

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 1

Sammlung aktueller Beiträge aus der
physikdidaktischen Forschung

ISBN 3 - 7896 - 0090 - 3

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1989

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Ernst Kircher

Analogien im Physikunterricht

1. Einleitung

Lehrer müssen im Unterricht zusätzlich Lernhilfen geben, wenn ein Schüler sich einen Sachverhalt nicht vorstellen kann, etwas nicht versteht oder nicht genügend versteht.

Eine Verständnishilfe kann durch einen Vergleich, durch eine Abbildung, durch einen Gegenstand, auch ein Experiment erfolgen. Wir unterscheiden, ob diese Verständnishilfen dem gleichen Realitätsbereich angehören, dem **primären Lernbereich** oder ob die Verständnishilfen einem anderen Realitätsbereich entstammen, einem **analogen Lernbereich**.

Die Entitäten eines **analogen Lernbereichs** können als "Analogien" im Unterricht eingesetzt werden. Im Physikunterricht sind dies: gegenständliche Modelle O^* , die man als Analogmodelle bezeichnet, Modelle und Theorien M^* , die O^* beschreiben und Analogversuche E^* .

Auf den ersten Blick erscheint die Verwendung von Analogien problemlos zu sein, weil nur solche Realitätsbereiche verwendet werden, die dem Lernenden **vertraut** sind: Der Schüler versteht die Analogie sofort, stellt entsprechende Bezüge zum primären Lernbereich her und versteht dann auch diesen besser als zuvor. So stellt man sich idealtypisch den Einsatz von Analogien im Unterricht vor.

Aufgrund des empirisch am besten untersuchten Beispiels des Wasserstromkreises als Analogie des elektrischen Stromkreises, ist aber eher anzunehmen, daß diese notwendige Eigenschaft "Vertrautheit" auch bei anderen im Unterricht verwendeten Analogien zumindest nicht für alle Schüler zutrifft.

Soll der Lehrer für solche Schüler noch weitere Analogmodelle bzw. Analogversuche durchführen?

Ich möchte mit dieser Frage das **lernökonomische Kriterium** ansprechen: Analogien verwenden bedeutet immer einen "Umweg" machen. Dieser Umweg muß angesichts der Lehrpläne vom Zeitaufwand her vertretbar sein oder er muß zusätzliche relevante Lernziele implizieren, deretwegen sich der Zeitaufwand lohnt. Unter dem Gesichtspunkt der Lernökonomie ist eine im Unterricht eher beiläufig erwähnte Analogie unproblematisch. Sorgfältiger Abwägungen bedarf es dagegen, wenn sich die Analogien über einen längeren Zeitraum erstrecken: Lohnt sich dieser "Umweg"?

Ein tieferliegendes Problem, das bisher in der fachdidaktischen bzw. erziehungswissenschaftlichen Literatur noch nicht ausreichend diskutiert wird, entsteht dadurch, daß viele Schüler eine innere Hemmschwelle beim Denken und Arbeiten mit Analogien überwinden müssen. Es scheint den Schülern intuitiv bewußt zu sein, daß die Übertragung von Eigenschaften und Prozessen des einen Realitätsbereichs auf einen anderen weder "logisch", noch aufgrund der Lebenserfahrung plausibel ist. Analogien können im Grunde ja nichts "erklären". Ich habe dies als "ontologisches Problem" der Schüler bezeichnet [1].

Da solche Schüler nur wenig motiviert bzw. motivierbar sind, sich mit Analogmodellen und Analogversuchen überhaupt ernsthaft auseinanderzusetzen, folgt dem ontologischen Problem im allgemeinen ein **psychologisches**.

Schließlich kann bei der Verwendung von Analogien ein **didaktisches Problem** entstehen: Denn zumindest für die Sekundarstufe I ist ein an den Phänomenen orientierter Physikunterricht zu fordern. Diese im Lehrplan aufgeführten Phänomene sind die primären Lernobjekte und nicht die Lernhilfen, - die "Ersatzobjekte". Auch diese Auffassung reduziert die Bedeutung von Analogmodellen und Analogversuchen. Es muß den Schülern stets klar sein, daß Analogmodelle eben nur Ersatzobjekte sind, "Krücken zum Laufen lernen" (s. [1]).

Neuerdings werden Vorschläge gemacht, die intensives Arbeiten mit Analogien propagieren [2], [3], [4]. Die unterrichtsmethodischen Vorschläge werden durch wissenschaftshistorische und lerntheoretische Argumente begründet.

Ob aber durch häufige Verwendung, wie Glynn u.a. [2] meinen, ein sachgemäßer Umgang mit Analogien erreicht wird und damit die oben erwähnten Probleme behoben werden, ist derzeit unklar, da bisher aus empirischen Untersuchungen widersprechende Ergebnisse vorliegen. Wie im folgenden dargestellt wird, halte ich nicht nur aus diesem Grunde BUNGES Mahnung nach wie vor für berechtigt: Analogien gebären genauso viele Monster wie gesunde Babies [5]. Daher: Vorsicht bei der Verwendung von Analogien im Physikunterricht!

2. Analogien in den Naturwissenschaften

Die Bedeutung von Analogien wurde im Verlaufe der geschichtlichen Entwicklung der Naturwissenschaften unterschiedlich beurteilt.

Johannes KEPLER (1571-1630) war von der großen Bedeutung von Analogien überzeugt. Seine Auffassung von der Harmonie der Welt prägte auch seine

naturwissenschaftlichen Arbeiten; Ähnlichkeiten mußten auch zwischen verschiedenen Realitätsbereichen bestehen. Kannte man die Zusammenhänge eines Realitätsbereichs, konnte man sicher sein, auch in anderen Realitätsbereichen ähnliche oder sogar gleiche ordnende Strukturen zu finden. KEPLER sah beispielsweise zwischen der damals bekannten Anzahl der Planeten und der gleichen Anzahl regelmäßiger Polyeder einen tiefen auf die Harmonie der Welt hinweisenden Zusammenhang.¹

Wie zahlreiche autobiografische Berichte erfolgreicher Naturwissenschaftler zeigen, erweisen sich Analogien als Vorstellungen oder Vorstellungsbilder bei einigen von ihnen als außerordentlich fruchtbar für neue Hypothesen. So soll beispielsweise der Traum von einer sich in den Schwanz beißenden Schlange den Chemiker KEKULÉ dazu gebracht haben, die ringförmige Struktur des Benzols zu entdecken. Die wichtige heuristische Funktion von Analogien im Sinne von Vorstellungen oder Vorstellungsbildern war wohl nie bestritten.

Unterschiedlich beurteilt wird die Verwendung von Gegenständen O^* und Modellen M^* eines bekannten ja vertrauten oder vermeintlich vertrauten Realitätsbereichs für die Erforschung eines unbekanntes bzw. bestimmten Subjektes unbekanntes Realitätsbereichs O .

So wurden bekanntlich im 19. Jahrhundert viele mechanische Modelle zum besseren Verständnis elektrischer Phänomene gebaut. In dieser Zeit wurde von Wissenschaftlern wie LORD KELVIN angenommen, daß alle Phänomene letztendlich durch mechanische Theorien zu erklären sind. Die mechanischen Analogmodelle standen dem Ursprung aller Phänomene näher als die elektrischen Erscheinungen, die man für eine Art sekundärer Qualität hielt.

Kritik an der Verwendung derartiger Analogmodelle erhob Pierre DUHEM (1908). Er sprach abfällig von der "englischen Physik", die u.a. dadurch charakterisiert sei, daß sie ständig mit mechanischen Modellen arbeitet (s. [7]).

"Vor uns liegt ein Buch, das die modernen Theorien der Elektrizität darlegen will. Es ist darin nur die Rede von Seilen, die sich auf Rollen bewegen, sich um Walzen winden, durch kleine Ringe hindurchgehen und Gewichte tragen, von Röhren, deren manche Wasser aufsaugen, andere anschwellen und sich wieder zusammenziehen, von Zahnrädern, die ineinander greifen oder an Zahnstangen geführt werden; wir glaubten in die friedliche und sorgfältig geordnete Behausung der deduktiven Vernunft einzutreten, und befinden uns in einer Fabrik."([7], s. 88).

Auch für DUHEM ist offensichtlich, daß von Analogmodellen fruchtbare Hypothesen für die Forschung ausgehen können. Er merkt jedoch an: "Der Teil der Ausbeute,

den sie² zu der Menge unserer Kenntnisse hinzugefügt hat, scheint recht mager zu sein." ([7], 128). HESSE (s. [8], 115 ff.) untersuchte "die Logik von Analogien".

Ihre Frage lautete: Gibt es rationale Gründe dafür, sich eher für Hypothesen aus einem "analogen" Realitätsbereich zu entscheiden als für beliebige andere Hypothesen?

Diese wissenschaftstheoretische Analyse befaßt sich insbesondere mit der induktiven Unterstützung einer Hypothese aus dem analogen Bereich und damit zusammenhängend mit der möglicherweise größeren Wahrscheinlichkeit dieser Hypothese. HESSE kommt zu dem Ergebnis, daß eine induktive Unterstützung für Analogien nur im Sinne einer umstrittenen Induktionslogik und das auch nur für einfache Fälle möglich ist.

Der Versuch, die Wahrscheinlichkeiten von naturwissenschaftlichen Hypothesen zu berechnen, insbesondere die Wahrscheinlichkeiten von Hypothesen über einen anderen "ähnlichen" Realitätsbereich, führt insgesamt zu einem negativen Ergebnis (vgl. [8], S. 130).

Die für solche Berechnungen notwendigen erkenntnistheoretischen Voraussetzungen über die Realität, wie z.B. die Abzählbarkeit naturwissenschaftlicher Entitäten können für den Fall isomorpher Abbildungen zutreffen; aber wir wissen, daß dieser Fall in den Naturwissenschaften das unerreichbare Ideal ist.

Liegen, wie etwa im kritischen Realismus angenommen, bestenfalls homomorphe Abbildungen³ vor, kann den aus dem analogen Realitätsbereich gewonnenen Hypothesen keine Sonderstellung eingeräumt werden. Derartige Wahrscheinlichkeitsberechnungen sind schlicht unsinnig.

HESSE hält es für sehr zweifelhaft, ob irgendein wissenschaftstheoretisches System gefunden werden kann, das das analoge Argument rechtfertigt und das auch annehmbar ist, weil es einfacher ist und auf plausibleren Voraussetzungen beruht als das Argument selbst (vgl. [8], 127). Die allgemeine Frage, ob "Modelle" aus logischer Sicht wesentlich für wissenschaftliche Theorien sind, beantwortet sie mit "im allgemeinen Nein, wenn mit Modellen materielle Analogien⁴ gemeint sind". Auch als Hypothese sind die Gesetze eines analogen Lernbereichs anderen Hypothesen nicht vorzuziehen. Nur wenn die Erfahrung dafür spricht, daß die bekannten Unterschiede zwischen dem zu erforschenden primären Bereich (O, M, E) und dem analogen Bereich (O*, M*, E*) vernachlässigbar sind, wird ein Naturwissenschaftler die Hypothese aus (O*M*E*) anderen Hypothesen vielleicht vorziehen. Aber er muß es nicht. Denn aus der Perspektive, die Naturwissenschaften als historische Traditionen zu betrachten, könnte es durchaus erfolgreicher sein, kontrainduktiv

suchungen dieser Hypothesen durch Experimente E in diesem primären Lernbereich grundsätzlich nicht verzichtet werden, also auch dann nicht, wenn sie im analogen Lernbereich schon durch Experimente E* bestätigt wurden. Einige dieser Hypothesen werden sich im primären Lernbereich als zutreffend und daher nützlich erweisen, andere als falsch (s. Abschnitt 2).

3. Die Schnittmenge des Modells M* und des Modells M ist stets kleiner als M bzw. M*, wenn O und O* verschiedenen Realitätsbereichen angehören, wie hier vorausgesetzt. Das bedeutet dann auch, daß das primäre Lernobjekt O nur in begrenzter Weise mit Hilfe des Modells M* des analogen Realitätsbereichs beschrieben werden kann. Der Schüler muß die Grenzen des Modelles lernen.

Also: Viel zu aufwendig und schade um die Zeit?

4. Bedingungen an Analogien

Der oben angeführte Gesichtspunkt der Lernökonomie führt nicht zur generellen Ablehnung von Analogien in Lehr-/Lernprozessen. Wie erwähnt haben Analogien eines vertrauten Realitätsbereichs in der Geschichte der Naturwissenschaften bei der Forschung eines anderen, bis dahin unbekanntem Realitätsbereichs eine wichtige Rolle gespielt, auch wenn man schließlich auf Grenzen der Analogie gestoßen ist. In dieser **heuristischen Funktion** können Analogmodelle auch eine Rolle im Physikunterricht spielen, als Hypothesen. Insgesamt darf aber die Forschungssituation nicht mit Lehr-/Lernsituationen verwechselt werden. Denn im Physikunterricht müssen Analogien, insbesondere zeitaufwendige Analogmodelle und Analogversuche trotz des oben skizzierten Umweges noch **lernökonomisch** sein. Ein lernökonomischer Einsatz ist im wesentlichen an drei Bedingungen geknüpft.

1. Das Objekt O* muß **vertrauter** und **leichter zugänglich** als O sein, es muß anfaßbar sein. Ferner sollen auf einer sinnlich intuitiven Ebene **Ähnlichkeiten** zwischen O und O* bestehen, also: der Wasserstromkreis soll äußerlich ähnlich dem elektrischen Stromkreis sein, **gestaltähnlich**.

Diese Bedingung bedeutet, daß der Schüler gewisse Vorstellungen \hat{M} aufweist, die eher auf die physikalischen Entitäten von O* zutreffen als auf die physikalischen Entitäten von O. Diese Vorstellungen \hat{M} müssen nicht identisch mit M* sein, obwohl dieser Fall günstig für die Anwendung von M* als Lernhilfe wäre.

Wenn die Vorstellungen \hat{M} allerdings wenig mit M* zu tun haben, möglicherweise sogar ganz andersartig sind, wäre zu fragen, ob man M* im Unterricht verwenden soll. Denn diese Vorstellungen \hat{M} können sehr stabil sein und das Lernen von M* erschweren. Das didaktische Problem läßt sich mit AUSUBELs Kognitionstheorie

noch etwas genauer diskutieren ([10], S. 97 ff.). Hier sei nur soviel erwähnt, daß das gewünschte langfristige Behalten von M^* nach Interaktion mit den Schülervorstellungen \hat{M} unter anderem davon abhängt, ob \hat{M} bedeutungsvoller und allgemeiner ist als M^* , ob \hat{M} in M^* subsumierbar ist, wie klar und stabil \hat{M} in der kognitiven Struktur verankert ist bzw. wie klar und stabil M^* in der kognitiven Struktur etabliert werden kann.⁷ Wegen der Komplexität des Lernprozesses ist die Frage, ob diese Bedingung erfüllt ist, derzeit nur empirisch zu bestimmen, indem Listen aufgestellt werden über die "Ähnlichkeit" und "Vertrautheit" spezifischer analoger Lernbereiche und die darüber vorkommenden Schülervorstellungen.

2. Zwischen den theoretischen Modellen M und M^* sollen in wesentlichen Bereichen "Entsprechungen" (formale Analogien) bestehen. Das bedeutet, daß die Schnittmenge zwischen M und M^* möglichst groß ist und daß die für den Physikunterricht relevanten Zusammenhänge formal analog sind. Dann nämlich könnte der Schüler einfach von M^* zu M überwechseln und dort entsprechende "Erklärungen" und "Voraussagen" machen. Dazu muß der Schüler aber nicht nur zuvor M^* gelernt und vom Lehrer die Information erhalten haben, daß sich wesentliche Bereiche von M und M^* entsprechen. Er muß darüberhinaus auch über die Fähigkeit verfügen, formal zu denken. Das Vorhandensein von gesetzmäßigen "Entsprechungen" zwischen M und M^* erscheint als eine notwendige Bedingung für die Anwendung von umfassenden analogen Lernbereichen, wie den Wasserstromkreis. Ist diese Bedingung auch hinreichend? Ich nehme an "nein", weil einem Schüler auch solche sinnlichen Gegebenheiten und theoretische Zusammenhänge in den Blick geraten, die sich nicht entsprechen, die andere Realität, die Grenzen der Analogien. Der Schüler muß dann auch über seine Zweifel hinweggehen können, ob dieser Umgang mit der Realität und ihren Gesetzen auch sinnvoll und methodisch legitim ist.

3. Analogversuche E^* dienen der Veranschaulichung von nicht unmittelbar beobachtbaren Vorgängen im Mikro-Bereich und von schwer verständlichen Vorgängen, die i.allg. mit komplizierten mathematischen Gleichungen beschrieben werden. Auch sehr rasch oder sehr langsam ablaufenden Vorgänge werden unter bestimmten Umständen durch Analogversuche transparent, wenn der Zeitablauf von E^* den menschlichen Beobachtungsvermögen angepaßt ist. Die naheliegende Bedingung für die Verwendung von Analogversuchen ist also, gleichartige Versuche im analogen Lernbereich durchzuführen. Dies ist aber im allgemeinen nicht möglich.

Betrachten wir die Versuche E und die Analogversuche E^* . Diese Versuche sind

wegen der Verschiedenartigkeit von O und O* ebenfalls und zwar in mehrerer Hinsicht verschieden. Sollen beispielsweise an O elektrische Phänomene, an O* hydrodynamische Phänomene untersucht werden, so muß man verschiedenartige Meßgeräte verwenden, deren Bedienung auch verschiedenartige Handlungen erfordern. Diese Handlungen können als implizite Prozeßziele relevant oder irrelevant sein. Bei einer didaktischen Analyse wird man feststellen, daß die mit dem elektrischen Stromkreis zusammenhängenden Prozeßziele wichtiger sind etwa für den Hobbybereich oder für den späteren Beruf als die entsprechenden Operationen im Wasserstromkreis.

Insgesamt ist festzustellen, daß i.allg. die in Analogversuchen implizierten Prozeßziele eine geringere Bedeutung haben, sonst hätte man sie ja von vornherein als primären Lernbereich in den Physikunterricht aufgenommen. Die Bedeutung von Analogversuchen bleibt daher i.allg. bloß auf die eines Mediums, einer Lernhilfe, beschränkt. Diese soll selbstverständlich möglichst für alle Schüler **attraktiv** sein, möglichst **keine überflüssigen Prozesse und Eigenschaften** aufweisen und das **relevante Phänomen** möglichst klar und deutlich zeigen.

Mit Skepsis betrachte ich ausgedehnte quantitative Versuchsreihen mit Analogversuchen, weil durch die länger andauernde Beschäftigung mit dem analogen Lernbereich das primäre Lernobjekt aus dem Blickwinkel der Schüler verdrängt wird. Ich meine **qualitative Analogversuche** sind i. allg. überzeugender. Sie können einen Vorgang und den entsprechenden Begriff auf das Wesentliche konzentriert, lernökonomisch, vielleicht sogar in überraschender Weise erläutern, wie etwa der "Mausefallenversuch", der den Ausdruck "Kettenreaktion" in der Kernphysik verblüffend illustriert.

5. Probleme der Schüler mit Analogien

Bei der Verwendung eines analogen Lernbereichs treten für Schüler verschiedene Probleme auf, die wahrscheinlich mit der Verschiedenartigkeit der beiden Realitätsbereiche und den Grenzen des Modells zusammenhängen.

So erkennt beispielsweise nach einer Studie von WILKINSON ein Drittel der 12-jährigen Schüler (11 von 33 Schülern) **keine** Analogie zwischen Wasserstromkreis und elektrischem Stromkreis. Ein Schüler formuliert das so: "Man kann das Wasser im Rohr sich bewegen sehen und man weiß nicht, was die Elektrizität tut" (s. [11], S. 15)⁸. Verschiedene "Dinge" verhalten sich verschieden, das ist die Lebenserfahrung. Das "ontologische Problem" der Schüler besteht darin, daß nun im

Physikunterricht auch solche, bisher als verschieden erlebte Realitäten, ähnliche Strukturen haben sollen, obwohl sie nach der bisherigen Erfahrung offensichtlich ganz verschieden sind, nichts miteinander zu tun haben wie Wasser und Elektrizität. Nur der gewitzte Schüler kommt auf die Idee, daß der Lehrer nur solche Lernobjekte präsentiert, bei denen nach Auffassung des Lehrers für die Lernsituation relevante Zusammenhänge bestehen. Dieser Schüler wird die schulisch angepaßte Antwort auch dann geben, wenn er um die verwirrende Vielfalt der Welt weiß und daher das Ansinnen des Lehrers als weltfremd, für das Problem irrelevant, für "typisch Schule" hält.

In WILKINSONs Studie sind es etwa ein Viertel der Schüler, die die Wasseranalogie verwenden, aber nur zwei Schüler verwenden sie richtig. Der Umweg über das Wassermodell scheint sich nicht zu lohnen.

Bei der Verwendung von Analogmodellen ist auch mit **Motivationsproblemen** zu rechnen, wenn sich die Schüler über einen zu langen Zeitraum mit diesen Ersatzobjekten befassen müssen, die sie für die eigentlichen Unterrichtsziele für irrelevant halten. Hinzu kommt, daß bei einer intensiven Beschäftigung mit Analogmodellen es zu einer Verschiebung der Lernziele kommt. Aus dem Ersatzobjekt wird gewollt oder ungewollt ein primäres Lernobjekt. Für den Lehrer bedeutet dies das **didaktische Problem** von Analogien.

Aus lernökonomischen und physikdidaktischen Gründen plädiere ich nicht für eine häufigere und gründlichere Verwendung von analogen Lernbereichen im Physikunterricht. Der weitaus größte zeitliche Anteil des Unterrichts muß dem Verständnis des primären Lernbereichs dienen. Das mag in manchen Fällen auch über den "Umweg" eines analogen Lernbereichs gelingen. Analogien im Physikunterricht? - ja, - aber dann: knapp und pointiert.

Literatur:

- [1] KIRCHER, E.: Allgemeine Bemerkungen über Analogmodelle und Analogversuche im Physikunterricht. Phys.did. 8, 1981, 157-173.
- [2] GLYNN, S.M. u.a.: Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. 1987. To a paper in: GLOVER, J.A. u.a. (Eds): Handbook of creativity: Assessment, Research and Theory. New York: Plenum.
- [3] KLINGER, W.: Die Rolle der Analogiebildung bei der Deutung physikalischer Phänomene. In: KUHN, W. (Hrsg.): Didaktik der Physik. DPG 1987 (Berlin). Gießen, 1987, 326-333.

- [4] DUIT, R.: On the Role of Analogies, Similes and Metaphors in Learning Science. Paper IPN Kiel, 1988
- [5] BUNGE, M.: Method, Model and Matter. Dordrecht/Holland: Reidel Publ. Comp., 1973.
- [6] DIJKSTERHUIS, E.J.: Die Mechanisierung des Weltbildes. Berlin: Springer, 1983².
- [7] DUHEM, P.: Ziel und Struktur physikalischer Theorien. Hamburg: Meiner, 1978 (Nachdruck 1908).
- [8] HESSE, M.: Models and analogies in science. London: Clowes, 1963.
- [9] FEYERABEND, P.K.: Wider den Methodenzwang. Frankfurt: Suhrkamp 1986.
- [10] AUSUBEL, P.D.: Psychologie des Unterrichts. Weinheim: Beltz, 1974.
- [11] WILKINSON, D.J.: A Study of the development of Flow with Reference to the Introduction of Electric Current in the early years of the Secondary School. M.A. research Exercise Leeds, 1972.
- [12] KIRCHER, E.: Analogies for the electric circuit? In DUIT, R.; JUNG, W.; v. RHÖNECK, Chr. (Eds): Aspects of understanding electricity. IPN Arbeitsberichte 59, Kiel, 1985.

Anmerkungen:

- ¹ Auf KEPLERS Weltbild hatten neben christlich-deistischen auch platonisch-mathematische Ideen einen beträchtlichen Einfluß (vgl. [6], 337 ff.).
- ² Gemeint ist die Anwendung mechanischer Analogmodelle.
- ³ Homomorphe Abbildungen sind weder transitiv noch intransitiv. Diese Unsicherheit erlaubt keine logischen Folgerungen, daß physikalische Gesetze des einen Realitätsbereichs auch in anderen Realitätsbereichen gelten. Bewährte Gesetze des bekannten Realitätsbereiches sind in einem anderen unbekanntem Realitätsbereich nur Hypothesen, die wie alle anderen Hypothesen auch experimentell untersucht werden müssen.
- ⁴ Die Bezeichnung "materielle Analogie" entspricht hier der Ausdrucksweise "analoger Realitätsbereich O*" bzw. "Analogmodell".
- ⁵ Dieses Argument wird insbesondere von FEYERABEND (s. [9]) vertreten.
- ⁶ Solche Entsprechungen sind formale Analogien (s. [5]). Sie unterscheiden sich von den bisher diskutierten Analogien dadurch, daß sie isomorph, das heißt u.a., daß sie transitiv sind.

- ⁷ Der Sachverhalt ist hier noch vereinfacht dargestellt: Nach einer Interaktion ($\hat{M} M^*$) erhält man das Interaktionsprodukt ($\hat{M} M^*$) (vgl. [10], S. 104 f.), d.h. daß sowohl M als auch M* sich durch diesen Lernprozeß im Subjekt verändern.
- ⁸ Vgl. die zusammenfassende Darstellung über empirische Untersuchungen zum Wasserstromkreis von [12].