

physiker rundbrief

7 (2002)

Thomas Schmidt

Licht und Elektrizität

Hermann Bauer

Geistige Orientierung durch lebendigen Physikunterricht

Rechnungen mit schwerkraftfreier Mechanik

Friedrich Wilhelm Dustmann

Rudolf Steiner und die Physik der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts

Zur Physik der Lichtmühle

Florian Theilmann

Über das Aleph denken und sprechen

Beilage: Alec A. Schaerer

Erinnerung an einen Denkansatz

Editorial

Der Physikerrundbrief 7 könnte schon seit 3 Monaten fertig gewesen sein, Material genug war eigentlich vorhanden. Wie das so ist: erst hatte mich die Redaktion des erstmalig erschienenen Jahresberichts (des Instituts) auf Trab gehalten, dann einige eigene Artikel. Nun kommt das Heft so spät, dass 2002 nur noch halb gilt — tut mir leid. Die gute Seite ist: ein stattlicher Umfang und ein jüngst eingegangener Text von Alec Schaerer, der uns an den Start des Unternehmens vor drei Jahren (!) erinnert. (Mein hier abgedruckter Text wird ohne dessen Lektüre vielleicht unverständlich sein, umgekehrt hoffe ich auch zum Verständnis der “Erinnerung an einen Denkansatz” beizutragen.) Desweiteren gibt es Beiträge von Thomas Schmidt, der uns an der Weiterentwicklung seiner Fragen und Gedanken teilnehmen lässt, von Hermann Bauer aus dem Umfeld der Mechanikepoche und von Friedrich Wilhelm Dustmann zur Geschichte des Strahlungsbegriffs und zur Lichtmühle.

Ich war das bisherige, betont unprofessionelle Design des Heftes leid geworden und fand, dass die Titelseite (Boulevard-Zeitungs-mässig) Auskunft geben sollte, was im Heft ist, vor allem, damit man findet, was man sucht. Umgekehrt hatte sich die Adressliste überlebt, weil Austausch höchstens unabhängig davon stattfindet. So gibt es am Ende die emails der Autoren und sonst nix. Viel Zeit hat das Umschmieden der Word-Texte in das hier verwendete \LaTeX gebraucht. Zum Vergleich: Die Beiträge von Herrn Dustmann, der auch \TeX t, habe ich in weniger als 30 Minuten endgültig formatiert, ein Text wie der von Thomas Schmidt braucht etwa das Doppelte an Zeit an reiner Handarbeit und wenigstens zweimaliges gründliches Lesen hin auf Übertrag-Fehler und untergegangene Typographie (Sie ahnen auch, warum ich dazu tendiere, mich vor der Herstellung zu drücken). Ich hadere aus vielen Gründen nicht damit, lesen etwa würde ich ja ohnehin, doch möchte ich einfach Reklame für den Umstieg auf \LaTeX machen (kostenlos, Plattform-unabhängig, *very pleasant to work with*, stabil und im Ergebnis *viiiiieeel* hübscher als die Word-Vorlagen – Weiteres bei mir) und jedenfalls allen die “Hinweise für Autoren” ans Herz legen (auf der Sektions-Homepage oder bei mir per email!).

Zuletzt noch der übliche Hinweis auf den Modus der Unkostenbeteiligung für die zugeschickten Print-Exemplare (6 oder 7 Euros oder 10 CHF entweder auf Raiffeisenbank St. Gallen, zugunsten der Allg. Anthr. Gesellschaft, Konto 90-970-5, bzw. GLS Gemeinschaftsbank Bochum (BLZ 430 609 67), Konto 988 100 (Allg. Anthr. Gesellschaft). In beiden Fällen bitte unbedingt als **Verwendungszweck “Kostenstelle 60445/1129”** angeben!), die Einladung, die neue Homepage (unter URL <http://www.goetheanum.ch/sektion/nws/index.html>) zu besichtigen, die aus dem Jahresbericht hervorgegangen ist (Kritik und Anregungen gern auch an mich!) und die Bitte (sofern Sie nicht ohnehin Kunde sind), ein Abonement oder Probehefte unserer Zeitschrift “Elemente der Naturwissenschaft” wohlwollend in Erwägung zu ziehen (gerade die letzten Hefte sind ausgesprochen vielseitig und interessant).

Herzlichen Gruss und beste Wünsche für 2003 Ihr Florian Theilmann

Inhaltsverzeichnis

Editorial	2
Licht und Elektrizität	4
Grundlegung	4
Das Photon als “Boson” – das Elektron als “Fermion”	6
Anthroposophische Besinnung	7
Zusammenschau	10
Geistige Orientierung durch lebendigen Physikunterricht	13
Rechnungen mit schwerkraftfreier Mechanik	23
1. Beispiel: Die Fallmaschine nach ATWOOD	23
2. Beispiel: Schiefe Ebene ohne Reibung	24
3. Beispiel: Schiefe Ebene mit Reibung	25
Rudolf Steiner und die Physik der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts	27
Einleitung	27
Wärmestrahlung und chemische Strahlung	28
Die Einheit der Strahlung	30
Die Position Rudolf Steiners und die moderne Sicht	31
Hinweis	33
Zur Physik der Lichtmühle	33
Erklärung für kleine Gasdrücke ($\ll 1$ Pa)	34
Erklärung für grosse Gasdrücke ($\gg 1$ Pa)	34
Der mittlere Bereich	35
Resume	36
Über das Aleph denken und sprechen	37
Fragehaltung und Ganzheit	38
Sprechenlernen in der Welt	38
Spielarten der Intellegibilität	40
Emailadressen der Autoren	43

Physikerrundbrief 7
Copyright Naturwissenschaftliche Sektion
Dornach, Dezember 2002
Redaktion und Herstellung: Florian Theilmann

Licht und Elektrizität

THOMAS SCHMIDT

Die folgenden Ausführungen sind kein abgeschlossener Aufsatz sondern als Gesprächsbeitrag anzusehen, der noch der Weiterentwicklung bedarf, sie schliessen sich an verschiedene Beiträge der vergangenen Rundbriefe und an die Aufsätze des Autors¹.

Grundlegung

Die modernen Untersuchungen an Photonen, die auch in diesem Rundbrief bereits mehrfach besprochen wurden, haben ergeben, dass diese "Licht-Teilchen" grundsätzlich nicht lokalisierbar sind, also keinerlei räumliche Existenz besitzen und somit auch unbeobachtbar und unmessbar bleiben, dennoch sind sie Repräsentanten eines jeden realen Raumzusammenhanges unserer Erscheinungswelt. Konkret beobachtbar in Raum und Zeit werden sie jedoch erst dann, wenn sie als Photonen und als eigentliches Licht verschwunden sind - sei es in einer Messapparatur, auf der Netzhaut des Auges oder auch durch photosynthetische Substanzbildungen in grünen Pflanzen. Die "Gestensprache", die in den Gedankenwegen zum theoretischen Verständnis des Lichtes zum Ausdruck kommt, zeigt damit durchaus Ähnliches wie es in der Anthroposophie bei der Charakterisierung des Lichtäthers geschieht.

Das "Verschwinden" des Lichtes in materielle, und damit erst wirklich energetisch beschreibbare Wirkungen hinein geschieht grundsätzlich über die Einstein-Planckformel der dem Licht zugeordneten Energie-Quanten

$$E_\nu = h\nu = hc/\lambda \quad (1)$$

(hier sind $h = 6,626 \cdot 10^{-34} Js$ die Planck-Konstante, c die Lichtgeschwindigkeit sowie ν und λ die Frequenz und die Wellenlänge des Lichtes.

Für das sichtbare Licht – einschliesslich der benachbarten ultravioletten und infraroten Strahlungsbereiche – verwirklichen sich die Energiequanten der Photonen ausschliesslich als Energiezuwachs von *Elektronen*. Sind diese danach als freie Elektronen feststellbar, so liegt ein "äusserer Photoeffekt" vor, bleibt das Elektron innerhalb der Materie, so spricht man von "innerem Photoeffekt".

Die besondere Affinität von *Licht* und *Elektronen* kommt auch darin zum Ausdruck, dass die "Thomson-Streuung" des Lichtes an freien Elektronen keinerlei Farbabhängigkeit zeigt, wie das etwa vom "Goetheschen Urphänomen" her bekannt ist. Von der Theorie her liegt das daran, dass die Wechselwirkung von Licht und Elektronen keiner Dämpfung unterliegt. Beobachtbar ist diese Thomson-Streuung bei totalen Sonnenfinsternissen, denn das ohne besondere Eigenfarbe erscheinende Licht der Sonnenkorona ist zum überwiegenden Teil Streulicht an den freien Elektronen, die in der hochionisierten Sonnenumgebung relativ häufig sind.

¹Thomas Schmidt: Die Photonen in der Physik, die Potenzlehre des Aristoteles und das "Imponderable" nach Rudolf Steiner“, Elemente d. N. **65**, S. 1-16 (1996) und Derselbe: Zur Entstehung der Farben Elemente d. N. **76** an

Bei sichtbarem Licht reicht die Quantenenergie $h\nu$ nur aus, die *Elektronen* der Atomhüllen anzuregen oder zu ionisieren. Um Kernteilchen, etwa *Protonen* physikalisch messbar zu beeinflussen, ist energiereiche γ -Strahlung nötig. Durch sichtbares Licht sind sogar nur die äussersten Elektronen der Atomhülle beeinflussbar, und selbst für die Anregung des Elektrons des Atoms mit der schwächsten Bindungskraft, des Wasserstoffes ist für die schwächste Anregung aus dem energetischen Grundzustand Strahlung der Wellenlänge 122 nm und für die Ionisation 91 nm erforderlich; in beiden Fällen handelt es sich dabei um “Vakuum-Ultraviolett” weil diese Strahlung nämlich sogar von Luft unter Normaldruck auf kürzeste Strecken absorbiert wird. Theoretisch gibt es zwar auch Wechselwirkungen der Photonen des sichtbaren Lichtes mit anderen Elementarteilchen als den Elektronen, diese sind jedoch in der Welt der realen Erscheinungen, in der wir leben, ohne jede Bedeutung.

Physikalische Zustände und ihre Entwicklung werden in der Quantenmechanik durch die komplexe Schrödinger-Gleichung beschrieben:

$$i\hbar \frac{\partial \psi(\vec{r}, t)}{\partial t} = \mathcal{H}\psi(\vec{r}, t), \quad (2)$$

die ohne direkt abgeleitet zu sein, entsprechend zur Wärmeleitungsgleichung hingeschrieben wurde, wie es ebenso auch *Rudolf Steiner* für seine im “Wärmekurs” angegebene und sehr ähnlich aufgebaute “Lichtgleichung” getan hat. Die in dieser allgemeinen, zeitabhängigen Gleichung auftretenden Zustandsfunktionen $\psi(\vec{r}, t)$ stellen, weil sie ebenfalls komplex sind, keine unmittelbar beobachtbaren Grössen dar. Nur in den Fällen, in denen die Zustandsfunktion die folgende Form hat: $\psi = u(\vec{r}) \exp(-iEt/h)$, so dass der reelle Raumanteil $u(\vec{r})$ von dem komplexen Zeitanteil separiert werden kann, “gerinnt” die in der Zeit fluktuierende Schröder-Gleichung (2) zu der “zeitunabhängigen Schrödinger-Gleichung”

$$Eu(\vec{r}) = \mathcal{H}u(\vec{r}), \quad (3)$$

die eine reelle Operator-Eigenwert-Gleichung darstellt für unterschiedliche, stationäre Energie-Eigenwerte E_n . Mit dieser Gleichung werden etwa die möglichen Energiezustände der Atome mit ihren Elektronenhüllen und den dabei möglichen Energiezuständen E_n beschrieben. Im unbeeinflussten “Ruhezustand” haben diese Elektronenhüllen der Atome keine in den Raum hinauswirkenden elektrischen Eigenschaften, weil sich im nicht ionisierten Atom die elektrischen Ladungen neutralisieren, wie ja auch jeder elektrische Leiter – ob Metall oder Elektrolytflüssigkeit – ohne elektrische Einflüsse von aussen grundsätzlich ungeladen ist. Nicht als Elektrizität erscheint in der Körperwelt die Wirkung der Elektronen der Atomhülle, sondern in den unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Substanzen, in all ihren sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften sowie in der relativ geringen Dichte und der daraus folgenden Durchlässigkeit aller uns umgebenden irdischen Stoffe, dünken sie uns auch noch so undurchdringlich, kompakt und massereich.

Das Photon als “Boson” – das Elektron als “Fermion”

Wie bereits öfters in diesen Rundbriefen vorgebracht, gliedern sich die “Elementarteilchen”, die in der Gedankenwelt der modernen Physik dem Kosmos zu Grunde liegen, in zwei Hauptgruppen:

1. Die *Fermionen*, die die uns umgebende Körperwelt aufbauen. Eine ihrer wesentlichen Eigenschaften ist, dass sie stets in irgendeiner Weise unterscheidbar sind und dem *Pauli-Prinzip* unterliegen und damit je zwei gleichartige “Fermionen” niemals die gleichen Quantenzustände einnehmen können.
2. Die *Bosonen*, die in der Welt die Aufgabe der Vermittlung, der “Kommunikation” zwischen den als *fermionische* Materie ohne Zusammenhang mit dem Ganzen existierenden Gegenständen bewirken. Für Bosonen gilt nicht das *Pauli-Prinzip*, es können also beliebig viele ununterscheidbar gleiche Bosonen gemeinsam existieren; sie sind demnach auch nicht wie die Fermionen im Sinne der Körperwelt individualisierbar.

Das einzig unter allen Elementarteilchen existierende stabile “Boson” ist das *Photon* und das einzige mit Sicherheit stabile “Fermion” das *Elektron*. [Für die ebenfalls bisher als stabil angenommenen drei verschiedenen Arten von *Neutrinos* wurde durch neue Untersuchungen nachgewiesen, dass sie sich in einander verwandeln, so dass für die einzelne Neutrino-Art keine Stabilität gilt. Das einzige weitere als stabil angenommene “Fermion” ist das *Proton*, für das aber durchaus die Frage besteht, ob es nicht langfristig ebenfalls als instabil angesehen werden muss – seine Halbwertszeit läge dann bei etwa 10^{31} Jahren, das ist zwar eine unermesslich lange Zeit, und für die Realität der uns umgebenden Körper-Welt ist diese Abweichung von der Stabilität ohne jede Bedeutung, dennoch ist es aber keinesfalls aussichtslos, in grossen Materiemassen den Protonen-Zerfall in absehbarer Zeit direkt messen zu können. Hinweise auf die Instabilität der *Protonen* kommen aus der Kosmologie, wodurch nahe gelegt wird, dass die Anzahl der “Baryonen” (das sind im wesentlichen die *Protonen* und *Neutronen* zusammengenommen) im Universum nicht konstant sein kann. Da *Neutronen* grundsätzlich in *Protonen* und *Elektronen* zerfallen, ist aber die Veränderlichkeit der Zahl der “Baryonen” langfristig mit der der *Protonen* identisch.]

Wie aber auch derartige Untersuchungen einst ausgehen mögen, zeigt sich aber in jedem Fall, dass die “bosonischen” *Photonen* als Repräsentanten des *Lichtes* einerseits und die “fermionischen” *Elektronen* (zu denen im Sinne der Teilchen-Physik auch die positiv geladenen *Positronen* gehören) als Repräsentanten der *Elektrizität* mit ihren Ladungen andererseits innerhalb der modernen Physik zwei ganz besondere “Fixelemente” für das Verständnis der materiellen Welt bedeuten.

Die enge Verbindung zwischen elektrischen Ladungen und Photonen zeigt sich in der Elementarteilchen-Physik auch darin, dass Photonen die Austausch-Teilchen der “elektromagnetischen Wechselwirkung” darstellen. In diesem Zusammenhang

sagt die “Quantenelektrodynamik” aus, dass jede Wirkung elektrischer Kräfte zwischen geladenen Körpern durch den gegenseitigen Austausch von Photonen übertragen wird. Auch ruhende Ladungen emittieren nach dieser Vorstellung Photonen, die allerdings grundsätzlich nicht nachweisbar sind, weil sie innerhalb der Unschärferelation $\Delta t E \approx \hbar$ liegen. Nach dieser Unschärferelation kann demnach das virtuelle Photon um so länger existieren und sich um so weiter bewegen, je energieärmer das virtuelle Photon ist. Dieser Tatbestand kann als Grund dafür angesehen werden, dass die elektrische Kraft mit der Entfernung abnimmt.

In der kosmischen Gegenwart ist das Universum durchsichtig und der nächtliche Himmel dunkel, obwohl der gesamte Raum von Licht durchflutet ist, wenn auch in ausserordentlich grosser Verdünnung – die unmittelbare kosmischen Nachbarschaft der Sterne ausgenommen. Auch die Körperwelt der “fermionischen Materie” kommt also im Kosmos innerhalb der unermesslichen Raumes-Weiten nur in ganz wenigen eng begrenzten Bereichen vor und tritt dort dann so konzentriert auf, dass sie allein den Anblick bestimmt, unter dem uns das Universum erscheint; überall sonst aber ist sie ebenfalls so verdünnt, dass sie un wahrnehmbar bleibt. In der Sprache der modernen Elementarteilchenphysik heisst das: Die Wechselwirkung zwischen den “bosonischen” Photonen und der “fermionischen” Materie ist im Kosmos der Gegenwart eine seltene Ausnahmesituation von lokal allerdings grösster Bedeutung, denn ohne diese gäbe es beispielsweise auf der Erde keine Photosynthese, durch die Lichtwirkungen in die materielle Welt einzudringen vermögen um dort die Substanzgrundlage alles höher entwickelten Lebens zu schaffen.

Dieser Weltzustand der Verdünnung sowohl des Lichtes als auch der Materie im Universum ist kosmische Gegenwart, die kosmische Vergangenheit hat anders ausgesehen. Die “kosmische Hintergrundstrahlung”, die die ganze Welt homogen und isotrop mit einer Planck’schen “Wärme”-Strahlung von 2,7 K durchsetzt, ist eine in unwirksame Kälte herabgesunkene Reminiszenz an einen Weltzustand, in der der gesamte Raum unabhängig von seiner Materie-Erfüllung als Raum selbst von einer intensiven Wärmestrahlung erfüllt war, durch die er keinerlei Durchsichtigkeit hatte. In der Kosmologie wird das so formuliert, dass die Welt damals “strahlungsbestimmt” gewesen sei, während sie in der Gegenwart “materiebestimmt” erscheint.

Anthroposophische Besinnung

Es gibt in der Erscheinungs- und Gegenstandswelt zwei Regionen, in denen die “überphysische”, ätherische Welt in die physische Körperwelt unmittelbar eintritt:

- Zum einen ist das die *Wärme*, die nahezu identisch mit dem “*Wärmeäther*” ist. Die Wärme aber “berührt” die Körperwelt nur. Und auch das Eindringen der Wärme in Substanzen, die dadurch innerlich erwärmt werden, ist eher als eine Berührung der alles durchdringenden Wärme von innen anzusehen, ist sie doch mit keiner stofflichen Veränderung zu verbunden, von einigen Grenzerscheinungen zum Licht hin einmal abgesehen. Der stärkste Einfluss der Wärme auf die

Materie ist, wenn chemische Vorgänge durch Erwärmung angeregt oder auch überhaupt erst ermöglicht werden, aber auch diese Wirkung bleibt allgemein und stofflich unspezifisch.

- Zum anderen ist es das *Licht*, in seiner - anders als die Wärme – von der Materie grundsätzlich abgelösten Unwahrnehmbarkeit ebenfalls mit dem “*Lichtäther*” identisch. Das Licht andererseits vermag sehr spezifisch substanzbildende Wirkungen zu entfalten, wie schon erwähnt, “erstirbt” es dabei über die Wechselwirkung mit den Elektronen in die Materie hinein und bildet beispielsweise in den grünen Pflanzen durch die Photosynthese die materiellen Grundlagen des Lebens.

Wenn wir in der dargestellten Weise den physikalischen Tatbestand beschreiben, dass das *Licht* nicht anders als über eine Wechselwirkung mit *Elektronen* mit der irdischen Körper- und Erscheinungswelt in Beziehung zu treten vermag und dabei aber als *Licht* zu existieren aufhört, so bewegen wir uns in einer Weltregion, die grundsätzlich jeder Sinneswahrnehmung unzugänglich bleibt, aber dennoch starken Realitätscharakter besitzt.

Worum es dabei geht, hat uns *Rudolf Steiner* in seinem Mitgliederbrief (GA26) “Von der Natur zur Unternatur” 1925 unmittelbar vor seinem Tod überliefert:

Die Elektrizität, die nach ihrer Entdeckung als die Seele des natürlichen Daseins gepriesen wurde, sie muss erkannt werden in *ihrer* Kraft, von der Natur in die Unter-Natur hinabzuleiten. Es darf der Mensch nur nicht mitgleiten. . .

Worum es sich bei der Region der *Unternatur* handelt wird im Absatz davor charakterisiert:

Das weitaus Meiste dessen, was heute durch die Technik in der Kultur wirkt und in das er mit seinem Leben im höchsten Grade versponnen ist, das ist *nicht Natur*, sondern *Unter-Natur*. Es ist eine Welt, die sich nach unten hin von der Natur emanzipiert hat [. . .] Die Unter-Natur muss als solche begriffen werden. Sie kann es nur, wenn der Mensch in der geistigen Erkenntnis mindestens gerade so weit hinaufsteigt zur ausserirdischen Über-Natur, wie er in der Technik in die Unter-Natur heruntergestiegen ist. Das Zeitalter braucht eine *über* die Natur gehende Erkenntnis, weil es innerlich mit einem gefährlich wirkenden Lebensinhalt fertig werden muss, der unter die Natur heruntergesunken ist.

Die Beziehung des Lichtes zur Elektrizität wird von *Rudolf Steiner* ausführlicher zum ersten Male am 1. 10. 1911 in dem Vortrag “Die Ätherisation des Blutes” (GA 130) besprochen:

Was ist das Licht? Es zerfällt, und das zerfallende Licht ist Elektrizität. Was wir als Elektrizität kennen, das ist Licht, das sich selbst zerstört innerhalb der Materie. Und die chemische Kraft, die innerhalb der Erdenentwicklung eine Umwandlung erfährt, ist Magnetismus. Und noch eine dritte Kraft wird auftreten. Und wenn den Menschen heute schon Wunder wirkend die Elektrizität erscheint, so wird diese dritte Kraft in noch viel wunderbarer Weise die Kultur beeinflussen. Und je mehr wir von dieser Kraft anwenden, desto eher wird die Erde zu einem Leichnam werden, damit das, was das Geistige der Erde ist, sich hinüberwirken kann zum Jupiter. Die Kräfte müssen angewandt werden, um die Erde zu zerstören, damit der Mensch frei wird von der Erde und damit der Erdenleib abfallen kann.... sonst wird der Geist nicht frei. . .

In der anschliessenden Fragenbeantwortung macht *Rudolf Steiner* dazu dann noch die folgende Aussage: “Elektrizität ist Licht im untermateriellen Zustand. Da ist das Licht in der schwersten Weise zusammengedrückt. Dem Licht muss man auch Innerlichkeit zusprechen, es ist in jedem Punkt es selbst. Wärme kann sich in drei Richtungen des Raumes ausdehnen, beim Licht müssen wir von einer vierten sprechen: Es ist vierfach ausgedehnt; es hat Innerlichkeit als viertes.”

In einer schriftlichen Fragenbeantwortung von 1919 findet sich der folgende Satz *Rudolf Steiners*: “Licht ist nicht als Funktion der Elektrizität zu betrachten, sondern die letztere als eine Art leiblicher Träger des Lichtes.”

Und eine letzte Aussage *Rudolf Steiners* zur Beziehung zwischen Licht und Elektrizität aus dem Vortrag vom 28. 1. 1923 im Zyklus “Lebendiges Naturerkennen. Intellektueller Sündenfall und spirituelle Sündenerhebung” (GA 222) sei hier noch angeführt:

Wer jemals mit wirklicher geistiger Anschauung den elektrischen Strom bewusst durch sein Nervensystem gehen gefühlt hat, der weiss, dass Elektrizität nicht bloss eine Naturströmung ist, sondern dass Elektrizität in der Natur zu gleicher Zeit ein Moralisches ist, und dass in dem Augenblicke, wo wir das Gebiet des Elektrischen betreten, wir uns zugleich in das Moralische hineinbewegen... Aber ich spreche jetzt unrichtig. Man macht nämlich das Atom, indem man es zum Elektron macht, nicht zu einem moralischen Wesen, sondern man macht es zu einem unmoralischen Wesen... In der Elektrizität sind allerdings schwimmend die moralischen Impulse, die Naturimpulse – aber das sind die unmoralischen, das sind die Instinkte des Bösen, die durch die obere Welt überwunden werden müssen. Und der grösste Gegensatz zur Elektrizität ist das Licht. Und es ist ein Vermischen des Guten und des Bösen, wenn man das Licht als Elektrizität ansieht....Denn elektrische Atome sind böse, kleine Dämonen.

Liest man zu schnell über diese Aussagen *Rudolf Steiners* hinweg, so mag sich der Eindruck eines klaren “Schwarz-Weiss-Gegensatzes” bilden:

Licht ist moralisch und gut — Elektrizität ist unmoralisch und böse.

Licht gehört zur Übernatur — Elektrizität gehört zur Unternatur.

Liest man aber genauer so ergibt sich durchaus ein differenzierteres Bild: Ob nun “böse” oder “unmoralisch”, so sind doch die Zerstörungskräfte der Elektrizität (zusammen mit den anderen 1911 geschilderten unterphysischen Kräften) offensichtlich für die Fortentwicklung von Erde und Menschheit notwendig und unvermeidbar. Und auch *Rudolf Steiners* letzte Äusserung von 1925 beschreibt ja die Elektrizität in ihrer unternatürlichen Gefährlichkeit keineswegs als eine Realität, von der sich der Mensch abwenden sollte, denn “die Unternatur muss als solche begriffen werden” und: “... die Elektrizität... muss erkannt werden in *ihrer* Kraft, von der Natur in die Unter-Natur hinabzuleiten. Es darf der Mensch nur nicht mitgleiten. . .”

Zusammenschau

Licht als Licht an sich ist ein übermaterielles Welt-Verbindungselement, das sich zwar selbst jeder Lokalisierung entzieht, das aber dennoch dem kosmischen Raum überhaupt erst einen Sinn gibt. In der Begrifflichkeit des *Aristoteles* ausgedrückt, existiert das Licht demnach grundsätzlich nur der *Möglichkeit* (*δύναμις*) nach, bei seiner *Verwirklichung* (*ἐνεργεία*) in der materiellen Gegenstandswelt verliert es unmittelbar seine Licht-Existenz. In dieser Weise das Licht anzusehen, kann sowohl in Übereinstimmung mit den Photonen in der modernen Quantenoptik als auch der Charakterisierung des Lichtäthers innerhalb der Anthroposophie angesehen werden.

Wie dargestellt wurde, bedeutet die Verwirklichung des Lichtes in der Materie für das Licht einen “Sterbeprozess”, aus der Messbarkeit von Energie entsteht, die stets über eine Wechselwirkung mit Elektronen vermittelt wird, sich selbst jedoch jeder unmittelbaren Wahrnehmbarkeit entzieht. Dieser Vorgang dringt also in jedem Fall in den Bereich der Wirklichkeit ein, den *Rudolf Steiner* 1925 *Unternatur* nennt, die sich nach unten hin von der Natur emanzipiert hat, und zwar vor allem im Zusammenhang mit der Technik und der Elektrizität. 1911 formuliert *Rudolf Steiner* diesen Tatbestand auch so: “Elektrizität ist Licht im untermateriellen Zustand.” Jede Lichtwirkung in der Körper-Welt ist also ganz offensichtlich verbunden mit diesem Hineinsterben des Lichtes in die von Elektrizität beherrschte Unternatur hinein, wobei unterschiedlich intensive Wirkungen entstehen. Eine dieser Wirkungen führt aus der Unternatur heraus ebenfalls über “elektromagnetische Wechselwirkung” wieder zu Lichtprozessen und dem Zauber der beleuchteten, farbigen Körperwelt. Eine intensivere Wirkung ist die organische Substanzbildung durch “Photosynthese” innerhalb der grünen Pflanzenwelt. Wenn wir das “Verbrennen” unserer Haut bei intensiver Sonnenbestrahlung anschauen, können Lichtwirkungen aber auch bis zu Zerstörungsprozessen innerhalb lebendiger Substanzen führen.

In all dem stehen also zwei miteinander verschränkte Grenz- und Schwellen-Situationen vor uns, wenn wir von der Welt der Sinneserscheinungen zwischen dem Licht und der Körperwelt sprechen, wie auch das bereits in den bereits zitierten Passagen des

Mitgliederbriefes "Von der Natur zur Unternatur" von *Rudolf Steiner* zum Ausdruck kommt: "...Die Unter-Natur [kann nur begriffen werden]..., wenn der Mensch in der geistigen Erkenntnis mindestens gerade so weit hinaufsteigt zur ausserirdischen Über-Natur, wie er in der Technik in die Unter-Natur heruntergestiegen ist..."

Zum Abschluss soll es hier gewagt werden, den folgenden Gedanken in das Gespräch einzubringen: Die Welt der Sinneserscheinungen selbst ist Grenz- und Schwellen-Region, innerhalb derer die Naturgesetzlichkeit in "Urphänomenen" zum Ausdruck kommt, die nicht "unter" diese Grenze herabgreifen. Diese besondere Grenzsituation der uns umgebenden Welt ist aber keinesfalls *nur* Ausdruck anthroposophisch erweiterter Naturwissenschaft, sondern erscheint auch als "Gestensprache" innerhalb der "Gedankenwege" der modernen, innerhalb des 20. Jahrhunderts entstandenen Physik, wie sie oben kurz vorgestellt wurde.

Die Schwelle zur unterphysischen Welt: Einerseits ist diese sich unseren Sinneswahrnehmungen offenbarende Welt nicht die Welt der festgefügteten Materie: "Das sinnenfällige Weltbild ist die Summe metamorphosierender Wahrnehmungsinhalte ohne eine zu Grunde liegende Materie." (*Rudolf Steiner* im Kapitel "Das Urphänomen" in den "Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften"). Jedoch haben die Sinneserscheinungen in unserer Erdenwelt eine "handfeste" Grundlage, auf deren Oberfläche sie zur Offenbarung kommen. In dem mehrfach zitierten Mitgliederbrief "Von der Natur zur Unternatur" charakterisiert *Rudolf Steiner* diese Grundlage so:

Damit aber kennzeichnet sich das Mechanische als das rein Irdische. Denn das Naturgesetzliche, in Farbe, Ton, usw. [gemeint ist also offensichtlich das in den Sinneswahrnehmungen lebende] ist im Irdischen aus dem Kosmos zugeflossen. Erst im Erdenbereich wird auch dem naturgesetzlichen das Mechanische eingepflanzt, wie ihm der Mensch erst im Erdenbereich gegenübersteht. - das weitaus Meiste dessen, was heute durch die Technik in der Kultur wirkt und in das er mit seinem Leben im höchsten Grade versponnen ist, das ist *nicht Natur*, sondern *Unter-Natur*. Es ist eine Welt, die sich nach unten hin von der Natur emanzipiert hat.

Wie danach dargestellt wird, dass die Elektrizität die entscheidende Kraft ist, die in die Unter-Natur hinabführt, wurde schon besprochen. Aber gerade in diesem Zusammenhang muss noch erwähnt werden, dass das Wesen der "Technik" wie es hier gemeint ist, offensichtlich nicht nur als Apparate-Bau zu verstehen ist. Die Methode der modernen Naturwissenschaft, wie sie von *Newton* konsequent zum ersten Male in seiner Gravitationslehre und Himmels-Mechanik entwickelt wurde, ist nämlich nichts anderes als theoretisch-*technischer* Art, geht es doch nicht mehr um echte Erkenntnisaufgaben zwischen Wahrnehmung und Begriff, sondern es werden aus Grundpostulaten (wie etwa die auf den Mond wirkende Erd-Schwere), deren Wahrnehmbarkeit ohne jede Bedeutung ist, "funktionsfähige Gedankenzusammenhänge" konstruiert (wie etwa die richtige Umlaufperiode des Mondes um die Erde). In der gleichen Weise geht

man aber auch in der praktischen Technik vor, um “funktionsfähige Maschinen” zu konstruieren!

Soviel also zu der *einen* Seite der Schwellen-Region der Sinneserscheinungen, die in die real, stark und auch “gefährlich wirkende” unter-sinnliche Welt hinabführt.

Die Schwelle zur überphysischen Welt: So wie der uns offenbare “Sinnes-Teppeich” auf der *Grundlage* einer unternatürlichen Welt erscheint, so ist dieser andererseits eine *Offenbarung* übernatürlicher Wirksamkeiten, die im Wesentlichen im Licht repräsentiert sind. In dem Mitgliederbrief “Die Weltgedanken im Wirken Michaels und im Wirken Ahrimans” vom 16. 11.1924, in dem die beiden grossartigen Imaginationen von Michael und Ahriman im Mittelpunkt stehen, kommt *Rudolf Steiner* zu einer Charakterisierung Michaels, die offensichtlich diese Offenbarung von Überphysischem in der Aussenwelt betrifft:

Michael geht mit allem Ernste seines Wesens... in Liebe durch die Welt. Wer sich an ihn hält, der pfleget *im Verhältnis zur Aussenwelt der Liebe* [von R.St. hervorgehoben]. Und Liebe muss im Verhältnis zur Aussenwelt sich zunächst entfalten, sonst wird sie Selbstliebe... – Das Zeitalter, das jetzt im Anbrechen ist, bedarf des Hinblickes der Menschheit auf eine Welt, die unmittelbar als geistige an die physisch empfundene angrenzt und in der solches zu finden ist, wie hier als Michael-Wesenheit und Michael-Mission geschildert ist. . .

(Worauf die erste Charakterisierung der “Unter-Natur” innerhalb der Michael-Briefe folgt.) Und dass wir in diesem “Sinnesteppich” als offenbares “Weltbild” wirklich mehr vor sich haben, als nur wesenlose Maya, wird bereits deutlich, wenn man sich auf den Weg einlässt, den *Rudolf Steiner* in der “Sendung Michaels” (GA 194, vor allem 6. Vortrag vom 30. 11. 1919) als den in der Gegenwart zu beschreitenden Weg des “Licht-Seelen-Prozesses” charakterisiert.

Nach allem was hier dargestellt wurde, könnte vielleicht die Welt in ihrer gegenwärtigen Evolutions-Stufe so angesehen werden, dass die überphysische Ätherwelt (in dem hier Vorgebrachten repräsentiert durch das Licht) *zunächst* ohne eine “Wechselwirkung” zur physischen Welt über dieser schwebt, wobei diese dann auch nicht in die zukünftige Entwicklung einbezogen ist. Möglichkeit zur Zukunft – mit allen damit verbundenen Gefahren und Abirrungen – entsteht nur dadurch, dass das *Licht* durch die Sinnesschwelle “hindurchtaucht” in die “Unter-Natur” hinein und dort in elektrisch vermittelte Energiewirkung hinein erstirbt. Und erst dann, nachdem erstorbenes Licht auf der unterphysischen Seite der Welt wirksam geworden ist, vermag sich der Prozess umzuwenden und es entsteht erneut Licht, das nun die physische Welt in ihre Farbigkeit hinein zur Erscheinung bringt. Dadurch erst, dass nun diese physische Natur selbst leuchtend wird, hat sie teil an dem Entwicklungsprozess des Gesamtkosmos, was aber ohne das Eintauchen des “Übernatürlichen” in das “Unternatürliche” nicht möglich wäre.

Dass für die Bildung lebendiger Stofflichkeit aus dem Licht in der Photosynthese ein noch deutlich intensivierter, nämlich bleibender Sterbe- und Verdichtungs-Prozess des Lichtes in das Unterphysische hinein notwendig ist, bedarf noch weiterer Betrachtung, ebenso wie die Tatsache, dass auch die physische Möglichkeit der Sinneswahrnehmung im Auge ohne das "Hineinsterben" des wahrgenommenen Lichtes in chemische Vorgänge auf der Netzhaut hinein nicht möglich wäre.

Geistige Orientierung durch lebendigen Physikunterricht¹

HERMANN BAUER

Mein Thema ist "Schwere und Gewicht", denn die Auseinandersetzung mit der Schwere ist ein wesentlicher Aspekt der Pubertät. Dabei werde ich nur zwei Stellen der Physik ein wenig beleuchten, eine aus der Hydrostatik der achten Klasse und eine aus der Mechanik der zehnten Klasse, Alles andere im Umkreis, was auch noch dazugehört, werde ich einfach weglassen. Aber ich hoffe doch, dass Lebensströme wahrnehmbar werden. Am Anfang der neuzeitlichen Physik stand das Experiment. Ich darf also auch mit einem Experiment beginnen.

(Es wird eine Kerze, die auf dem Boden eines Weckglases befestigt ist angezündet, dann wird der Deckel aufgelegt, das Glas mit beiden Händen hochgehoben, fallengelassen und wieder aufgefangen. Man beobachtet, dass die Kerzenflamme sich zusammenzieht, klein und rundlich wird und beim Auffangen des Glases erlischt.)

Eigentlich müssten wir jetzt – im Sinne *Rudolf Steiners* – bis morgen warten, d. h. eine Nacht darüber schlafen, und dann erst den Versuch erklären. Ich muss die Wartezeit bis zum Ende meines Vortrages verkürzen, und wie Sie es mit dem Schlafen halten wollen, muss ich natürlich Ihnen überlassen. Nur eines möchte ich vorwegnehmen: Sie sehen ich habe die Flamme wieder entzündet und den Deckel aufgelegt, und sie brennt noch immer. Der Grund für ihr Ende war also nicht Sauerstoffmangel wegen Abgeschlossenheit, sondern war *Orientierungslosigkeit*; das wird sich am Schluss zeigen. Aber nun zur Hydrostatik.

In der achten Klasse weiss man, dass Steine, Metalle und alle andern festen Körper ein Gewicht haben. Aber wie ist das mit Flüssigkeiten, mit Wasser? Wenn wir es wiegen wollen, müssen wir es erst in ein Gefäss schütten (Bild links). Das Gefäss mit der Flüssigkeit im Innern ist schwerer als vorher. Diese Genauigkeit der Schilderung ist nötig. Man erkennt dies, wenn man das Umgekehrte betrachtet, d.,h. ein Gefäss mit Flüssigkeit im Äusseren (Bild rechts): Es wird *leichter*. Das Wasser drängt das eingetauchte Gefäss gleichsam heraus, um wieder die glatte Oberfläche zu gewinnen². Das ist der Auftrieb, der Schiffe trägt und der den gleichen Betrag hat wie das Gewicht

¹Vortrag bei der Internen Lehrertagung in Bochum am 20.10.94.

²Siehe Bauer, Hermann: Urphänomene im Bereich des Flüssigen, in "Elemente der Naturwissenschaft, 1970,1.

(wenn man von der Dicke der Gefäßwand absieht), also Wasser *in* einem Gefäß macht es schwerer. Wasser *um* ein Gefäß macht es um genauso viel leichter.

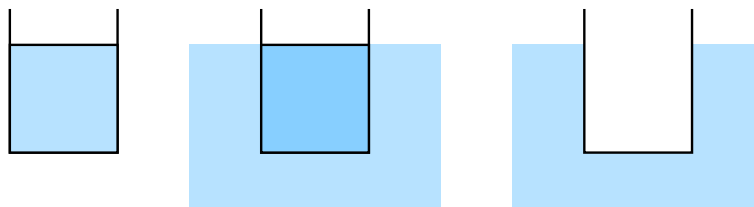


Abbildung 1: Wasser *in* einem Gefäß macht es schwerer. Wasser *um* ein Gefäß macht es (um genau so viel) leichter.

Wenn ein Gefäß zugleich Wasser in sich und um sich hat (Bild Mitte), so heben sich Gewicht und Auftrieb gerade auf. Wenn man sich nun vorstellt, dass die Gefäßwand immer dünner und beweglicher wird bis sie eine dünne Wasserhaut geworden ist, so hat man einfach Wasser in Wasser, und das hat nun weder Auftrieb noch Gewicht. Dies gilt für jede in Gedanken ausgesonderte Wassermenge, gleichsam für jeden “Wasserpunkt”, d. h. aber: Im Innern eines Gefäßes, eines Sees, des Ozeans schwebt das Wasser schwere und auftriebslos in sich. Es ist für die Gewichtskräfte wie ausgelöscht, und nur an der Begrenzungsfläche treten Kräfte in Form der Druckercheinungen auf.

Im “Wärmekurs”³ spricht *Rudolf Steiner* dies folgendermassen aus:

“Schwerkraft nehmen also nur diejenigen Wesen wahr und ihr unterliegen nur diejenigen Körperlichkeiten, die auf einem Planeten sind, der fest ist. Wesen welche leben könnten auf einem Planeten der flüssig ist, würden nichts wissen von einer Schwerkraft.”

Natürlich müssten dann auch diese “Wesen” aus Wasser bestehen. Und entsprechendes kann man auch beobachten: In den Tiefen des Ozeans schweben Einzeller und kriechen Weichschnecken, die nichts von dem Druck und dem Gewicht spüren, die dort auf dem Meeresboden oder auf einem Panzerfisch lasten, denn sie sind weitgehend Wasser in Wasser und lassen die Druck- und Gewichtskräfte durch sich hindurchgehen.

Entsprechendes kann jeder am eigenen Leibe erleben, wenn er in der Badewanne liegt. Alle Organe, insoweit sie weich und wässrig sind, zählen dann nicht zu unserem Gewicht: Haut, Muskeln, Gewebe, Adern, Blut. Sie sind wie Wasser in Wasser. Arme, Beine, Bauch liegen - vor allem in ihrem äusseren Bereich - schwimmend, schwebend, locker, gelöst in dem flüssigen Element. Wenn man sie heraushebt, so hängt z.B. der Bauch mehr oder weniger herunter, dadurch spannt die Haut oben, unten staucht sich die Stofflichkeit, und dazwischen quillt sie hervor. Und genau das erleben wir als das Gewicht, das unseren Leib wieder ergreift. Der Auftrieb trägt uns nicht nur äusserlich,

³Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik. Zweiter naturwissenschaftlicher Kurs, GA 321.

sondern das Wasserelement nimmt uns in sein innerlich gewichtsfreies Dasein teilweise auf. Wer noch das Glück hat, ein Wannenbad geniessen zu können, gönne sich das Erlebnis, das Wasser herauszulassen, während er noch in der Wanne liegt. Er kann wirklich erfahren, wie sich die Schwere auf Arme, Beine, Bauch, seinen ganzen Leib stürzt - bis dieser nur noch getragen wird von dem harten Wannenboden, und es ganz erstaunlich schwer fällt, sich zu erheben. Man hat Experimente durchgeführt, bei denen Studenten tagelang im warmen Wasser liegen mussten. Sie empfanden hinterher ihre Muskeln als eine lästige Last und wollten unbedingt in die Wanne zurück. Die Muskeln erschlaffen eben im Wasser viel schneller, als wenn man nur im Bett liegt. Man ist gleichsam ruhender als ruhend.

Nun gibt es Menschen, die sich monatelang in einem solchen Zustand befinden: Der Embryo, der Fötus, der noch ungeborene Mensch, er schwimmt im Fruchtwasser. Dadurch ist er, der selber zum grössten Teil aus Wasser besteht, den Gewichtskräften weitgehend entzogen, weswegen es auch nichts ausmacht, dass er im allgemeinen auf dem Kopf steht. In diesen Zustand - wo er nach den physikalischen Gesetzen eigentlich erschlaffen müsste - wird er durch die Äther-Lebenskräfte gerade aufgebaut. Wenn man anerkennt, dass unser Planet früher noch flüssig war, so kann man auch sagen, dass die Ungeborenen einen früheren Erdzustand erleben. Erst mit der Geburt kommen sie in die Gegenwart. Sie erblicken nun nicht nur das Licht der Welt, sondern erleben auch zum ersten Male das Gewicht der Welt, und nach dem Geschilderten ist das, wie es ja schon unsere Sprache ausdrückt, sicher für uns ein ausserordentlich wichtiges, ein "gewichtiges" Ereignis.

Dies wirft auch noch ein besonderes Licht auf die Bedeutung der Taufe. Ursprünglich wurde der Täufling ganz ins Wasser untergetaucht und kam dadurch gleichsam nochmals in einen Embryonalzustand, um dann neu geboren zu werden. In einmaliger Weise geschah dies bei der Jordantaufer Jesu, wo tatsächlich der Christus als eine neue Wesenheit geboren wurde, was durch die göttlichen Worte ausgedrückt wird, die wir noch bei Paulus nachlesen können: "Mein Sohn bist du: Ich habe dich heute gezeugt."

Unser Gehirn schwimmt in der Gehirn-Rückenmarksflüssigkeit. *Rudolf Steiner* legt dem grosse Bedeutung zu. So sagt er im "Lichtkurs"⁴:

"Sehen Sie, unser Gehirn wiegt durchschnittlich 1250 Gramm. Wenn dieses Gehirn, indem wir es in uns tragen, wirklich 1250 Gramm wiegen würde, dann würde es so stark drücken auf die unter ihm befindlichen Blutadern, dass das Gehirn nicht in richtiger Weise mit Blut versorgt werden könnte. Es würde ein starker Druck ausgeübt werden, der das Bewusstsein sogleich umnebeln würde. In Wahrheit drückt das Gehirn gar nicht mit den vollen 1250 Gramm auf die Unterfläche der Schädelhöhle, sondern nur mit etwa 20 Gramm. Das kommt davon her, dass das Gehirn in der Gehirnflüssigkeit schwimmt ... Und das Gewicht der Gehirnflüssigkeit, die verdrängt wird durch das Gehirn, beträgt eben ungefähr 1230

⁴Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik. Erster naturwissenschaftlicher Kurs, GA 320, S.49.

Gramm. Um diese wird das Gehirn leichter und hat nur noch 20 Gramm. Das heisst, wenn man nun auch ... das Gehirn als das Werkzeug unserer Intelligenz ... betrachtet, so muss man nicht bloss rechnen mit dem wäg- baren Gehirn - denn dieses ist nicht alleine da -, sondern dadurch, dass ein Auftrieb da ist, strebt das Gehirn eigentlich nach aufwärts, strebt seiner eigenen Schwere entgegen. Das heisst, wir leben mit unserer Intelligenz nicht in abwärtsziehenden, sondern in aufwärtsziehenden Kräften. Wir le- ben mit unserer Intelligenz in einem Auftrieb drinnen.”

Man kann auch sagen, dass unser Gehirn zeitlebens in einem embryonalen, in einem vorgeburtlichen Zustand bleibt, und nur dadurch können wir denken. Was *Plato* im “Phaidon” schildert und was *Rudolf Steiner* in seiner Allgemeinen Menschenkunde ausführt, dass nämlich unser Denken aus dem Vorgeburtlichen hereinwirkt, wird uns hier gleichsam physikalisch bestätigt.

Nach diesem kleinen Einblick in die Hydrostatik der achten Klasse (den man na- türlich nur dem Geiste nach in den Unterricht übernehmen kann), mache ich einen Sprung in die zehnte Klasse, wo eine nächste Stufe der Mechanik auftaucht. Sie ist von entscheidender Bedeutung und von besonderer Dramatik, denn es geht dort um die Frage nach der Schwerkraft im traditionellen Sinne als “Erdanziehungskraft”. In der Lehrerkonferenz vom 25.9.19 bemerkt *R. Steiner* dazu:

”Das würde ja wunderbar sein, wenn Sie es dahin brächten, sich ganz abzugewöhnen, von der Schwerkraft zu reden. Man kann es dahin bringen, wenn man nur Phänomene vorbringt, denn die Schwerkraft ist ja nur eine Phrase.”

Man soll also diesen Begriff überwinden, was nicht einfach ist, denn er steckt tief in den Köpfen und Seelen der Schüler und auch vieler Lehrer und ist auch - wie das Verkehrte so oft - sehr eingängig. Die Erde wird dabei als eine Art Magnet dargestellt, der gleichsam alle Körper gierig zu sich heranzieht. Aber was geschieht denn wirklich beim freien Fall, was können wir wissen, wenn wir wirklich nur auf Phänomene bauen?

Begeben wir uns wieder – wie beim Auftrieb – mit unserem eigenen Leib in das Geschehen hinein - wenigstens in der Vorstellung. Stellen wir uns also vor, wir würden gemeinsam mit diesem Saal in einen tiefen Schacht hinabfallen. (Natürlich werden wir irgendwann wieder aufgefangen, aber das hat etwas Zeit, denn bis zum Erdmittelpunkt dauert es immerhin 21 Minuten.). Was würde dann geschehen? Vielleicht würden ein- ige von Ihnen Rückschauerlebnisse haben - vielleicht sogar viele von Ihnen, weil Sie entsprechend geschult sind; aber ich möchte doch etwas physikalischer beginnen.

Ein wesentliches Urphänomen des Freien Falles ist, dass alle Körper gleich schnell fallen, insoweit der Luftwiderstand sie nicht bremst. Galilei hat das schon vor vier- hundert Jahren gezeigt - am Schiefen Turm zu Piesa, wie man erzählt: Ein grosses, schweres und ein kleines leichtes Geschoss kommen - wenn man sie oben gleichzeitig loslässt - auch zusammen unten an. Das schiendamals manchen so unglaublich, dass

sie vermuteten, Galilei habe den Teufel beschworen, in das kleinere Geschoss zu fahren. (Daran sieht man, dass auch ein Experiment nur für denjenigen etwas beweist, der die entsprechende neuzeitliche Seelenverfassung besitzt.)

Dieses einfache Phänomen hat erstaunliche Konsequenzen für unseren gemeinsamen Fall in den Schacht. Wenn Sie z.B. ein schweres Buch auf den Händen liegen haben, so fällt es genau so schnell wie ihre Hände, d. h. sie spüren keinerlei Gewicht des Buches. Sie drücken selber auch nicht auf Ihren Stuhl, denn der fällt genau so schnell wie Sie. (In einem fallenden Klassenzimmer könnte also niemand die Schulbank drücken.) Aber auch alle Teile ihres Körpers fallen gleich schnell, und dadurch kann keiner auf den anderen drücken, oder an ihm ziehen und dadurch ein Stauchen, oder Spannen oder Quellen hervorrufen. Das heisst aber, Sie fühlen sich bis ins Innerste vollkommen schwerelos. Während im Wasser die Gewichtslosigkeit nicht vollständig ist und nur die Aussenpartien des Leibes durchdringt, ist man beim Freien Fall schwerelos bis ins innerste Mark. Während man im Wasser sein Gewicht gleichsam freiwillig an das in sich schwerelose Element hingibt, wird es einem beim Freien Fall vollständig geraubt.

Körperlich spürt man das durch das eigenartige "Kribbeln", das man beim Schwindel schon vorausspürt, wo einem merkwürdige Wellen über den Rücken zum Kopf hochschwingen, man wacklig in den Beinen wird und das Herz schneller zu pochen beginnt. Beim Fall ist das alles noch verstärkt: Man erlebt ein starkes Schwindelgefühl bis hin einer Art Einschlafen der Glieder und dazu Kreislaufstörungen bis hin zur Ohnmacht.

Seelisch haben wir dabei ganz ohne unser Zutun Gefühle von Schrecken, Angst und Unsicherheit. Man bemerkt, dass unser alltägliches leibliches Sicherheitsgefühl mit unserem Stehen, Sitzen oder auch Liegen verbunden ist, aber keineswegs mit dem Fallen. Allerdings kann das Unsicherheitsgefühl auch in eine extatische Empfindung des Ausser-sich-Seins umschlagen. Bungee-Springer, die von einem fünfzig Meter hohen Kran herabspringen und frei fallen, bis ein Gummiseil sie aufhält, schildern dies mit den Ausdrücken: Ungeheures Kribbeln, riesenhafte Angst, unbeschreibliches Gefühl, packende Leidenschaft. Auch Haluzinationen können beim Fall auftreten und eben auch - Rückschauerlebnisse.

Ich möchte als Beispiel einen etwas älteren Bericht anführen, den *Reinhold Messmer* in seinem Buch "Grenzbereich Todeszone" überliefert. Dort schildert *Albert Heim* einen Absturz im Gebirge, den er 1871 erlebte:

"Dann sah ich, wie auf einer Bühne aus einiger Entfernung mein ganzes vergangenes Leben in zahlreichen Bildern sich abspielen. Ich sah mich selbst als die spielende Hauptperson. Alles war wie verklärt von einem himmlischen Lichte und alles war schön und ohne Schmerz, ohne Angst, ohne Pein. Auch die Erinnerung an traurige Erlebnisse war klar, aber dennoch nicht traurig. Kein Kampf kein Streit, auch der Kampf war Liebe geworden. Erhabene und versöhnende Gedanken verbanden die Einzelbilder, und eine göttliche Ruhe zog wie herrliche Musik durch meine Seele.

Mehr und mehr umgab mich ein herrlich blauer Himmel mit rosigen und besonders mit violetten Wölklein - ich schwebte peinlos und sanft in denselben hinaus, während ich sah, dass ich nun frei durch die Luft flog, und dass unter mir noch ein Schneefeld lag. . . . Die schönen himmlischen Vorstellungen empfand ich aber nur, so lange ich noch durch die Luft flog und sehen und denken konnte. Mit der Bewusstlosigkeit beim Aufschlagen waren auch sie plötzlich weggewischt und setzten nachher nicht mehr fort.”

Man kann sagen, dass sich der Fallende wie von Engeln getragen empfindet.

Mit welchem Gesamtbegriff kann man das nun alles umfassen? Man kann es als eine umfassende *Exkarnation* erkennen: Das Überphysische des Menschen lockert sich, beginnt sich zu lösen. Die unwirkliche, traumhafte Situation des Ausser-Sich-Seins, die aber auch wieder als überreal empfunden werden kann, zeigt eine Lockerung von Ich und Astralleib, wie man sie ähnlich erlebt, wenn man in den Schlaf “fällt”. Die kribbelnd aufsteigenden Wellen, die Ohnmacht, die Haluzinationen und am klarsten die Rückschau weisen auf eine Lockerung des Ätherleibes hin. Denn im Grunde ist die Rückschau ein Todeserlebnis, das erst bei der *Trennung* des Ätherleibes vom physischen Leib volle Realität wird. *Aristoteles* hätte dies so charakterisiert: Beim Freien Fall streben Physisches und Überphysisches nach “ihrem Ort”, das eine zur Erde, das andere zum “Himmel”. Wenn wir wirklich auf dem Boden aufprallen, so wird die Trennung real.

Ohne Gewicht gibt es kein Inkarniertsein, keine praktische Erdentätigkeit, keine äusserlich reale Willensbetätigung. Inkarniertsein heisst: Ich lasse mich nicht fallen, denn beim Fallen verliere ich mein Gewicht und beginne mich vom physischen Leib zu lösen.⁵

In dem Zyklus “Menschenwerden und Weltenseele”⁶ schildert *R.Steiner*, dass sich im Menschen zwei Willensströmungen begegnen. Die eine “wirbelt” in unserem physischen und ätherischen Leib von unten nach oben und, h.t unsere unmittelbare körperlichen *Tätigkeit* als Grundlage. Sie ist für sich allein ungeformt, ja chaotisch und liegt unserem blossen Dahinleben oder Dahinträumen in Gedanken zugrunde. Die andere wird von Ich und Astralleib aus dem Kosmos mitgebracht und formt von oben, indem sie sich in die kosmische *Gestalt* unserer Organe einsenkt und Logik, Phantasie, Gedächtnis erzeugt.

Vor diesem Hintergrund kann man die Erlebnisse beim Freien Fall auch folgendermassen charakterisieren: Die beiden Willensströmungen greifen nicht mehr richtig in unseren Leib ein und nicht mehr richtig ineinander, wenn wir fallen. Man ist einerseits mit Logik, Phantasie und Gedächtnis ausser sich und kann andererseits keine kraftvollen, gerichteten Tätigkeiten ausführen. Um die Bedeutung, die das hat, zu verstehen,

⁵Astronauten können es durch intensives Training schaffen, den schwerelosen Zustand längere Zeit auszuhalten. Das ist aber keineswegs ein natürlicher Zustand, und die dabei auftretenden Probleme hängen - wie sich zeigen liesse - mit der Exkarnation zusammen.

⁶Erster Teil, GA 205, 8. und 9. Vortrag. Diese Vorträge lagen der Tagung zugrunde.

müssen wir die Fallbewegung noch etwas genauer betrachten.

Beim Freien Fall wird man immer schneller. Unser Schwindelgefühl beim Hinunterschauen, ist ein annäherndes Mass für die Geschwindigkeit, mit der wir da unten ankämen. Nach einer Sekunde Fall sind wir so schnell wie ein Auto, dessen Tacho 35 "Stundenkilometer" anzeigt, nach zwei Sekunden doppelt, nach drei Sekunden dreimal so schnell, d.,h. der Tacho würde dann auf 70 bzw. 105 stehen.

Wenn wir uns nun in einem Aufzug befänden, der halb so schnell sinkt, also erst nach zwei Sekunden eine Schnelligkeit von 35 und nach vier Sekunden eine von 70 Stundenkilometer hätte, was würden wir dann erleben? Nun wir wären alle nur halb so schwer, und wenn wir auf einer Waage stünden, würde sie das auch anzeigen. (Man kann ja auch dieses Leichterwerden bei der Abfahrt eines Aufzugs nach unten jedesmal - wenn natürlich auch nicht so stark - erleben.) Würde unser Aufzug dagegen in der gleichen Weise nach oben fahren, so wären wir alle anderthalb mal so schwer.

Hat dies nun irgendeine praktische Bedeutung? Wenn wir unsere Arme fallen lassen, so werden sie leichter oder gänzlich gewichtslos, wenn wir sie emporheben, so werden sie schwerer; beugen wir die Knie, so werden wir leichter, strecken wir sie wieder, so werden wir schwerer. (Wenn man dabei auf einer Waage steht, ist es verblüffend, zu verfolgen, wie sie das alles anzeigt, und uns deutlich macht, wie wenig konstant unser Gewicht ist) Und dabei haben wir nun dauernd leise Exkarnations- und Inkarnationserlebnisse: Jedes Heben bedeutet eine leise Verstärkung unseres Inkarniertseins, jedes Senken eine leise Exkarnation. Bei jedem Schritt sind wir beim "Heben" des Fusses etwas zu stark in ihn inkarniert, beim "Stellen" etwas zu wenig und das "Tragen" steht in der Mitte.⁷ Und entsprechendes gilt im Grunde für alle unsere Bewegungen. Sie gehen dauernd mit feinen Veränderungen unseres Gewichtes und dadurch unseres Inkarniertseins einher, je nachdem, ob wir den Bewegungen des Freien Falles (oder auch Wurfes⁸) mehr nachgeben oder mehr entgegenwirken.

Unserer Sprache drückt diese Zusammenhänge deutlich aus: Wenn sich ein Volk "erhebt" oder eine Menschengruppe einen "Aufstand macht" (es kann ja auch eine Schulklasse sein), so ergreifen sie verstärkt ihre Willenskräfte, d.,h. diese Willenskräfte inkarnieren sich stärker. Wer sich dagegen "fallen lässt", möchte seine Willenskräfte nicht mehr ins Spiel bringen.

Daraus ergibt sich nun ein ungewöhnlicher Aspekt der Pubertät. Die jungen Menschen inkarnieren sich entwicklungsbedingt stärker und erleben stärker ihr Gewicht - das sind eigentlich nur zwei Seiten derselben Sache. Wir können auch sagen: Sie fühlen sich so, wie wenn das ganze Klassenzimmer beschleunigt nach oben stiege. Sie empfinden sich schwerer, aber auch kraftvoller. Aber vielen ist das zunächst fremd

⁷Genau genommen ist die Sache noch komplizierter, denn eine *Verzögerung* der Bewegung nach unten (z.B. vor dem Auftreten mit dem Fuss) bewirkt eine Gewichtszunahme und eine Verzögerung der Bewegung nach oben (Arme hochwerfen) eine Gewichtsabnahme. Ganz allgemein ist das momentane Gewicht eines Körpers ist durch die Abweichung seiner Bahn von einer Fall- oder einer freien Wurfbewegung gegeben.

⁸Siehe Bauer, Hermann: Gibt es eine Schwerkraft, in "Mathematisch-Physikalische Korrespondenz" Nr. 100, Dornach, Juli 1976.

und unangenehm, und sie lassen sich hängen. Wenn man sich auf den Stuhl fallen lässt und dann Arme, Schultern und einen möglichst grossen Teil des Oberkörpers “herunterschlacksen” lässt, so spürt man das leise Wohlgefühl der Exkarnation. Man kann den Gliedern auch erst einmal einen schlenkernden Schwung geben, um dann erst die Leichtigkeit des Geworfenwerdens und Fallens auszukostent. Beidemal schüttelt man gleichsam etwas von der Schwere ab.

Viele schlacksigen, schlenkernden, chaotischen, “herumfummelnden” Aktivitäten unserer Jugendlichen kann man so verstehen. Wenn man sich dann noch durch “heisse Rhythmen” antreiben lässt, so kann man die Exkarnation bis zu einer Art Extase steigern. Man kann erkennen, dass hier der eben erwähnte “Willensstrom von unten” für sich alleine wirksam ist und zwar in exkarnierender Weise, weil man die Leichtigkeit des Kindseins wieder gewinnen möchte. Natürlich hängt man hinterher nur um so hilfloser in der Schwere, denn so kann man das Problem nicht lösen, sondern man ist in Gefahr sich immer mehr ins Chaos fallen zu lassen.

Für die Pädagogik kann daraus klar werden: Wenn wir in den achten bis zehnten Klassen viele praktische Tätigkeiten durchführen, so ist dies natürlich ganz richtig, aber es muss der andere Willensstrom, der Strom von oben dazukommen, das heisst in den Tätigkeiten müssen (wie es z.B. in ganz besonderer Weise bei der Eurhythmie der Fall ist) Logik, Phantasie und Gedächtnis voll wirksam sein damit sie nicht der exkarnierenden “Fummelei” verfallen. Und selbstverständlich müssen auch die Fächer, in denen dieser obere Strom unmittelbar wirkt, ständig aktuell und lebendig bleiben. Denn wenn der untere Strom allein bleibt, so lebt in ihm der Drang zur Exkarnation, die im *Fall* erlebt wird; dagegen bringt der andere Strom die inkarnierenden, aus dem Vorgeburtlichen stammenden Kräften, die im Gehirn leben, das vom *Auftrieb* getragen wird.

Unterer Willensstrom	Oberer Willensstrom
Exkarnation	Inkarnation
Fall	Auftrieb

Aber zurück zu der Frage nach der Schwerkraft. Warum sind wir im fallenden Saal schwerelos? Die Antwort ist, dass wir uns in einem kosmischen Zustande befinden, wie ihn sich die Astronomen für einen Körper weit draussen im Weltall (fernab von allen Gestirnen) vorstellen oder -ganz abstrakt gesprochen - für einen Körper, der ganz alleine im Weltall ist. Auf ihn wirken von aussen keinerlei physikalische Kräfte. Und das gilt nach der Erfahrung auch für einen frei fallenden Körper: auf ihn sind keinerlei Kraftwirkungen zu beobachten. *Es gibt also auch keine Schwerkraft.* Der Freie Fall ist physikalisch gesehen eine vollkommen kräftefreie Bewegung, die “von selber” geschieht - ganz im Sinne von *Wilhelm Busch*: der liebe Gott muss immer ziehn, dem Teufel fällt’s von selber zu. Ich sage rundheraus zu den Schülern der zehnten Klasse: Was man sich lange Zeit als Schwerkraft vorgestellt hat, gibt es in Wirklichkeit über-

haupt nicht. Und wenn dann ein Schüler ruft: “Schwachsinn! Warum fallen denn dann die Sachen überhaupt hinunter?” so ist das der Beginn einer wichtigen Diskussion.

Da ist es zunächst erstaunlich zu erfahren, dass *Galilei*, der doch die Gesetze des Falles entdeckt hat, gar nicht von einer Schwerkraft redet, sondern sagt, dass die fallenden Körper ihrem Ganzen, ihrer gemeinsamen Mutter zueilen. Er meint damit: Jeder Stein, jedes Stück Erdenmaterie ist ein Teil der ganzen Erdkugel, und es ist *naturgemäss*, dass er sich wieder zu ihr hinbewegt, wenn er von ihr getrennt wurde, - so wie es naturgemäss ist, dass ein Kind zu seiner Mutter zurückläuft und nicht träge oder bockig stehen bleibt. Die Mutter braucht kein Seil, um das Kind durch äussere Kraft zu sich herzuzerren.

“Aber”, kommt der nächste Einwand, “Wenn ich einen Stein in der Hand halte, so spüre ich doch sein Gewicht! Ist das nicht die Schwerkraft?” Nein, man braucht nämlich auch eine Kraft, wenn man das Kind festhält, das zu seinen Mutter *will*. Ebenso ist das Gewicht nichts anderes als das *Streben* des Steines zur Erde hin. Es ist also nicht so, dass der Stein eigentlich für sich bleiben will und von aussen gezwungen werden muss, sich in Bewegung zu setzen (wie es bei einen “trägen” Menschen der Fall ist), sondern der Stein und die Erde bilden gleichsam so etwas wie eine “soziale Gemeinschaft”, und das gilt, wie wir gleich sehen werden für den ganzen Kosmos. Dagegen denkt die alte Gravitationsvorstellung die Welt schon auf der physikalischen Stufe als unsozial.

Wesentlich für die zehnte Klasse ist es zu erfahren, dass diese Ansicht in vollem Einklang mit der Allgemeinen Relativitätstheorie steht. Diese spricht nicht mehr von Schwerkraft, sondern von “Führungsfeldern”, denen fallende und geworfene Körper, aber auch Satelliten, Monde, Planeten und überhaupt alle Himmelskörper ohne äussere Krafteinwirkung folgen. Es stimmt also nicht, dass die Sonne die Planeten auf einem (annähernden) Kreis herumschleudert und dabei an einer “Gravitationsleine” festhält, sondern die Bewegungen gleichen einem Planetenreigen oder einer Planeten-Eurythmiedarstellung, wobei die Führungsfelder so etwas wie Eurythmieformen auf der physikalischen Stufe sind. Nach *R.Steiner* sind diese Bahnen ja auch keine langweiligen Kreise, sondern in sich bewegliche rotierende Lemniskaten⁹.

Es ist natürlich wunderbar, wenn man über solche Fragen mit der Klasse in eine heftige Diskussion gerät, bei der es auch kräftige Opposition gibt, denn es geht ja um grundlegende Fragen der Weltauffassung, und letztlich wirken die Gedanken doch. Ich habe es erlebt, dass eine Klasse stark opponierte, als aber später eine Handarbeitslehrerin von Schwerkraft redete, tönte ihr sofort entgegen: die gibt es gar nicht!

Das tiefste Wahrbild im Zusammenhang mit dem Freien Fall finden wir im Evangelium (Matthäus 4):

Hierauf nahm ihn der Teufel mit sich in die heilige Stadt, stellte ihn dort auf die Zinne des Tempels und sagte zu ihm: “Bist du Gottes Sohn,

⁹Siehe “Das Verhältnis der verschiedenen naturwissenschaftlichen Gebiete zur Astronomie”. Dritter naturwissenschaftlicher Kurs, GA 323 und Bauer, Hermann: Über die lemniskatischen Planetenbewegungen. Elemente einer Himmelsorganik, Stuttgart 1988.

so stürze dich hinab! denn es steht geschrieben 'Er wird seine Engel für dich entbieten, und sie werden dich auf Händen tragen, auf dass du deinen Fuss nicht an einen Stein stössest'...

Was wäre geschehen, wenn Christus sich hinabgestürzt hätte? Die gerade erst inkarnierte Geistwesenheit Christi, die noch keine Nahrung zu sich genommen hatte - es lagen ja die vierzig Tage Fasten hinter ihr - hätte sich schon während des Fallens wieder exkarniert, wäre von Engeln zurückgetragen worden und, hätte beim Aufprall des Leibes keinen Stoss der Steine erlebt.

Das Nicht-Stürzen des Christus ist der Christuswille zur Inkarnation der drei Jahre. Im Sinne des Fünften Evangeliums steht bei dieser Versuchung Luzifer über Christus und Ahriman unter ihm. Luzifer will das Geistige entführen, Ahriman soll der Leib zufallen. Der *Sturz* Luzifers in der "Gruppe", der grossen Holzplastik im Goetheanum, erhält so noch eine andere, ganz neue Deutung.

Doch nun zurück zu unserem Anfangsexperiment. In unserem frei fallenden Saal gibt es keine Möglichkeit festzustellen, wo oben und unten ist, d.,h. wir können gar nicht sicher sein, wohin wir eigentlich fallen. Natürlich geht es anfangs in Richtung Decke-Fussboden; aber wenn sich der Saal ganz langsam im Schacht dreht, geht die Orientierung Oben-Unten vollkommen verloren. Das gilt auch für unsere Kerze im Weckglas: Ihre Flamme brennt normalerweise nach oben durch den Auftrieb in der Luft. Dieser verschwindet zugleich mit dem Gewicht. Die Verbrennungsgase der Flamme steigen nicht mehr empor, sie wird klein und - durch Sauerstoffmangel - kümmerlich, bis ihr der Auffangruck den Rest gibt.

Man kann eine zehnte Klasse innerlich erreichen, wenn man die Physik in einer solchen, möglichst umfassenden Weise in den Weltzusammenhang stellt und kann dadurch ihr geistiges Vertrauen gewinnen. Den Willen, es zu versuchen, müssen wir natürlich in uns selber finden.

Ich möchte abschliessen mit einem Experiment, dass die Schüler vorgeschlagen haben: Wir lassen das Glas beim Fallen offen. Da im Sinne Goethes alles Vergängliche ein Gleichnis ist, können wir die kleine Flamme als Bild unserer Waldorfbewegung ansehen, die sich natürlich für die Mitwelt öffnen muss. Wenn wir uns aber dabei den Niedergangskräften der heutigen Zivilisation ganz hingeben, d.,h. ohne eigene Orientierung einfach mitfallen, ja was geschieht dann? Wir können das jetzt experimentell prüfen.

(Der Versuch wird mehrfach durchgeführt. Die Flamme wird kleiner, erholt sich aber nach dem Auffangen wieder. Beim letzten Versuch erlischt sie.) Sie sehen, der Ausgang ist nicht eindeutig, aber jedenfalls kann es auch schief gehen!

Rechnungen mit schwerkraftfreier Mechanik

HERMANN BAUER

Ein auf der Erde ruhender Körper ist gegenüber seinem kräftefreien Zustand, also der Fall oder Wurfbewegung um g nach oben beschleunigt. Nun soll er noch ausserdem die Beschleunigung a haben. Beschleunigungen kann man wie Wege und Geschwindigkeiten einfach vektoriell addieren, wozu nur die Gesetze der geometrischen Kinematik nötig sind, also keine eigentlichen physikalischen Gesetze. Ist \vec{g} der Vektor der Erdbeschleunigung, so ist also der Körper insgesamt mit der Gesamtbeschleunigung $\vec{a} - \vec{g}$ vom kräftefreien Zustand entfernt. Die Kraft \vec{F} , die nötig ist, um diese Beschleunigung zu erzeugen, ist also nach der Grundgleichung der Mechanik:

$$\vec{F} = m(\vec{a} - \vec{g}) = m\vec{a} - m\vec{g} \quad (1)$$

Das "Gewicht", das der Körper während dieser Bewegung hat, das man also auch selber spürt, wenn man entsprechend bewegt wird, ist

$$\vec{G} = -\vec{F} = -m(\vec{a} - \vec{g}) = m\vec{g} - m\vec{a} \quad (2)$$

Den einfachsten Fall, wenn die Vektoren \vec{a} und \vec{g} kollinear sind, erlebt man schon im nach oben oder unten beschleunigten Fahrstuhl.

1. Beispiel: Die Fallmaschine nach ATWOOD

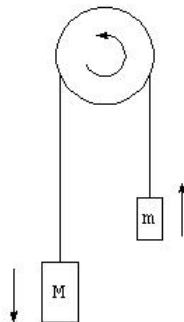


Abbildung 1: Die Fallmaschine nach ATWOOD

Die Massen M und m sind durch eine Schnur, die über eine Rolle läuft, verbunden. M ist grösser als m ; daher sinkt M nach unten und m steigt. Dadurch wächst das "Gewicht" von m und das "Gewicht" von M nimmt ab. Wenn man von der Reibung absieht, müssen beide während des behinderten Falles das gleiche "Gewicht" haben, das zugleich die Grösse der Schnurspannung angibt. Es muss also sein (nach Gleichung 2) sein:

$$m(g + a) = M(g - a) \quad (3)$$

Daraus kann man die Beschleunigung a berechnen:

$$a = g \frac{M - m}{M + m} \quad (4)$$

Das gleiche ‘‘Gewicht’’ (das man natürlich durch eine eingeschaltete Feder messen kann) ergibt sich dann zu:

$$G = \frac{2Mm}{M + m} g = \frac{2mg}{1 + \frac{m}{M}} \quad (5)$$

Interessanterweise muss die Verbindungsschnur während dieser Bewegung nie das volle Gewicht der Masse M aushalten; das folgt schon aus der ersten der drei Gleichungen. Aus der letzten ergibt sich, dass die Belastung stets weniger als das Doppelte des kleinen Gewichtes beträgt. Wenn M viel grösser als m ist, genügt eine sehr geringe Reissfestigkeit, was bei der üblichen Betrachtung nicht so klar wird.

2. Beispiel: Schiefe Ebene ohne Reibung

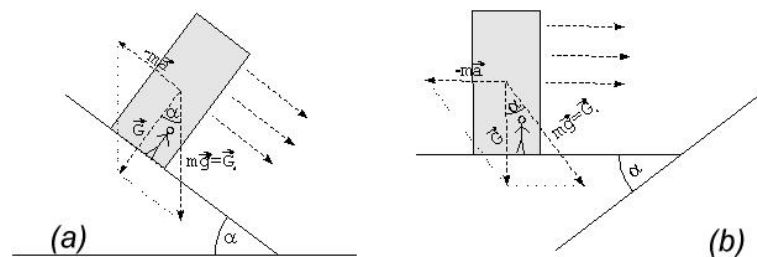


Abbildung 2: Schiefe Ebene ohne Reibung

Wenn ein Körper (Quader) reibungsfrei die Schiefe Ebene hinabgleitet, wird die einzige reale Kraft durch deren Festigkeit ausgeübt. Diese wirkt rechtwinklig zu ihrer Angriffsfläche, also zur schiefen Ebene nach schräg oben. Sie sei ‘‘Tragekraft’’ genannt. Das ‘‘Gewicht’’ muss also in entgegengesetzte Richtung rechtwinklig zur Ebene nach unten wirken. Die vektorielle Addition von $m\vec{g}$ und $-m\vec{a}$ muss also diese Richtung haben (Bild 2a). Daraus folgt sofort die Gleichung:

$$\frac{ma}{mg} = \sin \alpha, \text{ also } a = g \sin \alpha \quad (6)$$

Aus dieser Betrachtung wird klar, dass der gleitende Quader in einem vollkommen stabilen Gleichgewicht ist, also, keinesfalls umfallen kann, auch wenn er noch so hoch ist, denn sein ‘‘Gewicht’’, seine ‘‘Schwere’’ wirkt senkrecht auf die Unterstützungsfläche. Wenn man selber mit hinabgleitet (der Quader also ein Kasten ist, in dem man steht), so hat man das Gefühl, dass in Richtung von \vec{G} (also rechtwinklig zur Ebene) ‘‘unten’’ ist. Das Strichmännchen in Bild 2a hat also durchaus den Eindruck, aufrecht

zu stehen wie in Bild 2b und hat ausserdem das Gefühl, leichter zu sein, denn das “Gewicht” G hat die gleiche Grösse wie die “Tragekraft” N :

$$G = N = G_0 \cos \alpha \quad (7)$$

wobei G das gewöhnliche, das normale Gewicht ist.

Wenn der Kasten geschlossen ist, wird man das Leichterwerden als ein behindertes, verlangsamtes Fallen nach unten (wie beim nach unten beschleunigten Aufzug) empfinden. Der Gewichtsverlust $G - G_0$ lässt eine Beschleunigung von nach “unten” erleben, deren Grösse $a_1 = g(1 - \cos \alpha) = 2g \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ ist.

Die Kraft, die man gewöhnlich als “Hangabtrieb” bezeichnet und die gleich $m\vec{a}$ sein soll, ist also ebensowenig zu beobachten wie eine Schwerkraft $m\vec{g}$ während des freien Falls. Man braucht eine entgegengesetzte “Haltekraft” ($-m\vec{a}$), wenn man den Körper *nicht* die Ebene hinabgleiten lassen will, so wie man eine zum Gewicht entgegengesetzte Kraft braucht, damit eine (sonst freier) Körper nicht fällt. Man braucht hier kein Kräfteparallelogramm, kann aber durchaus von einem Beschleunigungsparallelogramm sprechen ¹.

Wenn der Kasten ein Glaskasten ist, so wird unser Männchen die Landschaft als schief stehend erleben (Bild 2b) und vermutlich den Eindruck haben, dass sie im Bild von rechts nach links (entgegen der Pfeilrichtung) vorbeiläuft. Natürlich kann man sich klar machen, dass man sich doch selber nach rechts bewegt, und das wird auch den Eindruck ändern, aber man erlebt weder eine Kraft nach rechts noch, dass es dort nach unten geht, findet also keinen “Erlebnisgrund” dafür, dass man sich selber beschleunigt nach rechts bewegt. Ob man allerdings den Gewichtsverlust auch dann noch als verzögertes Fallen der ganzen schiefen Landschaft empfindet, müsste experimentell geprüft werden, und es ist vielleicht auch nicht für jedem gleich.

Man erkennt hier übrigens einen wichtigen Unterschied: das Auge kann nur Relativbewegungen erkennen, während das “Gewicht” unseres Leibes ein absolute Realität ist.

3. Beispiel: Schiefe Ebene mit Reibung

Realistischer ist es, wenn man die Reibung (zu der ich zunächst auch den Luftwiderstand zähle) berücksichtigt (Bild 3a).

Die Reibung R ist dann wie die Tragekraft N eine reale Kraft. Die beiden stehen rechtwinklig zueinander und Ihre Resultierende muss dem “Gewicht” des herabgleitenden Körpers entgegengesetzt gleich sein. Es ist also:

$$\vec{R} + \vec{N} = -\vec{G}. \quad (8)$$

Ausserdem gilt Formel (1). Aus Bild 3a folgt dann für die Beschleunigung a statt (6):

$$\frac{R + ma}{mg} = \sin \alpha, \text{ also } a = g \sin \alpha - \frac{R}{m}, \quad (9)$$

¹Siehe auch Florian Theilmann: Zu den Begriffen Kraft und Energie. Lehrerrundbrief 74, pp. 20–28

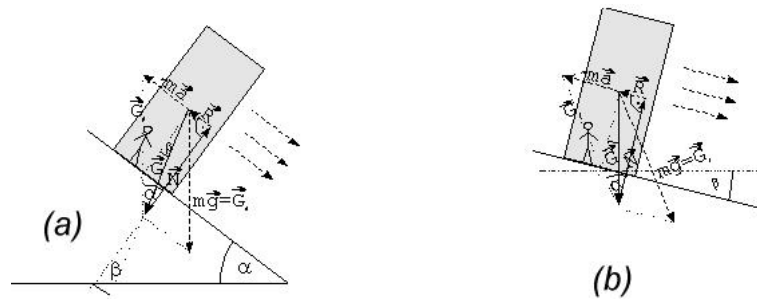


Abbildung 3: Schiefe Ebene mit Reibung

die natürlich nur für $a \geq 0$ gilt. Ausserdem kann R veränderlich sein und damit auch a . Wenn $R = mg \sin \alpha$, also gleich der “Haltekraft” (siehe oben) oder grösser ist, so ist $a = 0$, und der Körper bleibt stehen; allerdings kann er kippen. Das Strichmännchen in Bild 3a steht also in diesem Fall dann am stabilsten, wenn es nur die Füsse in Richtung der Ebene winkelt, aber sonst aufrecht (also entgegengesetzt zu Vektor G_0) steht.

Für N gilt nach wie vor Formel (7), also folgt aus Bild 3a für das “Gewicht” G :

$$G = \sqrt{N^2 + R^2} = \sqrt{(mg \cos \alpha)^2 + R^2} \quad (10)$$

Man erlebt also mehr “Gewicht” als beim reibungsfreien Hinabgleiten, wird also durch die Reibung schwerer. Ausserdem steht dieses “Gewicht” nicht mehr rechtwinklig zur schiefen Ebene, sondern ist etwas auf G gedreht, bleibt aber kleiner als dieses. (Erst bei Stillstand infolge der Reibung wird es gleich G . Man hat also auch bei geschlossenem Kasten den Eindruck, dass sein Boden bergab um den Winkel β geneigt ist und muss sich wie das Strichmännchen in Bild 3a um diesen Winkel zurückneigen, um wieder “aufrecht” zu stehen²; Bild 3b entsteht aus 3a, indem man es um den Winkel β so dreht, dass \vec{G} nach unten zeigt, also das “Unten” für das Strichmännchen auch wirklich unten ist. Wenn der Wagenboden ganz glatt ist, so wird unser Männchen auch im Wagen (also relativ zu ihm) hinunterrutschen. Es erlebt einfach eine andere schiefe Ebene mit dem Neigungswinkel β , wobei sein eigenes Gewicht nur G und nicht G_0 ohne Berücksichtigung der Reibung war nach Gleichung (6):

$$a = \frac{G_0}{m} \sin \alpha. \quad (11)$$

Folglich erfährt das Männchen, wenn es “seine” schiefe Ebene hinabrutscht, eine Beschleunigung von:

$$a = \frac{G}{m} \sin \beta. \quad (12)$$

Da nach Bild 2a $R/G = \sin \beta$ ist, so folgt einfach $a = R/m$.

²Die Verringerung seines Gewichtes wird es aber wieder als Absinken des schiefen Bodens erleben

Man kann dieses Ergebnis prüfen: Die Beschleunigung a erlebt man im Innern des gleitenden Kastens. Relativ zur eigentlichen schiefen Ebene kommt noch die Beschleunigung a aus Gleichung (9) dazu, so dass insgesamt die Beschleunigung $a = g \sin \alpha$ herauskommt, also dasselbe wie in Gleichung (6), was unmittelbar einleuchtet, denn das Männchen bewegt sich dann ja so, wie wenn der Kasten gar nicht da wäre. Es erlebt den Kasten dann wieder als aufrechtstehend, nur bewegt sich die im Bild rechte Wand beschleunigt auf es zu.

Für den einfachsten Fall, dass $R = \mu N$ ist, vereinfachen sich auch die Formeln. Es ist dann

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \quad (13)$$

$$\tan \beta = \frac{R}{N} = \mu \quad \text{und} \quad (14)$$

$$G = \sqrt{N^2 + R^2} = N\sqrt{1 + \mu^2} = mg \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \quad (15)$$

(wegen Gleichung (14)).

Man erkennt aus diesen Beispielen, dass die Rechnungen gegenüber der üblichen Behandlung modifiziert sind. Sie sind nicht unbedingt einfacher, aber erlebnisnäher.

Rudolf Steiner und die Physik der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts

VON FRIEDRICH WILHELM DUSTMANN

Einleitung

Wenn wir heute die naturwissenschaftlichen Kurse Rudolf Steiners studieren, befinden wir uns in der Regel in der Situation, dass unser gegenwärtiger wissenschaftlicher Kontext sich erheblich von dem der Zeitgenossen Rudolf Steiners unterscheidet. Deshalb ist es für ein besseres Verständnis der Steiner'schen Impulse hilfreich die physikalischen Ideen des 19. Jahrhunderts genauer zu kennen, denn dies ist der gedankliche Hintergrund, den Steiners Zuhörer hatten und mit dem er in seinen Vorträgen rechnen musste. Dies wird bereits an der verwendeten Sprache deutlich, die z. B. die Bezeichnung *Imponderabilie* verwendet, die gegen Ende des 19. Jahrhunderts immer mehr aus der wissenschaftlichen Diskussion verschwand. An einigen Stellen nimmt Steiner ausdrücklich Bezug auf zeitgenössische oder ältere Forscher wie etwa Planck, Helmholtz, J. R. Mayer, Fourier usw. Ein Name, der in der wissenschaftlichen Diskussion sonst kaum Gewicht hat, spielt dabei eine besondere Rolle: Eugen Dreher, der sowohl im Lichtkurs als auch im Wärmekurs erwähnt wird. Während des Wärmekurses wurde versucht auch auf experimenteller Ebene unmittelbar an die Versuche von Dreher anzuknüpfen, die zeigen sollten, dass es im Spektrum drei qualitativ verschiedene

Strahlungsarten gibt, die Dreher als Wärmestrahlung, Lichtstrahlung und chemische Strahlung bezeichnet, während Steiner von entsprechenden Wirkungen statt Strahlung spricht. Im Vortragswerk Steiners erscheint Dreher eher als isolierte Gestalt, deren Leistung von der zeitgenössischen Forschung nicht hinreichend gewürdigt worden ist. Dies mag damit zusammenhängen, dass dies während der Zeit, in der Steiner sich mit naturwissenschaftlichen Fragen beschäftigte, tatsächlich so verhielt, was aber keineswegs für das gesamte 19. Jahrhundert stimmt. Dreher ist lediglich ein später Vertreter einer wissenschaftlichen Richtung, die zwischen 1850 und 1875 von fast allen namenhaften Forschern aufgegeben wurde, vor 1850 aber durchaus grosse Anerkennung genoss. Es ist also keineswegs so, dass Dreher völlig neuartige Versuche gemacht hat oder aus seinen Beobachtungen bis dahin unbekannte Schlussfolgerungen gezogen hat. Man findet im Gegenteil ganz ähnliche Begriffsbildungen bei dem amerikanischen Chemiker John William Draper (1811 - 1882), auf die ich hier etwas genauer eingehen will, und anderen Wissenschaftlern dieser Zeit wie etwa Johann Wilhelm Ritter in Deutschland, William Herschel oder William Hyde Wollstone in England und Macedonio Melloni in Frankreich. Gemeinsam ist diesen Wissenschaftlern, dass sie bei der begrifflichen Beschreibung der Sachverhalte noch nicht von dem sich etwa zur gleichen Zeit entwickelnden Wellenmodell für das Licht ausgingen, sondern eher auf die Eigenständigkeit der jeweiligen Phänomene achteten und deshalb die Vorstellung entwickelten, dass es in der Sonnenstrahlung mindestens drei verschiedene so genannte Imponderabilien gibt, die qualitativ völlig verschieden sind und begrifflich nicht einheitlich beschrieben werden können.

Wärmestrahlung und chemische Strahlung

Bereits 1777 entdeckte der Schwede Carl Wilhelm Scheele, dass Silberchlorid bei Bestrahlung mit blau-violettem Licht schneller dunkelt als bei Bestrahlung mit andersfarbigem Licht. Ritter zeigte dann 1801 in Jena, dass die chemische Wirkung auf Silbersalze sich auch jenseits der Sichtbarkeitsgrenze im violetten Bereich fortsetzt. Wollstone machte kurze Zeit später (1804) die gleiche Entdeckung und sprach in diesem Zusammenhang von „chemischen Strahlen“ (*chemical rays*). Bereits 1800 entdeckte W. Herschel die Wärmewirkung im unsichtbaren Bereich des Spektrums jenseits des Roten.

Er konnte sogar bereits mit Hilfe empfindlicher Thermometer ein Intensitätsspektrum dieser Wirkungen (Temperaturerhöhungen) aufnehmen, das sich deutlich von der Helligkeitsverteilung des sichtbaren Lichtes unterschied. Die Abbildung 1 zeigt die beiden Spektralverteilungen im gleichen Bild (Wärmewirkung schattiert, Helligkeit gestrichelt). Auf der waagerechten Achse ist die Stärke der Brechung in geeigneten Einheiten dargestellt.

Die *Verschiedenheit der Wirkungen* veranlasste die Forscher der damaligen Zeit von einer grundsätzlichen *Verschiedenheit der erzeugenden Strahlung* auszugehen. Es ist auch heute noch leicht nachvollziehbar, dass sie angesichts solcher Verteilungen sich kaum vorstellen konnten, dass für beide Wirkungsarten die gleiche Ursache vor-

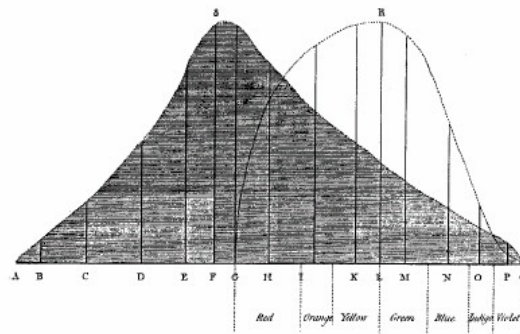


Abbildung 1: Vergleich des Wärmespektrums mit dem Lichtspektrum bei W. Herschel

liegen sollte. Draper setzte solche Abgrenzungen auf einer mehr qualitativen Ebene fort, indem er darauf hinwies, dass die Wärmestrahlung dort, wo sie auf Metalle trifft, Wärmeleitung erzeugt, während Lichtstrahlung und chemische Strahlung dies nicht vermag. Andererseits sollten Wärmestrahlung und chemische Strahlung nicht in der Lage sein irgendeine Wirkung auf das Sehorgan zu entfalten und Wärmestrahlen und Licht wiederum sollten keine chemischen Wirkungen hervorrufen. Draper gelang es eine daguerreotypische Aufnahme des Mondes zu machen und zeigte so, dass eine Strahlung, die nach damaligem Kenntnisstand völlig frei von Wärmewirkungen war, sehr wohl neben den Lichtwirkungen auch chemische Wirkungen erzeugen konnte. Andererseits konnte er mit keiner noch so empfindlichen fotografischen Platte eine Aufnahme von einer schwach rot glühenden Kupferplatte machen. Dies führte zu der Vorstellung einer Komplementarität der chemischen und der thermischen Wirkungen. Für Melloni war lange Zeit die Tatsache, dass er am violetten Ende des Spektrums keine Wärmewirkungen entdecken konnten, ein klarer Hinweis darauf, dass Wärmestrahlen und Lichtstrahlen nicht identifiziert werden durften. Dies änderte sich allerdings 1842 mit der Entwicklung der thermoelektrischen Säule, mit der man nun auch in diesem Bereich Wärmewirkungen nachweisen konnte.

Draper untersuchte insbesondere auch die Wirkungen bestimmter Teile des Spektrums, die er durch Spektralzerlegung oder durch Filterung gewann, auf unterschiedliche Medien, wie z. B. das folgende Zitat zeigt:

„It is very probable that there exist in the sunlight rays having peculiar chemical powers. A beam which has passed through bichromate of potassa does not appear to cause the union of a mixture of chlorine and hydrogen. I kept such a mixture for several hours in it, and could not perceive any change.

But this same beam can nevertheless enable vegetable leaves to effect the decomposition of carbonic acid.“

Zum Nachweis der chemischen Strahlung verwendete er einerseits die damals gerade erst entwickelte Daguerreotypie (Fotografie) oder das von ihm so benannte Tithonometer, das ein Gemisch aus Chlor und Wasserstoff enthielt. In einer solchen

Mischung kommt es bei Einstrahlung der chemische Strahlung zu einer Umwandlung des Gemisches in Salzsäure, die als Nachweis für die chemische Wirkung der Strahlung gilt. Bei diesen Untersuchungen stellte er u. a. auch fest, dass die Wirkung der chemischen Strahlung auf eine Fotoplatte durch eine zusätzliche Behandlung mit Wärmestrahlen abgeschwächt wurde. Er schreibt dazu:

„I regard these two classes of rays — the more and the less refrangible — as exhibiting upon the iodide of silver antagonizing and contrary actions, the former a decomposition agency, the latter a protecting agency.“

Ähnliche Antagonismen kennt man auch von den Phänomenen der Phosphoreszenz, auf die z. B. Eugen Dreher in seiner Arbeit über die Phosphoreszenz ausführlich hinweist. Phosphorieszierende Stoffe, die der Sonnenstrahlung ausgesetzt worden sind, verlieren ihre Fähigkeit zur Abstrahlung von Licht durch Erwärmung. Dieser Aspekt der Forschung ist von besonderem Interesse im Zusammenhang mit den Ausführungen des 12. Vortrages im Wärmekurs, in denen Rudolf Steiner darauf hinweist, dass die chemischen Wirkungen, wenn sie in einem Erscheinungszusammenhang mit den Wärmewirkungen auftreten, mit einem anderen Vorzeichen ausgestattet werden müssen als die Wärmewirkungen. Da Steiner keine genaueren Angaben dazu macht, lässt sich nicht mit Sicherheit klären, ob er vielleicht diesen Antagonismus gemeint hat.

Etwa zur gleichen Zeit, in der Draper seine Ideen entwickelte, setzte sich in Folge der Arbeiten von Young und Fresnel die Wellentheorie des Lichtes immer mehr durch, da sie offenbar sehr gut die Phänomene der Brechung, Beugung, Interferenz und Polarisation erklären kann. Die Brechung wurde zwar von Anfang an bei der Wärmestrahlung und der chemischen Strahlung beobachtet, die anderen Phänomene blieben aber zunächst weitgehend unbemerkt. Dies war ein starkes Argument dafür, dass es sich um etwas grundsätzlich anderes als Licht handeln müsste.

Die Einheit der Strahlung

Während der 40-iger-Jahre des 19. Jahrhunderts kam es dann zu einem allmählichen Umschwung der Meinungen. Ausgelöst wurde dieser Prozess dadurch, dass zunächst bei der Wärmestrahlung all die spezifischen Phänomene, die das Wellenmodell des Lichtes stützten (Beugung, Interferenz, Polarisierbarkeit usw.) nachgewiesen werden konnten. 1847 zeigten Fizeau und Foucault die Interferenz bei Wärmestrahlen, 1850 de la Provostaye und Desains, dass für polarisierte Wärmestrahlen genau wie für sichtbares Licht das Gesetz von Malus gilt und bei der Reflexion und Brechung an Grenzflächen die auf der Basis des Wellenmodells entwickelten Formeln von Fresnel gültig sind. Die Interferenzversuche zeigten ferner, dass für das gesamte sichtbare Spektrum die Minima der Wärmewirkungen genau mit den Dunkelzonen der Lichtwirkungen zusammenfielen. Ebenfalls 1850 zeigten Masson und Jamin, dass die Wärmewirkungen und die Lichtwirkungen an jeder Stelle des Spektrums um den gleichen Faktor abgeschwächt werden, wenn man ein absorbierendes Medium in den Strahlengang stellt.

Edmond Becquerel zeigte den gleichen Effekt für den Vergleich von chemischen Wirkungen und Lichtwirkungen.

Die bisher sorgfältig herausgearbeiteten Unterschiede zwischen den verschiedenen Wirkungen der Strahlungsarten traten nun gegenüber den Gemeinsamkeiten immer mehr in den Hintergrund. Mitte der 60-iger-Jahre schrieb J.-E. Diacon in einem Übersichtsartikel:

Es ist in der Tat gezeigt worden, dass die Wärmestrahlen und die chemischen Strahlen denselben Gesetzen gehorchen wie die Lichtstrahlen, dass sie wie die letzteren fähig zur Interferenz, Polarisation usw. sind, dass sie, kurz gesagt, Eigenschaften aufweisen identisch zu denen, die beim Licht gefunden worden sind.

Draper hielt allerdings vorerst an seiner Unterscheidung mit dem Argument fest, dass die ursprünglichen Gründe, die zu einer qualitativen Unterscheidung geführt hatten, also z. B. die qualitative Verschiedenheit und die Komplementarität der Wirkungen, wenigstens teilweise nach wie vor Gültigkeit hätten. Das Fresnel'sche Wellenmodell liefert keine überzeugenden Hinweise darauf, warum die verschiedenen Wirkungen hauptsächlich bestimmten Bereichen des Spektrums zugeordnet werden können. Die Erklärung dafür wurde erst im 20. Jahrhundert durch die Idee der Resonanzabsorption gefunden, nach der bei verschiedenen Frequenzen mittels Resonanz unterschiedliche Reaktionen im absorbierenden Medium erzeugt werden, die entweder thermische oder chemische Prozesse in Gang setzen. Ab 1872 bekannte sich allerdings auch Draper zu einer einheitlichen Strahlung, die je nach Wellenlänge und je nach Absorbermaterial Wärmewirkungen, Lichtwirkungen oder chemische Wirkungen erzeugt. Der Grund für die Kehrtwendung bestand wohl einerseits darin, dass ihm deutlich wurde, dass die Unterschiede in den Intensitätsverteilungen bei den Wärmewirkungen und der Helligkeit (siehe Abb. 1) durch die jeweils verwendeten Prismenmaterialien bedingt waren, denn bei Verwendung von Beugungsgittern erhielt er wesentlich symmetrischere Verteilungen. Andererseits gelang es ihm zu dieser Zeit Wärmewirkungen bis hinein in den violetten Teil des Spektrums nachzuweisen, so dass sein Komplementaritätsprinzip sich als nicht länger haltbar erwies.

Die Position Rudolf Steiners und die moderne Sicht

Rudolf Steiner zeigt sich sehr beeindruckt von der Arbeit Eugen Drehers, den man als späten Anhänger der Auffassung betrachten kann, dass es mindestens drei verschiedene Strahlungsarten oder Imponderabilien gibt. Er stellt also gewissermassen das Bindeglied zwischen der Physik der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts und den naturwissenschaftlichen Vorträgen Steiners dar. Dass Dreher zu seiner Zeit in der wissenschaftlichen Gemeinschaft keine Anerkennung für seine Ideen fand, dürfte neben methodischen Mängeln seiner Arbeit, auf die an dieser Stelle nicht genauer eingegangen werden kann, u. a. damit zusammenhängen, dass er an eine wissenschaftliche Tradition anknüpfte, die inzwischen aus den im vorigen Abschnitt dargestellten Gründen allgemein als veraltet oder widerlegt galt. Rudolf Steiner ist vermutlich bei der Arbeit

an seiner Promotion auf Dreher aufmerksam geworden, denn der Name Dreher taucht im Werk Rudolf Steiners meines Wissens erstmals in der Literaturliste von „Wahrheit und Wissenschaft“ mit einer Schrift über die sinnliche Wahrnehmung auf. Vergleicht man die Ausführungen Steiners insbesondere im Wärmekurs mit denen Drehers oder den hier skizzierten frühen Ergebnissen von Herschel, Melloni, Draper usw., dann fällt es auf, dass Steiner nicht von unterschiedlichen *Strahlungsarten* spricht, sondern von spezifischen *Wirkungen*. Die Bezeichnung Imponderabilie, die Steiner auch verwendet, ist natürlich problematisch, da sie ursprünglich wohl einen hypothetischen, unwägbareren *Stoff* bezeichnete, der von einer Quelle *ausgestrahlt* wird. Im Rahmen des Wellenmodells wurde die Imponderabilie eher als das Medium angesehen, in dem sich die Welle nach dieser Auffassung ausbreiten sollte. Später trat dann an die Stelle eines quasimateriellen Mediums das elektromagnetische Feld. Aber zu dieser Zeit verschwand die Bezeichnung Imponderabilie zusehends aus wissenschaftlichen Texten. Steiner greift hier wohl nur eine unter seinen Zuhörern noch gängige Bezeichnungsweise auf ohne damit die Vorstellung eines ausgestrahlten Stoffes oder eines Mediums für Wellenbewegungen zu verbinden.

Aus moderner Sicht können wir feststellen, dass die Frage, ob eine Wärmewirkung oder eine chemische Wirkung auftritt, nicht nur von der Art (d.h. der Frequenz oder Wellenlänge) des eingestrahlten Lichts abhängig ist, sondern auch und vor allem von der absorbierenden Materie. Während beim Silberjodid die chemische Wirkung bereits beim sichtbaren Licht einsetzt, bedarf es beim Silberchlorid des UV-Lichtes. Ob eine Wärmewirkung eintritt oder nicht, hängt nach heutiger Auffassung davon ab, ob der Absorber durch das einfallende Licht zu Gitterschwingungen (Festkörper) oder Molekülschwingungen (Fluid) angeregt werden kann oder nicht. Da diese Anregungen als Resonanzphänomen betrachtet werden muss, hängt ihr Auftreten davon ab, ob die Frequenz der Strahlung in der Nähe der Resonanzfrequenzen der Gitter- oder Molekülschwingungen liegt. Dabei ist es im Prinzip völlig gleichgültig, in welchem Bereich des Spektrums die Frequenz der Strahlung liegt, wenn man einmal davon absieht, dass die Resonanzfrequenzen für Gitter- und Molekülschwingungen meistens mit den Frequenzen der infraroten Strahlung übereinstimmen.

Die Wechselwirkung von Strahlung und Materie stand in den Jahren vor und nach Steiners Vorträgen im Zentrum des Interesses der Forschung (Absorption und Dispersion, lichtelektrischer Effekt, thermische Strahlung, Linienspektren usw.), während im Jahrhundert vorher vor allem die räumliche Struktur des Strahlungsfeldes untersucht wurde (Brechung, Reflexion, Beugung, Interferenz, Lichtgeschwindigkeit usw.). In dieser Struktur kommen die unterschiedlichen Wirkungen auf den Absorber, sieht man einmal von den Unterschieden in der so genannten Wellenlänge ab, überhaupt nicht zum Ausdruck. Dadurch sind die qualitativen Unterschiede zwischen Wärme-, Licht- und chemischen Wirkungen, nachdem sie zunächst von der phänomenologischen Seite her deutlich herausgearbeitet wurden, im Laufe des 19. Jahrhunderts stark in den Hintergrund gedrängt worden, da sie bei der räumlichen Beschreibung des Strahlungsfeldes keine Bedeutung haben. Ich vermute, dass Rudolf Steiner die Aufmerksamkeit wieder stärker auf diese Unterschiede lenken und deutlich machen wollte, dass die

Wirkungszusammenhänge zwischen Emitter und Absorber eine qualitative Unterscheidung erfordern, die auch in der begrifflichen Beschreibung angemessen zum Ausdruck kommen muss. Dies war auch das Anliegen von J. W. Draper im Zeitraum von 1850 bis 1870, als er bereits die Wellentheorie für die Wärmestrahlen und die chemischen Strahlen akzeptiert hatte, die hypothetischen Wellen aber als eine für die Wirkungen unwichtige Marginalie ansah, bis er 1872 aus den bereits oben genannten Gründen eine Kehrtwendung vollzog. Heute stellt sich für uns die Frage, ob und wie wir eine begriffliche Beschreibung der Wirkungszusammenhänge erarbeiten können, die einerseits die raumzeitliche Struktur des Strahlungsfeldes (d.h. des Feldes zwischen Emitter und Absorber) richtig beschreibt, andererseits aber auch die qualitativ unterschiedlichen Wirkungszusammenhänge zum Ausdruck bringt, ohne dabei die Phänomene aus dem Blick zu verlieren.

Hinweis

Der vorliegende Aufsatz stützt sich im Wesentlichen auf einen Essay des Göttinger Wissenschaftshistorikers Klaus Hentschel mit dem Titel „Why not one more Imponderable? John William Draper’s Tithonic Rays“, der in der Zeitschrift „Foundations of Chemistry“ (vol. 4, p. 5 - 59, 2002) erschienen ist.

Zur Physik der Lichtmühle

VON FRIEDRICH WILHELM DUSTMANN

Bei der Physikertagung im Januar 2002 befasste sich eines der Praktikumsexperimente mit dem Radiometer von Crookes, der so genannten Lichtmühle. Der Name Radiometer rührt daher, dass dieses Gerät früher als sehr präzises Strahlungsmessgerät verwendet wurde. Für quantitative Messungen werden die Radiometerflügel dabei allerdings in Form einer Drehwaage aufgehängt, so dass man die Kraft mit Hilfe eines Lichtzeigers direkt über die Torsion eines Fadens bestimmen kann. Bei der Diskussion über den Radiometereffekt stellte ich fest, dass die Vorgänge keinesweg so durchsichtig sind, wie ich zunächst geglaubt habe. Dies veranlasste mich dazu einige Nachforschungen anzustellen, welche Erkenntnisse darüber in der Literatur zu finden sind. Das Ergebnis dieser Suche war für mich zunächst etwas verwirrend, da es offenbar unterschiedliche Mechanismen gibt, die zu einer *Radiometerkraft* führen.

Klar ist zunächst, dass sich die schwarze Seite der Radiometerflügel bei Bestrahlung stärker erwärmt als die helle Seite. Daraus kann man keineswegs die Folgerung ziehen, dass das Gas vor dieser Fläche durch Erwärmung in einen Zustand höheren Druckes versetzt wird, da sich in der Regel durch Expansion sofort ein Druckausgleich einstellen müsste. Man muss also entweder eine Erklärung dafür finden, warum es nicht zum Druckausgleich kommt, oder einen anderen Mechanismus finden.

Erklärung für kleine Gasdrücke ($\ll 1 \text{ Pa}$)

Die am weitesten verbreitete Erklärung¹ der Radiometerkräfte geht davon aus, dass das Gas an der Flügeloberfläche kurzzeitig adsorbiert und dann bei etwas höherer Temperatur wieder reemittiert wird. Dabei wird ein Rückstoss auf die Flügel ausgeübt. Wegen der höheren Temperatur und der daraus resultierenden grösseren Emissionsgeschwindigkeit soll der Rückstoss auf der wärmeren Seite etwas grösser sein als auf der kälteren Seite. Dies habe eine Kraftwirkung in Richtung der hellen, kalten Seite der Flügel zur Folge. Allerdings muss man bei dieser Erklärung die Voraussetzung machen, dass die mittlere freie Weglänge des Gases gross im Verhältnis zu den Gerätedimensionen ist, denn sonst würde es wiederum zu einem Ausgleich innerhalb des Gases kommen, der eine Abnahme der Gasdichte in der Nähe der wärmeren Fläche und damit auch eine Verringerung des gesamten Impulsübertrages zur Folge hat. Ist die mittlere freie Weglänge grösser als der Abstand zu den Gefässwänden, so tritt die Wechselwirkung in gewissem Sinn unmittelbar zwischen Rotorflügel und Gefässwand ein, ohne dass das Restgas daran teilhat. Bei den meisten Lichtmühlen beträgt der Abstand zwischen Rotor und Wand einige Zentimeter. Edelmann [2] gibt für Luft bei Zimmertemperatur (293 K) eine mittlere freie Weglänge von 6,65 mm bei einem Gasdruck von 1 Pa an. Der beschriebene Effekt dürfte erst bei einem Gasdruck von deutlich unter 1 Pa auftreten, da erst dann die mittlere freie Weglänge grösserer als der Wandabstand ist. Bei geringeren Drücken zeigt sich, dass die Radiometerkraft proportional zum Druck ist. Deshalb ist ein Radiometer in Form einer Drehwaage als Druckmessinstrument für Drücke unterhalb von 1 Pa benutzt worden (siehe [2]). Tatsächlich beobachtet man, dass die Radiometerkraft bei einem bestimmten, von der jeweiligen Anordnung abhängigen Druck ein Maximum hat. Auf der Homepage der Heinrich Geissler Gesellschaft für Plasma- und Vakuumtechnik Thüringen e.V. [3] findet man eine Veröffentlichung über Lichtmühlen mit der Angabe, dass die maximale Wirkung bei ca. 5 Pa auftritt, im dtv-Lexikon der Physik sind für das Maximum Werte zwischen 1 und 3 Pa angegeben. Bei diesen Drücken hat man mittlere freie Weglängen von wenigen Millimetern, also deutlich kleiner als die Gerätedimensionen in herkömmlichen Lichtmühlen. Die optimale Wirkung tritt demnach bei einem Druck auf, bei dem der Effekt auf Grund der Theorie gar vorkommen dürfte bzw. sehr klein sein müsste. Dies legt die Vermutung nahe, dass der oben beschriebene Mechanismus zumindest nicht allein die Radiometerkraft erklären kann, bei den einfachen Lichtmühlen für den „Hausgebrauch“ vermutlich sogar nur zu einem geringen Teil zum Gesamteffekt beiträgt.

Erklärung für grosse Gasdrücke ($\gg 1 \text{ Pa}$)

Im dtv-Lexikon wird auf Arbeiten von G. Hettner [4] hingewiesen, der ein sehr leistungsfähiges Radiometer gebaut hat, das eine maximale Kraft bei einem Druck des Restgases von ca. 25 Pa erreichte. Da unter diesen Umständen die mittlere freie Weglänge nur noch etwa 0,25 mm beträgt ist es völlig klar, dass es eine ganz andere Ur-

¹Man findet sie z. B. im dtv-Lexikon der Physik [1], bzw. im Aufgabenteil des Gerthsen-Kneser.

che der Kraft geben muss. Er fand die Ursache in der so genannten *thermischen Gleitung* des Gases an der dunklen Oberfläche. Die thermische Gleitung tritt auf, wenn es an der Oberfläche eines Festkörpers, mit dem das Gas in thermischen Kontakt steht, Zonen unterschiedlicher Temperatur gibt. Das Gas strömt dann von der kalten zur warmen Zone hin. Dabei ist die Strömungsgeschwindigkeit nach Hettner proportional zum Temperaturgradienten und umgekehrt proportional zum Gasdruck. Wird nun ein Rotorflügel gleichmässig bestrahlt, so erhitzt sich das Zentrum nach Hettner stärker als der Rand. Es kommt deshalb zu einem Gasstrom parallel zur Oberfläche vom Rand zum Zentrum, so dass dort ein Staupunkt entsteht. Dort wird dann der Strom umgelenkt in eine Richtung von der Oberfläche weg. Die Gegenkraft zu dieser Umlenkkraft wirkt senkrecht auf die Oberfläche des Flügels. Es handelt sich also um einen Staudruck, der sich vor dem Zentrum des Flügels bildet. Bringt man etwa 1 - 3 mm vor dem Flügel eine Gegenplatte an, die für die Strahlung durchlässig ist, so kann man damit den Staudruck noch deutlich vergrössern und auf diese Weise ein Nachweisgerät hoher Empfindlichkeit bekommen. Eine weitere wesentlich Verbesserung erzielte Hettner entsprechend seiner Theorie, indem er die Strahlung mit Hilfe eines Hohlspiegels auf das Zentrum des Radiometerflügels fokussierte, wodurch der Temperaturgradient erheblich vergrössert wird. Das Entstehen der thermischen Gleitung erklärt man gewöhnlich mit Hilfe der kinetischen Gastheorie folgendermassen: Wegen der geringen mittleren freien Weglänge, im angegebenen Druckbereich deutlich unter einem Millimeter, passt sich das Gas in Nachbarschaft zur Oberfläche dessen Temperatur an. Bei dem oben bereits erwähnten Adsorptionsvorgang sollen nun von allen Seiten Moleküle auf jede Stelle der Oberfläche treffen. Befindet sich die Stelle zwischen der warmen und der kalten Zone, so treffen dort auch Moleküle aus den beiden genannten Bereichen auf, wobei die Moleküle aus der warmen Zone nach der kinetischen Gastheorie einen etwas grösseren Impuls übertragen als die aus der kalten Zone. Daraus resultiert ein Impulsübertrag vom Gas auf den Flügel in Richtung auf die kalte Zone, also den Rand. In der Summe kompensieren sich alle diese Impulse. Als Reaktion darauf finden wir einen entsprechenden Impulsübertrag vom Flügel auf das Gas in Richtung auf die warme Zone, also das Zentrum des Flügels, der die Strömung des Gases zum warmen Bereich hin erklärt. Die thermische Gleitung wurde ursprünglich von Reynolds [5] und Maxwell [6] theoretisch vorhergesagt und erstmals 1910 von Knudson [7] experimentell nachgewiesen.

Der mittlere Bereich

Um zu testen, ob diese Erklärung des Radiometereffektes auch für meine private Lichtmühle zutrifft, die daheim im Schrank steht, habe ich ein Experiment gemacht. Dabei habe ich einen Raum so weit abgedunkelt, dass das Restlicht zwar keine Drehung der Flügel mehr verursachte, aber noch ausreichte um sie zu beobachten. Dann habe ich mit einem Laserpointer das Zentrum eines Flügels bestrahlt. Nach etwa einer Minute beobachtete ich eine sehr schwache Drehung. Nachdem die Lichtmühle wieder zur Ruhe gekommen war, habe ich den Versuch wiederholt, jetzt aber den Rand in der

Nähe der oberen Ecke bestrahlt. Bereits nach 10 - 20 Sekunden war nun eine zwar langsame, aber doch deutliche Drehung zu beobachten. Aus dieser Beobachtung ziehe ich den Schluss, dass für gewöhnliche Lichtmühlen auch die Erklärung von Hettner nicht zutrifft, da man den stärksten Effekt bei Bestrahlung der Mitte erwarten würde. Natürlich zeigt sie auch, dass die im ersten Abschnitt für geringe Drucke gelieferte Erklärung unzureichend ist, denn nach dieser dürfte es keinen Unterschied machen, ob die Erwärmung am Rand oder im Zentrum stattfindet.

Offensichtlich entsteht die Kraft am Rand des Flügels. Dazu passt auch die Beobachtung, dass die Drehung am ausgeprägtesten ist, wenn man den Rand im Bereich der äusseren Ecke anstrahlt (maximales Drehmoment). Eine plausible Erklärung für diese Beobachtung findet man durch eine Abwandlung der Argumentation des vorigen Abschnitts. Den stärksten Temperaturunterschied findet man sicherlich zwischen Vorder- und Rückseite des Flügels. Also wird man die thermische Gleitung vor allem am Rande des Flügels erwarten. Dabei strömt Gas von der kalten zur warmen Seite. Gleichzeitig findet ein Impulsübertrag auf den Flügel statt, der jetzt nicht tangential zur Fläche des Flügels, sondern senkrecht zur Fläche gerichtet ist und deshalb ein Drehmoment um die Achse des Systems erzeugt. Hier führt also bereits der primäre Impulsübertrag auf den Rand des Flügels bei der thermischen Gleitung zum Radiometereffekt, ohne dass man einen Staudruck zur Erklärung benötigt. Tatsächlich fand ich diese Erklärung nach einigem Suchen in einer Internetveröffentlichung von Philip Gibbs (Usenet Physics FAQ, s. u.) [8].

Resume

Erst nach längerem Suchen bin ich auf eine für mich zufriedenstellende Erklärung gestossen, die allerdings noch einige Fragen offen lässt. Es würde mich freuen, wenn der eine oder andere Leser dieses Aufsatzes, der selbst eine Lichtmühle besitzt, überprüfen würde, ob sich meine Beobachtungen an seinem Gerät reproduzieren lassen. Bei allen Argumentationen spielt der Begriff der *mittleren freien Weglänge*, der aus der kinetischen Gastheorie stammt und deswegen ein rein modellbezogener Begriff ist, eine zentrale Rolle. Es stellt sich für mich die Frage, wie man sich diesem Problemkreis von der Seite der phänomenologischen Physik her annähern kann. Dies wäre ein interessanter Themenkomplex, der vielleicht auf einer zukünftigen Physikertagung im Zusammenhang mit anderen Phänomenen in verdünnten Gasen aufgegriffen werden könnte.

Literatur

- [1] dtv-Lexikon der Physik (Hrsg. H. Franke), Band 7, S. 220ff, Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1970.

- [2] Edelmann, Chr., „Vakuumphysik“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg - Berlin, 1998.
- [3] Veröffentlichung der Heinrich Geissler Gesellschaft: <http://phase.e-technik.tu-ilmenau.de/plasma/lichtmuehle/lichtmuehle.html>.
- [4] Hettner, G., „Zur Theorie des Radiometers“, Zeitsch. f. Physik **27**, 12, 1924 und „Über ein hochempfindliches Messinstrument für Wärmestrahlung“, Zeitsch. f. Physik **47**, 499, 1928.
- [5] Reynolds, O., „On Certain Dimensional Properties of Matter in Gaseous State“, Royal Soc. Phil. Trans., Pt 2, 1879.
- [6] Maxwell, J. C., „On Stresses in Rarefied Gases Arising from Inequalities of Temperature“, Royal Soc. Phil. Trans., 1879.
- [7] Knudson, M., Annalen der Physik, **31**, S. 205 und 633 und **33**, S. 1435, 1910.
- [8] Aufsatz von P. Gibbs (Usenet Physics FAQ) z.B auf: <http://www.desy.de/pub/www/projects/Physics/General/LightMill.html>.

Über das Aleph denken und sprechen

FLORIAN THEILMANN

Da sah ich das Aleph. [...] hier beginnt meine Verzweiflung als Schriftsteller. Alle Sprache ist ein Alphabet aus Zeichen, deren Anwendung eine den Gesprächspartnern gemeinsame Vergangenheit voraussetzt; wie soll ich anderen das unendliche Aleph mitteilen, das mein furchtsames Gedächtnis kaum erfasst?

Jorge Luis Borges: Das Aleph [1].

Alec Schaerers Memorandum aus Anlass der diesjährigen „Arbeitstage für Physiker und Physiklehrer“ war für mich eine grosse Hilfe, besser zu verstehen, was sein Anliegen ist und auch dabei, besser zu artikulieren, wo ich Dinge anders sehen und ansprechen zu müssen glaube. So will ich versuchen, einen Punkt herauszuarbeiten, den ich für zentral halte — und daran unsere Sichtweisen zu differenzieren.

Fragehaltung und Ganzheit

Die "Erinnerung an einen Denkansatz" holt einen als nach Erkenntnis strebenden Menschen ziemlich da ab, wo man auch steht: In der Grundhaltung des Zu-Ende-Fragens bzw. Wissen-Wollens liegt wohl das Motiv allen Forschens (und damit ist auch schon klar, wie universell Alec Schaerers Gedankenwelt verstanden werden muss); im Bewusstsein, dass meine Frage(haltung) gegenüber der Welt auch entscheidet, welche Räume sich mir ggf. öffnen, spiegelt sich das Erkenntnisringen des 20. Jahrhunderts (und damit ist auch schon gesagt, dass ich als Fragender mir selber darüber Rechenschaft abzulegen habe, was ich tue). Ich lese mit Sympathie, wie dieser Gedankengang beginnt und auch, wohin er führt: die Unterscheidung in "saugende" und "drückende" Fragehaltung scheint mir sehr glücklich und hilfreich, weil sie es ermöglicht, subtile Unterschiede oder Defizite im jeweiligen Ansatz klar zu bekommen und auch anzusprechen oder zu denken. Auch scheint mir, dass damit ein Verständnistor aufgestossen ist zu mancher methodischer Anregung oder Massgabe Rudolf Steiners, etwa in GA 322 ("Grenzen der Naturerkenntnis"): so leuchtet unter diesem Blickwinkel sofort ein, dass man dem eigenen Innenleben gegenüber nicht mit Begriffen operieren möge, sondern es (imaginativ) ins Bild zu setzen versuchen soll.

Alec Schaerers methodische Innovation ist, soweit ich es verstehe, die bewusste und konsequente Ausdifferenzierung einer Begriffspolarität (etwa "Form und Stoff") in der eigenen polaren Frageweise ("Form- und Stoffaspekt der Form" usw.). Während manche technische Frage (so die doch wichtige der *realen und erschöpfenden* Durchführbarkeit!) dieses Vorgehens mir noch vertiefbar scheint, ist mir plausibel, dass weitere Stufen der Polarisierung keine zusätzliche Einsicht gewähren (Abschnitt "Das theoretische Potential des Denkansatzes"). Damit sei die Möglichkeit gewiesen, "Ganzheit wirklich vom Ganzen her zu denken", und zwar ganz unabhängig davon, was der Erkenntnisgegenstand ist.

Allein, dazu braucht es noch mehr: "Das Denken muss *sich mitbewältigen*" und die Einsicht: es ist wesentlich, die Kategorialität so zu wählen, "dass sich Ganzheit und Gewissheit finden lassen". Hier setzt auch die (ebenfalls spannende!) Unterscheidung zwischen Sprache der "Intellegibilität" und Sprache der "Manipulabilität" an: "Wesentliches verläuft nur in der Sprache der Intellegibilität". Physik sieht Alec Schaerer dagegen als ein Beispiel für eine Disziplin, die in der Manipulabilität stecken bleibt; dort "sind immer beobachtungs-orientierte Begriffe leitend gewesen. Sie können im Ganzen nicht anders als zu Perspektivgebundenheiten führen".

Sprechenlernen in der Welt

An meinen Kindern Joseph und Johanna hab ich den sogenannten Spracherwerb mit grösster Faszination mitverfolgt. Da gibt es ja viele *merkwürdige* Details, etwa, wie erstaunlich gross der Wortschatz ist, den sich Kinder in den ersten Lebensjahren wenigstens passiv aneignen (die beiläufig erzielte Rate von einigen bis zu einem Dutzend Vokabeln pro Tag – über Jahre – ist für einen älteren Sprachschüler nur mit Mühe zu

erreichen — und was lernt ein Kind nicht noch alles ausserdem!). Meinen Kindern gegenüber habe ich aber nie das Gefühl entwickeln können, es handle sich im Ganzen um ein Lernen oder Üben (ausser vielleicht in der Brabbel-Phase des Säuglings); eher könnte ich sagen, ihr Sprechen “tauchte auf” oder “erschien”, ganz ähnlich, wie ein vertrautes Haus oder eine Landschaft im Nebel bei Annäherung sich konturiert. Eigentlich war es vielmehr so: was an seelischer Differenziertheit sich entwickelte, verschaffte sich auch Ausdruck. So kommen einerseits immer mehr und allgemeinere (Sprech-)Gegenstände ins Bild, andererseits immer mehr Sprech-Modi. Und dies sei auch hier die These: das Sprechen (und das in Worten sagbare Denken) äussert einerseits, was in der Seele lebt, es ist andererseits selbst Gegenstand des Seelenlebens.

Nun gehe ich mit Alec Schaerer mit, wenn er klarmacht, wie wichtig es ist, die richtige Sprache (mit den richtigen Begriffen) für die Welterkenntnis zu finden oder zu entwickeln. Aber ich muss mich im Sinne des gerade Geschilderten eben auch fragen, was denn der Seeleninhalt ist, der sich aussprechen will. Und da merke ich, wie ich an einer Stelle zurückzucke: ist *Ganzheit* der Welt etwas, was ich schon oder nur durch geeignete Kategorialität herstelle, oder impliziert nicht das Welt-Sein als *Kosmos-Sein* schon, dass der Welt selbst eine Art Grund-Zusammenhang innewohnt?¹ Mit anderen Worten: in der Welt gibt es nicht Dinge/Bewohner, sondern eben grundsätzlich *Biotope* (G. Maier), ob ich das nun ökologisch auffasse, als Synonym für reale Lebenszusammenhänge, biographisch oder noch anders; und Da-Drinnenstehen bringt mich zu Kategorien, um darüber zu denken und zu sprechen.

Andererseits bin ich als Sprecher nicht mehr selbstverständlich Teil des Weltzusammenhanges; für den Versuch, die Wahrheit zu sagen (meine Umschreibung von Intelligibilität suchen), braucht es in meinen Augen die Interaktion (vgl. das “Yin-Yang-Schema in Alec Schaerers Text aus Rundbrief 6)

- einerseits, dass ich mich dem Weltzusammenhang so aussetze, dass ich mir sein So-Sein zu eigen machen kann (dies entspräche der seelischen Entwicklung des Kindes in Bezug auf aussen),
- andererseits soviel Emanzipation aus dem Zusammenhang, dass der Abstand für ein Sich-Gegenüberstellen ausreicht (dies wäre die Innenseite dieser Entwicklung), die Bewusstmachung meines Seeleninhaltes.

[Diese Gedanken sind offenbar gefärbt durch meine Lesart des Wechselspiel von Sympathie und Antipathie, wie es in der allgemeinen Menschenkunde geschildert wird; Erkenntnis wäre demnach nicht so richtig in ein Ergebnis bannbar, sondern unabschliessbarer Vorgang, der (oder ein) Prozess des Sich-mit-der-Welt-Auseinandersetzens, zwischen Aussen und Innen, zwischen Sympathie und Antipathie oszillierend. Als Lehrer hat mich nie das Gefühl verlassen, dass meine schönen Inhalte weniger wertvoll und vor allem bleibend waren als die lichtvollen Momente einer gemeinsamen Suche nach diesen Inhalten.]

¹Wenn die Klassenstunden zitierbar wären, würde ich hier gerne eine Passage aus der dritten Stunde in Erinnerung rufen, wo Gedanken in diese Richtung vorkommen!

Vor diesem Hintergrund möchte ich zunächst zwei Fragen aussprechen, die ich für zentral halte und in dieser Auseinandersetzung gerne weiterverfolgen würde: Wie entstehen eigentlich die sachgemässen Fragen und wie erkennen wir sie?² Und: Wie kann ich mich als Erkenntnis-Suchender orientieren zwischen der Beliebigkeit “generell auffindbarer Kategoriensysteme” und dem Anliegen, in der Begriffswelt von der Meta-Ebene begrifflichen Operierens zur begrifflichen *Wirklichkeit* der Angelegenheit durchzustossen.³

Spielarten der Intellegibilität

Ich bin mir nicht im klaren darüber, ob ich mich mit diesen Gedanken schon an Stellen in einen Gegensatz zu Alec Schaerer setze oder eine unbeholfene eigene Formulierung in die Welt setze. Als gemeinsamer Nenner allen wahren Forschens bietet sich das Ringen um “Intellegibilität” an. Alec Schaerers Ansatz verstehe ich als Schilderung eines Weges dorthin; ist es der einzige Weg und ist das Ergebnis eindeutig?

Ein Paradebeispiel für eine gelungene intellegible Begriffsbildung ist in meinen Augen der Kraftbegriff, den ich in “Universelles Welterkennen” in Rundbrief 6 in Erinnerung rufe. Mich bewegt daran, wie biographisch und zugleich situativ der Zusammenhang angesprochen wird, in dem ein Kraftbegriff Sinn ergibt: die physikalische Situation muss bereits soweit durchdrungen sein, dass verschiedene Reiche von Wirkungszusammenhängen unterschieden werden; dann die Einsicht “zu dieser Konstellation hier korrespondiert diese Konstellation dort”; dann die Möglichkeit, *die Korrespondenz* (die sinnlich ja nicht erscheint) als Weltgegenstand (Etwa “Kraft”) anzusprechen⁴. Um *in wahrhaftiger Weise* von Kraft zu sprechen, muss dergleichen wenigstens einmal eindrücklich Erlebnis gewesen zu sein; ich sehe hier nicht, dass ich einem tetradischen Prinzip folgen würde, sondern ich lasse mich durch beobachtungsgestützte Begriffe führen — aber komme für meine Massstäbe dennoch (?) an der Kern der Sache!

Im Abschnitt “Das praktische Potenzial des Denkansatzes” gibt uns Alec Schaerer den Hinweis, dass Teilchen-Lebensdauern eine mögliche Anwendung seines Ansatzes sind. Hier ist die andere Stelle, an der sich bei mir Unbehagen meldet; wir lesen: “Da zeigt sich die Ordnung der Natur, die einen Ausgleich bei Ungleichgewichten nach sich zieht”. Sofort regte sich in mir Widerspruch: *Ja, aber*, was ist mit dem Lebendigen (vgl. [5]) und was ist z. B. mit der Kosmologie? Und dann wurde mir klar, dass der zweite Einwand wiederum ein hochgradig biographisch gefärbter ist — meine Diplomarbeit machte ich im Umfeld moderner statistischer Physik und hatte dort gesehen, wieviel mehr sich zum Thema sagen lässt, etwa, wie Ausgleich und Nicht-Ausgleich empfindlich vom Wechselwirkungspotential abhängen (Gravitation etwa ist

²Hier hat mich die Lektüre von Michel Foucault [2] zu Gedanken angeregt, die eher das analoge Problem auf dem Gebiet der Kunst betreffen, vgl. [3]

³Vgl. dazu die Sache mit Achill und der Schildkröte in [4, 1. Vortrag]

⁴Insofern ist eben gar nicht verwunderlich, dass *Energie*, die ja ganz ähnlichen Status hat, lange nicht begrifflich von Kraft geschieden wurde!

gerade “ballungs-bildend”); wichtiges Teilstück meiner Doktorarbeit waren spektroskopische Messungen zu Lebensdauern von elektronischen Anregungen in Festkörpern (die als Quasi-Teilchen, “Löcher” aufgefasst werden) – wo neben der Relaxation der Anregung eine zweite Mode, die Phasen-Relaxation wesentlich beteiligt ist (die nichts mit Ausgleich zu tun hat und mit der ich mich sehr viel leichter anfreunden konnte als reine Festkörperfachleute, weil ich vorher eine Weile mit irreversibler Physik gelebt hatte). Aber in unserem Kontext geht es gar nicht darum, dass die “Ausgleichstendenz” falsch wäre, sondern darum, dass sie mir etwas so grundsätzlich anderes bedeutet, dass Verständigung darüber gefährdet scheint, weil der eine seine Einsicht ausspricht, die dem anderen nicht dasselbe bedeutet.

J. L. Borges beschreibt in seiner oben zitierten Erzählung ein (fiktives...?) Erlebnis auf einer Kellertreppe in Buenos Aires, wo er einen *Punkt* gezeigt bekam, in dem der ganze Kosmos *simultan* zu sehen war: das Aleph.

... ich sah alle Spiegel des Planeten, doch reflektierte mich keiner, ich sah in einem Durchgang der Calle Soller die gleichen Fliessen, die ich vor dreissig Jahren im Flur eines Hauses in Fray Bentos sah, ich sah Weintrauben, Schnee, Tabak, Metalladern, Wasserdampf, ich sah aufgewölbte Wüsten am Äquator und jedes einzelne Sandkorn darin...

Die Schwierigkeit, es zu schildern, ist eine doppelte: erstens ist der Gegenstand einer, zu dem dem Gegenüber wohl die Erfahrung fehlt; zweitens (und grundsätzlicher) lässt sich die authentische Gleichzeitigkeit der Erfahrung (die Evidenz) nicht in die notwendig Abfolge-hafte Sprache bannen. Lesen wir das Aleph als Bild für die oben befragte wahrhaft ganzheitliche Erkenntnissituation, erkennen wir unsere eigene Problematik geschildert. Unser Aleph ist eine *geistige Erfahrung*, die den Kosmos *zeigt*. Damit es diesen auch *bedeutet*, bedarf es unseres tatsächlichen, auch physisch-sinnlichen Drinnenstehens in der Welt. Dann spreche ich nicht nur *an*, was Seeleninhalt sein kann, sondern *aus*, was Seeleninhalt ist. Während die einzelne Beobachtung an eine bestimmte Perspektive gebunden sein mag, kommt mein Verhältnis zur Welt ohne ein “Erscheinenlassen” (H. Barth) der Welt Dinge doch nicht aus. Alec Schaerer schildert eine Aleph-artige Denkerfahrung; ich betone hier und in Rundbrief 6 mehr das Welt-Bewohner-Sein (und meine Schwierigkeiten, ihm *im Erleben* zu folgen). Ich verstehe nun besser, dass es nicht darum geht, diese Standpunkte gegeneinander auszuspielen, sondern dieses Verhältnis der beiden zueinander zu durchschauen und womöglich aufzulösen. Fragehaltung, Intentionalität und Zugang zur Wirklichkeit lassen sich auf beiden Wegen thematisieren.

Literatur

- [1] Jorge Luis Borges: Ges. Werke Bd. 3/II, Carl Hanser Verlag, München 1981.
- [2] Michel Foucault: Die Ordnung des Diskurses. Fischer Wissenschaft (10083), Frankfurt 1991.

- [3] Florian Theilmann: Tätigwerden zwischen Motiv und Ereignis. Das Goetheanum 19 (2002).
- [4] Rudolf Steiner: Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik (2. Naturwissenschaftlicher Kurs). Rudolf Steiner Verlag, Dornach 2000.
- [5] Jos Verhulst: Der Glanz von Kopenhagen. Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart 1994.

Emailadressen der Autoren

Thomas Schmidt: thomas-cornelia.schmidt@t-online.de.

Hermann Bauer: HEBBauer@t-online.de.

Friedhelm Dustmann: DustmannFW@aol.com.

Florian Theilmann: florian.theilmann@goethenaum.ch

Alec Schaerer: sascha@magnet.ch

