

Ökologische Probleme haben vielfältige Ursachen. Am Beispiel wissenschaftlicher Verfahren wird gefragt: Könnte nicht eine der Ursachen ökologischer Probleme darin bestehen, daß wir Stoff und Energie unabhängig von ihren jeweiligen Geschichten quantifizieren? Was machen wir eigentlich, wenn wir Energieformen und Stoffe unabhängig von ihren Entstehungsgeschichten wissenschaftlich beschreiben? Welche Rolle spielt dabei die chronometrische Zeit, mit der wir Prozesse quantifizieren? Sind Methoden des Quantifizierens generell den Erkenntnisgegenständen ausreichend angepaßt? Diese gleichsam ökologische Fragestellung hat praktische Konsequenzen. Nur wer die konkreten Stoffgeschichten theoretisch und praktisch berücksichtigt, kann angemessen ökologisch handeln.

Stoff, Zeit und Energie: Ein transdisziplinärer Beitrag zu ökologischen Fragen

Markus Huppenbauer* und Armin Reller

Abstract: The present article focusses on the following items. (1) Time-related aspects of energy transformations: It is outlined that combustion engines and solar photosynthesis function in different temporal modes. Omitting this difference may be one of the reasons for the present ecological problems. (2) The scientific concept of the structure of matter as foundation for controlled and quantifiable energy transformation: Scientific methods neglect individual and historically grown aspects of matter and energy. The so-called history of specific system-environment relations, that is to say the "history of matter and goods" is neglected. In turn this neglect makes modern technologies as successful as they are. (3) Procedures for measuring time: Scientific measuring of time uses identical clocks or chronometers all over the world in order to measure any given processes. Scientific time is standardized time. (4) A sort of ecological questions arise: Are these instruments adequate to describe the diversity of ecological systems, each of them with its own history? – Finally alternative and complementary modes of perception (religion and art) are discussed and the relevance of real histories of goods, for instance potatoes, and products such as cotton T-shirts is demonstrated.

Keywords: chemistry, chronometric time, ecology, energy, history of goods / of matter, individuals, matter, perception, philosophy, process, religion, scientific methods, sustainable development, time

Vorbemerkung

Dieser Beitrag ist ein Werkstattbericht aus unserer gemeinsamen transdisziplinären Arbeit am Thema der Ökologie. Es handelt sich um einen Versuch, ausgehend von einigen chemischen und ökologischen Erkenntnissen

weiter ausholende Überlegungen zu den Begriffen Stoff, Zeit und Energie anzustellen. Wir verwenden dabei Worte gelegentlich in einem nicht-fachspezifischen Sinn. Immer wieder auch hielten wir es für nötig, sprachliche Bilder und Metaphern statt exakt definierter Begriffe einzusetzen. Erwähnt sei aber, daß sich unsere Überlegungen ohne weiteres an fachphilosophische Probleme anknüpfen ließen. Viel verdanken wir insbesondere dem Entwurf einer philosophischen Humanökologie von Georg Picht ^[1]. Unser Ziel ist es, einige Fragen nach den begrifflichen Grundlagen naturwissenschaft-

lichen Forschens zu stellen und ihre weitreichenden Implikationen zu erörtern.

Wir werden unsere Gedanken in vier Schritten vortragen: (1) Zeitliche Aspekte von Energietransformationen; (2) strukturelle Ordnungen der Materie als Grundlage kontrollier- und berechenbarer Energietransformation; (3) zum Messen von Energie und Zeit; (4) ökologische Frage nach der Zeit. Die ersten beiden Abschnitte gehen auf Gedanken von Armin Reller (Chemie) zurück. Hier geht es vor allem um ein Beobachten und Interpretieren chemischer Methoden. Die Abschnitte 3 und 4 gehen auf Gedanken von Markus Huppenbauer (Theologie und Philosophie) zurück. Hier geht es um einen Versuch des Verstehens des in den Abschnitten 1 und 2 Vorgeführten. Die Schlußbemerkungen fassen die Thesen zusammen und bieten einen Ausblick auf nicht-wissenschaftliche Thematisierungen von Welt. Verteilt über den Text sind Beispiele einzelner Stoffgeschichten, Antwortversuche auf die konstruktiven Einwände, die gegenüber unseren Thesen im Vorfeld der Veröffentlichung geäußert wurden, und Hinweise auf Anschlußprobleme.

1. Zeitliche Aspekte von Energietransformationen

In der Geschichte der Zivilisationen haben die Menschen versucht, sich gegen lebensbedrohende Energieflüsse ¹⁾ der Natur zu behaupten und von lebensfördernden zu profitieren. Das Schaffen solcher Lebens- und Freiräume griff auf Energieformen zurück, welche regionalen Umwelten unter oft anstrengender menschlicher Arbeit entnommen wurden. In der Neuzeit – angefangen mit der Erfindung der Dampfmaschine – lernten die Menschen in Europa Techniken beherrschen, die es möglich machten, auf Energie jederzeit Zugriff zu haben und sie zu kontrollieren. So verfügen wir bis heute in den Industriegesellschaften über Brennstoffe, die meist nicht in der unmittelbaren Umgebung der Maschinen als Potentiale für Arbeit vorkommen. Die Organismen und Systeme der jeweiligen Umwelt der Maschinen sind also in der Regel nicht an diese Stoffe (oder vielmehr ihre Umwandlungen) adaptiert. Bei Kohle, Erdöl und Erdgas sowie nuklearen Brennstoffen handelt es sich um hochkonzentrierte Energieträger, die über anthropogene Kanäle aus anderen ökologischen Räumen herbeitransportiert

*Postadresse : Dr. M. Huppenbauer
Hochschularbeit
der Evangelisch-reformierten Landeskirche
des Kantons Zürich
Hirschengraben 7
CH-8001 Zürich (Schweiz)

werden. Wir vertrauen darauf, daß diese Energieträger aufgrund ihres bekannten und handhabbaren Energieinhalts den kontinuierlichen Betrieb chemischer Prozesse und von Maschinen, die Grundlage also industrieller Produktion, garantieren. Im Gegensatz etwa zum unberechenbaren Parameter Wind für den Standort einer bestimmten Windmühle kann man beim Energieträger Kohle die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen "zählen" und daraus den Energiegewinn bei der Verbrennung prognostizieren.

Nach diesen einführenden Bemerkungen wollen wir nun die zeitlichen Aspekte verschiedener Energietransformationen untersuchen. – Verglichen mit organischen Energieumwandlern sind mit fossilen Brennstoffen betriebene Maschinen relativ einfach: In einem Schritt gewinnen sie Arbeitsenergie und dissipieren den größten Teil (über 50 Prozent) als für uns unbrauchbare, langwellige Strahlungsenergie in die Umgebung. Im Unterschied zu

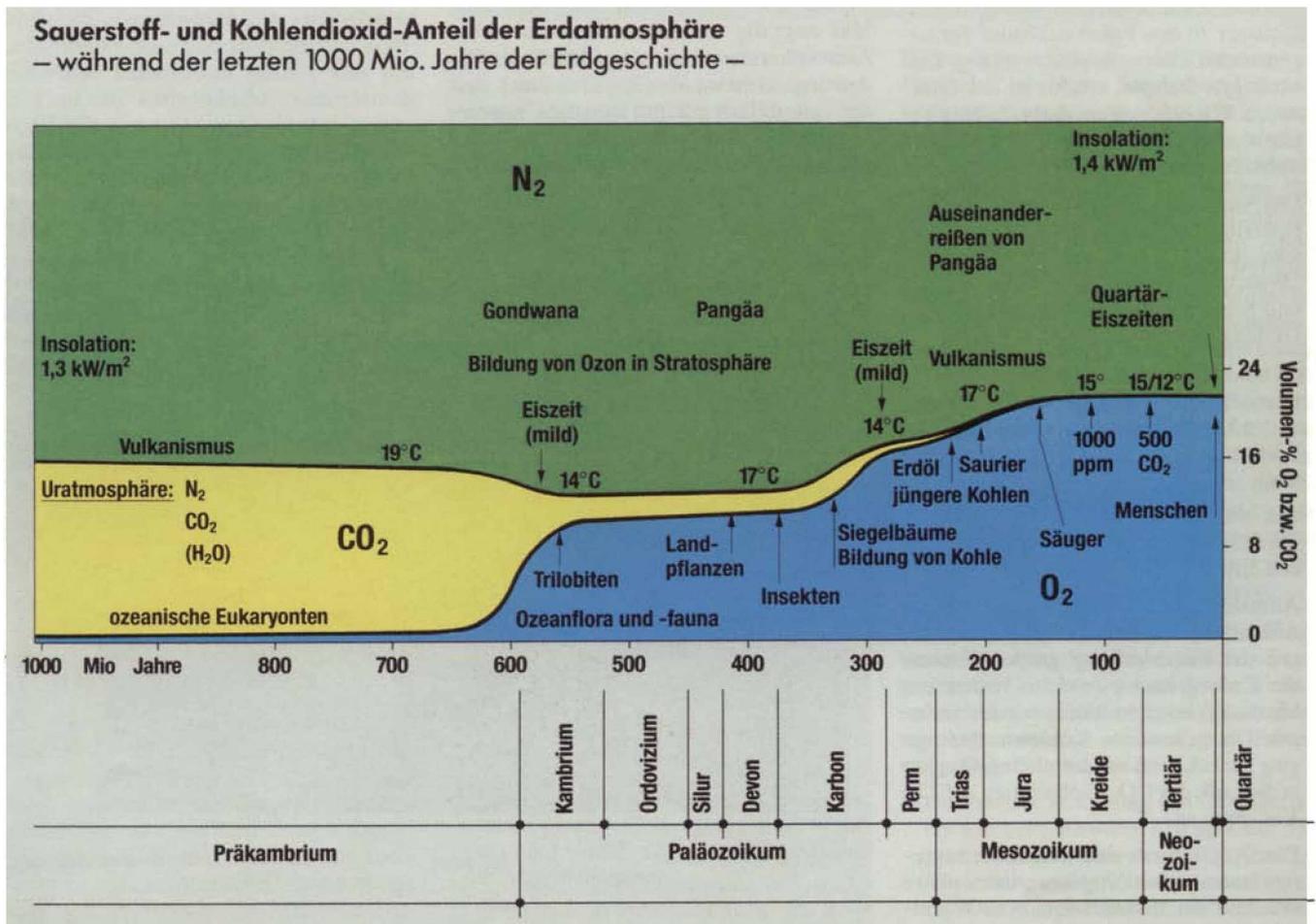
organischen Energieumwandlungen wird das gesamte Energiepotential in einem Schritt freigesetzt. Man könnte bildhaft von explosionsartiger Energietransformation sprechen. Während sich bei Naturkatastrophen (Erdbeben, Vulkanausbrüche, Stürme, Überschwemmungen) hochkonzentrierte Energieformen räumlich gebunden, aber vom Menschen weitgehend unkontrollierbar umwandeln, ist es in der Neuzeit gelungen, Explosionen in ortsungebundenen Motorblöcken kontrolliert ablaufen zu lassen. Kontrollierbar sind diese Prozesse, weil sie möglichst isoliert von der Umwelt (also in Motorblöcken oder in "hermetischen" Gefäßen) vollzogen werden, und die dabei verwendeten Stoffe raffiniert sind (vergleiche dazu Abschnitt 2). Das hat Folgen für die Umwelt.

Die fossilen Brennstoffe sind ja durch jahrmillionenlange Prozesse aufgebaut worden. Strahlungsenergie wurde dabei in chemisches Potential, in energiereiche Kohlenstoffverbindungen umge-

wandelt. Die somit langsam aufkonzentrierte Sonnenenergie stellt gleichsam komprimierte ökologische Zeit²⁾ dar (vergleiche Figur 1). Global konnte sich die Biosphäre bei deren Entstehung langsam an das Umwandeln (Photosynthese) und die Immobilisierung von CO₂ (zum Beispiel in Form von Kalk) anpassen. Da in den letzten Jahrzehnten immer mehr fossile Stoffe verbrannt und in kürzester Zeit wieder CO₂ freigesetzt wurden, haben sich die Zeiträume für Adaptionen stark verkürzt. Abwärme und Produkte der Verbrennungsprozesse überschwemmen gegenwärtig die Energie- und Stoffflüsse der für die Menschen relevanten Ökosysteme. Ihre Absorption in beste-

1) Um der Einfachheit willen betrachten wir hier Materie und Energie als äquivalent (zum Vergleich: Hochwasser, Lawinen).

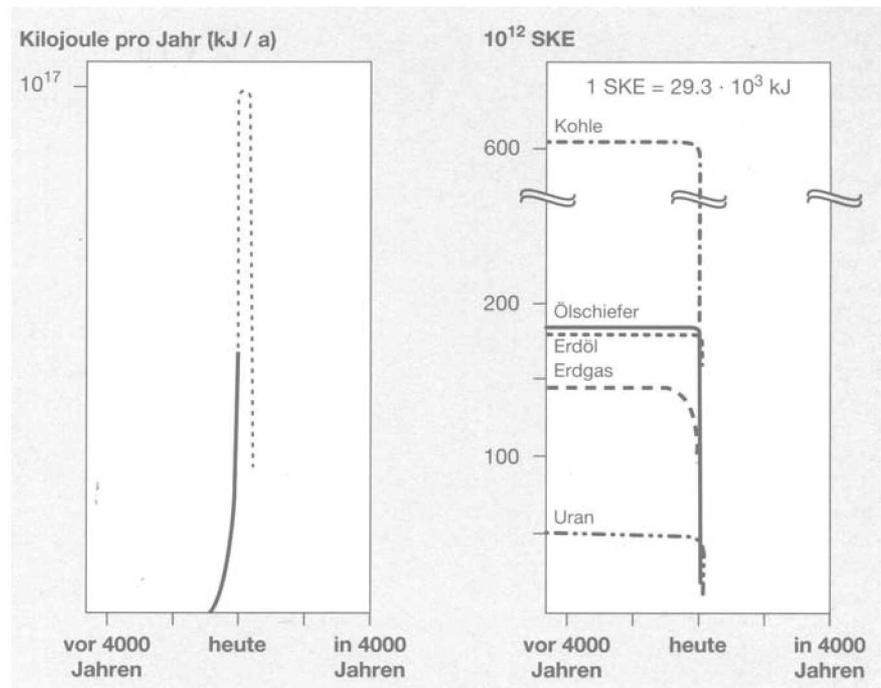
2) Pezzey verwendet den Ausdruck *time compression* im Kontext ökologisch-ökonomischer Analysen zur Nachhaltigkeit [2].



Figur 1. Geschichte der stofflichen Zusammensetzung der Erdatmosphäre (Quelle: G. Beckmann, B. Klopries: "CO₂-Anstieg in der Troposphäre – ein Kardinalproblem der Menschheit", *Der Lichtbogen* 38 (Juli 1989) 4–13).

hende Ökosysteme scheint nicht ohne deren Veränderung möglich. Deshalb sprechen wir von Abfallenergie und -stoffen. Das ist in erster Linie ein zeitliches Problem. Bildhaft gesprochen passiert beim abrupten Verbrennen so etwas wie ein Zeitschock³⁾: Die Zeit gegenwärtigen Lebens und Klimas wird plötzlich mit der ganz anderen, erdgeschichtlichen Zeit des Aufbaus der fossilen Brennstoffe konfrontiert (vergleiche Figur 2). Solche Veränderungen stellen in erster Linie für die menschliche Gesellschaft ein Problem dar. Wir verändern damit unsere Lebensgrundlagen. Der Natur ist das – wenn man so bildhaft reden darf – egal, sie wird sich auch damit arrangieren. Die Dynamik der Evolution selbst beruht ja auch auf solchen erdgeschichtlichen "Katastrophen" und Diskontinuitäten. Das Weltklima war ein weniger stabiles System, als man lange glaubte.

Dennoch kann man einen Unterschied machen zwischen der industriegesellschaftlichen Art der Energietransformation und derjenigen, welche etwa in der Photosynthese als biologischer Grundlage auch für menschliches Leben vollzogen wird. Bei der Photosynthese wird Lichtenergie durch die Pflanze mit Wasser und Kohlendioxid in Kohlenhydrate umgewandelt und gespeichert. Die Pflanze fungiert im Hinblick auf den Sonnenenergiefluß als Zeitverzögerer oder Zeitpuffer. Sie speichert Strahlungsenergie in Form von Kohlenhydraten. Aber diese chemisch gespeicherte Energie kann ohne Probleme wieder in Kreisläufe der Umwelt integriert werden. Organischer Abbau von Biomasse verläuft ohne große Temperatursprünge. Im Normalfall gehen bei solchen Prozessen im Vergleich zum Verbrennen fossiler Stoffe nur geringe Energieanteile als



Figur 2. Verbrauch von fossilen Energieträgern auf einer zivilisationsgeschichtlich relevanten Zeitachse. Die im Diagramm rechts angegebenen Werte (in Steinkohleeinheiten SKE) beziehen sich auf die gegenwärtig bekannten Vorkommen. Der Wert für Uran gilt für die Nutzung mit konventioneller Kernenergietechnik.

Abwärme verloren. Lebensprozesse sind ja an ein absolutes Temperaturniveau (die durchschnittliche Temperatur der Erdoberfläche, etwa 15 °C) angepaßt. Demgegenüber finden die Verbrennungsprozesse fossiler Energieträger auf einem relativ hohen Temperaturniveau statt (800–1400 °C). Die dabei freigesetzte Energie kann nur teilweise in mechanische Energie umgewandelt werden,⁴⁾ und die restliche Energie dissipiert in Form von Wärme in das Ökosystem. Womit hängt dieser Unterschied zwischen organischen und den "nicht-organischen" Energietransformationen zusammen?

Organische Energieumwandler sind kaskaden- und netzartig miteinander gekoppelt. Ihre Prozesse sind – soweit theoretisch bestimmbar⁵⁾ – nur als Flüsse von komplexen Wechselwirkungen zwischen sich ständig wandelnden Energieformen zu verstehen. Am gesamten Umwandlungsprozeß sind – man denke an die Vielfalt von Lebensformen schon nur in einem kleinen Stück Waldboden – zahlreiche in Organismen komplex wechselwirkende Stoffe und Energieformen sequentiell beteiligt. "Sequentiell", das heißt: (1) Diese Kaskaden haben zeitlich gesehen einen *irreversiblen* Charakter; (2) die beteiligten Energiewandler sind *Individuen*, denn Sequenzen in der Natur sind nur unter

stofflichen Individuen herzustellen.

Die Dissipation von Strahlungsenergie ist bei solchen Komplexen relativ gering, auch wenn die thermodynamischen Wirkungsgrade einzelner Prozesse, das heißt der Übergänge zwischen den Niveaus dieser Energienetze, etwa bei der Photosynthese nicht sehr hoch sind (maximal 7%). Die kleinen Unterschiede zwischen den Energiepotentialen werden aber durch vernetzte Vielfalt von Energieumwandlern genutzt. Entwickelt haben sich diese Vernetzungen im Laufe der erdgeschichtlichen Evolution in Form von Sozietäten, die ihre Lebensform den Nischen ungenutzter, dissipierender Energie anpaßten. Da also die einzelnen Prozesse der organischen Form von Energieumwandlung immer auf mannigfache Weise mit ihrer jeweiligen Umwelt verschränkt sind, stellen wir fest: *Ökologisch gesehen sind Energieformen an Stoff gebundene, durch Wechselwirkungen mit dem Umfeld sich zeitlich wandelnde Potentiale. Man könnte geradezu von Zeitformen sprechen.*

Das darf freilich nicht im streng physikalischen Sinne verstanden werden – das heißt, eine bestimmte Energieform darf nicht nur als thermodynamisch charakterisierbares und so quantifizierbares Potential für die Ver-

³⁾ Diese Metapher ist naturwissenschaftlich gesehen nicht präzise. Geschockt wird – so könnte man argumentieren – nicht die Zeit, sondern das Ökosystem. Unsere Pointe besteht im folgenden darin zu sagen, daß sich Zeit und Ökosystem ökologisch gesehen gerade nicht sauber trennen lassen.

⁴⁾ Bei Automobilen werden nur etwa 20 Prozent der Treibstoffenergie in Bewegungsenergie umgesetzt, in modernen (Gas- und Dampf-)Kohlekraftwerken und Dieselaggregaten werden Wirkungsgrade um 50 Prozent erreicht.

⁵⁾ Ausschnitte dieser Prozesse sind mit Strukturmodellen beschreibbar (vergleiche das Hämoglobinmodell bei der Beschreibung der Atmung). Es gelingt auch, energetische Parameter zu ermitteln: So wissen wir, daß der Wirkungsgrad photosynthetischer Prozesse 7 Prozent nicht übersteigt.

richtung von Arbeit betrachtet werden. Energie ist in der Gegenwart vorliegendes, in Abhängigkeit des Umfeldes sich ständig wandelndes, an Stoff oder Strahlung gebundenes Potential. So mag etwa eine bestimmte Energieform im thermodynamischen Sinne keine Arbeit mehr leisten. Sie ist also thermodynamisch stabil. Aber aufgrund ihrer Wechselwirkungen mit dem sich verändernden Umfeld stellt sie ein Potential dar. Ein Beispiel hierzu: Durch die Verbrennung von Kohle entstehen Kohlendioxid und Wasser, beides Stoffe, welche thermodynamisch stabil sind und dementsprechend nicht mehr als Energieformen gelten, welche Arbeit verrichten können. Betrachtet man jedoch Kohlendioxid als den für den Aufbau von Korallenstöcken nötigen Stoff, so ist es etwas, das in einem bestimmten Umfeld die entscheidende stoffliche Grundlage für "Arbeitsprozesse" darstellt.

Halten wir zum Schluß fest: Anders als bei der Verbrennung von fossilen Stoffen stehen bei organischen Energietransformationen regional oder lokal gesehen keine großen Energiekonzentrationen für gezielte Aktivitäten oder Stoffbewegungen zur Verfügung. Und weiter: Den zeitlichen Unterschied zwischen organischer und maschineller Energietransformation kann man sich daran klar machen, daß man für die einstündige Autofahrt von Zürich nach Basel den energetischen Gegenwert eines Rapsfeldes von einem Ar (100 m²) braucht, das in einer Vegetationsperiode gewachsen ist (vergleiche auch den Exkurs auf dieser Seite).⁶⁾

Wenn man aber den industriegesellschaftlichen Energieverbrauch nicht einfach bloß kritisieren will, stellt sich sofort die Frage: Wie ist diese Verfügbarkeit von Energie überhaupt möglich, wodurch also ist es möglich, Energietransformationen wie in den Industriegesellschaften, den sogenannten Hochenergiegesellschaften, zu kontrollieren? Wir untersuchen daher in Abschnitt 2 zunächst das räumliche Modell der Materie und in Abschnitt 3 die naturwissenschaftlichen Methoden der Energie- und insbesondere der Zeitmessung.

⁶⁾ Neben vernetzt-organischer und explosionsartiger kann man eine weitere Form, eine quasi direkte Energietransformation unterscheiden. Zu denken ist an elektrochemische Prozesse wie die der "flammenlosen Verbrennung" (Brennstoffzellen). Durch diese kann aus chemischem Potential direkt Strom gewonnen werden, ohne daß derart große "Abfälle" wie bei der Verbrennung fossiler Stoffe entstehen.

2. Strukturelle Ordnungen der Materie als Grundlage kontrollier- und berechenbarer Energietransformation

Ein Kalkkristall – wir nehmen hier Kalk (Calcit, CaCO₃) als Beispiel, weil darin Kohlendioxid (CO₂) gebunden, also in ökologisch unbedenklicher Weise immobilisiert ist – weist häufig eine offensichtlich (Figur 3a) geordnete Form auf (analoge Elemente, Winkelkonstanz, Symmetrie). Diese Form läßt sich ohne weiteres als Anordnung von quantifizierbaren Fragmenten bestimmen, die das Ganze aufbauen. Sichtbare Ordnungen dieser Art legten es nahe, sich den inneren, unsichtbaren Aufbau von Stoffen auch so vorzustellen³⁾.

Auf Grund genauer Naturbeobachtungen und geometrischer Kenntnisse

haben Naturwissenschaftler auch immer wieder versucht, den Zusammenhang zwischen innerem Aufbau und makroskopischen Erscheinungsformen sowie Eigenschaften von Stoffen zu ergründen. Makroskopische Eigenschaften sollten erklärt werden durch die Summe der Eigenschaften oder die räumliche Struktur und Wechselwirkungen der Elemente im mikroskopischen Bereich. Zu Hookes und Huygens' Zeiten im 17. Jahrhundert, später bei Linné (Biologie) und Häuy (Kristallographie) waren die Elemente oder Atome zur Beschreibung von Stoffen noch einheitlich gestaltet (Figur 3b–d). In Form etwa von Kügelchen, die in ihren unterschiedlichen strukturellen Anordnungen den verschiedenen Stoffen ihre jeweiligen Eigenschaften verliehen. Im Verlauf der naturwissenschaftlichen Entwicklung (Atomtheorie von Dalton; vergleiche Figur 4) wurden den "Kügelchen" selbst verschiedene Eigenschaften zuerkannt.

Exkurs: Staudämme als Zeitdämme

Auch am Beispiel der Wasserkraft könnte man den zeitlichen Aspekt verdeutlichen. Auch hierbei wird Energie gespeichert. Jedes Jahr wieder füllen sich hinter den Staumauern die Stauseen. Diese Konzentration ist aber für die betreffenden Ökosysteme energetisch und vor allem stofflich relativ unbedenklich. Auch handelt es sich um eine Energieform, bei deren Umwandlung in mechanische Energie keine Abfallstoffe entstehen sowie nur wenig Abfallenergie verlorengeht. Die Konzentration vollzieht sich in einem jährlichen Zyklus.

In unserer Perspektive sind aber auch Staumauern so etwas wie Zeitmauern. Sie setzen dem im Jahresablauf ständig schwankenden Eintrag und Abfluß eine zeitliche Schranke – eben etwa ein Jahr. Man entnimmt somit dem regionalen Wasserhaushalt nicht mehr, als hereinkommt. Dabei verändert man zwar regionale Ökosysteme, aber der Wasserhaushalt wird in bezug auf ökologische Zeiträume nicht wesentlich verändert. Dies gilt allerdings nur, wenn gewisse, regional zu eruiierende Größenordnungen und Zeitrhythmen nicht überschritten beziehungsweise mißachtet werden (vergleiche hierzu die unerwarteten Folgen von Großprojekten wie dem Assuan-, Itaipu- und Atatürk-Staudamm).

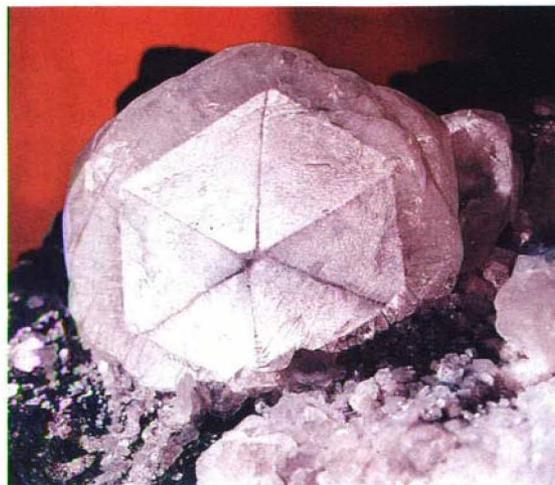


Photo: O. Meidenbach

Figur 3. Kalk, Calcit, Calciumcarbonat, CaCO₃ – seine Wachstums- beziehungsweise Erscheinungsformen und deren atomistische, kristallographische, mineralogische und biologische Deutung.

(3a) Hier links zunächst ein natürlicher Kalkkristall.

ELEMENTS			
	Hydrogen 1		Strontian 86
	Azote 5		Barytes 68
	Carbon 5		Iron 50
	Oxygen 7		Zinc 56
	Phosphorus 9		Copper 56
	Sulphur 13		Lead 90
	Magnesia 20		Silver 190
	Lime 24		Gold 190
	Soda 28		Platina 190
	Potash 42		Mercury 167

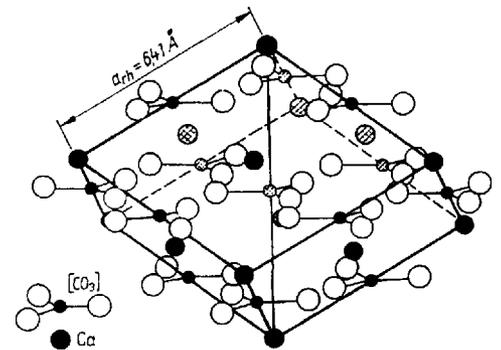
Figur 4. Die Begründung der modernen Atomtheorie geht auf John Dalton zurück. Hier ist seine Tabelle von 1808 wiedergegeben, in der die kleinsten stofflichen Fragmente – die Atome oder "Unteilbaren" – als Kügelchen mit unterschiedlichen Eigenschaften, das heißt Atome unterschiedlicher Elemente nach ihren relativen Atommassen geordnet sind. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß manche dieser Daltonschen "Elemente" Verbindungen sind (so Magnesia, Lime, Soda, Potash, Barytes, die Dalton damals noch nicht chemisch weiter zerlegen konnte).

Somit konnte dann auf einer tieferen Ebene wieder nach entsprechenden Elementen und deren Anordnung und Wechselwirkung gefragt werden. Auf der jeweils tiefsten dieser Ebenen sah man die Bausteine der Materie angesiedelt. In modernen Lehrbüchern der Kristallographie findet man dann als Resultat dreidimensionale Strukturen sowie Parameter, welche die makroskopischen Eigenschaften steuern beziehungsweise bedingen (Figur 3e) [4].

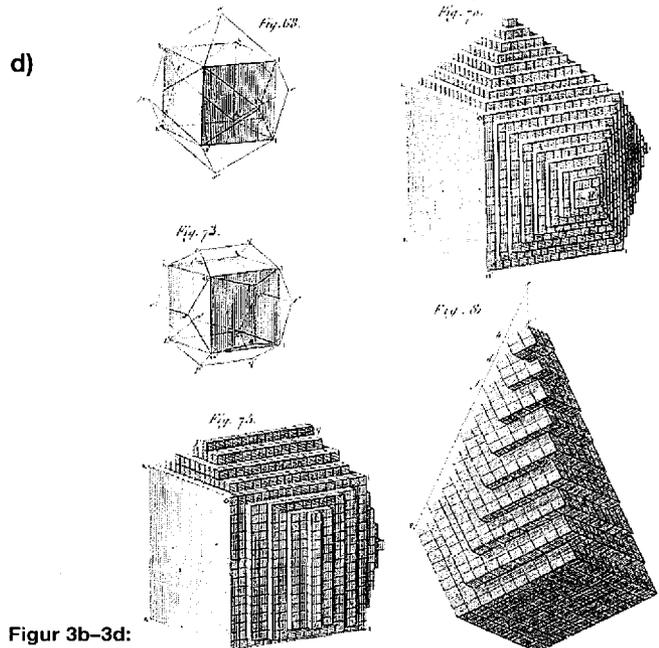
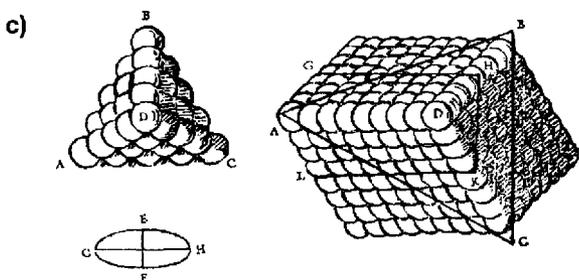
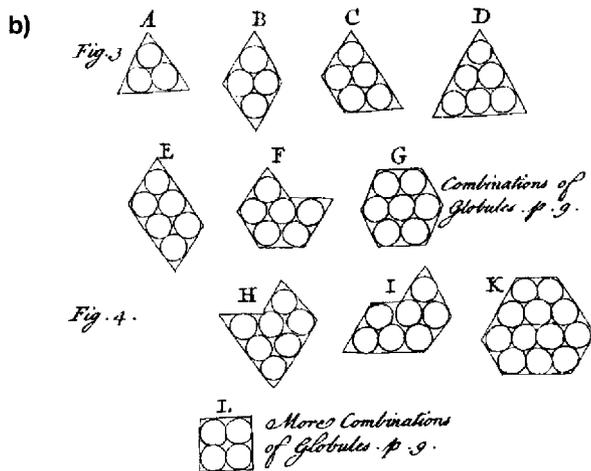
Seit dem 19. Jahrhundert konnten chemische Stoffe immer besser beschrieben werden als Materieteilchen (Atome, Moleküle und so weiter), die in quantitativ bestimmter Weise räumlich und bezüglich ihrer Zusammensetzung (Stöchiometrie) strukturiert sind. Weil man diesen inneren Aufbau kannte, konnten Stoffe auch immer besser und gezielter umgewandelt, das heißt umstrukturiert werden. Der Erfolg dieser Arbeiten beruht nicht zuletzt darauf, daß das Umfeld, in welchem die Stoffe bestimmt und umgewandelt werden, praktisch immer sehr einfach gestaltet ist: In geschlossenen Gefäßen, deren Wände als Energie- und Stoffaustauschbarrieren gegen äußere Einflüsse dienen, wird die Wechselwirkung mit sehr wenigen Reaktionspartnern unter ganz bestimmten experimentellen Bedingungen untersucht und interpretiert. Stö-

rende und für jeden Ansatz individuell ablaufende Reaktionen werden ausgeblendet oder – wie man das zu nennen pflegt – auf Unregelmäßigkeiten der Struktur zurückgeführt. So kann man – um nur ein Beispiel zu nennen – strenggenommen keine absolut identischen Kristalle züchten. Uns beschäftigt, ob solche Ausblendungen generell vernachlässigbar oder vielleicht doch relevant sind [5].

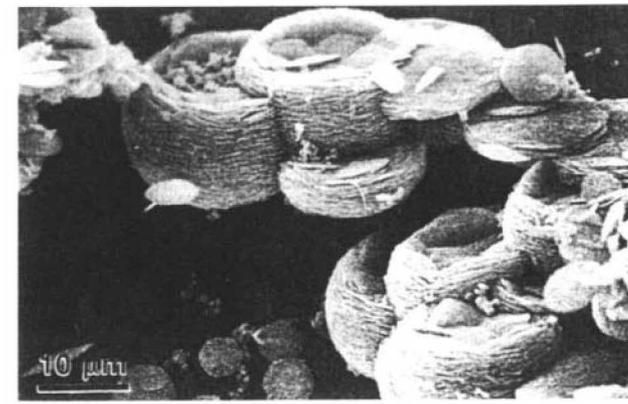
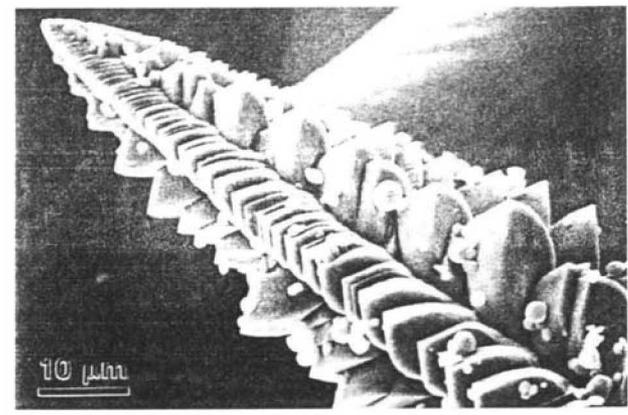
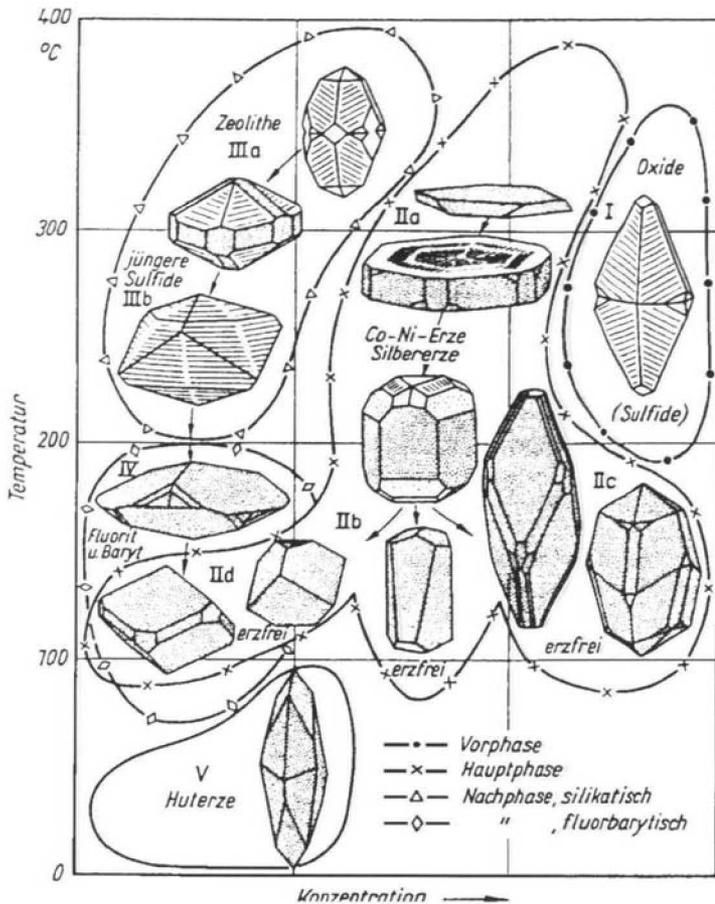
Indem Stoffe als strukturell geordnete Materie bestimmt werden, ist es möglich, die unabsehbaren und nicht prognostizierbaren Wechselwirkungen mit ihrem Umfeld als "Nebenreaktionen"



Figur 3e. Schematische Darstellung der Atom- beziehungsweise Kristallstruktur von Calcit, CaCO_3 . Beachtenswert ist hier, daß die Elemente klar unterschiedlich symbolisiert werden (H.J. Rösler: *Lehrbuch der Mineralogie*, VEB Leipzig 1981).

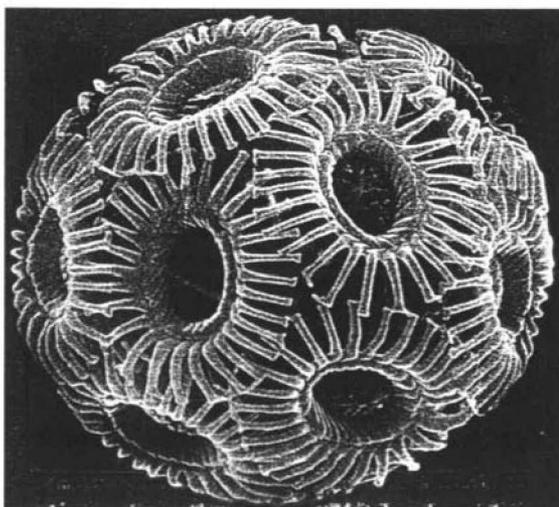


Figur 3b–3d: (3b) Darstellung des Aufbaus der Materie aus räumlich verschieden geordneten Verbänden von Atomkügelchen (Robert Hooke: *Micrographia restaurata*, London 1664). (3c) Darstellung des atomaren Aufbaus von Kalk (Christiaan Huygens: *Traité de la lumière*, Leiden 1690). (3d) Die Konstruktion von makroskopischen, nicht-kubischen stofflichen Erscheinungsformen durch verschiedene räumliche Anordnungen von Kuben (René J. Haüy: *Traité de cristallographie*, Paris 1822).



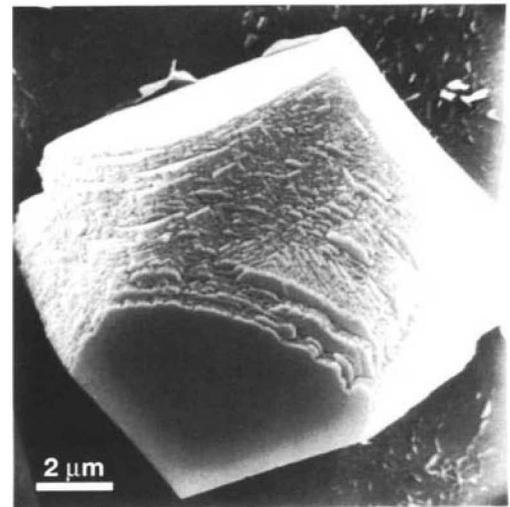
Figur 3f-3i:
(3f) Veränderung von Tracht und Habitus des Minerals Calcit in Abhängigkeit von den Bildungsbedingungen (Temperatur, Stoffkonzentrationen, Paragenese) oder der jeweiligen "Entstehungsgeschichte" (H.J. Rösler: *Lehrbuch der Mineralogie*, VEB Leipzig 1981).

(3g) Beeinflussung von Tracht, Habitus und Modifikation der Verbindung CaCO_3 in Abhängigkeit der Randbedingungen während der Genese (oben rechts: nadeliger Aragonit wandelt sich in Wasser bei Raumtemperatur in würfelförmigen Calcit um; Mitte: Calcitkristalle, die in einem relativ starken Magnetfeld gezüchtet wurden; unten: Vaterit-Agglomerate). Aragonit, Calcit und Vaterit sind die drei bekannten Modifikationen der Verbindung CaCO_3 , ihre Kristallstrukturen sind verschieden, die chemische Zusammensetzung aber gleich.



(3h) Links: Coccolith-Kalkgerüst als kunstvolle und zweckmäßige Anordnung von mikroskopischen Calcit-Kristallen.

(3i) Rechts: Raster-elektronenmikroskopische Aufnahme der Wachstumszone eines in einem natürlichen Gewässer wachsenden Calcit-Kristalls. Man beachte den durch hochgeordnete Mikrokristalle charakterisierten Aufbau der Wachstumszone.

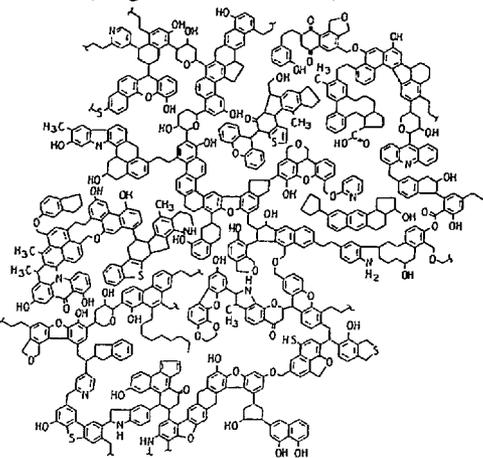


auszublenden. Um es etwas überspitzt zu formulieren: Die ideale Struktur ist wichtiger als die "konkrete" zeitliche Gestalt gegenwärtiger Stoffe – etwa die Oberfläche von Kristallen unter dem Rasterelektronenmikroskop – mit ihrer Geschichte, ihren Unregelmäßigkeiten, Abweichungen und Eigenheiten. Wenn wir von (Stoff-)Geschichte reden, dann meinen wir im folgenden also die zeitlich entstandenen oder gewachsenen Wechselwirkungen mit spezifischen Umfeldern (Figur 3f–i).⁷⁾ Wir hätten uns hierfür auch die Metapher der "Biographie" vorstellen können, aber die dabei möglichen (biologischen und ethischen) Mißverständnisse haben uns bewogen, darauf zu verzichten.

In einem Artikel über Lavoisier heißt es: »Die Herkunft der Substanzen, die Häufigkeit ihres Vorkommens auf der Erde oder in Luft interessieren den Chemiker nicht unmittelbar. Es kommt nicht darauf an, ob das Kupfer aus Zypern oder anderswoher stammt. Das Universum des Chemikers liegt nicht in der Natur.«⁸⁾ Die ideale Struktur stellt zudem einen geeigneten Bauplan zur wissenschaftlichen und technischen Verfügung dar. Zum Beispiel wird das Kohlemodell der durchschnittlichen Zusammensetzung von Kohle in etwa gerecht, gibt jedoch keinerlei Auskunft darüber, in welchem konkreten geographischen und zeitlichen, also in welchem ökologischen Raum die Pflanze als Ausgangsstoff für ein bestimmtes Stück Kohle wuchs. Das heißt, die je spezifische Vergangenheit des Stoffes wird ausgeblendet. Das Strukturmodell von Kohle (Figur 5) gibt nur Auskunft über die durchschnittlichen, beständig reproduzierbaren Nutzungsmöglichkeiten dieses Energieträgers. Es unterschlägt als dieses Modell die ökologisch-geschichtlichen Dimensionen jeweiliger Kohlen, und ermöglicht somit den schon erwähnten ökologischen Zeitschock bei deren Nutzung.

Die in naturwissenschaftlichen Theorien vorkommenden Objekte – also die von uns so genannten strukturellen Ordnungen, Gesetze, Formeln, Gleichungen et cetera – kommen als solche in stofflichen Ökosystemen nicht vor. Sie sind allgemein und abstrakt, das heißt von einer Struktur, in der viele Geschichten von Naturdingen zusammengedacht sind. Aus der strenggenommen bloßen Ähnlichkeit der Dinge schaffen die Naturwissenschaftler und -wissenschaftlerinnen eine Identität. Deshalb haben wir eben von Strukturmodell gesprochen. In ihrer Allgemeinheit unterscheidet sich die Struktur

der Objekte unserer Theorien von den stofflich gegebenen Einzelphänomenen der Natur⁸⁾, die immer zeitlich in spezifische Umwelten integriert sind. Picht hat diesen Theorierahmen "ewige Gegenwart" genannt¹⁰⁾ und damit einen gleichsam platonisierenden Charakter der Naturwissenschaften nachweisen wollen. Erinnerung sei an den schon erwähnten Unterschied zwischen einer einzelnen Pflanze, die in Kohle überging, und dem wissenschaftlichen Kohlemodell. Die Naturwissenschaft der Neuzeit hat ganz spezielle Methoden des Messens entwickelt, die es gestatten, Natur so "gleich-gültig" zu behandeln (vergleiche Abschnitt 3).



Figur 5. Modell des atomaren Aufbaus von Kohle (die Striche bedeuten Kohlenstoff-Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Fremdatom-Bindungen).

Um Mißverständnisse zu vermeiden, erscheinen noch drei Anmerkungen notwendig:

(1) Unter *Individualität* verstehen wir die strenggenommen einmalige und nicht exakt beschreibbare Gesamtheit der Vielfalt von Aspekten eines Gegenstandes, seine Mehrdimensionalität.⁹⁾ Wir nehmen diese Individualität in zeitphilosophischer Perspektive als seine Zeitlichkeit wahr und haben deshalb von seiner Geschichte in sich ständig wandelnden Umwelten gesprochen. Man könnte nun einwenden: Ist der Begriff der Individualität nicht selbst von einer Abstraktheit, die der Intention der Autoren (konkrete Geschichten) widerspricht? Natürlich ist der Begriff abstrakt. Wir sagen auch gar nicht, daß wir auf Abstraktion verzichten können. Uns geht es darum, bei ihrem Einsatz die dabei wirksamen Ausblendungen nicht zu vergessen, also im Auge zu behalten, daß – um es mit einem von Gregory Bateson gebrauchten Bild zu sagen – "die Karte nicht das Territorium ist"¹⁰⁾. Es geht um ein

Berücksichtigen dessen, was in spezifischen (wissenschaftlichen) Kontexten nicht faßbar ist, aber nicht einfach unter den Tisch fallen soll.

(2) In den Naturwissenschaften – so unsere keineswegs neue These – wird im Normalfall ein Schnitt durch die Individualität von Dingen gemacht, um zu exakten, quantifizierbaren Beschreibungen zu gelangen. Das Resultat dieses Schnittes nannten wir die strukturelle Ordnung von Materieteilchen. Wir betonen, daß Phänomene der Natur nicht von sich aus und *als Ganze* solche quantitativ erfassbaren Strukturen sind. Wir betonen "als Ganze sind" – denn gewisse ihrer Aspekte lassen sich ja tatsächlich auf diese Weise modellieren und handhaben! Wir üben hier also keine billige Wissenschaftskritik. Was die Naturwissenschaften beschreiben und modellieren sind wirkliche Eigenschaften von Gegenständen und Prozessen in der Natur. Sonst wäre die darauf beruhende Technik nicht so effizient. Herausgegriffen werden sozusagen die stabilen, kaum veränderlichen und ähnlichen Strukturen.¹⁰⁾ Was wir kritisieren ist, daß der *selektive* Charakter dieser Operationen in der Regel nur ungenügend durchschaut wird und seine praktischen Konsequenzen unbeachtet bleiben.

(3) Wo aber wird nun das Reden von (Stoff-)Geschichten relevant? Man kann sich das leicht am Beispiel ökologischer Fragestellungen deutlich machen: Gegeben sei eine ganz bestimmte Ladung von PVC-Rohren. Deren exakte Ener-

⁷⁾ Vergleiche dazu Pichts Definitionen:

»Wir nennen einen Verlauf, der durch die Einmaligkeit jeder seiner Phasen charakterisiert ist, 'Geschichte'. Wir nennen Ökologie eine Wissenschaft, die uns zu verstehen lehrt, wie aus allgemeinen Gesetzen folgt, daß innerhalb eines einmaligen Oikos jeder Prozeß, der durch die Struktur dieses Oikos bestimmt oder beeinflusst wird, jene Form des Verlaufs annehmen muß, die wir ... 'Geschichte' genannt haben.«^[1a]

⁸⁾ Das wird besonders deutlich an den Gleichungen chaotischer Systeme: Sie stellen Strukturgesetze dar, ohne daß man daraus die einzelnen, zukünftigen Tatsachen ableiten oder prognostizieren kann [?].

⁹⁾ Das Wort Individualität fungiert hier als quasi logischer Begriff (je spezifische Andersheit und unteilbare Ganzheit von natürlichen "Gegenständen" und Prozessen), während das Wort Stofflichkeit eher die Konnotation von "in der Erfahrung gegeben" hat, also das meint, was uns als ästhetisch oder theoretisch Erfahrenden mit einer gewissen Widerständigkeit entgegentritt.

¹⁰⁾ Picht: »Ohne ein hohes Ausmaß an Stabilität ist kein Organismus, geschweige denn Evolution denkbar.«^[1c]

giebilanz (inklusive "grauer" Energie) ist nur erstellbar, wenn man weiß, wo der Stoff herkommt: aus welcher Fabrik, mit welchen Fabrikationsmethoden gefertigt, mit welchen Energieträgern und so weiter. Und auch nur, wenn man weiß, wie die PVC-Rohre genutzt werden und wo sie hinkommen. Die Kenntnis der Geschichte eines Stoffs ist so gesehen die Grundlage für die Angabe etwa seiner wirklichen Energiekosten!

3. Zum Messen von Energie und Zeit

Energie kann man definieren als das, "was einem materiellen System zugeführt oder entzogen werden muß, um es umzuwandeln oder fortzubewegen" ^[9a]. Die zeitlichen Implikationen hiervon sind evident. Diese Definition kann man spezifizieren: Energie gilt dann als Potential, "nützliche Arbeit zu leisten" ^[9b]. Solche Potentiale stellen wir auch heute noch in Form der durch die mechanistische Physik ins Zentrum gerückten Maßeinheiten dar. Diese nehmen wie etwa die chemischen Formeln struktureller Ordnungen auf regionale Ökosysteme und Stoffkreisläufe mit spezifischen Geschichten keine Rücksicht. Die Physiker schufen mit ihnen vielmehr einen Darstellungsraum, in dem sich völlig verschiedene natürliche Prozesse als Energiesysteme vergleichen lassen. Die lineare Skala der Energieeinheiten ist

für alle möglichen, x-beliebigen Einträge offen.

Ähnliche Abstraktionstendenzen sind auch in der Art und Weise zu finden, wie seit dem 17. Jahrhundert Zeit dargestellt wird. Galileis Untersuchung etwa der gleichförmig beschleunigten Bewegung, seine empirische Prüfung des Fallgesetzes also, war nur möglich, weil er einen gleichbleibenden Bezugsrahmen für die abwärtsrollenden Kugeln geschaffen hatte: die gleichmäßige Bewegung des ausfließenden Wassers seiner Wasseruhr.

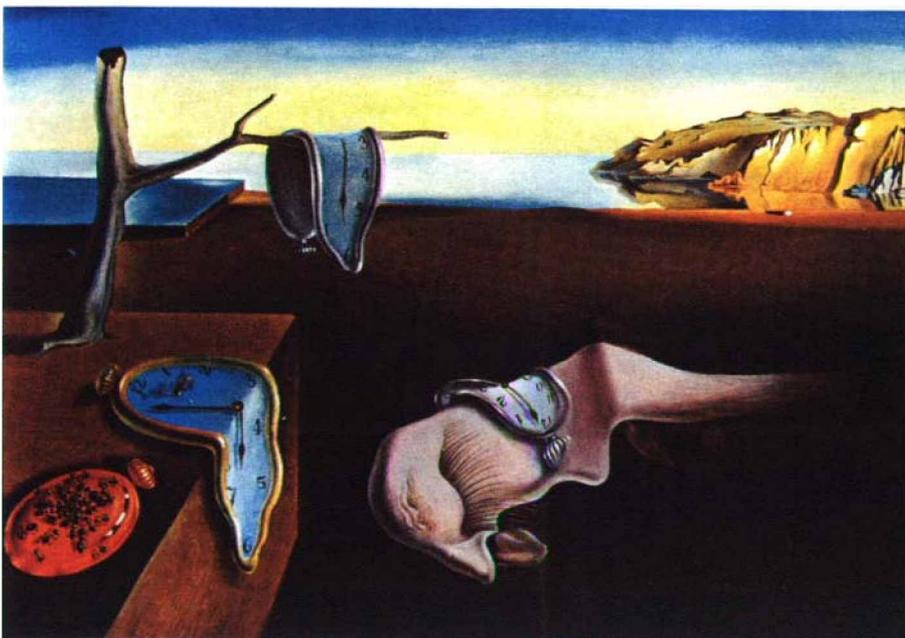
Dazu eine Passage aus Galileis berühmter Schilderung seines sogenannten Fallrinnen-experiments: In einer unterschiedlich steil aufgestellten Fallrinne ließ Galilei Kugeln niederrollen und ermittelte deren Fallzeit. Ausreichend genaue mechanische Uhren gab es zu jener Zeit noch nicht. Galilei konstruierte dafür eine andere Einrichtung: »Zur Ausmessung der Zeit stellten wir einen Eimer voll Wasser auf, in dessen Boden ein enger Kanal angebracht war, durch den ein feiner Wasserstrahl sich ergoß, der mit einem Becher aufgefangen wurde, während einer jeden beobachteten Fallzeit: das dieser Art gesammelte Wasser wurde auf einer sehr genauen Waage gewogen; aus den Differenzen der Wägungen erhielten wir die Verhältnisse der Gewichte und die Verhältnisse der Zeiten, und zwar mit solcher Genauigkeit, daß die zahlreichen Beobachtungen niemals merklich von einander abwichen.« ^[10]

Die Gleichmäßigkeit der Bewegung, nicht etwa qualitative Veränderungen

im Wasserfluß, bildete das Referenzsystem von Galileis Modell der Zeit. Die Quantifizierung zeitlicher Prozesse generell ist nur denkbar, wenn man – ohne das immer explizit zu sagen – eine gleichmäßige Bewegung, auch einen Rhythmus, als unveränderliches Bezugssystem benutzt. ^[11] Daran lassen sich zwei Aspekte ablesen, die für das moderne, insbesondere physikalische Zeitverständnis wichtig geworden sind:

(1) Die Zeit ist dabei vorausgesetzt als ein mit sich gleich bleibendes Kontinuum, in dem sich Ereignisse und Prozesse abspielen. Das Vorbild für diese Auffassung der Zeit sind wie schon in Platons *Timaios* ^[12] nicht die Prozesse, wie wir sie in unserer pflanzlichen und tierischen, ja auch der anorganischen und klimatischen Umwelt beobachten können. Veränderung in der Zeit, mithin Bewegung vollzieht sich hier häufig als Diskontinuität, ja sogar Katastrophe. Positiv spricht man von den Spielräumen offener Systeme. Demgegenüber sind es die astronomischen Zeitläufe der Himmelsmechanik und ihre periodische Wiederkehr, die als Vorbild für Galileis Zeitmodell, ja für die Konstruktion von (mechanischen) Uhren überhaupt dienen.

(2) Picht hat dieses Zeitkontinuum "lineare Zeit" genannt. Er hat damit das naturwissenschaftliche Zeitverständnis generell charakterisieren wollen und das exemplarisch an den Newtonschen Bewegungsgleichungen vorgeführt: »Mathematisch haben die Bewegungsgesetze die Form von Funktionen. Als Koordinatensystem für diese Funktionen dienen die drei Dimensionen des Raumes und der – niemand weiß wie – daran angelegte Parameter der linearen Zeit. Die Zeit muß als linearer Parameter dargestellt werden, weil sie sonst nicht die mathematischen Eigenschaften hätte, die für dieses Koordinatensystem erforderlich sind.« ^[13] Wir ziehen es vor, statt von "linearer" von *chronometrischer Zeit* zu sprechen. Der Grund dafür liegt in möglichen Mißverständnissen beim Begriff der "linearen Zeit", auf die wir noch zu reden kommen. Neben den drei Koordinaten des Raumes benutzen wir also in den Wissenschaften die chronometrische Zeit, um Phänomene einerseits zu verorten und sie andererseits zu vermessen. Die entsprechenden wissenschaftlichen Graphiken mit ihren jeweiligen Zeitachsen sind allen bekannt. Wir übertragen das als Zeit vorausgesetzte, regelmäßige Bezugssystem, von dem eben die Rede



Salvador Dalí: *Die Beständigkeit der Erinnerung* (1931).

war, ohne weiteres auf eine (Zahlen-) Gerade. Das Vermessen des Zeitkontinuums müßte man sich hier – wenn man eigens darauf reflektieren würde – als Bewegung eines Cursors vorstellen. Eine Bewegung, die kontinuierlich aus der Vergangenheit über die Gegenwart jeweils fixierter Jetztpunkte in die Zukunft verläuft. Die Kontinuität dieser nur *gedachten* (bildhaft vorgestellten) Bewegung machen wir uns dann wieder sichtbar durch die Einteilung der Zeitgeraden in gleich lange Zeiteinheiten, die wir zählen können. Damit sind wichtige Grundlagen des Quantifizierens zeitlicher Prozesse gegeben. Mittels solcher Zeitprojektion vergleichen und vermessen wir natürliche Prozesse und Bewegungen auch visuell-graphisch. Man kann sich das zum Beispiel am Wachstum von Kupfersulfat-Kristallen unter genau definierten experimentellen Bedingungen anschaulich machen. Innerhalb gewisser Bandbreiten sind bei deren Wachstum unstete Übergänge möglich. Diese physikalischen Unstetigkeiten können wir nur deshalb vermessen, weil wir in Form der chronometrischen Skala ein Bild von völlig gleichmäßigen Bewegungen haben, das wir allen Messungen von individuellem Kristallwachstum zugrunde legen.

Festgehalten sei: Wir behaupten nicht, daß Naturwissenschaftler selbst die Zeit so erläutern würden. Wir haben versucht, von außen den wichtigsten wissenschaftlichen Umgang mit der Zeit zu beschreiben. Einigkeit ergäbe sich vermutlich schnell darin, daß es sich bei diesem Zeitverständnis nicht um die Beschreibung einer unabhängigen Wirklichkeit von Zeit handelt. Physiker betonen deshalb heute gerne, daß es ihnen um einen operativen Zugang zur Zeit gehe^[12a]. Dieses wissenschaftliche Bild der quantifizierbaren und skalierbaren Zeit prägt auch unseren Alltag. Es gelingt uns damit, unser Leben auf Tage, Monate und Jahre hinaus exakt zu planen. Zu denken ist etwa an die Organisation der Rentenvorsorge, unsere Arbeits- und Freizeitplanung. Wir betonen dieses "es gelingt". Damit halten wir fest, daß die chronometrische Zeit nicht bloß ein fiktives Modell sein kann, das wir Prozessen aufkrotyieren! Wir

haben es in den ersten beiden Abschnitten unseres Aufsatzes selbstverständlich vorausgesetzt. Ebenso klar ist allerdings, daß zu anderen Zeiten und in anderen Kulturen Zeit anders bestimmt wurde. Nicht über quantifizierbare, das heißt meßbare, sondern über qualitative Aspekte: Es gibt – durchaus auch genau regulierte und regulierende – Zeiten des Heils, des Friedens, des Essens, des Festens, der Liebe und so weiter. Auch aus unserem Alltag kennen wir mit Langeweile, Glück, Depression und ähnlichem mehr Phänomene, die sich zwar im Kontext physikalischer Zeit vermessen lassen, deren Erleben sich aber gerade nicht im Quantitativen erschöpft.

4. Eine ökologische Frage nach der Zeit

Die chronometrische Zeit, wie wir jetzt von ihr gesprochen haben, ist typisch für die im Anschluß an Galilei und Newton sich entwickelnde mechanistische Wissenschaft (insbesondere die Physik). Wir konzentrieren uns auf einen hierbei vorkommenden kritischen Punkt, der ökologisch bedeutsam ist.

Wir diskutieren hier nicht das Zeitproblem, wie es sich im Anschluß an die spezielle Relativitätstheorie heute stellt. Negiert wird dort universelle Gleichzeitigkeit, gesprochen wird von Zeitdehnung und Zeitverlangsamung. Immer aber geht es dabei um von Uhren gemessene Zeit. Auch gibt es – soweit wir wissen – Transformationsregeln, die es gestatten, die Zeit von einem relativen Bezugssystem ins andere, von einem Beobachtungsstandpunkt also in einen anderen, umzurechnen^[12b, 13a]. Die zeitphilosophischen Implikationen der speziellen Relativitätstheorie sind für unser Problem vermutlich ohne Belang, weil die entsprechenden Effekte in den von uns gewählten Dimensionen (im Unterschied zu denen physikalischer Kosmologie) vernachlässigbar sind. Man könnte aber im Sinne einer Analogie vielleicht sagen, daß wir so etwas wie eine Relativitätstheorie für irdische, ökologische Prozesse suchen.

Die Zeitlichkeit mechanischer Bewegungen hat man in der neuzeitlichen Physik in Analogie zur strukturellen Ordnung der Materie als Ortsveränderung im Raum bestimmt. Größere oder kleinere Partikel oder Objekte bewegen sich gemäß spezifischer Prozeßregeln durch den Raum und bauen

so Systeme auf: vom Sonnensystem bis hin zu Mikrosystemen der Chemie und der Physik. Traditionelle Naturwissenschaft reduzierte die Gegenstände und Prozesse der Natur immer auf diese Ebene strukturell geordneter Bewegungen von Materiepartikeln. Aber aus unserer Perspektive sieht die Sache anders aus: Die chemische Formel für die Prozesse der Photosynthese bleibt zwar immer gleich, aber das Blatt, der Grashalm oder die Alge – also die Systeme, welche aus den strukturell beschriebenen Prozessen aufgebaut sind –, aber eigentlich auch die dabei verwendeten einzelnen Moleküle und auch Atome^[12] verändern sich bei diesem Geschehen qualitativ, bis hin zum Absterben des Organismus, bis hin zur Transformation der Moleküle und – für die Photosynthese nicht relevant, vielleicht aber wenn man einen genügend großen Zeitmaßstab wählt – zum Zerfall der Atome. Deshalb haben wir wiederholt von Geschichten im Sinne von zeitlich strukturierten, individuellen System-Umwelt-Wechselwirkungen gesprochen^[14].

Aber gegenüber solchen Geschichten ist die chronometrische Skala indifferent. Die Eigenzeit der Geschichten von stofflichen Individuen wird durch die Projektion auf die eine, äußere chronometrische Skala ausgeblendet, das heißt in unserer Terminologie, als strukturell geordnete Materie bestimmt. Man kann über eine Zeitachse beliebige Ordinatenwerte auftragen. In diesen lassen sich beliebige, qualitativ völlig verschiedene, individuelle, stoffliche Ereignisse, Geschichten und Prozesse subsumieren. Und zwar selektiv in zweierlei Hinsichten: (1) im Hinblick auf ihre vergleichbaren quantitativen Merkmale; (2) bei diachroner Betrachtungsweise im Hinblick auf standardisierte Stoffgeschichten. Um noch einmal das schon verwendete Beispiel zu bringen: Daß Kohlenstoffe gleichsam eine Geschichte mit sich herumtragen, spielt in den üblichen naturwissenschaftlichen Beschreibungen ihrer Prozessualität kaum eine Rolle. Die chronometrische Skala ist unmittelbarer Ausdruck für diesen Sachverhalt. Anders gesagt: Quantitative Aspekte von Prozessen (zum Beispiel Galileis Gleichung für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung) machen nur auf dem Hintergrund dieses Zeitverständnisses Sinn.

Wenn das stimmt, dann müßte es eigentlich Konsequenzen auch im Hinblick auf das Zeitverständnis in den Naturwissenschaften haben. Aber nach

¹¹⁾ An diesem Sachverhalt ändert sich auch durch die Benutzung von mechanischen, elektronischen oder "atomaren" Uhren nichts.

¹²⁾ Hier wären etwa die wechselnden Energiepotentiale von Atomen in verschiedenen Umgebungen zu erwähnen.

Drei Exkurse zu Stoffgeschichten

Nach unserer These soll die Geschichte von Stoffen wo immer möglich berücksichtigt werden. Ein solcher Ansatz ist mit den modernen Konzepten des Stoffmanagements, des Ökoinventars, der Ökobilanz vereinbar und findet gerade auf dieser wirtschaftlichen Ebene praktische Anwendungen und Umsetzungsmöglichkeiten. Dazu drei Beispiele:

Stoffgeschichte 1 Die Kartoffel ^[22]

Der Kartoffelanbau zieht bekanntlich Nutzen daraus, daß solare Strahlungsenergie durch Photosynthese in verwertbare chemische Stoffe umgewandelt wird. In einer Energiebilanz kann das Verhältnis zwischen der in der Kartoffel gesammelten Sonnenenergie – etwa 3.5 Megajoule pro Kilogramm – und der für den Anbau, die Ernte und die Verwertung aufgewendeten, heute meist aus fossilen Quellen entnommenen Energie berechnet werden. Diese einfache Bilanz unterschlägt allerdings den Ernährungswert von komplizierten organischen Verbindungen wie Vitaminen und anderen mehr, die in einer Kartoffel auch aufgebaut werden. Sie rechnet nur in Energieeinheiten, in Kilojoule. Auch wenn hierbei die stofflichen Qualitäten noch nicht berücksichtigt werden, ist leicht zu sehen, daß die Geschichte einer Kartoffel zu extrem unterschiedlichen Energiebilanzen führt: Werden die Kartoffeln direkt an Schweine verfüttert, so kommt man zu einem Aufwand/Energieinhalt-Verhältnis von 1 : 4–6, das heißt, es wurde etwa vier mal soviel Energie gesammelt, wie man für Anbau und Ernte aufgewendet hat. So ist die Kartoffel eine sehr effiziente Sammlerin von Sonnenenergie. Werden die Kartoffeln jedoch zu Pommes chips oder zu Flocken für Kartoffelpuffer verarbeitet, so ergibt sich im Regelfall eine Negativbilanz. Der Aufwand übersteigt den Ertrag manchmal um Größenordnungen.

wie vor wird dort mit größter Selbstverständlichkeit die immer gleiche chronometrische Skala angewendet. Wir halten diese Selbstverständlichkeit für fragwürdig. Wir halten es für lohnend zu fragen, ob qualitative Prozesse, individuelle Ereignisse und komplexe Relationierung so selbstverständlich in diese Zeitprojektion eingetragen werden dürfen. In der Natur begegnet uns ein unendlich komplexes Gefüge von individuellen Zeiten und aufeinander bezogenen Geschichten. In energetischer Hinsicht haben wir deshalb bewußt von Energiekaskaden gesprochen. Mit der chronometrischen Zeit haben die Wissenschaftler und Philosophen des 17. Jahrhunderts ein wirkungsvolles Instrument geschaffen, mit dem diese Vielfalt zeitlicher Prozesse strukturell geordnet werden konnte: Sie werden alle auf die eine, von individuellen Zeiten unabhängige chronometrische Zeit bezogen. Sie werden also – das ist ja gerade die Bedingung ihres Erfolgs – auf die gleiche Zeit der Uhren bezogen. Erst wo verschiedene Geschichten in der gleichen einheitlichen Zeit situiert werden können, ist es möglich, die strukturelle Ordnung eines Stoffes und Prozeßregeln so zu bestimmen, daß sie dann auch technisch umgesetzt werden können.

Unsere These impliziert also die Behauptung, daß die meisten (Natur-)Wissenschaftler auch heute noch den Kontext des klassischen Zeitverständnisses nicht verlassen haben. Wohlverstanden: Wir behaupten nicht, daß in den Naturwissenschaften keine nicht-mechanistischen oder – wie man auch sagt – nicht-linearen Prozesse thematisiert werden. Wir haben also nicht behauptet, die Naturwissenschaften würden zeitlich nicht linear strukturierte Prozesse leugnen. Das wäre angesichts der Entdeckungen der Thermodynamik, der Evolutions- und Chaostheorie und ähnlichem absurd. Wir haben in den letzten zwei Abschnitten nicht nach solchen Prozessen selbst gefragt, sondern nach der Art und Weise, wie wir sie wissenschaftlich darstellen. Unsere philosophische These lautet: Das Zeitverständnis, das im Hinblick auf die linearen Prozesse der Mechanik entwickelt wurde (das man deswegen auch wie Picht "linear" genannt hat), wirkt bis heute nach und gelangt in Gebieten zur Anwendung (unser hauptsächliches Beispiel: Stoffgeschichten in ökologischen Zusammenhängen), an die bei seiner Entwicklung gar nicht gedacht war. Wir versuchen hier, auf diese (historischen) Voraussetzungen naturwissenschaftlicher

Zeitmessung aufmerksam zu machen und nach möglichen Folgen zu fragen. Vorausgesetzt ist dabei, daß die Art und Weise, wie wir Gegenstände und Prozesse zeitlich thematisieren, nicht beliebig ist. Diese Fragestellung könnte ökologisch genannt werden: Wir fragen, ob das System Wissenschaft seiner Umwelt, den Gegenständen und Prozessen der Natur, die es modelliert, ausreichend angepaßt ist. Chronometrisch ist nach wie vor das Schema, als das wir in unseren Theorien, Gleichungen und Graphiken die Zeit zur Darstellung bringen. Könnten nicht gerade die ökologischen Probleme ein Anlaß sein zu fragen, ob dieses naturwissenschaftliche Zeitverständnis als solches wahr ist? Hat die mangelnde Anpassung zwischen natürlichem Gegenstand und wissenschaftlichem Schema Folgen im technisch-wissenschaftlichen Verfügen über Natur?

Vielleicht rennen wir mit diesen Anfragen offene Türen ein. Aber was sind die konkreten Folgen der vielleicht bei Naturwissenschaftlern vorhandenen Einsicht, daß ihr Zeitverständnis nicht absolut, sondern bloß als Instrument zu nehmen ist? Handelt es sich bei der erkenntnistheoretischen Relativierung des gängigen naturwissenschaftlichen Zeitverständnisses um mehr als um bloße Rhetorik? Wir haben versucht, gemessene Zeit selbst zu hinterfragen. Wir haben also gefragt: Was tun wir denn eigentlich, wenn wir so selbstverständlich Uhren zur Hand nehmen und Zeit messen? Darauf eine Gegenfrage: Verwenden nicht auch die Autoren je und dann das Konzept chronometrischer Zeit? Antwort: Selbstverständlich tun wir das. Wir behaupten ja nicht, das Konzept sei völlig verkehrt oder man könne auf es verzichten. Wir fragen bloß: Was tun wir eigentlich, wenn wir so bedenkenlos Zeitmeßinstrumente verwenden?

Ein oft gehörter Einwand gegen unsere Thesen lautete: Wäre es nicht sinnvoller, statt von den verschiedenen Zeiten (Abschnitt 1) von verschiedenen Prozessen zu reden? Statt von der Zeitlichkeit der Dinge nur von ihrer Konkretheit oder ihrer Situationalität oder Umweltrelationalität? Antwort: (a) Im wissenschaftlichen Kontext (aber auch in unserem Alltag) werden Zeit und Zeitmessung mit Uhren sozusagen gleichgesetzt und Prozesse davon unterschieden. Das ist ein sehr enges Verständnis von Zeit. Wir kehren den Spieß um und versuchen zu zeigen, daß auch in diese Definition der Zeit (heute unbemerkt) bestimmte (gleich-

Stoffgeschichte **2** Grüner Spargel

Grüne Spargeln sind bekömmlich und "kalorienarm". Im Gegensatz zu Kartoffeln weisen sie in jedem Fall eine Negativbilanz für das Aufwand/Energieinhalt-Verhältnis auf. Dennoch lassen sich auch hier unterschiedliche Geschichten beschreiben: Frischer Grünspargel aus Frankreich – es kommen jetzt Transportwege in Betracht – weist ein Verhältnis von 21 : 1 auf, bei eingeflogenen Spargel aus Kalifornien steigt dieses Verhältnis auf 250 : 1. Die weite Reise der Grünspargeln kommt nur deswegen in Frage, weil die gleichzeitig ablaufenden Stoffgeschichten wie das Verbrennen von fossilen Energieträgern, das Anlegen von Pisten, das Herstellen von Dünger und so weiter durch sehr günstige Preise den eiligen Transport erschwinglich machen.

kausale Prozeßregeln entzieht, wird üblicherweise in Form statistischer Streuungen, im voraus nicht entscheidbarer Alternativen oder Verzweigungen – im Verzicht auf exakte Prognose dargestellt. Neuerdings kann man (wie etwa die rechnergestützte Klimaforschung zeigt) für nicht-lineare Systeme Strukturgesetze formulieren, deren Zukunft nur innerhalb bestimmter Spielräume abgeleitet werden kann. Unsere Anfrage würde hier lauten: Liefern die dabei verwendeten mathematischen Formalismen die geeigneten Instrumente, um die Zeit nicht-linearer (biologischer und ökologischer) Prozesse zur Darstellung zu bringen? ^[17]

Schlußbemerkungen: Stoffgeschichten und nachhaltige Entwicklung

(1) Daß wir über Energie im heutigen Ausmaß verfügen, hängt damit zusammen, daß wir von ihren stofflichen Geschichten zugunsten ihrer strukturellen Ordnung abstrahieren. Bei dieser Abstraktion werden die Zeiten der unterschiedlichen System-Umwelt-Relationen in der Natur ausgeblendet. Was zählt, ist nicht deren Individualität, sondern ihre Vergleichbarkeit in einem einheitlichen, übergeordneten Rahmen, eben dem des Energiemaßes und der chronometrischen Skala. Man plaziert die natürlichen Prozesse in einem vereinheitlichten Zeithorizont. In diesem wissenschaftlichen Zeithorizont können die betrachteten Prozesse und Ereignisse fast beliebig miteinander verglichen, also theoretisch (das heißt in der Theorie) relationiert werden. Zu denken ist etwa an das Ändern von Variablen in Experimenten. Entspricht diese Fähigkeit der wissenschaftlichen Theorien unserer Fähigkeit zur Energie- und Stoffbeherrschung? Liegt hier einer der Gründe für die ökologischen Probleme? Darf man thesenhaft formulieren: Ökologische Probleme entstehen dort, wo Energie und Stoff als abstrakte Größen, losgelöst von konkreten Geschichten, im Situationszusammenhang mit chronometrischer Zeit bestimmt und "gehandelt" werden? Man wird allerdings bezweifeln müssen, ob Naturwissenschaft ohne solche Abstraktionen überhaupt möglich ist. Ein Beispiel verdeutlicht das Dilemma: Technisch ist es nicht mehr ausgeschlossen, Kohle über kaskadenartige Prozesse zu nutzen. Dabei geht nicht wie bei den üblichen Verbrennungsprozessen der Hauptteil der Energie durch Wärmestrahlung verloren. Der

förmige) Prozesse als Bezugsrahmen eingebaut sind. Wir sehen keinen Grund, nur solche Prozesse Zeit zu nennen und andere, auf die wir aufmerksam machen wollten, nicht. (b) Wir reden von Zeitlichkeit statt von Konkretheit und ähnlichem, um die räumlichen Konnotationen des gängigen chemischen Stukturbegriffs zuerst fernzuhalten. Die Konzentration auf stoffliche Zeitformen und die Vernachlässigung dreidimensionaler, räumlicher Vermessung ist nicht neu. Schon Platon und Aristoteles hatten im Rahmen ihrer Physik (qualitative Bestimmtheit natürlicher Phänomene) keinen dem der neuzeitlichen Wissenschaft vergleichbaren Raumbegriff ^[15].

Im Rahmen der Biologie und der Thermodynamik wurden Aspekte der Zeit entdeckt, welche das linear-mechanistische, physika-

lische Zeitverständnis erweitern. Erwähnt seien Stichworte wie Evolution, Irreversibilität, Unvorhersagbarkeit von zukünftigen Ereignissen. Zwei Problemkreise wären im Anschluß daran zu diskutieren, die wir wegen ihrer Komplexität hier bewußt aussparen wollen:

(1) Um Geschichte, um also den Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft von Prozessen oder Gegenständen besser zu verstehen, wäre es nötig, die Differenz von *reversiblem* (der klassischen Physik) und *irreversiblem* Zeitverständnis (Evolution, Thermodynamik) einzuführen. Es geht dabei um die Frage, wie die naturwissenschaftlichen Modelle, Gleichungen, Formalismen et cetera die faktische Gerichtetheit der Zeit (die Asymmetrie von Vergangenheit und Zukunft) zur Darstellung bringen können ^[13b, 16].

(2) Das, was sich der Einbindung in linear-

Stoffgeschichte **3** Günstige T-Shirts, Jeans, Hemden und Blusen ^[23]

Baumwolle ist der weltweit wichtigste "Rohstofflieferant" der Bekleidungsindustrie. 1992 wurden auf etwa 2.4 Prozent der Weltackerfläche rund 18.6 Millionen Tonnen Baumwollfasern geerntet. Der konventionelle, weitestverbreitete Baumwollanbau erfordert den Einsatz großer Mengen von Düngemitteln, Insektiziden, Pestiziden und Fungiziden: auf den genannten 2.4 Prozent Weltackerfläche werden 10–12 Prozent der weltweit produzierten Pestizide eingesetzt. Für die dort in Anbau und Verarbeitung tätigen Menschen – insgesamt rund 200 Millionen – aber auch für die Anbaugelände selbst bedeutet dies eine starke Belastung. Trotz hohem Energieeintrag in Form chemischer Stoffe, trotz hohen Einsätzen menschlicher Arbeitskräfte und trotz teilweise komplizierter Verarbeitungsverfahren können wir bei uns billige T-Shirts kaufen. Im Regelfall haben wir nicht die geringste Vorstellung davon, welche Geschichte ein soeben erstandenes Kleidungsstück hinter sich hat, wieviele tausend Kilometer es während seiner Entstehungsgeschichte zurückgelegt hat, wieviele schlechtbezahlte Arbeitsstunden an gesundheitsgefährdenden Arbeitsplätzen zu seiner Fertigung aufgewendet werden müssen. Um derart weitreichende ökologische und sozio-ökonomische Zusammenhänge transparent zu machen, bedarf es der Stoffgeschichte. Nur bei ihrer Berücksichtigung wird dann auch eine angemessene Bewertung, ein die sozialen und ökologischen Realitäten widerspiegelnder Preis eines Produkts bestimmbar sein. Es gilt dabei, verschiedene Kulturen und viele ineinander verwobene Geschichten zu würdigen.

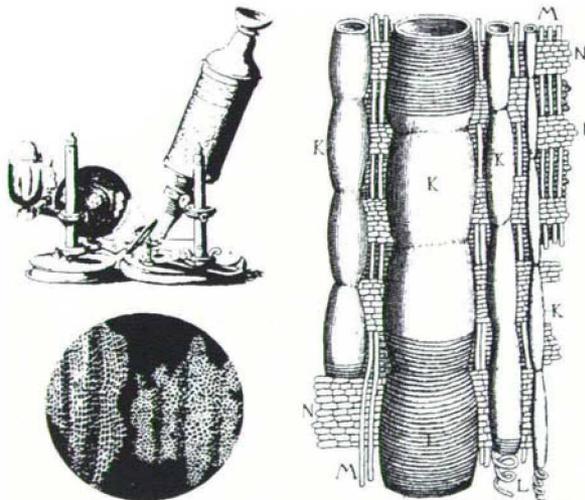
Wirkungsgrad wird so erhöht, und dadurch vermindert sich der ökologische Zeitschock (vergleiche Abschnitt 1). Aber um Geschichten im eigentlichen Sinn geht es auch dann gerade wegen der technischen Reproduzierbarkeit dieser Prozesse nicht!

(2) Zentral ist deshalb die Frage nach ergänzenden Wahrnehmungen der Natur und ihrer Zeitformen^[18]. So hat Carl-Jochen Winter in einem GAIA-Artikel gesagt: »Der unablässig von der Sonne auf die Erde ausgesandte *Negentropiestrom* ist ein Geschenk – auch – an die Menschen und wirkt ihrer Entropievermehrung entgegen. Dabei leistet sich die Sonne eine bemerkenswerte Großzügigkeit ...«^[19]. Das ist natürlich keine streng natur- oder ingenieurwissenschaftliche Sprache mehr. Wer von Geschenk und Großzügigkeit spricht, der spricht von der Art und Weise, wie Menschen ihre Stellung gegenüber der Natur wahrnehmen und interpretieren. Er spricht von dem, was den Menschen vorgegeben ist, was ihnen zukommt, ohne daß sie etwas dafür getan haben. Es könnte sinnvoll sein, diese Vorgabe nicht einfach nur gedankenlos zu verbrauchen, sondern ihr mit einem Gefühl der Dankbarkeit zu entsprechen, sie wirklich als Gabe wahrzunehmen^[20]. Das ist kein Thema der Naturwissenschaften, der Technik und der Wirtschaft, mit ihren spezifischen Methoden des Messens und Verfügens, sondern von Theologie, Philosophie und ähnlichen Wissenschaften. Wer mit Dankbarkeit auf die Welt blickt, nimmt an den natürlichen Stoffen, Räumen und Energien noch andere Aspekte als bloß ihre technische Verwendbarkeit für den Menschen wahr. Sie könnten Anlaß sein zur Meditation oder zur Kunst. Wer Kunstwerke schafft oder mit großer Konzentration wahrnimmt, wer über Landschaften meditiert, nimmt noch ganz andere Formen des Wirkens, also der Energie wahr, als diejenigen, die wir aus der Physik kennen. Auch in Kunstwerken nehmen wir Bewegtheit, Kraft und Dynamik – eben Energie wahr und werden davon selber bewegt, verändern uns.

Und früher haben viele Völker in der Natur göttliche Mächte am Wirken gesehen, denen man respektvoll gegenüberzutreten mußte. Oder ein weiteres Beispiel: Der japanische Künstlerhandwerker, welcher gute Teetassen herstellt, muß – wie ein Antwerpener Diamantschleifer (Figur 6) auch – auf den Ausgangsstoff und auf das geplante Produkt ganz anders Rücksicht nehmen als ein Massenhersteller.

Wir wollen damit nicht Kunst und Religion zu Retterinnen aus den ökologischen Problemen machen. Wichtiger ist uns das Aufbieten von anderen

als wissenschaftlichen Zugängen zur Welt, um im spannungsvollen Nebeneinander etwas über Berechtigung und Grenzen spezifischer Weltzugänge zu erfahren. Die Produkte von Kunst und Religion sind allerdings nicht in der Weise der Naturwissenschaften operationalisierbar. An und mit ihnen muß also auch ein Umgang mit Natur eingeübt werden, der nicht auf technisches Umsetzen und Beherrschen allein aus ist. Es sind Zugänge, die den Dingen Zeit lassen, sich zu entwickeln, ohne unmittelbare technische Bearbeitung durch die Menschen.



Figur 6. Oben: Natürlicher Diamant aus der Kimberley-Mine. Auch an dieser "Zeitform" des Kohlenstoffs sind Symmetrieelemente deutlich erkennbar. Sie widerspiegeln die in der atomaren Struktur angelegten räumlichen Ordnungen.

Unten: Robert Hookes Pionierarbeiten mit dem Lichtmikroskop führten im Jahre 1663 zur Entdeckung der Zelle, des damals unteilbaren Bausteins alles Organischen. Diese Abbildung zeigt das Mikroskop sowie Resultate mikroskopischer Untersuchungen: Ausschnitte aus dem Zellgewebe, das heißt den "festen Bestandteilen" von Kork.

(3) Um nun nicht der "Romantik" verdächtigt zu werden, schlagen wir in bezug auf die konkrete Wissenschaftspraxis vor, daß wir mehr und bewußter noch als bisher unsere allgemeinen Theorien von Strukturen der Widerständigkeit stofflicher Individuen mit ihren spezifischen Geschichten aussetzen. Dabei geht es nicht um die üblichen Verifikations- oder Falsifikationsprozesse, die in den Wissenschaften sowieso ständig stattfinden. Es geht vielmehr um so etwas wie philosophische Aufklärung. Es geht darum, mehr noch als bisher die abstrahierenden Tendenzen der Naturwissenschaften selbst immer wieder kritisch zu hinterfragen, ihre Berechtigung und ihre Grenzen von Fall zu Fall zu eruieren. Vielleicht könnten wir hier noch etwas von Aristoteles lernen, der im zweiten Buch seiner *Vorlesung über die Natur*, kurz: *Physik*, sorgfältig Naturerforschung, Mathematik und Philosophie unterscheidet. Er legt für die Naturerforschung (also die Physik in seinem Sinn) fest, daß sie von der Stofflichkeit der Gegenstände nicht zugunsten von deren mathematischer oder philosophischer Form abstrahieren darf^[21].

Viele Fragen bleiben in unserem Beitrag offen. Eine noch zum Schluß: Zerfällt die Welt in unserer Perspektive nicht in eine unendliche Vielfalt von Einzelgeschichten? Zunächst: Wenn wir hier von Geschichten sprachen, dann meinten wir nicht solche, die nur dem Individuum "gehören". Sie entwickeln sich gerade nur in ständiger Aus-

Armin Reller: Geboren 1952 in Winterthur, Kanton Zürich. Studium der Chemie und Promotion an der Universität Zürich; Postdoktorat an der Cambridge University in England. Anschließend wissenschaftlicher Mitarbeiter am Anorganisch-chemischen Institut der Universität Zürich. 1988–1991 Koordinator für das Nebenfach Umweltlehre an dieser Universität; ab 1988 Übernahme der Leitung des Forschungsprogrammes Thermochemie/Solarchemie (Bundesamt für Energiewirtschaft). Seit 1991 ordentlicher Professor am Institut für Anorganische und Angewandte Chemie der Universität Hamburg; seit Sommer 1995 Leiter des Programms Solarchemie/Wasserstoff des Bundesamtes für Energiewirtschaft. Forschungsinteressen: festkörperchemische und materialwissenschaftliche Themen, wobei die Energieforschung im Vordergrund steht; daneben interdisziplinäre Projekte mit ökologischen und wissenschaftshistorischen Bezügen in Lehre und Forschung.



Seit mehreren Jahren Lehraufträge insbesondere an der Theologischen Fakultät der Universität Zürich (hermeneutische und ethische Themen). Publikationen: *Mythos und Subjektivität* (1992); mit H. Büchi (Ed.): *Autarkie und Anpassung – Zur Spannung zwischen Selbstbestimmung und Umwelterhaltung* (1996).

Markus Huppenbauer: Geboren 1958 in Klosters, Kanton Graubünden. Studium der Philosophie und Theologie in Zürich; Promotion 1990. Seit 1992 Leiter der Evangelischen Studiengemeinschaft an den Zürcher Hochschulen (ESG), seit deren Auflösung 1996 Fachmitarbeiter in interdisziplinären Projekten (Schwerpunkt: Ethik) der reformierten Landeskirche des Kantons Zürich. Forschungsinteressen: Religionsökologie, theologische Naturethik. Lehrauftrag für Ethik und Umwelt an der ETH Zürich, Abteilung XB (gemeinsam mit Hans Ruh).

einandersetzung und Adaption an und mit der Umwelt. Man könnte deshalb auch von *ökologischer Zeit* reden. Diese ist ein mit naturwissenschaftlichen Meßverfahren letztlich nicht entwirrbares Geflecht verschiedenster Zeiten. Diese philosophische Einsicht in die Begrenztheit von naturwissenschaftlichem Wissen kann – so meinen wir – auch praktische Folgen haben. Nur wer die konkreten Stoffgeschichten zu berücksichtigen sucht, der hat eine der Bedingungen nachhaltiger Entwicklung erfüllt.

Literaturverzeichnis

- [1] Vergleiche G. Picht: "Ist Humanökologie möglich?", in C. Eisenbart (Ed.): *Humanökologie und Frieden*, Klett-Cotta, Stuttgart (1979), p.14–123, insbesondere a) p. 25; b) p. 83; c) p.45; d) p. 33. Für philosophisch orientierte Diskussionen des Zeitproblems generell verweisen wir auf W.C. Zimmerli, M. Sandbothe (Ed.): *Klassiker der modernen Zeitphilosophie*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1993); K. Mainzer: *Zeit – Von der Urzeit zur Computerzeit*, C.H. Beck, München (2¹⁹⁹⁶).
- [2] J. Pezzey: "Sustainability: An Interdisciplinary Guide", *Environmental Values* 1/4 (1992) 312–362, insbesondere p. 331.
- [3] So schon R. Descartes: "Principia Philosophiae" (1644), in C. Adam, P. Tannery (Ed.): *Ceuvres de Descartes*, IX-2, Vrin, Paris (1978), § 201.
- [4] Zur historischen Entwicklung des Konzepts geordneter, räumlicher Formen vergleiche N.E. Emerton: *The Scientific Reinterpretation of Form*, Cornell History of Science Series, Cornell University Press, Ithaca NY (1984).
- [5] Ähnlich auch das Vorhaben von P. Buck: "Präzise und exakte Begriffsbildung – oder: Was die Chemiker mit ihrer Formel- und Fachsprache ausblenden", in P. Janich, N. Psarros (Ed.): *Die Sprache der Chemie*, Königshausen & Neumann, Würzburg (1996), p. 3–12.
- [6] Vergleiche B. Bensaude-Vincent: "Lavoisier – Eine wissenschaftliche Revolution", in M. Serres (Ed.): *Elemente einer Geschichte der Wissenschaften*, Suhrkamp, Frankfurt am Main (1994), p. 645–685, insbesondere p. 671.
- [7] Vergleiche B.O. Küpper: "Physik der Geschichte", *Paderborner Universitätsreden* 25 (1991), insbesondere p. 16f und p. 25 (Gesetze solcher Systeme sind von Regularität und Reproduzierbarkeit getrennt).
- [8] G. Bateson: *Ökologie des Geistes – Anthropologische, psychologische, biologische und epistemologische Perspektiven*, Suhrkamp, Frankfurt am Main (4¹⁹⁸³), p. 577.
- [9] Vergleiche J.C. Debeir, J.-P. Déleage, D. Hémy: *Prometheus auf der Titanic – Geschichte der Energiesysteme*, Campus, Frankfurt am Main (1989), insbesondere a) p. 22f; b) p. 23.
- [10] G. Galilei: *Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend* (1638), Nachdruck der Übersetzung A. von Oettingens, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1985), p. 163.
- [11] Vergleiche Platon: *Timaios*, 37 d 7f., herausgegeben von H.G. Zekl, Meiner, Hamburg (1992).
- [12] Ein sehr schönes und instruktives Beispiel dafür ist der Text von J. Audretsch: "Ist die Raum-Zeit gekrümmt? Der Aufbau der modernen Gravitationstheorie", in J. Audretsch, K. Mainzer (Ed.): *Philosophie und Physik der Raum-Zeit*, Wissenschaftsverlag, Mannheim (2¹⁹⁹⁴), p. 52–81, insbesondere a) p. 53ff; b) p. 59.
- [13] Vergleiche P. Coveney, R. Highfield: *Anti-Chaos – Der Pfeil der Zeit in der Selbstorganisation des Lebens*, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg (1992), insbesondere a) p. 92f; b) p. 61ff.
- [14] Vergleiche I. Prigogine, I. Stengers: *Dialog mit der Natur – Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens*, Piper, München (5¹⁹⁸⁶), p. 264; in einem etwas anderen Zusammenhang wird dort von "interner Zeit" gesprochen.
- [15] Vergleiche G. Picht: *Der Begriff der Natur und seine Geschichte*, Klett-Cotta, Stuttgart (1989), vierter Teil, insbesondere p. 393ff.
- [16] Zu den diesbezüglichen Problemen im Kontext der Newtonschen Bewegungsgleichungen vergleiche wieder Picht [14], auch W. Heitler: "Reversible und irreversible Vorgänge", in R.W. Meyer (Ed.): *Das Zeitproblem im 20. Jahrhundert*, Francke, Bern (1964), p. 197–212, insbesondere p. 197ff.
- [17] Vergleiche C.F. von Weizsäcker: *Aufbau der Physik*, Hanser, München (1985), p. 149.
- [18] Vergleiche P. Hunziker, A. Rüede, P. Frischknecht: "Resonanzen als Ausdruck für Qualitäten von Lebensräumen – eine Methode?", *GAIA* 3 (1994) 337–345; G. Böhme: *Für eine ökologische Naturästhetik*, Suhrkamp, Frankfurt am Main (1989); H. Langer: *Das auftauchende Wissen – Briefe vom Wasser*, Walter, Solothurn (1994); C. Link: "Die Transparenz der Natur für das Geheimnis der Schöpfung", in G. Altner (Ed.): *Ökologische Theologie – Perspektiven zur Orientierung*, Kreuz, Stuttgart (1989), p. 166–195.
- [19] C.-J. Winter: "Energie, Entropie und Umwelt – Aus der Enquete-Kommission 'Schutz der Erdatmosphäre'", *GAIA* 3 (1994) 257–266, insbesondere p. 265.
- [20] Hierzu weiterführend H. Weder: *Gegenwart und Gotte Herrschaft – Überlegungen zum Zeitverständnis bei Jesus und im frühen Christentum*, Neukirchener Verlag, Neukirchen-Vluyn (1993), insbesondere p. 59f.
- [21] Aristoteles: *Physik*, 194 b 10ff., 2 Halbbände, herausgegeben von H.G. Zekl, Meiner, Hamburg (1987).
- [22] H. Büchi, A. Reller: "Regionalisierung der Stoff- und Energieflüsse – ein sinnvolles Ziel?", in H. Büchi, M. Huppenbauer (Ed.): *Autarkie und Anpassung – Zur Spannung zwischen Selbstbestimmung und Umwelterhaltung*, Westdeutscher Verlag, Opladen (1996), p. 65–99.
- [23] P. Haber, M. Moppert: *Mupedza Nhamo News*, Schulstelle der Hilfswerke, Bern (1996).

(Eingegangen am 16. April 1996)