

Energiebedarf aus ökologischer Perspektive: Wie die Energie das Leben bestimmt

Die Zukunft wird zeigen, ob es der Menschheit gelingt, ein Gleichgewicht zwischen dem Energieverbrauch und dem Erhalt der Lebensbedingungen zu finden. Werner Bergmann versucht in seinem Beitrag, auf die wesentlichen historisch-gesellschaftlichen Prozesse einzugehen, die mit der Energienutzung hervorgebracht wurden. Ausgehend vom Klimawandel geht er dabei auf die Ausformung des Wirtschaftslebens, die Energienutzung, die vorhandenen Strategien zur Problembewältigung und deren Grenzen ein. Dabei kommt er zum Ergebnis, dass der Riss zwischen Menschen und nichtmenschlicher Natur durch Gestaltung einer Kreislaufwirtschaft überwunden werden könne.

Alles begann mit dem Feuer. Der prähistorische Mensch lernte, das Feuer zu zähmen, zu nutzen und zu einem Teil der eigenen Gesellschaft zu machen. (Soentgen 2023). Feuer ist ein chemischer Prozess, der Wärme und Licht erzeugt, Energie wird verfügbar. Die gezielte Nutzung der Energie erlaubte die Gestaltung der Lebenswelt und des Lebensraums – unabhängig von der ökologischen Ordnung. Die Nutzung und Beherrschung des Feuers beruhten zuerst auf der Verbrennung von natürlichen Stoffen wie Holz, Torf und Dung. Der gezielte Umgang und die kulturelle Nutzung des Feuers ermöglichten es den Menschen, eine ökologische Nische zu schaffen. Mit dem Verlassen der Jäger-und-Sammler-Situation entstanden die agrarischen Gesellschaften in einem Zeitraum von wenigen tausend Jahren. Sie beruhten auf einer Nutzung der Solarenergieströme, dabei wurden vor allem biologische Energiereserven (Pflanzen und Tiere) genutzt (Horn/Bergthaller 2019: 156). Das Feuer spielte weiterhin eine zentrale Rolle: Es ermöglichte die Entwicklung keramischer Gefäße und anderer Gerätschaften für die Verbesserung und Aufbewahrung von Nahrung (Soentgen 2023: 56). Energie ist also die Voraussetzung von allem Leben auf Erden, sie ermöglicht Wachstum und Werden.

Mit dem häufig behaupteten Wandel zum *Anthropozän* hat sich ein neuer verstärkter Eingriff der Menschen in die Natur ergeben. Physikalische Klimamodelle erklären, wie das Erdklima zu verstehen ist und warum die Menschen in einem angenehmen Temperaturbereich leben können. Ausgehend von der Sonneneinstrahlung werden die Fälle ungehinderter Abstrahlung mit dem Ergebnis globaler Temperatur -18°C, Treibhauseffekt ohne Konvektion + 35°C und Treibhauseffekt mit Konvektion +17°C betrachtet. Konvektion entsteht, wenn die aufgewärmte Luft aufsteigt, sich in der Atmosphäre abkühlt und wieder herunterfällt. So ergibt sich ein neues Gleichgewicht. Die Modellergebnisse belegen mit dem gegebenen Wert von +15°C ein Gleichgewicht vor Beginn der industriellen Revolution. Ab der Nutzung von Kohle, später Erdgas und Öl, um zusätzliche Energie zu verbrauchen, gelangen zusätzliche Treibhausgase in die Erdatmosphäre und führen letztlich zur beobachtenden Erderwärmung.

Energie ist die Fähigkeit Arbeit zu verrichten, um zum Beispiel eine Bewegung zu bewirken oder in Form elektromagnetischer Strahlung in Erscheinung zu treten. Ausgangspunkt ist zuallererst Verbrennung, welche Wärme und Licht erzeugt. Wesentlich sind die physikalischen Eigenschaften der Energie beschrieben im ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Der erste Hauptsatz, der Energieerhaltungssatz, besagt, dass alle Energieformen miteinander verwandt sind und bei Umwandlung die Summe aller Energien in

einem geschlossenen System konstant bleibt, erstmals definiert von J. R. Mayer (1840), Helmholtz (1847) und Clausius (1850) (vgl. Prigogine/Stengers 1990: 116ff.).ⁱ Der zweite Hauptsatz formuliert Bedingungen der Umwandlung. Dieser Satz besagt, dass die Umwandlungen real und mit Energiedegradation verbunden sind. Dies führt zur Einführung der physikalischen Größe *Entropie*. Damit wurde die Zeit mit einer bevorzugten Richtung ausgestattet. Die newtonsche Physik hat keinen Zeitbegriff, die Gesetze gelten gleich in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Die Entropie dagegen unterscheidet zwischen Vergangenheit und Zukunft. Wärme fließt natürlicherweise vom warmen zum kalten Körper (Rovelli 2018: 25). Entropie bestimmt Gleichgewichtszustände von höherer Entropie (weitgehend geordnet) zu neuem Gleichgewicht mit niedriger Entropie (zunehmend ungeordnet), vorgegeben durch die negative Definition des Zeitpfeils. Es ergibt sich ein Zeitablauf. Anders definiert wird hier die Energie in Form hoher Wärme nach Umwandlung durch Dissipation in niedrige Wärme geändert. Die Nutzung niedriger Wärme ist begrenzt und physikalisch aufwendig. Das wird heute gesellschaftlich viel diskutiert bei der Umwandlung von niedriger Lufttemperatur in Heizungstemperatur mittels zusätzlicher elektrischer Energie durch die Wärmepumpe.

Dies führt zu Fragen zur Natur, zum biologischen Wachstum, zum Werden und zur Ökologie. Wenn wachsende Unordnung bei niedriger Entropie gegeben ist, muss es Mechanismen und Prozesse geben, die die Entstehung neuer Strukturen ermöglichen. Mit Hinweis auf Boltzmann fragt Mayum (2001: 47), ob Leben – neben dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik – ein neues Gesetz benötigt. Wir kommen darauf später zurück. Die Nutzung der Energie ist Segen und Fluch zugleich. Die Zukunft wird zeigen, ob es der Menschheit gelingt, ein Gleichgewicht zwischen dem Energieverbrauch und dem Erhalt der Lebensbedingungen zu finden.

In den folgenden Abschnitten werde ich versuchen, auf die wesentlichen gesellschaftlichen Prozesse, die mit der Energienutzung hervorgebracht wurden, einzugehen. Ausgehend vom Klimawandel gehe ich auf die Ausformung des Wirtschaftslebens, die Energienutzung sowie auf die vorhandenen Strategien zur Problembewältigung und deren Grenzen ein. Die mit einer Energiewende verbundenen gesellschaftlichen Herausforderungen und möglichen Antworten werde ich dabei auch anreißen.

Energie und Klima

Ausgehend vom Energiebegriff und der von den Anhänger*innen der Anthropozäns-Theorie gesehenen Wende, widmen wir uns der Entwicklung des Energieverbrauchs und seines Einflusses auf das Klima. Nachstehende Grafik (Abb. 1) fasst Details der Entwicklung zusammen.

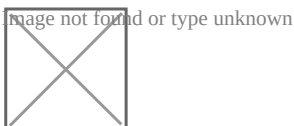


Abb. 1: Energieverbrauch 1960-2050.

Die Kurve in Abbildung 1 zeigt den zunehmenden Energieverbrauch über die Periode von 1960 bis 2020 sowie die Erwartungen bis 2050. Die Werte, hier in Petajoule (PJ) ausgedrückt, zeigen eine Erhöhung des

Energieverbrauchs ausgehend von circa 200 PJ auf etwa 600 PJ im Jahr 2020 auf; das ist eine Erhöhung um 400 PJ (Faktor 3) in einem Zeitraum von 60 Jahren. Die durchschnittliche Steigerungsrate von ungefähr zwei Prozent in der betrachteten Periode ist durch die nach dem Zweiten Weltkrieg zusätzlich verfügbaren Energieträger Öl und Gas erklärbar, bei gleichzeitig wachsender Weltbevölkerung und zunehmenden Pro-Kopf-Verbrauch. Während die Steigerung des Verbrauchs im Zeitraum von 2010 bis 2019 + 1,4 Prozent pro Jahr betrug, waren die Werte für 2021 +4,9 Prozent und 2022 +2,1 Prozent. Die Szenarien erwarten im günstigen Fall eine ungebrochene Steigerung auf 750 PJ.

Wirtschaftswachstum

Die treibende Kraft des Energieverbrauchs ist wirtschaftliches Wachstum. Dieses wird zumeist mit dem Bruttoinlandsprodukt (BIP) gemessen. Es wird mit drei Methoden erhoben: (a) Entstehung nach Wirtschaftssektoren, (b) Verwendungen wie Konsum, Investitionen und Außenbeiträge und (c) Verteilung an Arbeitnehmer*innen, Unternehmens- und Vermögenseinkommen, Abgaben minus Subventionen, Abschreibungen und Saldo der Primäreinkommen der übrigen Welt. Die Verteilung aus (c) ist allerdings kein Maß für Vermögens- und Einkommensunterschiede in der Gesellschaft. Für 2023 ergibt sich ein Betrag des BIP von 4121 Milliarden Euro für Deutschland.

Für den Zeitraum von 2020 bis 2023 ergibt sich bei einem BIP-Wachstum von 718 Milliarden Euro ein Rückgang von etwa 695 Terawattstunden (TWh) beim Energieverbrauch, das heißt: Trotz des BIP-Wachstums ist der Energieverbrauch in Deutschland gesunken. Dies dürfte durch den Rückgang im produzierenden Bereich, insbesondere der energieintensiven Industrie, im Gewerbe und Einsparungen im privaten Bereich begründet sein. Weltweit hat der Energieverbrauch jedoch weiter zugenommen.

Der politische Prozess orientiert sich weiterhin an der Ansicht, wirtschaftliches Wachstums sei ein Erfolg und die Lösung gesellschaftlicher Probleme. Bestimmend ist die Erfahrung des wirtschaftlichen Erfolges im globalen Norden nach dem Zweiten Weltkrieg: dem Zeitalter der großen Beschleunigung. Die hegemoniale ökonomische Theorie basiert auf den Annahmen der Mikroökonomie und dem Primat der „customer's choice“-Nutzentheorie. Dies ist die Basis unserer Wirtschaftspolitik und ein Kern der neoliberalen Argumentation für optimales Wachstum. Ausgehend von einer grundlegenden Knappheit erläutert die Theorie das optimierte Verhalten der Akteure – Haushalte, Unternehmen und Staat – beim Einsatz der Produktionsfaktoren. Eine Kritik an der Grundannahme des rationalen Verhaltens der Wirtschaftssubjekte ist vielfältigⁱⁱ. Die damit einhergehenden negativen Effekte für Umwelt und soziale Gesellschaften werden ignoriertⁱⁱⁱ.

Freiheit, Autonomie und Überfluss im Kapitalismus

Die politischen und wirtschaftlichen Änderungen im 18. und 19. Jahrhundert haben mit der Gestaltung des modernen Privateigentumsrechts die Durchdringung aller Lebensbereiche durch die Ökonomie und den *homo oeconomicus* ermöglicht. Die Nutzung der Produktionsfaktoren Boden, Arbeit und Kapital unter

Einsatz der neu verfügbaren Energie durch Kohleverbrennung haben die wirtschaftliche Ordnung grundlegend verändert. Die Grenzen des Feudalismus waren gesprengt. Die Entwicklung der Produktivkräfte ermöglichte das Streben nach negativer Freiheit, Überfluss konnte produziert werden. Letztlich standen alle diese Entwicklungen unter dem Primat des Profits, der Freiheit des Kapitals. Die westlichen Staaten waren bereit, die private Codierung von Gütern (Kapital) im Recht zu unterstützen, nicht nur in Form von Eigentumsrechten, sondern den Gütern Priorität, Beständigkeit, Konvertierbarkeit und Universalität zu gewährleisten (Pistor 2019). Damit erhielt das Kapital eine rechtliche Qualität, die es erlaubt, Vermögen zu erschaffen und zu schützen. Das Versprechen von Autonomie sowie der damit verbundene Überfluss waren aber nicht gleich verteilt. Die sozialistische Bewegung war daher geprägt vom Bestreben, die Autonomie der Arbeit zu sichern und letztendlich das Privateigentum durch Kollektiveigentum zu ersetzen. Blicken wir heute auf den globalen Norden, scheinen formale Freiheit und Überfluss noch gegeben zu sein, allerdings begrenzt durch die Produktionsbedingungen und die damit verbundene Nutzung der menschlichen Arbeit. Gleichzeitig bleibt der Eingriff in die Natur dabei faktisch unbeachtet.

Das verlorene Jahrhundert der Ökologie

Schon während der Zeit der industriellen Revolution haben einzelne Wissenschaftler für die Ökologie kritische Punkte angesprochen, ohne allerdings relevante Wirkungen auf den Produktionsprozess zu bewirken. Justus Liebig etwa wies 1862 auf den Raubbau des Bodens (Agrikulturchemie) hin. Er wies auf das Gesetz des Ersatzes und Erhalt hin, eine nachhaltige Landwirtschaft müsse das Zirkulieren der Bodenwirkstoffe garantieren. Karl Marx griff dies später auf und beschrieb es als den Riss zwischen Menschen und Natur (vgl. auch Saito 2023: 107ff.; Charbonnier 2022: 238ff.; Mayum 2001).

Die biologische Vielfalt der Welt wird durch den Handel im großen Umfang nach wie vor genutzt. Die schädigenden ökologischen Wirkungen der Sklavenwirtschaft und der Plantagenwirtschaft wurden im Dunkeln gelassen oder ausgeblendet. Energetisch betrachtet bedeutet die Nutzung billiger oder kostenfreier Arbeitskraft (in den USA und in den Kolonien Europas) die zusätzliche Nutzung dieser menschlichen Energiereserven für die sich industrialisierenden Staaten.

Die Entdeckung des Kohlenstoffdioxids erfolgte im 17. Jahrhundert, und Eunice Forte hat 1850 den Anstieg der Temperatur durch CO₂ erkannt. Den natürliche Treibhauseffekt hat dann John Tyndall 1862 wissenschaftlich beschrieben. Die Erwärmung der Erde durch Kohlenstoffdioxyd und seine Konzentration in der Erdatmosphäre hat Ende des 19. Jahrhunderts Svante Arrhenius erforscht. Dieser anthropogene Treibhauseffekt wurde zur damaligen Zeit eher als Grund zur Hoffnung gesehen. Man erwartete ein gleichmäßigeres Klima und höhere Ernteerträge insbesondere in kälteren Teilen der Erde. Erste Bedenken hinsichtlich des Treibhauseffekts und seiner künftigen Bedeutung wurden Mitte des 20. Jahrhunderts geäußert (1941 durch Hermann Flohn). Diese Erkenntnisse konnten den wirtschaftlichen Prozess nicht beeinflussen.

Verteilung des Energieverbrauchs im Wirtschaftssystem.

Abbildung 2 zeigt die Gesamtmenge der Energie im Jahr 2021 in Deutschland und den Weg, wie die Energie verwendet wird. Die Gesamtverluste ohne Verwendung betragen ein Drittel, sie sind ohne speziellen Nutzen und führen zur allgemeinen Erderwärmung. Aber auch die anderen zwei Drittel der Energie wandeln sich am Ende in Wärme. Ein Anteil der Energie wird in den Produkten (Stahl, Glas, Plastik etc.) gespeichert. Auf lange Sicht verfallen die Produkte und die in ihnen gespeicherte Energie wird als Abfallwärme frei. Die Energie bleibt erhalten und wandelt im Produktions- und Konsumptionsprozess nur ihre Form. Im natürlichen Prozess wandelt sich die Energie von einer mehr organisierten brauchbaren Form (hohe Entropie) zu einer ungeordneten und weniger nutzbaren Form (niedrige Entropie) um.

Eine entscheidende Rolle bei der Erwärmung spielen die freiwerdenden CO₂-Emissionen bei der Verbrennung der fossilen Energien Kohle, Öl und Gas. Die globale Erwärmung beträgt heute etwa 1,4 Prozent, aufgeteilt in einem Prozent im Ozean und 1,9 Prozent für das Land. Betrachtet man den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 277 Parts per Million (ppm) im Jahr 1750 auf 419 ppm im Jahr 2023, bildet die durch Verbrennung von Kohle, Gas, Öl und Biomasse entstandene CO₂-Menge die wirtschaftliche Entwicklung des Anthropozäns ab. Vergleicht man die Erderwärmung mit den Quellen des CO₂ (88 Prozent Fossil, zwölf Prozent Biomasse) und Senken wie Land (31 Prozent), Ozeane (26 Prozent) und Atmosphäre (47 Prozent), kann man den Treibhauseffekt ermessen. Die Untersuchungen über die weiteren Auswirkungen beschreiben verschiedene Szenarien. Die schon erreichten Werte der Erwärmung lassen das Erreichen des Zwei-Grad-Ziels unwahrscheinlich wirken, wenn die Nettoemissionen erst 2050 angestrebt werden.

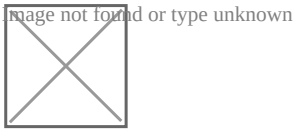


Abb. 2: Energieverluste in Deutschland im Jahr 2021.

Auswirkungen der unbegrenzten Nutzung der fossilen Energieressourcen

Die wirtschaftliche Entwicklung (gemessen am BIP), der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen verlaufen parallel. Auf die ökonomisch entwickelten Staaten entfallen 60 Prozent, auf die sich entwickelnden Staaten 40 Prozent des BIP. Die regionalen Unterschiede sind deutlich: An der Spitze der Regionen liegen Asien (mit 35 Billionen US-Dollar), gefolgt von Nordamerika (27 Billionen US-Dollar), Europa (21 Billionen US-Dollar), Lateinamerika (5,8 Billionen US-Dollar) und Afrika (2,8 Billionen US-Dollar). Verteilt auf die Länder ergibt sich der jeweilige Anteil: USA: 25,5 Prozent; China: 18,4 Prozent; Japan: 4,2 Prozent; Deutschland: 4,1 Prozent.

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich wird, steigen die CO₂-Emissionen deutlich in Asien, geringfügig in Afrika und Südamerika. Entscheidend dafür ist die Entwicklung in China, verursacht durch starke Verbrennung von Kohle. Die Ursachen der CO₂-Erzeugung durch fossile Brennstoffe zeigt Abbildung 4.

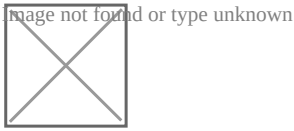


Abb. 3: CO₂-Ausstoß weltweit.

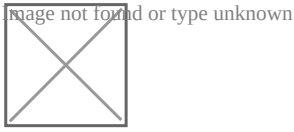


Abb. 4: Energieverbrauch weltweit.

Die Auswirkungen des ökonomischen Systems auf die Ökologie sind gewaltig. Im neoliberalen Kapitalismus sind die wirtschaftlichen und politischen Entscheidungen getrieben von den Interessen der Kapitalgeber*innen und der Finanzindustrie – verbunden mit dem Ziel, kurz- und mittelfristig Profite zu erreichen. Dies wird begleitet von den nationalen Kapitalinteressen der starken Staaten. Ausgehend von der imperialistischen Entwicklung im 19. Jahrhundert beruht der Reichtum des globalen Nordens auf Ausbeutung von Boden, Naturschätzen und Menschen (jeweils insbesondere des globalen Südens).

Die industrielle Revolution war im 19. Jahrhundert von zwei energetischen Erneuerungen indiziert: zum Ersten vom Ersatz des organischen Brennmaterials durch Kohle mit weit höherem Energiegehalt pro Volumen; zum Zweiten vom Übergang von heimischer Wolle auf Baumwolle. Mit der Erfindung der Dampfmaschine ergab sich zudem eine Revolution des Transportwesens; der Transport von Rohmaterial und Endprodukten erleichterte sich enorm. Begleitet von deutlichen technischen Verbesserungen im Energieeinsatz (wie dem Siemens-Martin-Prozess für die Stahlerzeugung) wurden die Effizienz und der Wirkungsgrad in der Produktion stark und beständig erhöht. Die Produktion von Wolle ist ein Prozess, der Land, Wiese und Tiere umfasst. Der Anbau von Baumwolle dagegen benötigt viel Land und viel mehr menschliche Arbeit. Die große Verfügbarkeit von Land und billigen Arbeitskräften wie Sklave*innen ermöglichten eine so menschenunwürdige wie kostengünstige Produktion von Baumwolle und das Erzielen hoher Gewinne. Zusammengekommen ermöglichten diese Faktoren eine langanhaltende Übermacht der europäischen Kolonialstaaten. Eine besondere Bedeutung hatte diese Entwicklung in Amerika. Die nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit von Land ermöglichte die Ausweitung der Produktion – neben der Baumwolle – auf den Anbau von Tabak, Weizen und Mais. Auch die Erzeugung von Fleischprodukten konnte stark gesteigert werden. Dieser Export war zum Ende des Ersten Weltkrieges und danach ein wichtiger Teil des globalen Handels. Die Ausweitung der Produktion führte allerdings zu einer dramatischen Verschlechterung der Bodenqualität; der vernünftige Erhalt der Fruchtbarkeit durch Düngung war zu zeitaufwendig. Neues, noch fruchtbares Land war leichter, schneller und kostengünstiger einzusetzen.

Ein Prozess der wirtschaftlichen Beschleunigung ergab sich nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges durch die Verfügbarkeit von Erdöl und Erdgas. Bezogen auf Gewicht und Volumen hat Erdöl einen Vorteil durch höheren Energieinhalt verglichen mit Kohle. Dies ermöglichte die Entwicklung neuer Fahrzeuge für Mobilität, Transport und agrotechnische Bearbeitung. Die so verfügbare Antriebsenergie lässt sich in der gesamten Industrie nutzen. Erdgas gewinnt dagegen erhebliche Bedeutung in der Erzeugung von anorganischen Düngemitteln, insbesondere Ammoniak und synthetischen Pestiziden. Eine Erholung und Verbesserung des ausgelaugten Bodens wurde so ermöglicht. Zusätzliche Produkte wie Plastik und Polyethylene kamen auf den Markt. Die Verbreitung der elektrischen Energie durch Ausbau des Stromnetzes erlaubte die Distribution von Energie in der Fläche zu geringen Transportkosten. Neben der Industrie

wurden auch die Privathaushalte durch neue Produkte – wie Kühlschränke und Staubsauger – erleichtert. Die industrielle Produktion konnte effizienter ausgebaut werden. Sie kann zeitunabhängig organisiert werden, der Prozess kann in Serien erfolgen, aber auch zeitüberlappend angeordnet werden. Es bleibt allerdings ein wichtiger Unterschied zwischen Industrie und agrotechnischer Wirtschaft. Letztere ist abhängig vom Wetterverlauf. Das Wirtschaftswachstum ist stetig, und damit steigt parallel der Energieverbrauch. In der modernen Landwirtschaft wird Material und Energie von außen zugeführt, eine Zirkularität kann nicht erreicht werden. Abfall und viele verseuchte Substanzen verbleiben im Boden und in der Umwelt. Das Muster, neues Land zu nutzen, kann nicht grenzenlos weiter erfolgen. Wo es erfolgt, kommt es zum Abholzen von großen Wäldern – wie in Amazonien.

Alle diese Entwicklungen führen zur ökologischen Katastrophe. Die Belastung ist am größten im globalen Süden. Auch die Gewinnung von Rohmaterial, chemischen Grundstoffen und sonstigen benötigten Seltenen Erden verwüstet die Landschaft. Entwicklungsländer mit fortgeschrittenem ökonomischem System müssen den selbsterhaltenden Anbau aufgeben und zu Monokulturen wechseln, um im Wettbewerb bestehen zu können. Dagegen wäre der selbsterhaltende Anbau unbedingt erforderlich, auch um die Lebensweise von betroffenen indigenen Völkern zu sichern. Dies würde auch das biosphärische Gleichgewicht fördern.^{iv} Energetische Überlegungen könnten indizieren, auf welche Art und Weise der Wirkungsgrad für das sozioökonomische Gleichgewicht bestimmt werden kann. Alles Leben ist Gebrauch von Energie, es ist Energie- und Materialfluss. Die Maximierung der Produktion in der vorgegebenen Zeit berücksichtigt nicht die dafür erforderliche Energie. Würde man aber den Zeitbedarf nicht beachten, begrenzt und minimiert man automatisch den benötigten Energieinput; man arbeitet mit höherer Effizienz und besserem Wirkungsgrad.

Die auf Wachstum konzentrierte neoliberale Wirtschaftspolitik ist getrieben durch Profiterwartungen und strebt die optimale Zeitnutzung an. Profiterwartungen werden an den Börsen täglich gemessen, Unternehmen müssen vierteljährlich Status und Ziele darstellen. Zeit ist knapp. Umweltkosten werden weitgehend ignoriert.

Welthandel und ökologische Auswirkungen

Eine weitere Sicherung der dominierenden Industriestruktur ergibt sich aus den Regeln des Allgemeinen Zoll- und Handelsabkommens (General Agreement on Tariffs and Trade = GATT) der Welthandelsorganisation. Die GATT-Regeln basieren auf dem Freihandelsdogma und definieren (1) Antidiskriminierung, (2) Gegenseitigkeit und (3) das generelle Verbot von nicht-tarifbasierten Handelsbeschränkungen. Hier könnte an die von Friedrich List in *Das Nationale System der politischen Ökonomie* von 1841 formulierte Beschränkung des Handels durch Entwicklungszoll als Schutz für sich entwickelnde Länder als Ausnahme der liberalen Wirtschaftspolitik erinnert werden^v. Der gesteigerte Export in sich entwickelnde Länder führt für diese zu schlechteren Handelsbedingungen und geringeren Erlösen aus dem eigenen Export. Es fördert die Ausbeutung von Energiereserven für Rohstoffe und Nutzung des Bodens für Monokulturen. Die Abfälle und der Müll verbleiben vor Ort. Der Abfall in der Produktion in den Industriestaaten wird weitgehend ungeregelt in die Umwelt entsorgt oder zunehmend in die Entwicklungsländer verbracht. Diese Zirkulation ist nicht nachhaltig und trägt zur Erwärmung von Land und Wasser bei. Die Rückgewinnung der so gebundenen Energie mit niedriger Entropie ist limitiert. Sie ist abhängig von der Dichte und Qualität dieser Energieressourcen und von der Art und Menge der zusätzlichen erforderlichen Energie. Die Solarenergie – dafür reichlich verfügbar – hat allerdings eine zu geringe Energieintensität, um eine schnelle Wiedergewinnung zu erreichen. Dafür ist Raum und Zeit jenseits des

Horizonts des menschlichen Lebens erforderlich. Abfall verbleibt in Land und Wasser. Betrachten wir die Erde – bezogen auf Land und Wasser – als geschlossenes System, spielen beide die entscheidende Rolle bei der Aufnahme des Abfalls. Steigende Produktion von anorganischen Waren, von haltbaren Materialien und großen Strukturen stehen dem biochemischen Prozess nicht zur Verfügung, der Grundlage des Wachstums und Werdens in der Natur ist. Wir können/müssen annehmen, dass die lebenden Organismen das Level von Entropieänderung zyklisch kontrollieren und balancieren.

Situation der deutschen Energiewende und ökologische Wirkung

Das wirtschaftspolitische Ziel ist weiterhin am Wachstum orientiert. In Szenarien wird mittelfristig ein Wachstum von 0,7 Prozent erwartet. Offen ist, ob es dabei eine weitere Reduzierung des Primärenergieverbrauchs geben wird.

Der Verbrauch der Primärenergie ist ausgehend von 4085 TWh im Jahr 1990 auf 2997 TWh im Jahr 2023 gesunken. Der Anteil von erneuerbaren Energien beträgt 2023 588 TWh oder 20 Prozent, die fossilen Energien entsprechen damit 80 Prozent. Die Ziele der Bundesrepublik konzentrieren sich auf Reduzierung der CO₂-Emissionen. Ausgehend vom Jahr 1990 ist eine Minderung von 70 Prozent auf einen Wert von 673 Millionen Tonnen für das Jahr 2023 erreicht worden. Das Ziel für 2030 beträgt 400 Millionen Tonnen CO₂. Bis 2038 soll außerdem der Kohleausstieg erreicht werden. Ein wesentlicher Anteil der Reduzierung soll aus der Stromerzeugung kommen, die zur Zeit etwa 40 Prozent der Emissionen erzeugt. Gleichzeitig wird erwartet, dass die Stromerzeugung von 523 TWh auf 750 TWh bis 2030 erforderlich ansteigt^{vi}. Die erwartete Strukturänderung wird bestimmt durch die höhere Stromerzeugung für Wärme durch Wärmepumpen zum Heizen und in der Mobilität für elektrische Fahrzeuge (Burger 2024). Ökologisch bedeutsam sind die Auswirkungen durch den erhöhten Bedarf an Material für Solarenergieinstallationen, Windräder und die Produktion des elektrischen Equipments für Heizen und Mobilität im Energiesektor. Es entsteht ein hoher Bedarf an Rohstoffen für Batterien und Seltenen Erden für elektrische und elektronische Komponenten. Die benötigten Ressourcen sind zum allergrößten Teil nicht in Europa, sondern befinden sich im globalen Süden. Die Problematik der Ausbeutung dieser Reserven ist bekannt. Ist der sogenannte Green Deal geeignet, einen Weg aus diesem Dilemma aufzuzeigen? Oder wiederholt sich die imperiale Ausbeutung der Länder des globalen Südens durch die Ausbeutung ihrer Reserven nur? Die Beispiele der Gewinnung von Natrium, Lithium, Kupfer und Bauxit führen abermals zu hohen Umweltschäden für Boden, Luft, Wälder und Wasser. Mit Hilfe billiger Arbeitskräfte und der Verdrängung traditioneller Lebensweisen und indigener Völker werden diese Ressourcen „gewonnen“.

Kurzfristige und langfristige Erwärmung

Bei der Erderwärmung haben wir es mit einem kurzfristig zu erwartenden Anstieg durch die Nutzung fossiler Energien und die dadurch entstehende CO₂-Emission zu tun. Zusätzlich lässt die langfristige Betrachtung (basierend auf dem Energieerhaltungssatz) eine zusätzliche Erwärmung erwarten, betrachtet man den Planeten als geschlossenes System. Nur Solarenergie, Windenergie und Bioenergie sind energetisch betrachtet wirklich klimaneutral^{vii}. Der Nutzung dieser Ressourcen sind allerdings Beschränkungen gegeben. Die Intensität der Energie ist niedrig, und für die Gewinnung für die industrielle Nutzung werden

große Materialstrukturen benötigt. Es ist nicht ersichtlich, wie der moderne Produktionsprozess ohne hohe Energieintensität ablaufen könnte. Neben den fossilen Brennstoffen werden zwei Ressourcen wirtschaftlich und politisch betrachtet: die Atomenergie und die Nutzung von Wasserstoff.

Kernkraftwerke sind vorhanden, tragen aber nur einen kleinen Teil zur weltweiten Primärenergieerzeugung bei. Es gibt Forderungen und Pläne zum weiteren Ausbau – europäisch und weltweit, selbst in Deutschland werden einzelne Stimmen laut. Insgesamt scheinen die Hürden im Detail allerdings recht groß zu sein, um der Kernkraft Bedeutung zu verleihen. Die Nachteile und Probleme sind vielfältig und schwerwiegend. Der Bau von Kernkraftwerken ist mit hohen Kosten – oft nicht wirklich kontrollierbaren Kostensteigerungen – verbunden. Die Wirtschaftlichkeit ist fraglich, es bleibt eine Abhängigkeit bei der Beschaffung von Rohstoffen für die Brennelemente, die Kosten der langjährigen Behandlung des Atommülls sind völlig ungeklärt und werden zukünftigen Generationen überlassen. Es obliegt ausschließlich Expert*innen, die Behandlung und Steuerung zu beschließen und durchzuführen. Die Nutzung dieser „verriegelten Technologie“ monopolisiert das Angebot und führt zur Abhängigkeit ihrer Benutzer*innen. Eine demokratische Kontrolle erscheint schwierig^{viii}.

Eine entscheidende Rolle in der deutschen Klimapolitik wird der Erzeugung und dem Einsatz von Wasserstoff zugemessen. Wasserstoff muss erzeugt werden. Quellen dafür sind die heute benutzten fossilen Brennstoffe, die mittels Dampfreformierung bei gleichzeitiger Erzeugung von CO₂ eingesetzt werden. Zu 95 Prozent wird der Wasserstoff für die stoffliche Versorgung in den Chemieprozessen, in der Stahlproduktion und in der Zementherstellung genutzt (Goebel 2022). Die andere Methode der Erzeugung ist die Elektrolyse, heute mit fünf Prozent Anteil an der Wasserstoffproduktion beteiligt. Die Elektrolyse ist zentral für die zukünftige CO₂-freie Gewinnung von Wasserstoff. Für die Elektrolyse wird elektrischer Strom benötigt, und die damit verbundene CO₂-Erzeugung hängt vom Strommix ab. Er sollte klimaneutral sein. Der Wirkungsgrad bei der Erzeugung beträgt circa 70 Prozent. Neben der Nutzung als Brennstoff eignet sich Wasserstoff zur Speicherung von Energie. Die Transportbedingungen für Wasserstoff aber bringen einige Herausforderungen. Wasserstoff kann in Pipelines wie Erdgas von Erzeugenden zu Verbrauchenden oder in den Speicher gebracht werden. Wasserstoff kann auch verflüssigt werden, vergleichbar mit der Erzeugung von LNG, dabei ergeben sich etwa 30 Prozent Verluste. Der Transport von flüssigem Wasserstoff führt zu hohen Kosten. Im Vergleich zu Öl hat Wasserstoff nur etwa ein Zehntel an Energie pro Kilogramm. Damit ergeben sich nur wenige sinnvolle Anwendungen für flüssigen Wasserstoff. Weit entfernte Orte zur Erzeugung von Wasserstoff sind nur sinnvoll, wenn sie sich über Pipelines anbinden lassen. Der Transport von flüssigen H₂ mit Schiffen wäre dreimal teurer als der Transport von LNG und damit ökonomisch illusorisch. Der Einsatz von klimaneutralem Wasserstoff sollte zuerst dem Ersatz der fossilen Brennstoffe in der stofflichen Anwendung dienen. Zusätzliche Mengen könnten sinnvoll zur Speicherung genutzt werden, um die Sicherheit der Stromversorgung zu gewährleisten. Das wäre eine sinnvolle Ergänzung zur fluktuierenden Erzeugung durch Wind und Sonne. Der Nutzungsgrad über Verdichtung zur Einspeicherung und dann Rückgewinnung zur elektrischen Nutzung mittels Brennstoffzellen kann mit 42 Prozent angenommen werden, mehr als die Hälfte wäre Verlust an die Umwelt (Goebel 2022). Wie aus dem Energieflusssystem ersichtlich wird, ist der Einsatz von H₂ im Industriesektor am sinnvollsten, wobei die Wirtschaft sich auf wirklich notwendige Produktionen beziehen sollte. Der direkte Einsatz von elektrischer Energie ist beim Heizen mit der Wärmepumpe überlegen, und in der Mobilität ist das Elektrofahrzeug überlegen. Die aufgeführten Wirkungsgrade zeigen hohe Wärmeverluste in die Umwelt beim Einsatz von Wasserstoff.

Wie weit der Ausbau der erneuerbaren Energien bei gleichzeitigem Ersatz der fossilen Energieträger und moderatem Wirtschaftswachstum gelingen kann, bleibt offen. Wichtig wäre es, die Energieintensität des BIP zu reduzieren. Wir haben als Einflussgrößen das Wirtschaftswachstum, die Strukturveränderung in der

Industrie und damit Veränderung im spezifischen Energieverbrauch, den Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie den Ersatz fossiler Brennstoffe. Welche Anforderungen kommen auf die Gesellschaft zu, und wie können wir gemeinschaftliche Lösungen erreichen? Ohne Verringerung der Nachfrage nach Gütern und Mobilität erscheinen die Ziele der deutschen Energiepolitik jedenfalls unerreichbar.

Der politische Rahmen und die gesellschaftliche Herausforderung

Der globale Norden ist für ein Drittel aller Kohlenstoffemissionen verantwortlich. Es ist das erklärte politische Ziel dieser Staaten, den erreichten Wohlstand zu sichern. Änderungen in der Struktur von Konsum, Mobilität und der Industrie negieren sie weitgehend. Der damit verbundene Energiebedarf wird einfach vorausgesetzt.

Der Widerspruch zwischen der modernen westlichen Ökonomie und den Erfordernissen traditioneller Wirtschaftsweisen der sich entwickelnden Länder scheint sich nicht aufzulösen, sondern sogar zu verschärfen. Gleichzeitig ergibt sich in den westlichen Ländern eine gesellschaftliche Spaltung, unter anderem befördert durch ungleiche Vermögensverteilung. Das Bewusstsein für den unfairen eigenen Lebensstil nimmt zu, jedoch ohne dass sich dies breit gesellschaftlich durch veränderte Lebens- und Wirtschaftsweisen zeigen würde. Wie können wir mit diesen Asymmetrien umgehen? Verfügen wir über ein Konzept für Autonomie und Freiheit, die dem Mechanismus von Konsum und Überfluss fremd wäre^{ix}?

Charbonnier (2022: 419ff.) schlägt eine Bewegung der Symmetrie vor, wo Moderne und Vormoderne, das Natürliche und das Gesellschaftliche mit einer neuen Reflexivität einer ökologischen Wissenspolitik betrachtet werden. Vielleicht erlauben uns die Erkenntnisse der Anthropologie einen Ausgleich von Menschen- und Naturgeschichte sowie der Moderne. Einen radikaleren Ansatz verfolgt Stengers in ihrer Schrift *In Catastrophic Times* von 2009. Die Klimakrise zwingt der modernen Wissenschaft den neuen Weg auf, als Sprecherin der Natur der Vormoderne zu agieren. Der Klimawandel sprengt alle Schichten der herrschenden Reflexivität. Eine Selbstkritik und Korrektur der politischen Kategorien wäre erforderlich. Eine Transformation der Mittel, mit der die Gesellschaft für sich selbst sorgt, ist für sie unausweichlich. (Stengers 2015) Einen etwas anderen Ansatz verfolgt Stengers jüngst mit *Making Sense in Common*, wo sie das Zusammendenken von dem, was wir wissen und was uns schockt, zu einem Gemeinsamen zusammenbinden will (Stengers 2023: 101ff.).

Welche Bedeutung und Herausforderungen sich durch diese Umwälzungen aufdrängen, zeigt sich in einer starken Gegenbewegung wirtschaftlicher Eliten, die am Wachstumskurs festhalten wollen. Eine Korruption des demokratischen Ideals ist die Folge, eine Verschärfung des politischen Konservatismus unter Nutzung der Erwartungen der Bevölkerung.

Die Erwartung, der Einsatz für Klimaschutz führe zu einer Überwindung des Kapitalismus, ist allzu optimistisch. Die an sozialistische Forderungen erinnernden Elemente, wie eine Befreiung mit Neubestimmung von Gebrauchswert, eine Verkürzung der Arbeitszeit, umformatierte Arbeitsteilung, Vergesellschaftung der Produktionsmittel und Fokus auf systemrelevante Arbeiten zu erreichen, wirkt heute

utopisch.

Gesellschaftliche Verwerfungen werden aber zunehmen; Wege zum Aufbau eines neuen Gemeinsinns müssen gefunden werden. In dem Tempo, wie der Energieverbrauch der Menschen zunimmt, nimmt auch die Destabilisierung des Weltklimas zu. Das Festhalten an der ausbeuterischen Lebensweise der reichen Länder muss aufgegeben werden. Begreifen wir die Entwicklung der Entropie als Beschreibung eines Abstiegs von höherer Ordnung zu einer zunehmenden Unordnung und zu Chaos, vielleicht zum „Hitzetod“, so sollte dem der Weg der *Syntropie* (als der Weg des Aufstiegs) entgegengesetzt werden. Lebewesen können den Aufstieg gestalten. Der Riss zwischen Menschen und nichtmenschlicher Natur kann durch Gestaltung einer Kreislaufwirtschaft überwunden werden, denn der Mensch ist Teil der Natur. Dafür wird die Gesellschaft Raum und Zeit, die sie eigentlich nicht mehr hat, benötigen. Die Beschreibung der Entropie könnte als Metapher für die Weltgesellschaft gelten, heute geprägt durch ihre zunehmende Unordnung und Unübersichtlichkeit. Ein wesentlicher Punkt wäre die Reduzierung der Arbeitszeit in den entwickelten Industrienationen, um eine neue Reflexion von Wünschen und Möglichkeiten zu erreichen und von der schier ungebremsten Güterproduktion Abschied zu nehmen.

Werner Bergmann ist Diplom-Ingenieur und Ökonom. Zudem ist er seit Oktober 2023 Mitglied des Bundesvorstands der Humanistischen Union und der Redaktion der **vorgänge**. Neben seiner beruflichen Orientierung ist er vielfältig in lokale soziale Aktivitäten eingebunden. Seine inhaltlichen Schwerpunkte sind Technologie-Entwicklung, Wirtschaftspolitik und Klimaschutz.

Literatur

Burger, Bruno 2024: Energy-Charts – Der Weg durch den Daten-Dschungel Regenerativer Energien, Vortrag an der Hochschule Karlsruhe vom 10.04.2024, https://energy-charts.info/presentations/2024-04-10_Hochschule_Karlsruhe.pdf.

Charbonnier, Pierre 2022: Überfluss und Freiheit – Eine ökologische Geschichte der politischen Ideen, Frankfurt am Main.

Goebel, Olaf 2022: Was bringt Wasserstoff fürs Klima? Vortrag an der LVHS Freckenhorst vom 28.01.2022, in: Stadt.Klima.Wir!-Online vom 31.01.2022, <https://www.stadt-klima-wir.de/28-01-2022-was-bringt-wasserstoff-fuers-klima/>.

Horn, Eva/Burghaler, Hannes 2019: Anthropozän zur Einführung, Hamburg.

Mayum, Kuzo 2001: The Origins of Ecological Economics. The Bioeconomics of Georgescu-Roegen,

London.

Pistor, Katharina 2019: Der Code des Kapitals. Wie das Recht Reichtum und Ungleichheit schafft, Berlin.

Prigogine, Ilya/Stengers, Isabelle 1990: Dialog mit der Natur. Neue Wege des naturwissenschaftlichen Denkens, München.

Rovelli, Carlo 2018: Die Ordnung der Zeit, Reinbek.

Saito, Kohe 2023: Systemsturz. Der Sieg der Natur über den Kapitalismus, München.

Soentgen, Jens 2024: Abschied vom Feuer. Der prometheische Pakt mit dem Feuer, Berlin.

Stengers, Isabelle 2015: In Catastrophic Times. Resisting the coming Barbarism. Lüneburg.

Stengers, Isabelle 2023: Making Sense in Common. A reading of Whitehead in Times of Collapse, Minneapolis.

Anmerkungen

[i](#) Das Prinzip der Energieerhaltung hatte auch in der Kultur Bedeutung, man sah friedvolle und kontrollierbare Aspekte der Natur dargestellt.

[ii](#) Eine ausführliche Kritik der neoklassischen Ökonomie und des zugrundeliegenden Axioms und dessen Realität legt Mayum (2001: 7ff.) vor. Friedmans Argument, realistische Annahmen wären nicht bedeutend, solange man die Theorie benutzen kann für langfristige Aussagen, akzeptiert Mayum dabei nicht.

[iii](#) Der Preis eines Produktes beinhaltet nur die Produktionskosten. Umweltschäden oder auch soziale Kosten werden nicht abgebildet. Vgl. hierzu auch den Beitrag von Andreas Sanders in diesem Heft.

[iv](#) Zum Verhältnis von indigenen Völkern und Umweltschutz vgl. auch den Artikel von Yi Yi Prue in diesem Heft.

[v](#) Friedrich List (1789-1846) gilt als einer der bedeutendsten deutschen Wirtschaftshistoriker. Er hat einen Liberalismus mit nationaler Prägung befürwortet und gilt als Vorläufer der historischen Schule der Nationalökonomie. Wesentlich ist seine Orientierung an den Innovationsmöglichkeiten eines Staates, und er setzte sich für Schutzzölle zum Schutz und der Entwicklung der heimischen Wirtschaft ein. Das wird heute wieder für Entwicklungsländer diskutiert.

[vi](#) Der aktuelle Status der Stromerzeugung mit besonderer Betrachtung der erneuerbaren Energien ist auf der Webseite zu den Energiecharts des Fraunhofer Instituts nachzulesen. Es gibt dort in den Präsentationen auch eine kritische Einschätzung der politischen Diskussion.

[vii](#) Vgl. zu den Begrenzungen den Beitrag von Niko Paech in diesem Heft.

[viii](#) Die Urananreicherungsanlage URENCIO ist ein leuchtendes Beispiel für die Unbedachtheit, wie mit Atommüll umgegangen wird. Im Natururan, gewonnen in Russland, wird dort durch Anreicherung die Konzentration erhöht, der verbleibende abgereicherte Natururan verbleibt als Müll in Gronau. Das Angereicherte Uran geht zum Konzern Framatome beziehungsweise deren Tochterfirma Advanced Nuclear Fuels (ANF) nach Lingen. Framatome hat eine Kooperation mit dem russischen Staatskonzern Rosatom mit dem Ziel, die Fertigung für Brennelemente für Reaktoren russischer Bauart dort aufzunehmen. Dies ist ein Beispiel für „verriegelte Technologie“, die der Demokratie entzogen wird.

[ix](#) Zum alternativen Freiheitsverständnis vgl. auch den Beitrag von Philip Dingeldey in diesem Heft.

<https://www.humanistische-union.de/publikationen/vorgaenge/vorg-245/publikation/energiebedarf-aus-oekologischer-perspektive-wie-die-energie-das-leben-bestimmt/>

Abgerufen am: 30.09.2026