

Wirklichkeitsvorstellung und Physik-Unterricht

Herbert Pietschmann

Unsere Wirklichkeitsvorstellung beeinflusst die Vermittlung von Physik mehr als die Ergebnisse der Forschung. Während beim Schaffen und Anwenden physikalischer Erkenntnis im allgemeinen ein (naiver) Realismus als Voraussetzung genügt, verführt er beim Unterricht zu einer Einweg-Kommunikation; "richtige" Anschauungen und "richtiges" Wissen wird von Lehrenden auf Lernende übertragen. Konstruktivistische Vorstellungen sind demgegenüber für echte Kommunikation (mit Fragen und Gegenfragen) eher geeignet, entsprechen aber nicht der Haltung von Physikern im Labor und dem Ringen um physikalische Erkenntnis. Der Autor schlägt daher eine Synthese aus beiden Grundeinstellungen vor, die sowohl erkenntnistheoretisch, als auch didaktisch vorteilhaft ausgearbeitet werden kann.

1. "Lehramts-Kandidaten" und "Diplom-Physiker"

Als ich 1968 nach Wien berufen wurde, habe ich - gemeinsam mit Roman Sexl - die Vorlesungen in theoretischer Physik neu strukturiert. Wir haben neben dem üblichen, viersemestrigen Zyklus für "Diplom-Physiker" einen Parallel-Zyklus für Lehramtskandidaten entwickelt, in dem der "Stoff" des üblichen Zyklus auf 2 Semester gekürzt war, um die restlichen 2 Semester freizuhaben für all jene Spezialgebiete, die in der Schule ebenfalls zu unterrichten sind. Als Folge hat sich bei Studentinnen und Studenten bald eine Sprechweise etabliert, wonach vom "großen Theorie-Kurs" - dem "schweren" - und vom "kleinen", der eben "leichter" war, geredet wurde.

Ich selbst halte die beiden Zyklen meist abwechselnd. Wenn ich den Lehramtszyklus beginne, dann betone ich immer, daß es sich dabei um den viel schwierigeren handelt! Zwar wird im anderen Zyklus mehr Mathematik gebracht, zwar werden dort kompliziertere Gleichungen behandelt (er ist also *technisch* anspruchsvoller), aber der wesentliche Unterschied liegt wohl darin, daß es für das Erreichen des Diploms genügt, Physik theoretisch oder experimentell *betreiben* zu können; was Physik wirklich *ist und bedeutet*, brauchen Diplomphysiker auch später - als Wissenschaftler und Forscher - nicht zu wissen und sie wissen es im allgemeinen auch nicht.

Wer aber Physik erfolgreich *vermitteln* will, muß sich diese Frage selbst stellen und um eine Antwort ringen, sonst kommt der Unterricht über das bloße Aneignen von Wissen (das ja bekanntlich schnell wieder vergessen wird) nicht hinaus. Und dieses Ziel ist viel schwerer zu erreichen als die Fähigkeit, physikalisch erfolgreich tätig zu sein.

Wir könnten nun fragen, was denn der Grund dafür sei, daß die Frage nach dem Wesen der physikalischen Methode von so vielen ansonsten erfolgreichen Physikerinnen und Physikern gar nicht gestellt wird; ich glaube, einen Grund dafür darin zu sehen, daß es auf diese Frage keine eindeutige Antwort gibt. Die Existenz des Faches "Wissenschaftstheorie" ist weitgehend auf diese Unsicherheit zurückzuführen, weil eben die verschiedensten Ansichten und Schulen miteinander in Kon-

kurrenz treten und durch den Diskurs ihre Begriffe schärfen können. Wir werden daher gleich zu Beginn feststellen müssen, daß es auch für Lehrerinnen und Lehrer des Faches Physik nicht möglich sein wird, "die" Methode der Physik oder "die" Erkenntnismethode der Naturwissenschaft zu erarbeiten und dem Unterricht zugrundezulegen; vielmehr wird es darum gehen, sich mit der Frage so weit zu beschäftigen, daß die Einsicht in die Probleme und die Voraussetzungen physikalischer Erkenntnis den Lehrenden ermöglichen, Physik auf einem Niveau zu vermitteln, das deutlich über bloße Faktensammlung hinausweist.

Wiederum sollten wir gleich fragen, warum solches Faktenwissen nicht wenigstens als erster Schritt ausreichend sein kann. Eine echte Antwort auf diese Frage folgt zwar erst aus unserer weiteren, detaillierten Auseinandersetzung mit dem Wesen der Physik, als erster Hinweis mag aber genügen, daß viele gründliche Untersuchungen [1] immer wieder zeigen, wie wirkungslos solches Faktenwissen bleibt, wenn es darum geht, ganz einfache Fragen über unsere Welt zu beantworten, wie etwa: Warum fallen die Astronauten in der Raumstation nicht herunter? oder: Wie kommen die Mondphasen zustande?

2. Mögliche Ziele des Physikunterrichts

Ehe wir uns der Frage nach dem Wesen der physikalischen Methode zuwenden, will ich noch meine Einstellung zu den Zielen des Physikunterrichts klar machen; viel von der Art und Weise der Vermittlung wird nämlich davon abhängen.

Drei mögliche Ziele des Physikunterrichts möchte ich herausgreifen und meine Wertung anfügen.

Zunächst gilt der Physikunterricht als Vorbereitung jener Schülerinnen und Schüler, die später einmal das Physikstudium wählen. Sie haben gewisse Grundkenntnisse an die Universität mitzubringen. Ich halte dies zwar für eine wichtige Aufgabe, aber unter den 3 herausgegriffenen Zielen als die am wenigsten bedeutende (gerade spätere Physik-Studentinnen und Studenten haben selten Probleme, mangelnde Kenntnisse schnell nachzuholen).

Für viel wichtiger halte ich das Ziel, jenen Schülerinnen und Schülern die später *nicht* mehr mit Physik in Berührung kommen, so viel von der physikalischen Denkweise mitzugeben, daß sie sich in unserer Welt in ausreichender Weise zurechtfinden können; wir sollten uns immer vor Augen halten, daß viele Entscheidungen über physikalische Fragen (wie etwa Energieprobleme, Umweltfragen, aber auch Entscheidungen im Forschungsbereich) von Menschen getroffen werden, deren einzige echte Berührung mit Physik in der Schule stattgefunden hat. Der Physikunterricht und die jeweiligen Physik-Lehrerinnen oder Lehrer werden für diese Menschen das Bild des Faches und der Fachvertreter bewußt oder unbewußt mitprägen.

Mir persönlich erscheint aber ein drittes Ziel als wichtigstes - ja ich möchte sagen als das "vornehmste" im besten Sinne des Wortes; ein Ziel, das der Physikunterricht allerdings mit allen anderen Fächern gemein hat: Den heranwachsenden Menschen soll die Vielfalt der fachspezifischen Denkweisen in ih-

Vortrag bei der DPG-Tagung in Regensburg am 26. März 1998
Herbert Pietschmann, Institut für Theoretische Physik, Universität Wien

rer jeweiligen Eigenart so vorgeführt werden, daß sie sich ihren zukünftigen Beruf (oder zumindest den Einstieg in das zugehörige Studium) in verantwortungsvoller Weise selbständig wählen können. Das ist nicht nur altruistisch gemeint. Auch die Physik selbst wird in Zukunft nur dann ihren entsprechenden Stellenwert im Konzept der Forschung einnehmen können, wenn sich die dafür begabten jungen Menschen auch dazu entschließen und nicht etwa durch unzureichenden Unterricht abgeschreckt werden.

3. Experiment oder Erfahrung - Modell oder Weltbild

Oft wird Naturwissenschaft als "Erfahrungswissenschaft" bezeichnet, was vielfach zur Verwirrung führt, selbst der Nobelpreisträger Monod schreibt verwundert [2]:

"Die Natur ist objektiv, und wahre Erkenntnis kann nur aus der systematischen Gegenüberstellung von Logik und Erfahrung stammen. Es ist heute schwerlich zu fassen, warum dieser so einfache und klare Gedanke erst hunderttausend Jahre nach dem Hervortreten des *homo sapiens* in aller Deutlichkeit im Reich der Ideen hat auftauchen können; man kann kaum verstehen, warum so hoch entwickelte Kulturen wie die chinesische diesen Gedanken nicht gekannt haben und ihn erst vom Westen lernen mußten; noch ist es begreiflich, warum es im Abendland von Thales und Pythagoras bis zu Galilei, Descartes und Bacon fast 2500 Jahre hat dauern müssen, bis dieser Gedanke ... endlich hervortrat."

Um nicht in dieselbe Denkfalle zu tappen ist es wichtig, sich klarzumachen, daß Physik (und Naturwissenschaft) *nicht* auf Erfahrung, sondern auf dem Experiment beruht! Dieser Schritt des Galileo Galilei im 17. Jahrhundert wird ja mit Recht als Geburt der "nuova scienza", der Physik der Neuzeit, geachtet. Dabei kommt es mir nicht auf spitzfindige Wortwahl an, sondern auf einen wichtigen Unterschied, ohne den die Physik nicht verstanden werden kann. Denn Erfahrung (im Sinne der Weltbeobachtung) war ja die Grundlage der älteren Physik nach Aristoteles [3]. Schülerinnen und Schüler bringen die Aristotelischen Konzepte aus ihrer Lebenswelt wie selbstverständlich mit, und wenn sie nicht im Unterricht problematisiert werden, wird kein Platz für die neuen Einsichten im Denken der jungen Menschen frei sein.

Ein Beispiel mag dies verdeutlichen: Nach Aristoteles fallen schwere Körper schnell, leichte langsam, und "feuerförmige" gar nicht, sondern sie steigen auf. Jeder Mensch kann dies etwa bei einem Spaziergang in freier Natur beobachten. Kastanien fallen schnell, Blätter fallen langsam und Rauch steigt auf. Demgegenüber lehren wir seit Galilei, daß alle Körper gleich schnell fallen. Es bedurfte der Mondfahrt, um dies "erfahrbar" zu machen, als ein Astronaut vor der Fernsehkamera am Mond eine Daunenfeder und ein Bleikügelchen fallen ließ. Abgesehen von so extremen Situationen entspricht der Satz des Galilei eben nicht der Erfahrung, ja er widerspricht ihr sogar. Er gilt eben nicht in unserer Lebenswelt, sondern in einem - vereinfachten - "Modell" der Welt, im Vakuum. Kriterium für seine Gültigkeit ist nicht Erfahrung, sondern das Experiment, in dem die idealisierte Situation zwar auch nicht hergestellt werden kann, in dem wir aber zu ihr extrapolieren können.

Wenn im Physikunterricht nicht genügend deutlich auf diesen Unterschied aufmerksam gemacht wird, bleiben die Widersprüche zur Erfahrung unaufgelöst bestehen und führen sehr schnell zum Auslöschten oder Verdrängen der einen Seite, ver-

ständiglicherweise der physikalischen Beschreibung und nicht der erfahrbaren Lebenswelt.

Damit aber eröffnet sich sofort ein weiteres Problem: der Modellbegriff. Wenn wir den heranwachsenden Menschen, die sich ja in ihrer Welt zurechtfinden wollen und sollen, verdeutlichen, daß physikalische Gesetze nicht die Lebenswelt beschreiben, sondern vereinfachte Modelle, dann erhebt sich die Frage nach der Beziehung zur Welt, in der wir leben. Denn von zwei, einander vollständig widersprechenden Aussagen, kann keine wahrhaft mit "Ja" beantwortet werden: Es ist weder wahr, daß Naturgesetze in unserer Lebenswelt (unmittelbar) anwendbar sind, noch ist es wahr, daß sie nicht anwendbar sind. Durch das eingeklammerte Wort "unmittelbar" scheint ein Ausweg aus diesem logischen Dilemma angedeutet, er darf aber nicht zu früh beschränkt werden, weil gerade in diesem Dilemma die Möglichkeit eines tieferen Verständnisses der Methode begründet ist.

Nehmen wir dazu wieder ein Beispiel: Wir alle lehren irgendwann das 1. Keplersche Gesetz: "Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht". Nun gibt es nirgendwo im tatsächlich vorhandenen Universum eine ellipsenförmige Planetenbahn, denn der Satz gilt nur für ein euklidisches Universum, in dem es außer einer Sonne und *einem* Planeten absolut nichts gibt; und selbst dann nur, wenn die Massenverteilung von Sonne und Planet streng kugelsymmetrisch ist. Er gilt also genau genommen nirgends! Trotzdem war er ein gewaltiger Schritt auf dem historischen Weg der Physik, indem er den Menschen half, sich in ihrem Universum besser zurechtzufinden; gerade das war aber auch - individuell gesehen - der Anspruch des Physik-Unterrichtes als Hilfe für heranwachsende Menschen.

Es genügt nun nicht, einfach wie oben zu behaupten, der Satz sei eben nicht *unmittelbar* anwendbar, weil dadurch noch keine Einsicht in die großartige Erfindung des 17. Jahrhunderts ermöglicht wird, sich einer Beschreibung unserer Welt *schrittweise* zu nähern. Wenn wir erst einmal eingesehen haben, was die Bahn eines Planeten im oben idealisierten Fall sein muß, dann können wir schrittweise dieses "Modelluniversum" mit weiteren Planeten bevölkern, ihren Einfluß berechnen, und schließlich sogar mit Einstein (1915) vom ebenen zu einem nicht-euklidischen Universum übergehen. Ein ganz wesentlicher Punkt dabei ist, daß wir diese Schritte nur so weit zu treiben haben, wie sie für das gerade anstehende Problem und seine geforderte Genauigkeit nötig sind. Für ein grobes, "qualitatives" Bild des Himmels genügt vielleicht der erste Schritt, für Raumsonden zu den äußeren Planeten brauchen wir mehrere, für ein genaues Überprüfen der Gravitation schließlich auch den Einstein'schen.

Das von der Physik konstruierte "Modell" der Welt hängt also davon ab, welche Handlungen (und deren Konsequenzen) wir daraus ableiten wollen. Das darf nicht als Beliebigkeit der Beschreibung gesehen werden, vielmehr ist es jener gewaltige Schritt des 17. Jahrhunderts, der auf der Einsicht beruht, daß Denken allein niemals zu einer verlässlichen Beschreibung der Welt führen kann; daß vielmehr erst eine rechte Wechselwirkung von Denken und Handeln (von Theorie und Experiment) den gewünschten Erfolg beschert.

Ich bin mir bewußt, daß es nicht leicht sein wird, diese Einsichten im Physikunterricht zu vermitteln; wir wollen ihn ja nicht etwa durch Philosophie *ersetzen*, wohl aber wird ein wenig *Ergänzung* durch wissenschaftstheoretische Gedanken

helfen. Denn zumindest den Anspruch sollten wir nicht aufgeben, über bloße inhaltliche Weitergabe von physikalischen Einsichten und Ergebnissen hinauszugehen.

Ich selbst verwende bei der Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern gerne eine Formel, die ganz bewußt den oben angesprochenen Widerspruch aufgreift, ich behaupte, "Physik kommt zu einer Beschreibung der Wirklichkeit, indem sie darauf verzichtet!" Wird nur eine Seite davon gesehen (oder zu sehr betont), dann werden die Schülerinnen und Schüler entweder meinen, Physik sei eine bloße Spielerei (Modelle!), oder sie sehen nicht die wahre Vielfalt der wirklichen Welt. In *beiden* Fällen wird wohl ein Abwenden von diesem Fach die Folge sein.

Wollen wir dies noch etwas tiefer angehen, müssen wir uns nun der noch schwierigeren Frage nach dem Wesen der Wirklichkeit und ihrer Beschreibung zuwenden.

4. Realität und Wirklichkeit

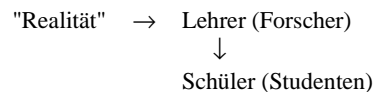
Der Wiener Physiker (und Nobelpreisträger des Jahres 1945) Wolfgang Pauli, sagte einmal zur Eröffnung eines philosophischen Kongresses in Zürich [4]:

"Unsere Vorstellungen verlaufen nicht willkürlich, sondern erscheinen in einer gewissen Ordnung. Es ist der Zusammenhang der Bewußtseinsinhalte, der uns erlaubt, Träumen und Wachen zu unterscheiden und unwillkürlich äußere Objekte, sowie auch das Bewußtsein der Mitmenschen als existierend zu erleben. Das, was wir antreffen, was sich unserer Willkür entzieht, womit wir rechnen müssen, ist das, was man als wirklich bezeichnet. Die europäischen Sprachen haben zwei verschieden abgeleitete Worte hierfür, das eine, lateinische: Realität von *res* = Sache, das andere, deutsche: Wirklichkeit, von Wirken. Im Englischen ist beides vertreten als *reality* and *actuality*. Der abstraktere, von Wirken abgeleitete Begriff ist derjenige, der dem in der Wissenschaft gebrauchten nähersteht."

Das mag verwundern, ist doch die übliche Einstellung der Naturwissenschaftler die, daß es eben eine materielle Welt gäbe, deren Gesetzmäßigkeit mit immer besserer Übereinstimmung erkannt werden kann. Dieser sogenannte "Realismus" meint, wir könnten in unseren Modellen ein Abbild der "Realität" herstellen, das mit dem Fortschritt der Wissenschaft immer getreuer wird.

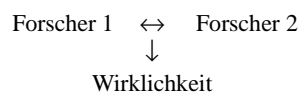
Zum Zwecke der Vermehrung physikalischen Wissens mag solch naive Einstellung genügen; da sie aber am Dilemma des vorigen Kapitels vorbeigeht, genügt sie nicht mehr für den Unterricht! Selbst philosophische "Realisten", wie zum Beispiel Karl Popper, sprechen nicht mehr von einem Bild (oder gar Abbild) der Realität, sondern von einer "Annäherung an die Wahrheit" durch Ausschluß (Falsifikation) falscher Bilder (Hypothesen) und nennen ihre Einstellung daher "kritischer Realismus" [5].

Nach dieser Auffassung gibt es also eine Realität, der wir uns in der physikalischen Beschreibung annähern. Wer Physik schafft (durch Forschung, Wechselspiel von Theorie und Experiment), kann seine Ergebnisse an Studenten, aber auch zur Anwendung an Industrie und Wirtschaft, weitergeben. Wer Physik kennt (z.B. Lehrer), kann diese Beschreibung an andere Menschen (Schüler) weitergeben. Wir können dies so darstellen [6]:



Spätestens seit den Einsichten der Quantenmechanik ist diese Einstellung zur Realität jedoch unhaltbar geworden. Als extremen Gegenpol dazu gibt es die Haltung des Konstruktivismus; demnach ist es gar nicht sinnvoll, von einer "Realität" zu sprechen, denn alles, was wir über unsere Welt aussagen, sei unsere Konstruktion. Im Sinne Wolfgang Pauli's nenne ich diese Konstruktion unsere "Wirklichkeit", um den Unterschied zur gegebenen (oder vorhandenen) "Realität" zu verdeutlichen.

Die Haltung des extremen Konstruktivismus ist logisch nicht zu widerlegen! Wer sich dazu bekennt, braucht keine Einwände zu fürchten. Aber sie scheint mir doch nicht dem zu entsprechen, was physikalische Forschung (und ihre Ergebnisse) eigentlich will und bedeutet. Wir können diese Auffassung so beschreiben, daß sich Forscher durch gegenseitige Kritik und Überprüfung darauf einigen, was die konsensfähigste Konstruktion ist, und diese dann als "Wirklichkeit" weitergeben. Darstellen können wir dies so:

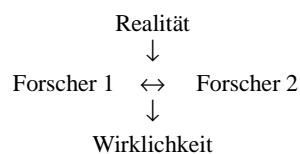


Im Unterricht entspräche dies dem Vorschlag, physikalische Gesetze und Phänomene durch Diskussion zu erarbeiten. Zwar halte ich dies für besser, als das bloße Vermitteln von Faktenwissen, es steht aber immer unter der Gefahr, in bloß oberflächliche Reederei auszuarten. Gegenseitige Vorwürfe der beiden Haltungen sind daher auch "autoritäres Gehabe" einerseits, und "Quatsch-Bude" andererseits.

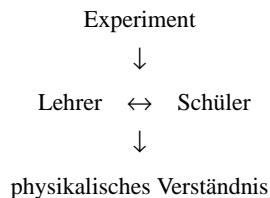
Ich vertrete daher eine Haltung, die eine Synthese dieser beiden Extreme anstrebt [7]. Auf die Existenz einer Realität kann ich nicht verzichten, obwohl diese Realität grundsätzlich unzugänglich bleibt, weil wir sie niemals direkt erreichen können. Alles, was wir über unsere Welt aussagen, ist Konstruktion einer Wirklichkeit, die aber - der Name sagt es schon - "wirkt" und Motiv unserer Handlungen wird! Handlungen sind aber mehr als bloße Konstruktion, sie greifen in das, was ist, ein und verändern es; sie haben also einen Bezug zur Welt, der über bloß gedankliches Erfassen einer "Realität" hinausgeht! Nun leiten wir aus unserer Wirklichkeit ab, was wir als Ergebnis unserer Handlungen erwarten dürfen. Tritt dies *nicht* ein, dann haben wir einen *Widerspruch* unserer Wirklichkeit zur Realität aufgespürt, ohne deshalb etwas Positives von der Realität zu erfahren.

Das "Weltbild" ist also nicht mehr einfach durch Denken zu erarbeiten, erst die Einheit von Denken und Handeln führt zu einer Wirklichkeit, auf die wir uns verlassen können, weil immer mehr Widersprüche zur Realität daraus eliminiert wurden. Zugleich weist diese Haltung auf die notwendige Einheit von Theorie und Experiment hin und heißt für die Didaktik, daß im Physikunterricht weder auf die gemeinsame Diskussion physikalischer Gesetze, noch auf (möglichst selbständiges) Experimentieren verzichtet werden kann.

Bildlich wollen wir diese Haltung auch darstellen:



Und im Unterricht hieße dies:



Die "gemeinsame Diskussion" sollte darauf abzielen, das immer schon vorhandene Vorverständnis der Schülerinnen und Schüler durch das Aufdecken von inneren Widersprüchen, aber auch durch die ausgeführten Experimente, beständig in Richtung physikalischer Einsichten zu verbessern. Bescheidenheit ist dabei notwendig, weil nur ein schrittweises Ausräumen von falscher Vorstellung Aussicht auf eine dauerhafte Einsicht hat. Ich darf nicht verhehlen, daß damit eine Erziehung zum Aushalten von Unsicherheit einhergeht, weil der unmittelbare Bezug zu einer gegebenen "Realität" verlorengeht. Das aber sollte - so meine ich - ohnehin Ziel jedes Unterrichtes sein, weil ich Aushalten von Unsicherheit als wichtigstes Element des Reifeprozesses von Menschen betrachte.

Zum Schluß sei noch Albert Einstein zitiert, der vom Prozeß des Entstehens neuer physikalischer Einsichten sagt [8]:

"Die Methode des Theoretikers bringt es mit sich, daß er als Fundament allgemeine Voraussetzungen, sogenannte Prinzipie, braucht, aus denen er Folgerungen deduzieren kann. Seine Tätigkeit zerfällt also in zwei Teile. Er hat erstens jene Prinzipie aufzusuchen, zweitens die aus den Prinzipien fließenden Folgerungen zu entwickeln. Für die Erfüllung der zweiten Aufgabe erhält er auf der Schule ein treffliches Rüstzeug. ... Die erste der genannten Aufgaben, nämlich jene, die Prinzipien aufzustellen, die der Deduktion als Basis dienen sollen, ist von ganz anderer Art. Hier gibt es keine erlernbare, systematisch anwendbare Methode, die zum Ziele führt. Der Forscher muß vielmehr der Natur jene allgemeinen Prinzipie gleichsam ablauschen, indem er an größeren Komplexen von Erfahrungstatsachen gewisse allgemeine Züge erschaut, die sich scharf formulieren lassen."

Literatur

- [1] Siehe z.B. R. Brämer: *Über die Wirksamkeit des Physikunterrichts*, Natuwiss. im Unterricht, - Phys. Chem., 1 (1980) p. 10
K.Daumenlang: *Physikalische Konzepte junger Erwachsener*. Dissertation, Nürnberg 1969
- [2] J. Monod: *Zufall und Notwendigkeit*, München (1975)
- [3] Für Details s. etwa H. Pietschmann: *Phänomenologie der Naturwissenschaft*, Springer Verl. Berlin (1996) Kap. 3
- [4] W. Pauli: *Physik und Erkenntnistheorie*, Vieweg Verl., Braunschweig (1984) p. 93
- [5] K. Popper: *Logik der Forschung*, 4. Auflage, Mohr-Verlag, Tübingen (1971)
- [6] Für eine genauere Diskussion siehe Ref. 3, Kap. 9.3.2
- [7] Ref. 3, Kap. 9.3.3 und 9.3.4
- [8] A. Einstein: *Mein Weltbild*, Querido Verlag, Amsterdam (1934) p. 110