

# Zum Antrieb natürlicher Stoffkreisläufe

von

H. Joachim Schlichting

*Vom Himmel kommt es,  
Zum Himmel steigt es.  
Und wieder nieder  
Zur Erde muß es.  
Ewig wechselnd.*

*Goethe*

## Kurzfassung

Das komplexe Geschehen in der natürlichen Umwelt läßt sich mit Hilfe von Kreisläufen strukturieren. Die Kreisläufe werden letztlich dadurch in Gang gehalten, daß ein kleiner Teil des Sonnenlichts einen „Umweg“ über die Erde macht, bevor es in der kosmischen Müllkippe der Hintergrundstrahlung landet.

## Problemstellung

Was ist vielfältiger, unvorhersehbarer und aufregender als die Vorgänge, die das komplexe Geschehen der uns umgebenden natürlichen Umwelt ausmachen? Man denke nur an die Überraschungen, die das Wetter trotz Satelliten, Computer und Statistik immer wieder für uns bereithält! Was ist andererseits beständiger, verlässlicher, dauerhafter, stabiler als die Bedingungen, unter denen sich diese Vorgänge vollziehen? Man denke nur an die bemerkenswerte *Konstanz* für Lebensvorgänge so wesentlicher Parameter wie etwa die *mittlere Temperatur*, die mittlere Konzentration von Sauerstoff, Kohlenstoff und zahlreicher anderer Stoffe, die mittlere Höhe des Meeresspiegels, die mittlere Salzkonzentration des Meerwassers usw.!

Angesichts dieser auf den ersten Blick widersprüchlich und verwirrend erscheinenden Perspektive soll versucht werden, die phänomenologische Vielfalt des natürlichen Geschehens vordem Hintergrund einiger weniger invarianter Größen zu ordnen. Dabei erweist sich das Konzept des Kreislaufs als außerordentlich fruchtbar (Abb. 1). Durch den Kreislaufgedanken werden wir gewissermaßen veranlaßt, uns nicht bei den zahlreichen auffälligen, für das Verständnis des globalen Zusammenhangs aber unwichtigen Ereignissen aufzuhalten, sondern die Stoffe und Energien, deren Veränderungen diesen Ereignissen zugrundeliegen, - gleichgültig, worum es sich

dabei konkret handeln mag - auf ihrem Weg durch die verschiedenen Phänomene hindurch zu verfolgen, bis sie wieder an Ihrem Ausgangspunkt angekommen sind. Die Schwierigkeit eines solchen Vorgehens besteht allerdings darin, daß die Stoffe dies nicht von selbst tun. Ein Ziegel kann zwar von selbst vom Dach fallen, gelangt dorthin aber nur mit fremde Hilfe zurück. Damit treten weitere Effekte hinzu, die den Vorgang der Rückkehr oft unübersehbar machen. Unser Hauptanliegen ist es, diese fremde Hilfe, den Antrieb eines Kreislaufs, herauszupräparieren, um den nackten Kreis besser aus der Vielfalt der Phänomene hervortreten zu lassen.

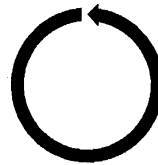


Abb. 1: Natürlicher Kreislauf

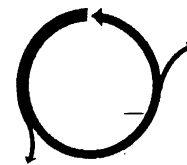


Abb. 2: Durch menschliche Eingriffe gestörter Kreislauf

Indem die Schüler auf diese Weise angeleitet werden, Kreisläufe im Geschehen der natürlichen Umwelt auszumachen, lernen sie Zusammenhänge zwischen den verschiedensten Phänomenen und damit die Natur als ein vernetztes System kennen. Die Kreislaufwirtschaft der Natur kann schließlich als Vorbild für die industrielle Wirtschaft dienen, in der man weit davon entfernt ist, in Kreisen und damit umweltschonend zu denken und zu handeln [11]. Die aufgebrochenen Kreise (Abb.2) machen sich hier u.a. als zunehmende Erschöpfung nicht erneuerbarer Rohstoffe am einen Ende und zunehmende Beeinträchtigung der Umwelt durch das Auftürmen von Müll am anderen Ende bemerkbar.

## Zur Entstehungsgeschichte des Kreislaufkonzeptes

Die Vorstellung des Kreislaufs, derzufolge ein „Stoff“ nach mehr oder weniger zahlreichen „Verwandlungen“ schließlich wieder zur Quelle zurückkehrt, ist noch nicht sehr alt. So war es zur Römerzeit üblich, die Städte unter großem Aufwand über Aquadukte mit Wasser zu versorgen. Der Gedanke einer Entsorgung kam nur gelegentlich auf. Normalerweise versickerte das verbrauchte Wasser im Erdreich.

Erst etwa zur Zeit, als **Harvey** zunächst durch die Entdeckung des Blutkreislaufs des Menschen

das Konzept der Zirkulation einführte, ist ein Bruch mit der Vergangenheit zu beobachten.

Die Bedeutung dieser Idee des Kreislaufs war nach **I. Illich** „für die Wandlung des Vorstellungsvermögens vielleicht genauso bedeutsam wie es Keplers Entscheidung war, die einen leuchtenden Planeten tragenden durchsichtigen Sphären ... durch die neuen elliptischen, von Kugeln befahrenen Umlaufbahnen zu ersetzen“ [2].

Der erste Wissenszweig, der von der Idee der Zirkulation geprägt wurde, war wohl die Chemie: Bereits **G.E. Stahl** (1660-1734) betrachtete chemische Veränderungen als Zirkulation des von ihm eingeführten Phlogistons. Obwohl das Phlogiston aufgrund von Arbeiten **Priestleys** und **Lavoisiers** schließlich auf der Strecke blieb, hatte sich die Chemie zu einer Wissenschaft der Zirkulation der Materie entwickelt. Die Vorstellung von der Zirkulation der Materie beinhaltete, die Unmöglichkeit von der Erschaffung und Vernichtung der Materie (**Lavoisier 1789**) und gehört daher mit den Theorien der Gravitation, der Energieerhaltung und Evolution zu den ganz wenigen „bedeutenden wissenschaftlichen Verallgemeinerungen“ [3], die auch heute noch zu den Fundamenten der Naturwissenschaft gehören.

### Wie kommt man zum Ausgang zurück ?

Ein sehr grobes, die wesentlichen Merkmale aber in einfacher Weise zum Ausdruck bringendes Modell für einen Kreislauf ist ein sich im Mittel gleichmäßig drehendes Rad. Obwohl das Rad dauernd in Bewegung ist, seine Teile also steten Veränderungen unterworfen sind, zeichnet es sich durch Beständigkeit und Dauer aus: Beispielsweise bleibt die die Bewegung kennzeichnende Größe der Energie im zeitlichen Mittel konstant.

Will man sich nicht auf den unrealistischen Spezialfall eines reibungsfreien Umlaufs beschränken und insbesondere zulassen, daß das Rad beispielsweise über einen Dynamo ein Lämpchen zum Leuchten bringt und infolgedessen gebremst wird, so muß dem Rad über einen geeigneten Antrieb in dem Maße Energie zugeführt werden, wie sie durch die elektrische Anlage verbraucht wird.

Man kann nun leicht einsehen, daß die Energie zur Charakterisierung des Antriebs nicht gut geeignet ist: Weil die dem Rad zugeführte Energie vollständig über die elektrische Anlage wieder abgeführt wird, *ändert sich die Energie des Rades nicht*. Entscheidend ist vielmehr, daß *die auf das System übertragene Energie wertvoller sein muß als die schließlich als Wärme an die Umgebung abgegebenen Energie*, ein Sachverhalt den wir mit *Energieentwertung* umschreiben wollen [4]. Die Vergeblichkeit des Versuchs, das Rad etwa durch einen

Kurzschluß von Energieinput und -output am Laufen halten zu wollen, vermag dies eindrucksvoll zu demonstrieren.

Hinter dieser Vergeblichkeit verbirgt sich die im sog. 2. *Hauptsatz der Thermodynamik* zusammengefaßte Erfahrung, daß *die mit einem von selbst ablaufenden Vorgang einhergehende Energieentwertung nicht ohne weiteres wieder rückgängig gemacht (Energieaufwertung) werden kann*.

Zum Beispiel:

- Heißes Wasser kühlt sich an der Umgebung ab, indem es Wärme an die Umgebung abgibt (Energieentwertung). Es kann sich jedoch nicht von selbst wieder durch Aufnahme von Energie aus der Umgebung (Energieaufwertung) erwärmen.
- Eine brennende Kerze wird kürzer indem sie u.a. Wärme an die Umgebung abgibt (Energieentwertung). Auch in diesem Fall tritt der umgekehrte Fall (Energieaufwertung) erfahrungsgemäß nicht auf.

Die Betonung liegt auf „nicht ohne weiteres“. Denn natürlich läßt sich jeder Vorgang umkehren und die mit ihm einhergehende Energieentwertung aufheben (Energieaufwertung). Aber dies passiert eben nicht von selbst, sondern macht den Ablauf zumindest eines weiteren selbsttätigen Vorgangs erforderlich. Die mit diesem verbundene Energieentwertung muß nämlich ausreichen, die mit der Umkehr einhergehende Energieaufwertung aufzuheben, so daß insgesamt keine Energieaufwertung in der Welt zurückbleibt.

Zum Beispiel könnte man die mit dem Abbrennen einer Kerze verbundene Energieentwertung dazu ausnutzen, die für eine Rückgängigmachung der Abkühlung, also einer Erwärmung des Wassers erforderliche Energieaufwertung zu „betreiben“. Dazu brauchte man nur die brennende Kerze unter einen Topf mit dem abgekühlten Wasser zu stellen.

Faßt man nun einen Prozeß und dessen Umkehr als Einheit auf, so hat man es mit einem Kreislauf im obigen Sinne zu tun. *Ein Kreislauf besteht so gesehen aus einem selbsttätigen und einem erzwungenen Teilvorgang*. Letzterer macht einen weiteren antreibenden Vorgang erforderlich.

### Die Sonne als Motor

Die auffälligsten Stoffkreisläufe in der Natur sind u.a. der *Wasserkreislauf*, der seinerseits in zahlreiche Teilkreisläufe aufgegliedert werden kann, die eng damit zusammenhängenden *atmosphärischen Kreisläufe*, aufgrund derer u.a. das Wettergeschehen zustandekommt, und die *biologischen Kreisläufe*, die die Entstehung und Aufrechterhaltung

pflanzlichen und tierischen Lebens regeln.

Für den Antrieb dieser natürlichen Kreisläufe sorgt letztendlich die Sonne; genauer die Entwertung der Sonnenenergie. Denn die Energie auf der Erde bleibt im zeitlichen Mittel in etwa unverändert. Es wird genausoviel Energie von der Erde in den Welt- raum zurückgestrahlt, wie als Sonnenenergie aufge- nommen wird (Abb.3-6). Während jedoch wertvolle, sichtbare (kurzwellige), „heiße“ Sonnenenergie aus einem kleinen Raumwinkel kommend von der Erde aufgenommen wird strahlt die Erde vor allem nachts wertloses, unsichtbares Sonnenlicht bei Um- gebungstemperatur in alle Richtungen in den Welt- raum zurück. Die Wertlosigkeit dieser Erdstrahlung erweist sich allein schon an ihrer „Unsichtbarkeit“: Im Dunkeln vermag keine Pflanze zu wachsen.

Dieser Entwertungsvorgang tritt in den Wüstenge- bieten der Erde ziemlich drastisch in Erscheinung. Mörderische Hitze am Tage wechselt mit großer Kälte in der Nacht . Außer gelegentlich auftretenden verheerenden Sandstürmen ist das fast alles, was hier passiert. Die Entwertung der Sonnenenergie kann nicht ausgenutzt werden, andere lebenswichti- ge Vorgänge zu betreiben und erinnert stark an die Nutzlosigkeit des Abbrennens einer Kerze die bei- spielsweise nicht unter den Topf mit Wasser gestellt wird (siehe oben). In den übrigen Teilen der Erde findet zwar auch die Entwertung von Sonnenenergie statt. Sie wird hier jedoch dazu ausgenutzt, zahlrei- che für das Leben auf der Erde wesentliche Kreis- läufe zu betreiben. D.h. es werden die den Kreisläufen zugrundeliegenden Vorgänge zurückgespult und damit in die Lage versetzt, unter Hervorbringung der jeweiligen Phänomene erneut abzulaufen. Die Entwertung der Sonnenenergie wird auf diese Wei- se insofern vermindert, als die durch sie bedingten Energieaufwertungen „abzuziehen“ sind.

Die Sonne als Motor allen Geschehens ist schon frühzeitig von der Menschheit erkannt worden und hat in mehreren großen „Sonnenkulturen“ ihren Niederschlag gefunden. Von **Kepler** wird sogar die für den Antrieb von Kreisläufen passende Metapher der Sonne als Herz geprägt, „das als König und Ur- beweger alles bewegt“ [5].

## Der Wasserkreislauf

Wenn die Sonne das Herz der Welt ist, dann ist das Wasser das Blut. Jedenfalls kommt der Zirkulation des Wassers auf allen Ebenen der Lebensvorgänge auf der Erde eine ähnlich fundamentale Bedeutung zu, wie sie der Blutkreislauf für ein Lebewesen be- sitzt.

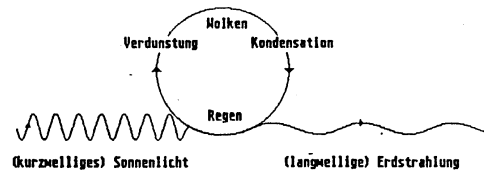


Abb. 3a: Schema eines solarbetriebenen Wasserkreislaufs

Der globale Wasserkreislauf setzt sich aus den di- rekt oder indirekt auf einen teilweise recht ver- schlungenen Umweg über das Land ins Meer flie- ßenden Niederschlägen und dem erneuten „An- sammeln“ von Wasser in den Wolken zusammen (Abb. 3). Darin eingebettet findet man ein ganzes System ineinander vermaschter Kreisläufe, von de- nen hier nur einige auffällige erwähnt werden kön- nen.

Der selbsttätig ablaufende Ausschnitt des globalen Kreises besteht in den Niederschlägen. Mit ihnen ist die Entwertung der potentiellen Energie des herun- terfallenden Wassers verbunden. Diese Entwertung wird zum Teil dazu ausgenutzt, Aufwertungen her- vorzurufen, die sich in für das Leben nützlichen Vorgängen widerspiegeln:

- Beispielsweise speist das in höheren Lagen niedergehende Wasser die Quellen von Flüssen und gleicht dadurch die Verluste wieder aus, die durch das Abfließen des Wassers in Rich- tung Meer entstehen.
- Die Energieentwertung, die sich im Fließen des Wassers in den Flüssen manifestiert, kann ih- rerseits genutzt werden, z.B. Wasserturbinen in Drehung zu bringen und zu halten, wodurch z.B. elektrische Stromkreise angetrieben wer- den können. Die Bedeutung des elektrischen Stromes für das Leben in der industrialisierten Welt dürfte aber auf der Hand liegen.
- Auch darin, daß von Tieren und Pflanzen ver- brauchtes und damit entwertetes Wasser wieder ersetzt wird, ist eine lebenserhaltende Aufwer- tung zu sehen.

Das globale Kreislaufgeschehen äußert sich in nicht weniger eindrucksvoller Weise in den Weltmeeren. Gigantische Wasserströmungen in den Meeren, von denen der Golfstrom ein für unser Klima bedeu- tungsvolles Beispiel ist, bilden die selbsttätigen Ausgleichsvorgänge, die durch die Aufrechterhal- tung von horizontalen (von den Polen zum Äquator) und vertikalen (von der Wasseroberfläche zum Meeresboden) Temperaturgefällen zu Kreisläufen ergänzt werden. Die Temperaturgefälle werden vor allem durch die regional unterschiedliche Einstrah- lung der Sonnenenergie aufrechterhalten.

## Atmosphärische Kreisläufe

Von den zahlreichen Zirkulationen in der Atmo-

sphäre soll hier nur eine genannt werden, nämlich die u.a. für das Wettergeschehen wichtigen Ausgleichsvorgänge, aufgrund derer sich Luftmassen von einem Hochdruckgebiet in ein Tiefdruckgebiet bewegen. Dieser sich vor allem in Form von Winden äußernde selbsttätige Vorgang ist seinerseits Antrieb für zahlreiche Vorgänge:

- Durch Winde werden Luftmassen verteilt. Dadurch kann z.B. feuchte Luft auch in trockene Gebiete gelangen und günstige Bedingungen für die Entfaltung von Leben schaffen.
- Winde bewegen Wolken. Dadurch können die Wolken in kältere Luftschichten gebracht werden und sich abregnen.
- Durch Winde wird der überwiegend in den Meeren produzierte Sauerstoff auf das Land geweht, wo er für die Erhaltung tierischen und menschlichen Lebens benötigt wird. (Hier zeigt sich übrigens eine Verknüpfung mit den noch unten zu diskutierenden biologischen Kreisläufen).
- Winde können aber auch direkt vom Menschen genutzt werden, indem mit ihnen z.B. Windräder in Bewegung gehalten werden, die Ihrerseits wiederum elektrische Stromkreise betreiben können. Windmühlen und Segel haben als Antriebsaggregate auf der Schwelle zur Industrialisierung eine wichtige Rolle gespielt.

Diese Ausgleichsvorgänge müssen natürlich immer wieder rückgängig gemacht werden, um stets erneut ablaufen zu können.

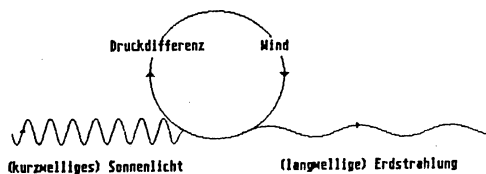


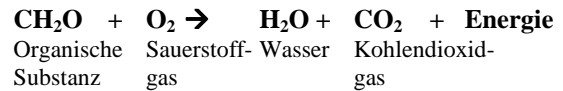
Abb. 4: Schema eines solarbetriebenen atmosphärischen Kreislaufs.

Das geschieht dadurch, daß aufgrund der Sonneneinstrahlung immer wieder Druckdifferenzen hervorgerufen werden. Sie entstehen in der Regel im engen Zusammenhang mit der regional unterschiedlich starken Erwärmung von Luftschichten. Indem erwärmte Luft spezifisch leichter wird und aufsteigt, werden luftverdünnte, also Gebiete geringeren Luftdrucks zurückgelassen (Abb.4).

## Biologische Kreisläufe

Als biologische Kreisläufe fassen wir all jene Stoffkreisläufe auf, von denen die Aufrechterhaltung des Lebens auf der Erde direkt abhängt. Das sind u.a. der Sauerstoff- und der Kohlenstoffkreislauf, die ihrerseits eng miteinander aber auch mit den oben beschriebenen Wasserkreisläufen und atmosphäri-

schen Kreisläufen zusammenhängen. Da anders als bei den bisherigen Vorgängen hier die stofflichen Veränderungen vor allem chemischer Natur sind, stellen wir dazu eine chemische Summenformel in den Mittelpunkt der Betrachtung:



Diese Summenformel beschreibt global den von selbst ablaufenden, also mit Energieentwertung einhergehenden Vorgang der Zersetzung, Verbrennung oder Verwesung organischer Substanz. Wie man etwa von der Verbrennung von Holz, Kohle oder Öl weiß, kann man mit dieser Energieentwertung andere selbsttätige Vorgänge zurückspulen, also beispielsweise Temperaturunterschiede hervorrufen, um auf diese Weise eine Wohnung zu heizen oder gar ein Wärmekraftwerk zu betreiben.

Die Nützlichkeit dieses Zerfalls- bzw. Entwertungsvorgangs kommt aber besonders eindrucksvoll zum Ausdruck, wenn man sich vor Augen führt, daß durch diese Formel auch die Atmung von Mensch und Tier summarisch erfaßt wird. Da die Atmung normalerweise als Inbegriff von Lebensäußerungen angesehen wird, sieht man an diesem Beispiel einmal mehr die Berechtigung der Sprechweise, daß Entwertungen Aufwertungen betreiben. In der Tat werden durch den Zerfallsvorgang der Atmung eine Reihe von lebenswichtigen Körperprozessen, wie etwa die Abgabe von Wärme und Arbeit an die Umgebung zurückgespult, um immer wieder erneut ablaufen zu können. Zum Beispiel werden auf diese Weise die Temperaturdifferenz zwischen Körper und Umgebung und die Fähigkeit, körperliche Aktivitäten zu äußern, aufrechterhalten. Hinter Abläufen, die für gleichbleibende Bedingungen sorgen, verbergen sich aber weitere Kreisläufe.

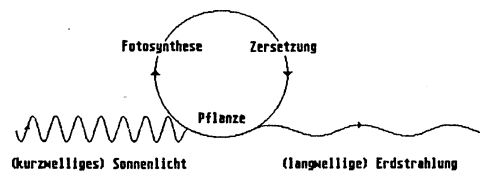


Abb.5: Schema eines solarbetriebenen biologischen Kreislaufs.

Auch der meist im Verborgenen ablaufende, ebenfalls durch die obige Formel erfaßte Zerfall von organischer Substanz betreibt noch ein komplexes mikroskopisches Kreislaufgeschehen, das für das Leben auf der Erde ebenso wichtig ist, wie es die auffälligen Vorgänge sind.

Die Tatsache, daß solche Zerfallsvorgänge für das Leben auf der Erde eine zentrale Rolle spielen, führt zur Frage, wie es zur Produktion neuer Biomaterie kommt. Letztlich verweist diese Frage auf den Vor-

gang der Fotosynthese. Die Fotosynthese, aufgrund derer eine Pflanze unter Aufnahme hochwertigen Sonnenlichts - wiederum ganz global und summarisch gesehen - Kohlendioxid und Wasser zu organischer Substanz zusammenfügt, läßt sich in der Tat formal als vollkommene Umkehrung des durch die Summenformel beschriebenen Zerfallvorgangs auffassen (Abb.5).

Auch dieser aus Zerfall und Aufbau von Biomaterie beschriebene Kreis, der seinerseits - wie bereits angedeutet - ein komplexes Getriebe weiterer Kreisläufe betreibt, wird durch den globalen Vorgang der Entwertung von Sonnenenergie „am Laufen gehalten“.

Obwohl die biologischen Kreisläufe rein energetisch gesehen nur einen verschwindend kleinen Strom der Sonnenenergie kanalisieren, sind sie nicht nur selbst Manifestationen des Lebendigen auf der Erde, sondern indirekt maßgeblich an der Gestaltung des menschlichen Alltags in der wissenschaftlich technischen Welt beteiligt. Vor allem die aufgrund geologischer Kreisläufe tief unter der Erde vergrabenen und auf diese Weise für lange Zeit vor dem Zerfall geschützten fossilen organischen Substanzen, wie Kohle, Gas und Öl tragen überwiegend zur Energieversorgung bei. Es fragt sich jedoch, inwieweit insbesondere dieser Eingriff in das Kreislaufgeschehen der Natur (Abb. 2), durch das in Jahrtausenden abgezeichnete Biomasse in relativ kurzer Zeit wieder in das aktuelle Kreislaufgeschehen eingespeist wird, problematisch für das Leben auf der Erde werden kann. Das durch die menschlichen Aktivitäten bedingte stetige Ansteigen der Kohlendioxidkonzentration muß jedenfalls als deutliches Warnsignal angesehen werden.

## Zusammenfassung

Mit Hilfe des Kreislaufkonzept läßt sich die ungeheure Komplexität und Vielfalt der natürlichen Umwelt auf ein Maß reduzieren, das ohne größere fachliche Voraussetzung einen qualitativen Zugang zu den wesentlichen Mechanismen erlaubt. Entscheidend für das Verständnis ist allerdings die Identifizierung des jeweiligen Antriebs, der in den meisten Fällen wiederum auf die Wirkung eines Kreislaufs zurückgeführt werden kann. Insgesamt bekommt man den Eindruck eines gewaltigen Getriebes ineinander verzahnter Kreise, das letztlich durch die Aktivität der Sonne in Gang gehalten wird: Indem ein kleiner Teilstrom des von der Sonne ausgestrahlten Lichts "einen Umweg" über die Erde macht, bevor er in der kosmischen Müllkippe der Hintergrundstrahlung landet, wird das irdische Leben ermöglicht. So gesehen verdankt sich das Leben dem allmählichen Zerfall der Sonne, der nach heutigem Wissen allerdings noch einige Jahrtausende anhalten dürfte.

## Literatur:

- [1] Duttweiler Institut für wirtschaftliche und soziale Studien (Hrsg.): Recycling: Lösung der Umweltkrise? Rüschlikon: 1978.
- [2] I. Illich: H<sub>2</sub>O und die Wasser des Vergessens. Reinbek: Rowohlt 1987. S. 72.
- [3] M. Teich: Circulation, transformation, conservation of matter and the balancing of the biological world in the eighteenth century. In: *Ambix* 29,17 (1982).
- [4] H. J. Schlichting: Energie und Energieentwertung in Naturwissenschaft und Umwelt. Heidelberg: Quelle & Meyer 1983. H. J. Schlichting, U. Backhaus: Energieentwertung und der Antrieb von Vorgängen. In: *NiU-PC* 35/24, 15 (1987)
- [5] J. Kepler: Die Zusammenklänge der Weiten. Jena 1918.