischem Ansatz ist absolut konsistent mit Marx' komplexen Überlegungen zum Energiestoffwechsel von Lohnarbeit und kapitalistisch-industrieller Akkumulation. Für Marx ist die kapitalistische Ökonomie ein offenes System, das auf Inputs in Form von Arbeitskraft und nicht-menschlicher Materie und Energie beruht. Marx betont die Tendenz des Kapitalismus, Land und Boden zu erschöpfen und auszuplündern und den Arbeiter auszubeuten. Anders ausgedrückt argumentiert Marx, dass das Stoffwechselsystem, welches die produktiven Kapazitäten der Arbeit und des Bodens reproduziert, für negative Schocks durch die mit ihm eng verbundene industrielle Kapitalakkumulation hoch empfänglich ist.

Es ist daher kein Zufall, dass Marx den letzten Abschnitt des Kapitels über *Maschinerie und große Industrie* wählt, um die These zu entwickeln, dass der Kapitalismus „zugleich die Springquellen alles Reichtums untergräbt: die Erde und den Arbeiter“ (MEW 23: 530). Für Marx war der systematische und intensive Raubbau am Boden und die Ausbeutung des Arbeiters eine zentrale Konsequenz der Industrialisierung der Landwirtschaft. Marx bezieht sich dabei auf Liebig's Theorie der biochemischen Reproduktionszyklen und argumentiert, dass der Kapitalismus „den Stoffwechsel zwischen Mensch und Erde“ stört (MEW 23: 528). Vor allem führt die kapitalistische Entwicklung zu einer Konzentration der Bevölkerung und der Industrie in urbanen Zentren, was „die Rückkehr der vom Menschen in der Form von Nahrungs- und Kleidungs-

7 Energetische Überlegungen wurden von Engels alles andere als ignoriert. Er orientierte sich eng an Marx' Analyse des kapitalistischen Produktivitätswachstums und entwickelte eine große Sensibilität dafür, dass eine fehlerhafte Spezifikation der relevanten Dimensionen des Energieverbrauchs zu irreführenden Ergebnissen führen kann. In diesem Sinne betonen Giampietro und Pimentel, zwei führende Experten auf diesem Gebiet, dass die Bedeutung „der Auswahl von Raum- und Zeitbezügen für die Feststellung des Energiebedarfs der menschlichen Arbeit“ kaum zu überschätzen ist (Giampietro/Pimentel 1991: 119). Engels Methode der Energiekalkulation umfasst im Gegensatz zu der von Podolinsky die gesamte Energie, die auf einer gesellschaftlichen Ebene benötigt wird, damit die Arbeiter arbeiten können.

mitteln vernutzten Bodenbestandteile zum Boden, also die ewige Naturbedingung dauernder Bodenfruchtbarkeit“ verhindert (ebd).<sup>8</sup> Die kapitalistische Teilung von Stadt und Land stört den reproduktiven Zyklus des Bodens.

Im dritten Band des *Kapital* nimmt Marx dieses Thema in seinen Überlegungen über die Ursprünge der landwirtschaftlichen Grundrente wieder auf und kritisiert den mit der kapitalistischen Industrialisierung verbundenen „Riss“ des Stoffwechsels. Dort argumentiert er:

„Auf der anderen Seite reduziert das große Grundeigentum die agrikole Bevölkerung auf ein beständig sinkendes Minimum und setzt ihr eine beständig wachsende, in großen Städten zusammengedrängte Industriebevölkerung entgegen; es erzeugt dadurch Bedingungen, die einen unheilbaren Riß hervorrufen in dem Zusammenhang des gesellschaftlichen und durch die Naturgesetze des Lebens vorgeschriebnen Stoffwechsels, infolge wovon die Bodenkraft verschleudert und diese Verschleuderung durch den Handel weit über die Grenzen des eignen Landes hinausgetragen wird.“ (MEW 25: 821)

Der Stoffwechselriss zwischen Stadt und Land, der durch das industriekapitalistische System erzeugt wird, zerstört sowohl die Arbeitskraft als auch den Boden, zwei Elemente, die – obwohl der Kapitalismus sie als voneinander zu trennende externe Produktionsbedingungen behandelt – ein gemeinsames Stoffwechselsystem konstituieren. Um noch einmal Marx zu zitieren:

„[D]as große Grundeigentum [untergräbt] die Arbeitskraft in der letzten Region, wohin sich ihre naturwüchsige Energie flüchtet, und wo sie als Reservefonds für die Erneuerung der Lebenskraft der Nationen sich aufspeichert, auf dem Lande selbst. Große Industrie und industriell betriebene große Agrikultur wirken zusammen. Wenn sie sich ursprünglich dadurch scheiden, daß die erste mehr die Arbeitskraft und daher die Naturkraft des Menschen, die letztere mehr direkt die Naturkraft des Bodens verwüestet und ruiniert, so reichen sich später im Fortgang beide die Hand, indem das industrielle System auf dem Land auch die Arbeiter entkräftet und Industrie und Handel ihrerseits der Agrikultur die Mittel zur Erschöpfung des Bodens verschaffen.“ (MEW 23: 821)

Marx' Analyse stimmt mit dem zentralen Konzept des agrarwirtschaftlich-chemischen Paradigmas von Liebig vollständig überein: der Idee eines „Zyklus der für die Reproduktion organischer Strukturen konstitutiver Prozesse“ (Krohn/Schäfer 1983: 32). Dieses Konzept ist nicht energiereduktionistisch und befindet sich im Einklang mit dem ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Mit Krohn und Schäfer lässt sich feststellen, dass „pflanzliches und tierisches Leben zusammen mit metereologischen Prozessen bestimmte ‚Substanzen‘ zirkulieren; neben den irreversiblen Transformationen von Wärme und Energie ‚brauchen‘ Lebensprozesse die Natur nicht ‚auf‘, sondern reproduzieren die Bedingungen für ihr Fortbestehen“ (ebd.).

Der kapitalistische Angriff auf die biochemischen Prozesse, die notwendig

---

8 „Exkremete der Konsumtion sind die natürlichen Ausscheidungsstoffe der Menschen, Kleiderreste in Form von Lumpen usw. Die Exkremete der Konsumtion sind am wichtigsten für die Agrikultur. In Beziehung auf ihre Verwendung findet in der kapitalistischen Wirtschaft eine kolossale Verschwendung statt“ (MEW 25: 110).

sind, um das Mensch-Boden-System zu erhalten, erzeugt keine Materie oder Energie und vernichtet sie auch nicht, aber er beeinträchtigt den reproduktiven Stoffwechsel. Diese zerstörerische Tendenz kann als eine Form der Dissipation von Stoff und Energie betrachtet werden. Aus Marx' Perspektive stellt sich dieses Phänomen – das in gewissem Maße der Produktion inhärent ist – noch dramatischer dar, und zwar auf Grund der spezifisch kapitalistischen Form der Industrie, die auf der sozialen Trennung der Produzenten vom Land und anderen notwendigen Produktionsbedingungen basiert. Umgekehrt bedeutet dies, dass es eine gesellschaftliche Perspektive gibt, die systemische Wiederherstellung des reproduktiven Stoffwechsels auf der Grundlage des Bodens als „regelndes Gesetz der gesellschaftlichen Produktion und in einer der vollen menschlichen Entwicklung adäquaten Form“ zu erreichen (MEW 23: 528). Dazu jedoch bedürfte es der „Kooperation und des Gemeinbesitzes der Erde und der durch die Arbeit selbst produzierten Produktionsmittel“ basierend auf der „Verwandlung (...) kapitalistischen Eigentums in gesellschaftliches“ (MEW 23: 791).

## 5. Schlussfolgerungen

„Die Idee einer Naturgeschichte als integralem Bestandteil des Materialismus“, so Ilya Prigogine, Chemienobelpreisträger von 1977,

„wurde von Marx und mehr noch von Engels vertreten. Die aktuellen Entwicklungen der Physik und insbesondere die Entdeckung der konstruktiven Rolle der Irreversibilität haben innerhalb der Naturwissenschaften die Frage aufkommen lassen, die von den Materialisten schon seit langem gestellt wurde. Die Natur zu verstehen bedeutete für den Materialismus stets, sie in ihrer Fähigkeit zu begreifen, den Menschen und die menschlichen Gesellschaften zu produzieren. Darüber hinaus schienen die physikalischen Wissenschaften zu der Zeit als Engels seine Dialektik der Natur schrieb, eine mechanische Weltanschauung mehr und mehr abzulehnen. Stattdessen wendeten sie sich verstärkt der Idee einer historischen Entwicklung der Natur zu. Engels erwähnt drei fundamentale Entdeckungen: Energie und die Gesetze ihre qualitativen Transformationen, die Zelle als die Basiskonstituente des Lebens, und Darwins Entdeckung der Evolution der Arten und Gattungen. Engels kam zu der Überzeugung, dass das mechanistische Weltverständnis am Ende war.“ (Prigogine/Stengers 1984: 252f.)

Leider sträubten sich viele Materialisten und Sozialisten des 19. Jahrhunderts dagegen, sich von einem mechanistischen Weltbild zu verabschieden. Im Gegensatz zu Marx und Engels waren sie sich nicht darüber im Klaren, dass das rigide, mechanistische Naturverständnis mittlerweile von einer Naturwissenschaft abgelöst worden war, die zunehmend historische Züge trug (sich also mit der Irreversibilität von Naturprozessen beschäftigte). Dem sogenannten „wissenschaftlichen Materialismus“ mangelte es an einem dialektischen Verständnis. Der kartesische Dualismus hatte zum einen rationalistische und idealistische Konzepte des Geistes und zum anderen ein mechanistisches Verständnis der Tierwelt und des Körpers befördert. Es kann daher nicht überraschen, dass eine der ersten Reaktionen auf Carnots Fortschritte in der Ther-

modynamik – sein ideales Kreislaufmodell, das von einem geschlossenen und reversiblen System ausgeht – darin bestand, die Tätigkeit von Menschen und Tieren mit dem Wirken einer Dampfmaschine gleichzusetzen. Dies war in vielen vergleichenden Studien über menschliche Arbeit, Pferde- und Dampfkraft der Fall, mit denen sich Marx und Engels beschäftigten (siehe Morton 1859: 53-68, vgl. MEW 23: 396f., Fußnote 96).

Podolinsky übertrug Carnots Modell unmittelbar auf die soziale Welt und behauptete kühn, dass menschliche Arbeit eine „perfekte Maschine“ sei – eine Art Dampfmaschine, die sich selbst in Gang zu setzen vermag. Obwohl er mit seinem Vergleich auf eine Reihe wichtiger Aspekte hinweisen konnte, fiel er einer kruden Mechanik und einem Energiereduktionismus anheim. Die Frage der Arbeitskraft wurde aus ihrem historischen und sozialen Kontext, aus allen qualitativen Transformationen der Natur, sowie aus dem Beziehungskomplex zwischen Mensch und Natur herausgelöst, und wurde aus einer rein mechanistischen und quantitativen Perspektive betrachtet. Im Glauben, den Schlüssel zu einer physikalischen Untermauerung der Arbeitswerttheorie gefunden zu haben, verlor Podolinsky den Blick für die qualitativen Beziehungen zwischen Natur, Arbeit und Gesellschaft, die der Marxschen Werttheorie zu Grunde liegen. Indem Podolinsky Carnots geschlossenes und reversibles Maschinenmodell auf die wirkliche Welt der menschlichen Arbeit anwandte, leugnete er, dass Arbeit in irreversible Prozesse eingebunden ist, bzw. dass Entropie auch für die menschliche Arbeit eine Rolle spielt. Gleichzeitig vernachlässigte er in seiner Analyse die Komplexität der Transformationen von Mensch und Natur und sogar viele quantitative/energetische Aspekte, zum Beispiel das solare Energieeinkommen und die Nutzung von Kohle und Düngemitteln.

Für Podolinsky war die Produktion und Akkumulation von Wert im Prinzip das gleiche wie die Akkumulation von terrestrischer Energie durch die Verausgabung menschlicher Arbeit – die Verhinderung der Zerstreung von Wärme und Energie zurück in den Raum. Podolinsky wusste nicht (und man kann das rückblickend auch nicht von ihm erwarten), was Wissenschaftlern heute klar ist: „Es besteht ein Gleichgewicht zwischen den Energiemengen, die die Erde absorbiert und die sie zurück in den Weltraum reflektiert. Wenn der Planet weniger Energie zurückstrahlt als er aufnimmt, dann erwärmt er sich. Er beginnt stärker zu ‚leuchten‘ und strahlt mehr Energie ab, bis ein neues Gleichgewicht entsteht“ (Alley 2000: 132). Genau das ist gegenwärtig bei der globalen Erderwärmung der Fall. Durch den Ausstoß von Kohlenstoff und andere Treibhausemissionen in die Atmosphäre hat die Menschheit genau das erreicht, was Podolinsky vorschwebte: eine zunehmende Speicherung von Energie auf der Erde. Die Folgen dieses Prozesses bedrohen heute freilich das gesamte Leben.

Die Tatsache, dass Marx und Engels Podolinskys mechanistischer und reduktionistischer Anwendung quantitativer Energetik auf die menschliche Arbeit

(und implizit damit auch auf die Schaffung von Wert) nicht folgten, bedeutet nicht, dass sie die Thermodynamik ablehnten oder in Energiefragen nicht kundig waren. Im Gegenteil: Die Begründer des historischen Materialismus verfolgten die Entwicklung der physikalischen Wissenschaften sehr genau und achteten darauf, dass ihre Analysen mit den neuesten Entwicklungen der Thermodynamik, Evolutionstheorie usw. im Einklang standen. Ihr dialektisches Denken und ihre Betonung des qualitativen Charakters von Energie-transformationen (zusammen mit ihrem Stoffwechselansatz im weiteren Sinn) verhinderten, dass sie sich einer kruden Energetik hingaben. Mit Blick auf den irreversiblen Charakter des Produktionsprozesses kritisierte Engels, dass Podolsky die Verschwendung von Kohle und anderer begrenzter Ressourcen durch die kapitalistische Industrialisierung nicht erfasst hatte. Der sowjetische Physiker und Wissenschaftssoziologe Boris Hessen stellte schon früh fest, dass „Engels’ Anwendung des Gesetzes der Energieerhaltung und -umwandlung dessen qualitativen Aspekt betont. Im Unterschied dazu herrscht in der modernen Physik ein Verständnis vor, welches das Gesetz auf den rein quantitativen Aspekt der Transformation von Energie reduziert“ (Hessen 1931: 203).

Was Marx und Engels mit ihrem historisch-dialektischen Materialismus geschaffen haben, ist eine Theorie des kapitalistischen Arbeits-, Produktions- und Akkumulationsprozesses, die nicht nur mit den Hauptkenntnissen der thermodynamischen Debatten ihrer Zeit konsistent ist, sondern auch außergewöhnlich offen ist gegenüber ökologischen Gesetzen. Obwohl sie den quantitativen Aspekten des Energietransfers Aufmerksamkeit schenkten, betonten sie auch die qualitativen Transformationen, die mit solchen Transfers einhergehen. Ihre Analysen sind frei von mechanistischen oder reduktionistischen Modellannahmen. Gleichzeitig entwickelte Marx eine komplexe Theorie des Stoffwechselcharakters des menschlichen Arbeitsprozesses und des Stoffwechsels, der innerhalb des Kapitalismus entsteht. Auf Grund seiner Analyse erkannte er nicht nur, dass auch Stoffe eine Rolle spielen („matter matters“), sondern zeigte sich aufgeschlossen gegenüber biochemischen Prozessen des Lebens und der damals entstehenden Evolutionstheorie. Im Gegensatz zu den gängigen Vorurteilen steht der klassische Marxismus der Ökologischen Ökonomie also sehr nahe und ist in vielerlei Hinsicht ein Vorläufer der führenden Tradition der Umweltsoziologie in den Vereinigten Staaten: der neomarxistischen „treadmill of production“-Perspektive, die insbesondere mit der Arbeit von Alan Schnaiberg verbunden ist.<sup>9</sup> In der Tat ist Marx’ Analyse von Stoffwechsel und Energie ein Wegbereiter und in verschiedener Hinsicht eine tiefer gehende theoretische Ausarbeitung des Tretmühlenmodells. Marx selbst

---

9 Die grundlegende Arbeit über das Konzept der „Tretmühle der Produktion“ stammt von Alan Schnaiberg (1980). Für aktuellere Beiträge zu dieser Strömung der Umweltsoziologie siehe etwa York/Foster (2004/2005).

hatte über die „Tretmühle“ im Bezug auf die Arbeitsstandards seiner Zeit geschrieben, den Begriff aber auch im Sinne einer Metapher benutzt: Dabei ging es ihm um Formen der Produktion, unter denen sich die menschlichen Lebensbedingungen verschlechtern, und die, da sie dem Fortbestehen unverzichtbarer Lebensgrundlagen entgegenwirken, aus ökologischer Sicht nicht nachhaltig sind. Für Marx war dies ein Bestandteil der „Barbarei“, die innerhalb der bürgerlichen Gesellschaft fortexistierte (MEW 6: 151f.; 553; Foster 2005: 7-18). Die Ökologischen Ökonomen – und die Umweltsoziologen mit ihrem neo-marxistischen Tretmühlenmodell – betonen, dass das gegenwärtige Wachstumsmodell die solaren Grenzen (und generell die Grenzen der Umwelt) im Hinblick auf eine nachhaltige menschliche Produktion verletzt. In verschiedener Hinsicht hat Marx dies bereits im Rahmen seiner komplexen Theorie des Stoffwechselsrisses erkannt. Der britische Umweltsoziologie Peter Dickens schreibt:

„Marx leistete nicht weniger als eine Analyse dessen, was heute als ‚ökologische Nachhaltigkeit‘ bezeichnet wird. Insbesondere entwickelte er die Idee, dass die kapitalistische Gesellschaft einen ‚Riss‘ in den Stoffwechselbeziehungen zwischen Menschheit und Natur hervorbringt. (...) Der Begriff des ökologischen Risses, der Menschheit und Natur voneinander trennt und die Prinzipien ökologischer Nachhaltigkeit verletzt, ist nach wie vor hilfreich für das Verständnis aktueller sozialer und ökologischer Risiken. Diese Risiken nehmen immer mehr globale Dimensionen an. Der Grund dafür ist, dass sie direkt ökologische Zusammenhänge betreffen, die auf der globalen Ebene wirken.“ (Dickens 2004: 80f.)<sup>10</sup>

Der Kontrast zu Podolinskys Vision der Energieakkumulation als Schlüssel zur menschlichen Produktivität – eine extreme Version des „Produktionismus“, die ihren Ursprung in einer mechanistischen Weltanschauung hat – könnte kaum stärker sein. Obwohl Marx die Notwendigkeit sah, die produktiven Fähigkeiten des Menschen weiter zu entwickeln, erkannte er, dass der Kapitalismus den Riss zwischen Menschheit und Natur vergrößert. Sowohl Marx als auch Engels waren sich in hohem Maße ökologischen Problemen wie des Raubbaus am Boden, der Übernutzung natürlicher Ressourcen und der Produktion von Abfall bewusst – also des Zeitpeils der Umwelt. Sogar die Möglichkeit des Klimawandels auf Grund von Naturzerstörung durch den Menschen zogen sie in Betracht. Für Marx waren Umweltprobleme nicht mechanisch zu lösen (so wie etwa im Konzept der „perfekten Maschine“), sondern nur sozial – vor allem durch die Schaffung einer Gesellschaft assoziierter Produzenten, die in der Lage sind, den Stoffwechsel zwischen Gesellschaft und Natur rational zu regulieren. Marx' organische Synthese eines Materialismus, der auf dem Modell eines offenen Systems beruht, und einer Klassenanalyse

---

10 Richard York, Eugene Rosa und Thomas Dietz integrieren Marx' Konzept des Stoffwechselsrisses und das Tretmühlenmodell in eine Analyse des Klimawechsels (York, et al. 2003: 31-51). Für eine allgemeinere theoretische Analyse der Beziehung zwischen dem Stoffwechselsriss und globaler Erwärmung siehe Clark/York (2005a: 391-428). Zum Zusammenhang zwischen Stoffwechselsriss und ökologischem Imperialismus siehe Foster/Clark (2004: 186-201).

kann uns helfen, die Kritik der aktuellen Ökologischen Ökonomie und der radikalen Umweltsoziologie zu verbreitern und zu vertiefen.

Wie lassen sich die bemerkenswerten ökologischen Einsichten von Marx erklären? Letztendlich mag es daran liegen, dass die Dialektik für die ökologischen Wissenschaften von so großer Bedeutung ist (siehe dazu Levins/Lewontin 1985; Clark/York 2005b: 13-22). Eine auf dem historisch-dialektischen Marx-schen Fundament beruhende ökologische Kritik der existierenden Ökonomie geht tiefer; zugleich weist sie allen Mechanismus und Reduktionismus sowie alle Formen einer rigiden Trennung von Natur und Gesellschaft zurück. Viele Fragen, mit denen sich die Ökologische Ökonomie und die Tretmühlentheoretiker in der Umweltsoziologie derzeit beschäftigen – vor allem im Hinblick auf die soziale Dynamik, die der kapitalistischen Umweltzerstörung zugrunde liegt – lassen sich im Rahmen des klassischen Marxismus und seiner theoretischen Weiterentwicklungen beantworten.

*Übersetzung aus dem Englischen von Henrik Lebuhn*

## Literatur

- Alley, Richard B. (2000): *The Two-Mile Time Machine*, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Baksi, Pradip (1996): Karl Marx's Study of Science and Technology, in: *Nature, Society, and Thought*, 9. Jg, Nr. 3, S. 261–296.
- Benton, Ted (1989): Marxism and Natural Limits, in: *New Left Review*, Nr. 178.
- Burkett, Paul (2005): Entropy in Ecological Economics: A Marxist Intervention, in: *Historical Materialism*, 13. Jg, Nr. 1.
- (1998): Labor, Eco-Regulation, and Value, in: *Historical Materialism*.
- (1999): *Marx and Nature*, New York: St. Martin's Press.
- (2006): *Marxism and Ecological Economics: Toward a Red and Green Political Economy*, Leiden, The Netherlands: Brill.
- (2003): The Value Problem in Ecological Economics: Lessons from the Physiocrats and Marx, in: *Organization & Environment*, 16. Jg, Nr. 2, S. 137–167.
- Cardwell, D.S.L. (1971): *From Watts to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*, Ithaca: Cornell University Press.
- Carnot, Sadi (1977): *Reflections on the Motive Power of Fire*, Gloucester, MA: Peter Smith.
- Clark, Brett; York, Richard (2005a): Carbon metabolism: Global capitalism, climate change, and the biospheric rift, in: *Theory and Society*, 34. Jg, Nr. 4.
- (2005b): Dialectical Nature: Reflections in Honor of the 20th Anniversary of Levins and Lewontin's The Dialectical Biologist, in: *Monthly Review*, 57. Jg, Nr. 1.
- Daly, Herman E. (1968): On Economics as a Life Science, in: *Journal of Political Economy*, 76. Jg, Nr. 2.
- (1981): Postscript: Unresolved Problems and Issues for Further Research, in: Daly, Herman E.; Umana, Alfred F. (Hg.), *Energy, Economics, and the Environment*, S. 165–185. Boulder, CO: Westview.
- (1992): *Steady-state Economics, Second Edition*, London: Earthscan.
- Dickens, Peter (2004): *Society and Nature: Changing Our Environment, Changing Ourselves*, Cambridge, UK: Polity.
- Foster, John Bellamy (2000): *Marx's Ecology*, New York: Monthly Review Press.
- (2005): The Treadmill of Accumulation, in: *Organization & Environment*, 18. Jg, Nr. 1.
- Foster, John Bellamy; Burkett, Paul (2000): The Dialectic of Organic/Inorganic Relations: Marx and the Hegelian Philosophy of Nature, in: *Organization & Environment*, 13. Jg, Nr. 4.

- (2001): Marx and the Dialectic of Organic/Inorganic Relations, in: *Organization & Environment*, 14. Jg, Nr. 4.
- Foster, John Bellamy; Clark, Brett (2004): Ecological Imperialism: The Curse of Capitalism, in: Panitch, Leo; Leys, Colin (Hg.), *Socialist Register 2004: The New Imperial Challenge*, New York: Monthly Review Press.
- Georgescu-Roegen, Nicholas (1975): Energy and Economic Myths, in: *Southern Economic Journal*, 41. Jg, Nr. 3, S. 347-381.
- Giampietro, Mario; Mayumi, Kozo (2004): Complex Systems and Energy, in: *Encyclopedia of Energy, Vol. I*. Cleveland, Cutler (Hg.). San Diego: Elsevier.
- Giampietro, Mario; Pimentel, David (1991): Energy Efficiency: Assessing the Interaction Between Humans and Their Environment, in: *Ecological Economics*, 4. Jg, Nr. 2.
- Hessen, Boris (1931): The Social and Economic Roots of Newton's 'Principia', in: *Science at the Cross Roads*. al., Nikolai Bukharin et. al (Hg.). London: Frank Cass and Co., 1971.
- Horton, Stephen (1997): Value, Waste and the Built Environment: A Marxian Analysis, in: *Capitalism, Nature, Socialism*, 8. Jg, Nr. 1.
- Huws, Ursula (1999): Material World: The Myth of the Weightless Economy, in: Panitch, Leo, Leys, Colin (Hg.), *Socialist Register 1999: Global Capitalism versus Democracy*, New York: Monthly Review Press.
- Krohn, Wolfgang; Schäfer, Wolf (1983): Agricultural Chemistry: The Origin and Structure of a Finalized Science, in: Schäfer, Wolf (Hg.) *Finalization in Science*, Boston: D. Reidel.
- Levins, Richard; Lewontin, Richard (1985): *The Dialectical Biologist*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lindley, David; Kelvin, Degrees (2004): *A Tale of Genius, Invention, and Tragedy*, Washington, DC: Joseph Henry Press.
- Martinez-Alier, Juan (1997): Some Issues in Agrarian and Ecological Economics. In Memory of Nicholas Georgescu-Roegen, in: *Ecological Economics*, 22. Jg, Nr. 3.
- Morton, John Chalmers (1859): On the Forces Used in Agriculture, in: *Journal of the Society of the Arts*, Nr. 9. Dezember 1859.
- Parkinson, Eric (1999): Talking Technology, in: *Journal of Technology Education*, 11. Jg, Nr. 1.
- Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle (1984): *Order out of Chaos*, New York: Bantam Books.
- Schnaiberg, Alan (1980): *The Environment: From Surplus to Scarcity*, New York: Oxford University Press.
- Smil, Vaclav (1991): *General Energetics*, New York: John Wiley and Sons.
- Smith, Crosbie (1998): *The Science of Energy: A Cultural History of Energy and Physics in Victorian Britain*, London: The Athlone Press.
- Strasser, Susan (1999): *Waste and Want: A Social History of Trash*, New York: Henry Holt and Company.
- Willis, Robert (1851): *A System of Apparatus for the Use of Lecturers and Experimenters in Mechanical Philosophy*, London: John Weale.
- York, Richard; Rosa, Eugene; Dietz, Thomas (2003): A Rift in Modernity? Assessing the Anthropogenic Sources of Global Climate Change with the Stirpat Model, in: *International Journal of Sociology and Social Policy*, 23. Jg, Nr. 10.
- York, Richard; Foster, Bellamy John (2004/2005): The Environment and the Treadmill of Production, in: *Organization & Environment*, two-part special issue, 17/3 & 18/1.