

Rainer Schimming

Optimierung von Erkenntnis: Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit

1. Einleitung

Eine einzelne Wissenschaft oder wissenschaftliche Disziplin ist aus Theorien zusammengesetzt. Eine Theorie ist ein Netzwerk von Axiomen, Definitionen, Theoremen, Beweisen und Beispielen. Zusätzlich und nicht an diese Hierarchie gebunden gibt es *wissenschaftliche Prinzipien*. Ein *Prinzip* kombiniert eine Aussage mit einer Wertung. Es stellt etwas fest und meint außerdem, dass es so gut ist. Insofern ein Prinzip Theoreme auswertet und verallgemeinert, ist es ein Nach-Urteil, d. h. ein Urteil nach der Erfahrung. Insofern es eine Empfehlung für weitere Erkenntnis ausspricht, ist es ein Vor-Urteil, d. h. ein Urteil vor der Erfahrung. Prinzipien dienen *erstens* dazu Übersicht über das anwachsende Wissen herzustellen bzw. zu bewahren, *zweitens* der Orientierung bei der Suche nach Neuem, *drittens* einer aufgeklärten Art des Verstehens.

Prinzipien können nach dem Allgemeingrad eingeteilt werden. An einem Ende stehen disziplinäre Prinzipien, wie z. B. in der Physik Invarianz, Kovarianz, Lokalität. Am anderen Ende stehen philosophische Prinzipien – wie z. B. Erkennbarkeit und Unerschöpflichkeit der Welt (Siehe dazu Abschnitt 2.). Dazwischen stehen Prinzipien der Übersichtlichkeit im engeren Sinne: Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit. Von letzteren handelt der vorliegende Artikel. Er entwickelt in Kürze einen Rahmen, der noch weiter ausgefüllt werden sollte. An frühere Arbeiten des Autors wird angeknüpft [19-23, 16].

2. „Das ewig Unbegreifliche an der Welt ist ihre Begreiflichkeit“,

... schreibt Albert Einstein [4], S. 65. Eine Ausdeutung des Bonmots führt auf folgende Gedanken.

Die materielle Welt ist

... erkennbar. Der Mensch kann Wissen erlangen, das ihm Orientierung in der Welt und Gestaltung der Welt ermöglicht.

... strukturiert und regelhaft. Traditionell heißt es: Die Welt ist Kosmos und nicht Chaos. Es gilt, die Strukturen und Regeln zu erkennen.

... widerständig gegenüber menschlichem Bestreben. Wissen liegt nicht auf der Hand, Erkenntnis ist Arbeit. Poetisch ausgedrückt: Ungern gibt die Natur ihre Geheimnisse preis.

... unendlich, Wissen aber endlich. Wissen wird durch Sprache realisiert. Sprachliche Information ist zwar potentiell unbeschränkt, aktuell aber jeweils beschränkt.

... aus dem vorgenannten Grund nie in der Totalität zu erfassen.

... nach Erscheinung und Wesen differenzierbar. Konzentration der Erkenntnis auf das Wesentliche ist notwendig sowie auch hinreichend. Erkenntnis arbeitet sich von den oberflächlichen Erscheinungen zum tieferen Wesen vor.

... auf starke Weise unendlich, nämlich unerschöpflich. *Erschöpflich* bedeutet endlich oder quantitativ unendlich, gleiche Muster wiederholend. *Unerschöpflich* bedeutet qualitativ unendlich, unbegrenzt vielfältig. Hegel [8] wertet Erschöpflichkeit als *schlechte Unendlichkeit* ab und bezeichnet Unererschöpflichkeit als *wahrhafte Unendlichkeit*.

... selbst bei Beschränkung auf das Wesentliche nie vollständig zu erfassen. Eine „Weltformel“ [2] oder „Theorie für alles“ [1] ist illusorisch. Erkenntnis kommt an kein Ende.

3. Nach-Urteile und Vor-Urteile

Ein Prinzip kann auf verschiedene Weise auftreten. Die Bestimmung in der Einleitung meint ein *Erkenntnisprinzip*. Hinter einem solchen steht ein *Wirkprinzip*. Das heißt: Ein Prinzip der Weltbeschreibung beruht auf einem Prinzip der Welt selbst. Natur und Kultur, d. h. vorgefundene und geschaffene Welt, werden beide erfasst. Ein Prinzip erscheint auch als *Gestaltungsprinzip*. Die Dreiteilung Erkenntnis-, Wirk- und Gestaltungsprinzip wurde von H. Hörz und dem Autor in [23] eingeführt.

Vor und nach der Erfahrung, *a priori* und *a posteriori*, ist eine grundlegende Unterscheidung in der Erkenntnistheorie. Ein Prinzip tritt in beiden Modi auf, sowohl als *Vor-Urteil* als auch als *Nach-Urteil*. (Die Bindestriche markieren neue Begriffe. Der herkömmliche Begriff Vorurteil ist negativ belegt.) Vor-Urteile dienen der Orientierung. Diese ist nötig, weil die Welt unendlich – sogar unerschöpflich – ist, weil die Erscheinungen unübersichtlich

sind, weil bei unvollständiger Information gehandelt werden soll. Ein Vor-Urteil verkleinert den sonst zu großen Suchraum für Neues.

Die Wissenschaftstheorie hat die Rolle der Vor-Urteile herausgearbeitet, allerdings mit anderer und uneinheitlicher Terminologie. Folgende Begriffe wurden vorgeschlagen:

- konstruktives Vorurteil [22],
- legitimes Vorurteil [6], S. 261,
- relativ apriorische Idee [17],
- Erwartungsmuster [24],
- Thema [11] (Siehe auch [22].),
- Hintergrundüberzeugung [18], S. 115,
- Leitbild [13],
- Leitlinie (allgemeiner Sprachgebrauch).

Die Liste ist nur eine Auswahl. Die Begriffe sind nicht deckungsgleich. Sie heben diesen oder jenen Aspekt von Vor-Urteil bzw. Prinzip hervor.

Ein Prinzip wird häufig durch eine Idee aus einer anderen (als der Wissenschaft) Tätigkeits- oder Wertsphäre angeregt. Beispiele: Der Begriff *Einfachheit* wird ursprünglich auf vom Menschen Geschaffenes angewendet und dann ausgeweitet. Der eng verwandte Begriff *Sparsamkeit* bezieht sich ursprünglich auf Haushalt, der ebenso verwandte Begriff *Effizienz* auf Organisation. Weitere Beispiele: Eine Reihe von Autoren befürworten ein *Prinzip der Schönheit* oder *Eleganz* in der Wissenschaft. Die Herkunft aus der Ästhetik liegt auf der Hand.

Prinzipien realisieren ein Verstehen. Wir diskutieren diese These. Beschreiben, Erklären, Vorhersagen sind vornehmliche Aufgaben von Wissenschaft. Mitunter wird noch Verstehen hinzugefügt. Übliches *Erklären*, so wird argumentiert, mag sehr nützlich sein, bleibt aber an der Oberfläche der Erscheinungen. Erst ein *Verstehen* erfasst das Wesen, legt offen, wie es „eigentlich“ ist. Konkrete historische Formen des Verstehens sind heute allerdings wenig akzeptabel. Als *Einfühlen* bedient es sich anthropomorpher Analogien. Oder man entnimmt Motive aus Mythos bzw. Religion. Durch Umdeutung lässt sich der Verstehens-Begriff retten: Zurückführung auf ein Prinzip ist Verstehen.

Beispiel: Die vereinheitlichende Idee, dass der Fall eines Apfels und die Bewegung des Mondes die gleiche Ursache haben, führt zum Verständnis der Gravitation. Allgemeiner ist jeder Fortschritt im physikalischen Vereinheitlichungs-Programm ein Schritt zum besseren „Verstehen, was die Welt im Innersten zusammenhält.“ (Siehe dazu Abschnitt 6.)

4. Prinzipien der Übersichtlichkeit

Objekte, Prozesse, Systeme usw., sowohl realer als auch theoretischer Art, können mehr oder weniger

... strukturiert sein. Mehr heißt *komplex*, weniger heißt *einfach*.

... innerlich zusammenhängen. Mehr heißt *einheitlich*, weniger heißt *divers*. Zusammenhang wird bei realen Systemen durch physische Wechselwirkung hergestellt, bei theoretischen Systemen durch begriffslogische Beziehungen.

... der Veranschaulichung zugänglich sein. *Veranschaulichung* ist Feststellung einer Ähnlichkeit zu alltäglich Gewohntem, zu einem Sachverhalt der realen Lebenspraxis (Siehe Abschnitt 8.).

Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit sind so als abgestufte Eigenschaften definiert. Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit der Weltbeschreibung sind wünschenswerte Eigenschaften. Die drei Erkenntnisprinzipien sind Ausprägungen des Prinzips der Übersichtlichkeit.

Eine wünschenswerte abgestufte Eigenschaft ist Zielgröße eines Optimalprinzips. In der Mathematik wird ein *Optimalprinzip* wie folgt definiert: Gesucht ist ein Zustand aus einem gewissen abstrakten Zustandsraum derart, dass eine gewisse Zielgröße unter Einhaltung gewisser Nebenbedingungen einen minimalen oder – je nachdem – maximalen Wert annimmt. Paradebeispiel ist das sogenannte *isoparametrische Problem*: Gesucht ist eine ebene Figur – aus einer geeigneten Klasse von Figuren – mit größtmöglichem Flächeninhalt bei vorgegebenem Umfang. Äquivalent ist das dazu *duale Problem*: Gesucht ist eine Figur mit kleinstmöglichem Umfang bei vorgegebenem Flächeninhalt.

Unter Abmilderung der mathematischen Strenge können die genannten Erkenntnisprinzipien der Übersichtlichkeit als Optimalprinzipien bezeichnet werden. Die Nebenbedingungen sind dabei durch das vorliegende theoretisch zu bewältigende Erfahrungsmaterial gegeben.

Übersichtlichkeit ist das menschengemäße Format von Wissen. Erkenntnis dient dazu, ein übersichtliches Abbild oder Modell der unübersichtlichen Welt zu erarbeiten.

„Der Mensch sucht in ihm irgendwie adäquater Weise ein vereinfachtes und übersichtliches Bild der Welt zu gestalten und so die Welt des Erlebens zu überwinden, indem er sie bis zu einem gewissen Grade durch dies Bild zu ersetzen strebt.“ heißt es bei Einstein [3], S. 108. An der Oberfläche der Erscheinungen ist die Welt unübersichtlich. Das verborgene Wesen ist einfach, einheitlich und der Veranschaulichung zugänglich. Spinoza sagt kryptisch:

„Simplex sigillum veri (Einfaches ist ein Zeichen der Wahrheit).“ Auf dem Umweg über Wittgensteins „Tractatus“ wurde der Ausspruch verbreitet [26], Satz 5.4541.

5. Die Vermessung der Einfachheit

Einfachheit haben wir als eine *Qualität* bestimmt. Die komplementäre Eigenschaft Komplexität lässt sich unter Umständen als *Quantität* fassen, d. h. zahlenmäßig angeben. Wir skizzieren solche Umstände:

1. Ein *Graph* ist durch *Knoten* (anschaulich Punkte) und sie verbindende *Kanten* (anschaulich Strecken oder Kurvenstücke) gegeben. Die Anzahlen der Knoten und Kanten messen die Komplexität. Die Graphentheorie hält weitere Maßzahlen bereit.
2. Semiotik ist die Theorie der Sprachen, die von deren Erscheinungsform abstrahiert. Ein *Wort* im Sinne der Semiotik ist eine Aneinanderreihung von *Zeichen* aus einem gewissen *Alphabet*. Das Wort hat die *Länge* n , wenn n Zeichen aneinandergereiht sind. Die Wortlänge ist ein Komplexitätsmaß.
3. Der *Informationsgehalt* eines *Signals* nach Shannon ist ein verfeinertes Komplexitätsmaß. Es berücksichtigt, dass Zeichen unterschiedlich häufig auftreten.
4. Ein *Algorithmus* ist eine genaue Rechenvorschrift für eine gewisse Klasse von Problemen. Die Rechnungen können auf einem Computer realisiert werden. Der Algorithmus wird dann durch ein Computerprogramm dargestellt; dieses ist ein Wort in einer Programmiersprache. Die Wortlänge des Computerprogramms heißt *Beschreibungskomplexität*. Die mittlere oder maximale Anzahl der Rechenschritte bei Realisierungen des Algorithmus heißt *Zeitkomplexität*, der mittlere oder maximale Speicherplatzbedarf heißt *Raumkomplexität*.

Die Betrachtung von Komplexitätsmaßen führt zu folgenden Einsichten. Es ist möglich, die Komplexität von Objekten quantitativ zu messen. Zu verschiedenartigen Objekten passen verschiedene Maße. Ein universelles Komplexitätsmaß wäre wenig aussagekräftig. Der Quantifizierung geht mathematische Modellierung voraus. Das heißt, um Objekte zu messen, müssen sie zuvor auf mathematische Objekte abgebildet werden. Die obige Aufzählung erfasst schon viele Situationen. So ist jeder Text im herkömmlichen Sinn ein Wort im Sinne der Semiotik oder ein Signal im Sinne der Informationstheorie und kann entsprechend vermessen werden.

Für Algorithmen ist typisch, dass einer kleinen Beschreibungs Komplexität eine große Zeit- bzw. Raumkomplexität gegenübersteht. Hier liegt eine Analogie zum Erkenntnisprozess vor: Komplexe Erscheinungen stehen einem einfachen Wesen gegenüber.

6. Vereinheitlichung der Physik

Wissenschaftstheorie lässt sich besonders gut an der Physik demonstrieren. So ist es auch mit dem Prinzip der Einheitlichkeit. Vereinheitlichung der Physik war Einsteins Vision [3, 4, 5, 18] und ist so spannend, dass sie auch einer breiten Leserschaft nahe gebracht wird [1, 2, 25]. Vereinheitlichen möchte man

... die diversen Stoffe bzw. Bausteine der Materie.

... die diversen Kräfte.

... Stoff und Kraft bzw. Teilchen und Feld. Das heißt, der fundamentale Dualismus in der Physik soll durch einen Monismus abgelöst werden.

... physikalische Materie einerseits und Raum-Zeit-Struktur andererseits.

Dieses Ziel ist besonders ehrgeizig: Der Dualismus von Physik und Geometrie soll überwunden werden.

Die Geschichte der Physik wird oft als Erfolgsgeschichte im Hinblick auf das Vereinheitlichungs-Programm dargestellt. Wir rufen wichtige Stationen ins Gedächtnis:

1. Newton vereinigte irdische und himmlische Mechanik. Der Fall eines Apfels und die Bewegung des Mondes haben die gleiche Ursache, die allgemeine Schwere oder Gravitation.
2. Maxwells Elektrodynamik vereinigt Elektrik, Magnetik und Optik. Sie hat Bestand von 1864 bis heute. Lediglich die Form hat sich verändert, nämlich grundlegend vereinfacht.
3. Aus der älteren Wärmelehre bzw. Phänomenologischen Thermodynamik und der Statistischen Mechanik ging die Statistische Thermodynamik als eine moderne Theorie hervor. Soll man (nur) einen Namen nennen, so ist es Boltzmann.
4. Um 1900 herum war nicht länger zu übersehen, dass Klassische Mechanik und Maxwellsche Elektrodynamik nicht zueinander passen. Von höherer Warte aus ist der Grund klar: Die beiden Theorien haben sehr verschiedene Symmetrieeigenschaften. Experimente bestätigten die Elektrodynamik; eine neue Mechanik musste her. Einsteins Spezielle Relativitätstheorie (SRT) von 1905 löste die Aufgabe. Dabei wurde allerdings das Konzept von Raum und Zeit grundlegend revidiert und im Gefolge die gesamte

Physik umgearbeitet. Raum für sich und Zeit für sich erscheinen von nun an als relative Projektionen einer absoluten vierdimensionalen Welt.

5. Gravitation kann im Rahmen der SRT nicht gut beschrieben werden. Eine umfassendere Theorie musste her. Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie (ART) von 1915 ist eine solche. Sie revidiert ein weiteres Mal das Konzept von Raum und Zeit. Die vierdimensionale Raum-Zeit-Union wird mit einer sogenannten Riemannschen Geometrie versehen. Diese wird dynamisch aufgefasst und mit der Gravitation identifiziert.
6. Die Quantentheorie, die andere Säule der modernen Physik neben der ART, erweist Teilchen einerseits und Welle oder Feld andererseits als zwei Erscheinungsformen der einen physikalischen Materie. Sie leistet noch eine weitere Vereinheitlichung: Chemie wird als Quantenchemie zu einem Teil der Physik.
7. A. Salam und S. Weinberg (Nobelpreisträger 1979) vereinheitlichten die schwache und die elektromagnetische Wechselwirkung.

Ein Erfolg steht in der Regel am Ende einer Kette nicht erfolgreicher Ansätze. Die Wissenschaftstheorie des Kritischen Rationalismus hat diese Dynamik von Versuch und Irrtum untersucht. Ein fairer Bericht sollte gescheiterte Versuche der Vereinheitlichung der Physik berücksichtigen. Scheitern kann dabei heißen: a) Der Theorie-Entwurf widerspricht der Erfahrung oder etablierten Theorien. b) Es mangelt an empirisch überprüfbaren Vorhersagen. c) Das Ziel der Vereinheitlichung wird durch Diversifikation verfehlt.

Wir nennen wichtige Misserfolge in diesem Sinn:

1. Das sogenannte *Einsteinsche Partikelprogramm* will den Dualismus Teilchen versus Feld durch einen Feld-Monismus ablösen [5]. Einstein selbst hatte zwei Vorschläge: Entweder sind Teilchen Singularitäten (d. h. Orte der Unstetigkeit) von Feldern oder aber Teilcheneigenschaften (Konzentration von Energie, Kollisionseigenschaft, ...) werden durch reguläre Felder simuliert. Der zweite Vorschlag wurde realisiert, allerdings recht uneinheitlich. Es gibt inzwischen einen ganzen „Zoo“ von Feldern mit Teilcheneigenschaften: Solitonen, Instantonen, Skyrmeonen, Monopole, Vortices, Geonen, ...
2. Heisenbergs nichtlineare Spinorfeldtheorie von 1958, dargelegt in seinem Buch [10], weckte seinerzeit große Hoffnungen. Im Überschwang sprach man schon mal von einer „Weltformel“. Wenigstens waren mit dem Modell einhergehende Ideen – fundamentales Spinorfeld, Nichtlinearität, gewisse Symmetrien – dauerhafte Anregungen.

3. Das sogenannte *Standardmodell der Elementarteilchenphysik* setzt zwei erfolgreiche Theorien – die von Salam und Weinberg für die schwache und die elektromagnetische Wechselwirkung und die sogenannte Quantenchromodynamik für die starke Wechselwirkung – ohne weiteres Zutun zusammen. Es bewährt sich hervorragend, leistet aber keine Vereinheitlichung. Gesucht ist eine „*Grand Unified Theory (Große Vereinheitlichte Theorie)*“, in der die drei fundamentalen Wechselwirkungen als Manifestationen einer einzigen „Urkraft“ erscheinen. Vorschläge setzen bei der Symmetriegruppe $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$ des Standardmodells an; sie wird zu $SU(5)$, $SO(10)$ oder einer anderen Liegruppe vergrößert. Keiner der Versuche konnte bisher überzeugen.
4. Einsteins ART ist bis heute die am besten empirisch bestätigte Theorie der Gravitation und des Weltbaus im Großen, einerseits. Andererseits gilt sie als theoretisch unbefriedigend. Insbesondere ist einzuwenden, dass nur ein Feld – eben die Gravitation – geometrisiert ist. Tatsächliche oder vermeintliche Mängel der ART ließen zahlreiche alternative Theorien entstehen, in denen mehr physikalische Felder geometrisiert sind. Keine der Alternativen konnte bisher überzeugen.
5. Die größten ungelösten wissenschaftlichen Probleme einer Zeit erhalten das Etikett „*Welträtsel*“. Ein Welträtsel, schon von Einstein attackiert und unerledigt ins 21. Jahrhundert übernommen, ist die Vereinigung von Quantentheorie und Allgemeiner Relativitätstheorie, die einheitliche Beschreibung von Mikrokosmos und Makrokosmos. Die Stringtheorie war ein heißer Kandidat. Es mangelte ihr aber an experimentellen Überprüfungen und sie hat sich unübersehbar verzweigt.

7. Ganzheitlichkeit

In allgemeinerem Zusammenhang außerhalb der Physik sagt man anstatt Einheitlichkeit bevorzugt *Ganzheitlichkeit*. Ganzheitliches Herangehen heißt auch *Holismus*.

Die Fülle von Ganzheitlichkeits-Entwürfen ist zunächst nach dem Grad der Wissenschaftlichkeit zu ordnen. Am unteren Ende stehen weltanschaulich geprägte Lehren, von Goethes Naturphilosophie bis zur Pseudoreligion New Age [7]. Fast immer kritisieren sie andere Theorien und möchten sich dadurch selbst aufwerten. Der Stärke der Polemik steht Schwäche des wissenschaftlichen Ertrags gegenüber. Außerdem relativieren sich Ganzheitslehren gegenseitig durch ihre Diversität.

Am anderen Ende stehen Ansätze im Geist der exakten Wissenschaften. Die Mathematik selbst – dies sei eingeschoben – ist ganzheitlich: Sie wird durch den Mengenbegriff zusammengehalten. Alle mathematischen Begriffe lassen sich heute mengentheoretisch definieren. Die Ganzheitlichkeit der Mathematik liegt nicht auf der Hand; ihre rationalistische Definition deutet nicht darauf hin [15].

Um eine lange Geschichte kurz zu machen: Von allen bisherigen Ganzheits-Konzepten halten wir nur den Systembegriff für erfolgreich und aussichtsreich (Siehe dazu [21]). Die Möglichkeiten einer Allgemeinen Systemtheorie sind allerdings wiederum beschränkt: Sobald Systemtheorie den Stand erreicht, Theoreme zu produzieren, zerfällt sie in Theorien mit spezialisierten Systembegriffen, die übrigens alle stark mathematisiert sind: Regelungstheorie, Signaltheorie, Informationstheorie, Algorithmentheorie, Automatentheorie, Theorie der dynamischen Systeme, Systemtheorie der Gesellschaft, ... So erging es auch der Kybernetik, deren systemtheoretischer Charakter übrigens nicht gleich erkannt wurde. Die Kybernetik wurde sozusagen Opfer ihres Erfolgs; ihre Ansätze sind in nachfolgende Theorien eingegangen. Wegen der Zerfallstendenz kann eine Allgemeine Systemtheorie nur, so behaupten wir, eine philosophische Systemtheorie sein. Tatsächlich gibt es ein starkes Bedürfnis nach einer philosophischen System- und Entwicklungstheorie. Dabei wird oft übersehen, dass es eine solche – allerdings in verkappeter Form – schon gibt, nämlich die Dialektik. Wir schließen uns der These von Herbert Hörz in [14, 15] an, dass Dialektik eine philosophische System- und Entwicklungstheorie ist.

8. Veranschaulichung

Anschaulich heißt begreiflich vermöge bildlicher Darstellung. Es ist zu klären, was hier *bildlich* bedeutet. Ursprünglich ist Bild visuell, optisch, geometrisch gemeint. Es kann sich bewegen. Weiter kann der Sehsinn auf die fünf Sinne erweitert werden. Auch eine Metapher, d. h. Entlehnung und Übertragung eines Begriffs aus einem fernliegenden Bereich, wird als Bild bezeichnet. Damit wird der Bildbegriff wohl zu weit. Wir revidieren deshalb die anfängliche Definition: *Anschaulich* heißt nahe zur alltäglichen Erfahrung, zum Gewohnten, zur realen Lebenspraxis. In dem philosophischen Wörterbuch [9] heißt es zum Stichwort „*anschaulich*“: „... ist insbesondere die konkrete Wirklichkeit. Wissenschaftliche Theorien werden desto unanschaulicher ... je weiter ihr Gegenstand von der alltäglichen Erfahrung entfernt ist.“

Zu Großes, zu Kleines, zu Komplexes ist unanschaulich. Alltag spielt sich im sogenannten Mesokosmos ab, d. h. in moderaten raum-zeitlichen Dimensionen. Der Mikrokosmos, d. h. das extrem Kleine, und der Makrokosmos, d. h. das extrem Große, werden erst durch wissenschaftliche Anstrengungen zugänglich.

Der Mensch ist nur oberflächlich gesehen anschaulich, genauer betrachtet ist er extrem komplex.

Veranschaulichung ist eine Analogie zwischen einem unanschaulichen und einem anschaulichen Sachverhalt, in den Worten von C. F. von Weizsäcker [25] „Beschreibung des Nichtanschaulichen nach dem Bild des Anschaulichen.“

Analogie ist eine Ähnlichkeit zwischen Sachverhalten aus merklich voneinander entfernten Bereichen. Ein *Analogieschluss* ist eine Extrapolation einer Analogie: Ähnlichkeit in gewisser Hinsicht lässt Ähnlichkeit in anderer Hinsicht vermuten. Es handelt sich um eine unexakte Erkenntnismethode.

Veranschaulichung ist keine fakultative Zugabe, sondern wesentliches Element von Wissenschaft. Selbst die schwierigsten Teile der Physik verzichten nicht auf Veranschaulichung [12]. Die Art der anschaulichen Bilder prägt das Profil einer Wissenschaftsdisziplin.

Literatur

- [1] J. D. Barrow: Theorien für Alles. Spektrum, Heidelberg 1992.
- [2] P. Davis, J. Gribbin: Auf dem Weg zur Weltformel. DIV, München 1993.
- [3] A. Einstein: Mein Weltbild. Ullstein, Frankfurt 1955.
- [4] A. Einstein: Aus meinen späten Jahren. Ullstein, Frankfurt 1955.
- [5] A. Einstein, N. Rosen: The particle problem in general relativity theory. Phys. Rev. 48 (1935), 73-77.
- [6] H.-G. Gadamer: Wahrheit und Methode. Mohr-Siebeck, Tübingen 1960.
- [7] A. Harrington: Die Suche nach Ganzheit. Rowohlt, Reinbek 2002.
- [8] G. W. F. Hegel: Wissenschaft der Logik. Erster Teil. Sämtliche Werke IV, S. 150-183.
- [9] R. Hegenbarth: Wörterbuch der Philosophie. Humboldt-Taschenbuchverlag, München 1984.
- [10] W. Heisenberg: Einführung in die einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen. Hirzel, Stuttgart 1967.
- [11] G. Holton: Thematische Analyse der Wissenschaft. Suhrkamp, Frankfurt 1981.
- [12] H. Hörz: Zum Problem der Anschaulichkeit in der Mikrophysik. Wiss. Z. Humboldt-Univ. Berlin 13 (1964), 7-12.

- [13] H. Hörz: Leitbilder der Naturerkenntnis im Umbruch. Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät Berlin 38 (2000), Heft 3, 46-70.
- [14] H. Hörz: Dialektik als Heuristik. *Erwägen, Wissen, Ethik* 17 (2006), 167-176.
- [15] H. Hörz: Materialistische Dialektik. *Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung*. trafo Verlagsgruppe, Berlin 2009.
- [16] H. Hörz, R. Schimming: Die unglaubliche Effektivität der Mathematik in den Wissenschaften. Zur Konzeption eines Rationalen Potentialismus. *Abhandlungen Leibniz-Sozietät der Wissenschaften* 24 (2009), 21-45.
- [17] E. Scheibe: Kant's Apriorism and Some Modern Positions. In: E. Scheibe (ed.): *Conference of the International Academy of Philosophical Sciences 1986*. De Gruyter, Berlin 1988, p. 1-22.
- [18] P. A. Schilpp (Herausg.): *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Vieweg, München 1983.
- [19] R. Schimming: Programme in der Physik. *Greifswalder Philosoph. Hefte* 4 (1985), 63-68.
- [20] R. Schimming: Zum Programm der Geometrisierung der Physik. *Wiss. Z. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald. Math.-Naturw. Reihe* 35 (1986), 40-46.
- [21] R. Schimming: Back to Bertalanffy: the system theoretical approach to biology. *ECMTB Communications* 2003, No. 5, 11-15.
- [22] R. Schimming: Kants a priori, Kuhns Paradigma, Holtons Themata. *Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät Berlin* 69 (2004), 133-143.
- [23] R. Schimming, H. Hörz: Prinzipien der Physik. *Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät Berlin* 101 (2009), 111-133.
- [24] S. Toulmin: *Voraussicht und Verstehen*. Suhrkamp, Berlin 1968.
- [25] C. F. von Weizsäcker: *Zum Weltbild der Physik*. Hirzel, Stuttgart 1958.
- [26] L. Wittgenstein: *Tractatus logico-philosophicus*. Kegan, London 1922.