

LERNEN
IN DER KOMPLEMENTARITÄT VON
AUTOPOIESE UND EVOLUTION¹

ZUR KONSTRUKTIVISTISCHEN ANEIGNUNG DES WECHSELWIRKUNGSBEGRIFFS

Wilhelm T. Wolze

Einleitung

Die neuere Didaktik zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine konstruktivistische Sichtweise zunehmend ins Zentrum ihrer Forschung rückt. Dieser Auffassung gemäß wird Lernen als Entwicklungsprozess angesehen, in dem die lernenden Subjekte ihre (Erkenntnis-)Systeme selbst konstruieren. Information wird in einem aktiven Prozess selbst entwickelt (Selbstorganisation von Information); der Informationsaustausch zwischen Subjekten ist ein Prozess der Re-Konstruktion. Demgemäß ist das Subjekt informationell nicht einfach offen; es ist in gewisser Hinsicht offen und in gewisser Hinsicht auch geschlossen. Die Auffassung des Verhältnisses von Offenheit und Geschlossenheit hängt vom jeweiligen Theorieansatz ab. Eine extreme Position nimmt der radikale Konstruktivismus ein.

Die Hauptaktivitäten dieser didaktischen Strömung liegen auf dem Gebiet der empirischen Untersuchungen zu den Schülervorverständnissen² bzw. lebensweltlichen Paradigmen der Schüler. Die Entwicklung naturwissenschaftlicher Begriffe aus den lebensweltlichen Paradigmen ist dagegen nur relativ wenig bearbeitet worden. Um insbesondere auch diese Probleme effektiver angehen zu können, gilt es die Beziehung zwischen informationeller Offenheit und Geschlossenheit konkreter theoretisch zu erfassen. Als theoretische Basis – die im Folgenden aber weitestgehend implizit bleibt – liegt ein Integrationsansatz des multidisziplinären Selbstorganisationsparadigmas mit der Tätigkeitstheorie zugrunde. Die Begriffe des funktionellen Systems und der pragmatischen Information bilden hierbei Bindeglieder (vgl. hierzu /20/).

Das Hauptziel der folgenden Erörterung besteht primär nicht in der Lösung eines speziellen Lern- oder Aneignungsproblems. Am Beispiel der Aneignung des Wechselwirkungsbegriffs soll vielmehr die Entwicklung des Neuen aus dem lebensweltlichen Paradigma der Mechanik aufgezeigt werden, wie es sich über eine modellierende Information (Vorstellung) herausbildet, welche wesentlichen Entwicklungsphasen zu differenzieren sind und welche spezifischen Methoden bzw. Argumentformen mit diesen Phasen korrespondieren.

Die Ausgangsbasis dieser Entwicklung bildet das lebensweltliche Paradigma³ für die Bewegungsvorgänge materieller Körper. Wesentliche Charakteristika dieses Paradigmas sind durch internationale empirische Untersuchungen bestimmt. Für die folgende Erörterung werden im wesentlichen die Ergebnisse von W. Jung /5/ , W. Jung, H. Wiesner, P. Engelhardt /6/

und H. Schecker /13/ herangezogen. Um die konstruktivistische Dimension des Lernens etwas expliziter darstellen zu können, wird zunächst der Begriff der pragmatischen Information erörtert.

1. ZUM BEGRIFF DER PRAGMATISCHEN INFORMATION

Die Wechselwirkung zwischen Subjekt und Objekt(-system) stellt sich aus der Sicht des Selbstorganisationsparadigmas als Koevolution zwischen dem Subjekt und einem (sozialen und natürlichen) Umgebungssystem dar, die für das Subjekt konstitutiv ist. Subjekt und Objekt entwickeln sich simultan, vermittelt durch die Tätigkeit.

Mit diesem erkenntnistheoretischen Ansatz wird weder die Annahme absoluter Apriori des erkennenden Subjekts noch die Existenz einer absoluten Realität verbunden.⁴

Wenn nun Lernen im Sinne der Aneignung gesellschaftlichen Wissens auch als Entwicklung angesehen wird, so sind die Charakteristika dieses Prozesses im Kontext des wechselseitigen Bedingungsverhältnisses von Subjekt und Umgebungssystem zu analysieren. Die Entwicklung ist also von außen bedingt, sie ist eine komplementäre Einheit von **Selbstentwicklung** und **Entwickeltwerden**. Selbstentwicklung ist damit nicht ohne Entwickeltwerden möglich. Dem komplementären Charakter entsprechend sind es gerade Momente des Entwickeltwerdens, z. B. in Form von Orientierungen durch den Lehrer, die erst eine spezifische Selbstentwicklung ermöglichen. In umgekehrter Richtung bestimmt das Ergebnis der Selbstentwicklung neue mögliche Momente des Entwickeltwerdens. Auf diesen Zusammenhang ist die Lehr-Lern-Methodik zu beziehen. Sie lässt sich umgangssprachlich auf die Formel bringen: Hilf mir, mir selbst zu helfen.

Das Bedingungsverhältnis von Selbstentwicklung und Entwickeltwerden hängt eng mit dem von Offenheit und Geschlossenheit zusammen. Dies betrifft speziell den Informationsaustausch. Eine (aktuelle) Information (von außen) enthält für das Subjekt ein Moment des Entwickeltwerdens. Es bedingt Möglichkeiten der Selbstentwicklung, die sowohl von der emotionalen Bewertung als auch von der vorhandenen Informationsstruktur (potentielle Information, Erkenntnisstruktur) des Subjekts abhängt. Die Verarbeitung dieser Information - ein Prozess der Integration und Differenzierung - führt zu neuen Informationsstrukturen. "Information ist nur, was Information erzeugt" /17/, 352).

Zur Beschreibung dieser Entwicklung greifen wir auf E. v. Weizsäckers Explikation des Begriffs der **pragmatischen Information** zurück /18/. Eine Botschaft, die als Information bezeichnet werden kann, muss zum einen verstanden werden, d. h. ein Stück in die vorhandene Informationsstruktur integrierbar sein und zum anderen Neues enthalten. Die erste Dimension nennt v. Weizsäcker Bestätigung und die zweite Erstmaligkeit. Beide Dimensionen sind komplementär aufeinander bezogen. Eine Botschaft ohne Erstmaligkeit besitzt genauso wenig eine Information wie eine Botschaft ohne Bestätigung. Jedem Verhältnis von Erstmaligkeit und Bestätigung ordnet v. Weizsäcker einen quantitativen Wert zu (vgl. Abb. 1).

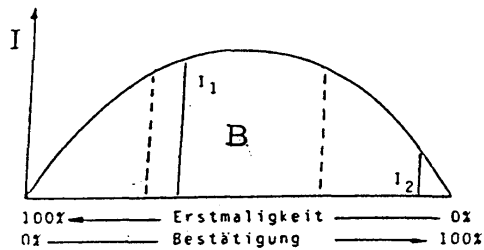


Abb. 1

Die Kurvenpunkte der Abb. liefern jeweils die maximal ausschöpfbaren Informationswerte für das betreffende Verhältnis von Erstmaligkeit und Bestätigung. Zur Deutung des Kurven-Maximums greifen wir auf eine Eigenschaft der Theorie der pragmatischen Information zurück, nämlich die Erfassung der Beziehung zwischen Information und Verhaltensänderung. Eine solche Veränderung setzt neue Antizipationsmöglichkeiten und einen erweiterten oder anderen operativen Gehalt voraus. Beides lässt sich zum einen nur durch hinreichend hohe Erstmaligkeit realisieren. Zum anderen ist für eine solche Veränderung notwendig, dass die Information nicht zu abstrakt, also hinsichtlich bestimmter Dimensionen hinreichend konkret ist. Denn anderenfalls wäre sowohl das operative Moment als auch das Repräsentationsmoment (abbildende Moment) der Information nicht ausreichend entwickelt. Die neue Information bildet für solche Fälle kein hinreichendes, effektives Mittel für die Tätigkeit. Die Annahme des Informationsmaximums bei der Balance von Erstmaligkeit und Bestätigung ist wohl plausibel, enthält aber dennoch einen stark hypothetischen Charakter. Ausgehend von wissenschaftstheoretischen Analysen zur Theoriendynamik kann jedoch angenommen werden, dass die Beziehung von Erstmaligkeit und Bestätigung derart ist, dass die neue Information mit den allgemeinen, fundamentalen Prinzipien des vorhandenen Paradigmas im Wesentlichen verträglich ist. Solche Informationen werden zu den normalwissenschaftlichen Ergebnissen gerechnet, die unter Verwendung des Paradigmas als Mittel der Tätigkeit gewonnen werden. Im Extremfall vermögen sie eine gewisse Modifikation des Paradigmas einzuleiten, es wird jedoch nicht derart transzendiert, wie dies bei den Anomalien der Fall ist.

Die autopoietische Phase zeichnet sich dadurch aus, dass die allgemeinen Informationsstrukturen erhalten bleiben. D.h. aber, dass die Erstmaligkeit nicht wesentlich höher als diejenige des Informationsmaximums ist (vgl. Abb. 1). Diejenigen Informationen, die Lösungsergebnisse relevanter Probleme dieser (Lern-)Phase sind, liegen in einem Bereich um das Informationsmaximum. Eine Information I aus diesem Bereich lässt sich nicht kumulativ aus Informationen I_2 mit hoher Bestätigung und geringer Erstmaligkeit gewinnen. Das gilt für die Produktion von Information in der wissenschaftlichen Tätigkeit ebenso wie beim Aneignen dieser Information in der Lerntätigkeit. Als relativ plausible Hypothese lässt sich damit formulieren:

Wird in der autopoietischen Phase der Lerntätigkeit das Moment des Entwickeltwerdens auf die Realisierung und Entfaltung der Selbstentwicklung ausgerichtet, so findet das Lernen im Bereich B um das Informationsmaximum statt.

Das Lernen im Bereich um das Informationsmaximum impliziert eine Organisation des Wissens derart, dass antizipatives und selbstreferentielles Lernen möglich wird und verschiedene Wissensformen vom lernenden Subjekt integrierbar werden. Vorausgesetzt ist eine Organisation des Lehr-Lernprozesses, durch die das Entwickeltwerden auf die Selbstentwicklung funktionalisierbar wird, wie dies auch dem pädagogischen Konzept der Selbsttätigkeit entspricht.

Die Hauptentwicklungsrichtung bei der Produktion von Informationsstrukturen in der autopoietischen Phase ist ein Spezialisierungsprozess. Diese Entwicklungsrichtung kehrt sich in der **evolutionären Phase** um. Die Produktion von Informationsstrukturen ist hier im Wesentlichen ein Verallgemeinerungsprozess. Die entstehende Information besitzt in dieser Entwicklungsphase hohe Erstmaligkeit und geringe Bestätigung. Damit ist weder die operative noch die repräsentative (abbildende) Dimension weit entwickelt: die Information bildet noch kein effektives Mittel der Tätigkeit und ist damit auch gering. Für eine Weiterentwicklung zu einem effektiven Mittel ist es notwendig, Erstmaligkeit in Bestätigung zu transformieren. Dies kann durch Reduktion der Erstmaligkeit auf Bestätigung geschehen. Die durch die neue Information eingeleitete Fluktuation ist durch negative Rückkopplung gedämpft und die autopoietische Struktur bleibt erhalten. Die Gründe hierfür können auf der Erkenntnisseite oder aber auf der Seite der emotionalen Bewertung, der Sinnseite liegen, die zu bewussten oder unbewussten Uminterpretationen führen (vgl. Abb. 2). Solche Reduktionen kommen im schulischen Lernen häufig vor. Sie verhindern die adäquate Aneignung neuer Paradigmen.

Die zweite Möglichkeit, Erstmaligkeit in Bestätigung zu transformieren, besteht darin, durch Selbstorganisation von Information eine neue autopoietische Struktur aufzubauen. Beide Möglichkeiten werden im folgenden am Beispiel der Entwicklung des Kraftbegriffs diskutiert.

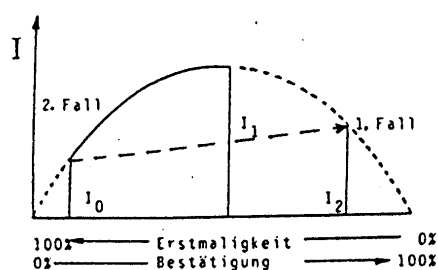


Abb. 2

1. Fall: Transformation von I_0 in I_2 durch Reduktion von Erstmaligkeit auf Bestätigung
2. Fall: Transformation von I_0 in I_1 durch Selbstorganisation von Information.

2. CHARAKTERISTIKA DES LEBENSWELTLICHEN PARADIGMAS DER MECHANIK

Theoretische wie empirische Analysen führen zu dem Ergebnis, dass die lebensweltliche Erkenntnis eine relative Eigenständigkeit bzw. Eigenfunktionalität besitzt. Diese Teilfunktion gilt es mit derjenigen der wissenschaftlichen Erkenntnis zu integrieren, wobei sich beide Teilfunktionen

spezifisch ausdifferenzieren. Die Eigenfunktionalität der lebensweltlichen Erkenntnis liegt in Systembildungen, die der unmittelbaren Orientierung des Subjekts in einer komplexen Umgebung entsprechen. Hierauf ist die lebensweltliche Begriffsbildung funktionalisiert. Begriffsbildungen, die dieser Funktion widersprechen, werfen Sinnprobleme auf, wenn nicht gleichzeitig die Funktion der neuen Begriffe explizit wird. Diese Verhältnisse lassen sich empirisch begründen. Als Grundlage für die folgende Darstellung dient im wesentlichen Scheckers Untersuchung (vgl. /13/340-343):

(1) Ergebnisse auf der Ebene der einzelnen Begriffe

a) Kinematische Begriffe

Geschwindigkeit: absolute Eigenschaft der Bewegung (Außerachtlassung des Bezugssystems), Reduktion auf den Betrag (die Richtung wird als zusätzliche Eigenschaft der Bewegung angesehen), Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit werden kaum differenziert.

Beschleunigung: absolute Eigenschaft, Reduktion auf den Betrag, hohe Endgeschwindigkeit ist ein Kriterium für große Beschleunigungen, die Beschleunigungszeit ist eine sekundäre Angabe und kann durch die Beschleunigungsstrecke ersetzt werden, eine Richtungsänderung wird nicht als Beschleunigung aufgefasst.

(b) Dynamische Begriffe:

Kraft ist allgemeine Wirkursache von Veränderungen, Körper können Kraft haben, Kraft ausüben, Kraft erfahren, Kraft verbrauchen; Energie, Impuls und Kraft werden nicht differenziert, sondern als verschiedene Erscheinungsformen der Wirkursache angesehen.

Definition: Körper, die Kraft haben, sind aktive Körper. Körper, die keine Kraft haben, sind passive Körper.

(2) Ergebnisse auf der Ebene der Prinzipien bezüglich der Bewegungsvorgänge.

(a) Aktiv-Passiv-Prinzip:

Ein aktiver Körper besitzt die Potentialität, eine Kraft auf einen anderen Körper ausüben zu können; ein passiver Körper besitzt die Potentialität, seiner Bewegung einen Widerstand entgegenzusetzen.

(b) Bewegungsprinzip:

Ein Körper bewegt sich g. d. w. die resultierende Kraft auf diesen Körper größer ist als die Widerstände. Die Bewegungsrichtung ist gleich der Richtung der resultierenden Kraft.

(c) Verbrauchsprinzip:

Eine gespeicherte Kraft wird bei der Überwindung der Widerstände verbraucht.

(d) Speicherprinzip:

Ein bewegter Körper besitzt eine Kraft, die von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit abhängt.

(3) Ergebnisse auf der Ebene allgemeiner Prinzipien der Kontexteinordnung

Zweck-Verursacher-Prinzip

Bewegungen besitzen einen (menschlichen oder technischen) Verursacher und einen Zweck.

Betrachtet man ausschließlich die ersten beiden Ebenen, so ist man geneigt anzunehmen, durch geeignete Korrekturen relativ schnell zur physikalischen Begrifflichkeit überleiten zu können. Denn diese Entwicklung sieht eher nach einer Paradigmenmodifikation als nach einem Paradigmenwechsel aus. Daher ist die Meinung verständlich, hier durch präzise Begriffsbildung zum physikalischen Wissen gelangen zu können. Die Tatsache jedoch, dass die (sog.) Präkonzepte auch nach den Leistungskursen mit den physikalischen Gesetzen konkurrenzhaft koexistieren, deutet auf einen nicht-trivialen Paradigmenwechsel hin. Im Gegensatz zu den physikalischen Begriffen sind - bei aller erworbenen Formelkompetenz - die lebensweltlichen Begriffe konkret und erklärungs mächtig. Darüber hinaus werden die physikalischen Begriffe uminterpretiert, indem sie unter die lebensweltlichen Prinzipien subsumiert werden.

Das Zweck-Verursacher-Prinzip bildet den typisch lebensweltlich-situativen Kontext. Erklärungsbedürftige Situationen werden inhaltlich durch Warum- und Wodurch-Fragen charakterisiert, so dass für eine befriedigende Erklärung der Zweck und der Verursacher (Ursache) der Bewegung zu bestimmen ist. Dies entspricht den empirischen Ergebnissen Scheckers (a.a.O.): Physikalische Aufgabenstellungen werden häufig ergänzt bzw. uminterpretiert und den Abstraktionen, die den situativen Kontext des Zweck-Verursacher-Prinzips widersprechen, wird ein heftiger Widerstand entgegengesetzt. Beispiele solcher Abstraktionen sind kinematische Betrachtungen oder Vernachlässigungen von Reibungseffekten. Für die Lebenswelt ist primär das Wodurch und Warum der Bewegung wesentlich und nicht ihre Charakteristika. Weitere Beispiele bilden die konstitutiven Abstraktionen bei der Entwicklung physikalischer Begriffe, denen im lebensweltlichen Realisationsdenken keine Funktion zugeordnet werden kann. Beispiele sind Energie und Impuls die von der Kraft nicht differenziert werden (vgl. auch /6/, 86 f) Demgegenüber verdeutlicht das Aktiv-Passiv-Prinzip den grundsätzlichen Zuschnitt der lebensweltlichen Begrifflichkeit auf den situativen Kontext des Zweck-Verursacher-Prinzips. Die Kräfte als Ursachen sind das Positive bezüglich der Zweckrealisierung. Kräfte können potentiell wie aktuell sein. Als Potentialität ist Kraft eine Eigenschaft aktiver Körper, die unter gewissen Systembedingungen aktualisierbar ist: Kräfte werden dann auf andere Körper ausgeübt. Diese Beziehung entspricht nicht dem Wechselwirkungscharakter physikalischer Kräfte, sie ist vielmehr ein Spezialfall der lebensweltlichen Ursache-Wirkungsbeziehung.

Wenn der Zweck in der Produktion gewisser Wirkungen besteht und Kräfte die Ursachen hierfür sind, so kann dasjenige, was dieser Produktion im Wege steht, keine Kraft sein. Hieraus erklären sich auch die negativ-emotionalen Bewertungen, Reibungskräfte als Kräfte anzusehen. Entsprechendes gilt z. B. auch für Gravitationskräfte, die einer intendierten Bewegung entgegenwirken. Die beiden Grundbegriffe "Kraft" und "Widerstand", die explizit in den ersten drei Prinzipien vorkommen, sind zentral mit dem Zweck-Verursacher-Prinzip verbunden. Das Verbrauchsprinzip bildet obendrein eine Grundlage für Immunisierungen. Es erlaubt, innere Kräfte anzunehmen, um Widersprüche mit dem Bewegungsprinzip beseitigen zu können.

Der Übergang vom lebensweltlichen Erkenntnisssystem zum naturwissenschaftlichen wirft damit ein fundamentales Entwicklungsproblem auf, das nicht nur auf der Wissensebene, der Ebene der Erkenntnis lösbar ist, sondern auch die Ebene der Bedürfnisse, Motive und emotionalen Bewertungen einbezieht. Die fundamentale modellierende Information hat damit sowohl der Erkenntnisseite als auch der Seite der emotionalen Bewertung Rechnung zu tragen. Beginnt nun der Lernprozess auf der Ebene sinnlich-ästhetischer Systembildung, so ist die modellierende Information in diesem Kontext zumindest plausibel zu machen.

Das hierbei auftretende Problem besteht darin, dass relativ zum expliziten Systemdenken das lebensweltliche Denken auf die Grundlage des beschriebenen Paradigmas reduziert ist. Die Wirkungsproduktion wird gemäß dem Aktiv-Passiv-Prinzip asymmetrisch als einseitige Kausalbeziehung gedacht. Entsprechend werden die Zusammenhänge als einseitig von den Teilen bestimmt oder produziert aufgefasst. D. h.: es wird die Existenz von Teilen mit spezifischen Eigenschaften angenommen und hiervon ausgehend die Zusammenhänge erklärt. Der Zusammenhang selbst wird in Form des Einwirkens durch eine Aktualisierung von latent in den Teilen existierenden Potenzen verstanden.

Dynamisches Systemdenken gründet dagegen auf einem Beziehungsbe-griff von Teil und Ganzem, in dem weder das Ganze noch die Teile einseitig dominieren. Der Teil eines Ganzen existiert nur in wechselseitiger Ab-hängigkeit mit anderen Teilen, mit denen er gemeinsam ein Ganzes bildet. Die Teile und ihre Eigenschaften sind nicht unabhängig von den Wechselwirkungen und die Wechselwirkungen nicht unabhängig von den Teilen und ihren Eigenschaften zu sehen. Im Erkenntnisprozess wird beides als strukturierte Einheit konstituiert. Doch diese Einsicht setzt ein erkenntnis-theoretisches Paradigma bestimmten Typs voraus. Ein naiver Realist z. B. würde dagegen die alte Position des lebensweltlichen Denkens rechtfertigen können. Denn diese scheint der sinnlichkonkreten Ebene der Wahrnehmung, aus der es sich ja auch entwickelt hat, angemessen zu sein. Der Übergang vom lebensweltlichen Potenzdenken zum dynamischen Sys-temdenken involviert auch (implizite wie explizite) erkenntnistheoretische Prinzipien, ähnlich wie der Übergang von der klassischen Physik zur Quan-tenmechanik.

3. ZUR ENTWICKLUNG DES WECHSELWIRKUNGSBEGRIFFS

Die konkurrenzhaft Koexistenz des lebensweltlichen und physikalischen Paradigmas der Mechanik zeigt auf, dass der Integrations- und Differenzierungsprozess kein hinreichend adäquates Stadium erreicht hat. Die physikalischen Gesetze sind z. T. hinsichtlich der syntaktischen Dimension relativ konkret, es besteht eine große Formelkompetenz (vgl. /13/, 340ff.). Die Dimension der physikalischen Semantik ist dagegen recht abstrakt. Darüber hinaus werden die physikalischen Begriffe unter das lebensweltliche Paradigma subsumiert. So wird z. B. das dritte Newtonsche Axiom "actio = reactio" auf dem Hintergrund des Aktiv-Passiv-Prinzips uminterpretiert: actio wird mit der Kraftpotenz aktiver Körper identifiziert und reactio mit den Widerständen (ebd.). Der in diesem Axiom zugrunde liegende Wechselwirkungscharakter der Kraft ist nicht angeeignet worden, die Erstmaligkeit dieses Prinzips wurde zugunsten der Bestätigung reduziert (vgl. Abb. 2).

Die zahlreichen empirischen Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass die konventionellen Einführungsmethoden nicht geeignet sind, eine evolutionäre Phase des Lernens einzuleiten. Eine detaillierte Kritik dieser Methoden befindet sich in Jung /5/, so dass an dieser Stelle ein paar Anmerkungen hierzu ausreichen mögen.

Eine übliche Charakterisierung der Kraft ist die als Ursache einer Bewegungsänderung oder Deformation. Abgesehen davon, dass hiervon allen "Zeitindikatoren" (a. a. O., 175) abstrahiert wird, lässt sich der so charakterisierte Kraftbegriff unter das lebensweltliche Potenzschema und das Aktiv-Passiv-Prinzip subsumieren. Der Kraftbegriff wird damit um ein paar Facetten bereichert: Kraft als allgemeine Wirkursache vermag nun auch noch Deformationen und Bewegungsänderungen zu bewirken.

Entsprechendes gilt, wenn der Kraftbegriff mittels des zweiten Newtonschen Gesetzes " $F = m \times a$ " operational definiert wird. Die Weiterentwicklung des so eingeführten Kraftbegriffs zu einem speziellen Wechselwirkungs-begriff erzeugt dann eine sehr hohe Erstmaligkeit, die dann, wie bereits erwähnt, i. a. zugunsten der Bestätigung reduziert wird. Hieraus ziehen wir wie Jung die Konsequenz, den Kraftbegriff aus dem Wechselwirkungs-begriff zu entwickeln (vgl. a. a. O., 175-183). Diese von Jung durchgeführte Entwicklung orientiert sich aber nicht an seinem eigenen Kombinationsprinzip⁵. Es soll hier deshalb noch ein konkreter Grund für die Anwendung dieses Prinzips angeführt werden.

Das Kombinationsprinzip geht explizit von der vorhandenen Begrifflichkeit aus, aus der heraus das Neue in Form einer modellierenden Information (Vorstellung) konstruiert wird. Ein anderer Weg ist der, exemplarisch den Wechselwirkungs-begriff einzuführen. Jung verwendet hierfür Stoßprozesse. Im Unterschied zu den üblichen Verfahren ist diese Einführung mit einem kreativen "Suchprogramm" verbunden (a. a. O.). Die Einführung bedingt damit als Moment des Entwickeltwerdens durchaus konkrete Ansätze der Selbstentwicklung, deren Richtung durch den Fragetyp charakterisiert ist. Dennoch lassen sich wesentliche Gründe für eine selbsttätige Aneignung des Wechselwirkungs-begriffs anführen. So ist zum einen die eigen-

ständige Produktion einer modellierenden Information (unter externer Orientierung) eine fundamentale Dimension der Aneignung, nämlich die Produktion des Neuen. Über den Reflexionsprozess lässt sich die betreffende Methodik explizieren und konkretisieren und damit Kreativität entfalten. Dieser Lernprozess ist auch geeignet, die Entwicklung und Stabilisierung eines falschen Wissenschafts-, Theorie- und Realitätsverständnisses zu vermeiden, wie es z.B. gemäß den empirischen Untersuchungen der normale Lernprozess erzeugt (vgl. /13/).

Zum anderen hat die vorausgehende Erörterung gezeigt, dass der Übergang vom lebensweltlichen Potenzdenken zum Systemdenken ein nicht-trivialer evolutionärer Prozess ist. Es ist also nicht zu erwarten, dass der Wechselwirkungsbegriff so ohne weiteres exemplarisch angeeignet werden kann. Dies ist auch Jung bewusst, wenn er bezüglich der Bewegungsänderung beim Stoß schreibt: "Der Änderungsprozess (beim Stoß) kann als Prozess gegenseitiger Einwirkung gedeutet werden. Das ist eine Vorstellung, die in die richtige Fragestellung entwickelt werden muss. Die physikalische Frage heißt nicht: Wie "machen" es die Körper, sich zu beeinflussen, sondern bescheidener: Welchen Gesetzmäßigkeiten folgen die Veränderungen?" (/5/, 177 f). Die Argumentation ist durchaus zutreffend, das Problem liegt aber gerade darin, die Vorstellung vom gegenseitigen Einwirken zu entwickeln. Auf der Grundlage des Aktiv-Passiv-Prinzips wird z. B. der Stoß mit "gleichartigen" (sinnlich ähnlichen und physikalisch äquivalenten) Körpern⁶ keineswegs als Wechselwirkung interpretiert. Das gegenseitige Einwirken wird allenfalls als wechselseitige Aktiv-Passiv-Beziehung des einen Körpers auf den anderen verstanden. Jeder Körper ist dann sowohl aktiv als auch passiv. Ein solches Denken findet man im Grunde noch bei Physikstudenten hoher Semester eher vor als das hier intendierte Wechselwirkungsdenken⁷. Das Kraft-Widerstands-Konzept ist sogar für diesen symmetrischen Bereich schwer aufhebbar, geschweige denn für Wechselwirkungen mit "nicht gleichartigen" Körpern, wie sie etwa bei Reibungsprozessen vorkommen.

Diese letzte Erörterung orientiert sich im Wesentlichen an dem speziellen Ziel der Entwicklung des physikalischen Kraftbegriffs. Der Wechselwirkungsbegriff ist aber ein intertheoretischer und interdisziplinärer Begriff, der einmal hinreichend konkret entwickelt für andere Fälle als theoretisches Mittel verwendet werden kann. Er bildet somit ein mögliches integratives Mittel des genetischen Lernprozesses bzw. der Lerntätigkeit. Speziell ist der Wechselwirkungsbegriff in dieser allgemeinen Form unentbehrlich im Kontext dynamischen Systemdenkens. Im folgenden soll hier die Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs als modellierende Information aufgezeigt und anschließend mögliche Weiterentwicklungen unter Verwendung des Wechselwirkungskonzepts als Mittel seiner eigenen Weiterentwicklung skizziert werden.

4. ENTWICKLUNGSPHASEN DES WECHSELWIRKUNGSBEGRIFFS

(P1) Herausbildung einer wesentliche Desintegration

Informationsstrukturen sind Mittel der Tätigkeit, sie liefern die operativen und antizipativen Möglichkeiten. Desintegrationen im Wissen haben ihr

Korrelat im Objekt. Dies folgt unmittelbar aus dem zugrundeliegenden erkenntnistheoretischen Ansatz, der Annahme der Koevolution von Subjekt und Objekt. Die Serienformeln des Wasserstoffs z.B. waren mit den älteren Atomtheorien nicht integrierbar bzw. aus diesen herleitbar. Damit waren aber auch die Spektralserien des Objekts nicht erklärbar, d.h. auf Vorgänge im Atom zurückführbar. Weitere Beispiele sind die Integration von träger und schwerer Masse mit der Relativitätstheorie und die Integration und Differenzierung von Wechselwirkungsarten. Desintegrationen im Wissen konstituieren Desintegrationen im Objekt. Sie beschränken aber auch die operative Dimension des Wissens, seine Gebrauchsfähigkeit und Antizipationsmöglichkeiten. Somit wird eine Sache nur unter einem eingeschränkten Blickwinkel analysierbar; z.B. chaotische Systeme unter dem Blickwinkel schlichter Unordnung als kontradiktorischer Pol von Ordnung, wobei Ordnung selbst als gewisse Einfachheit der Struktur im Sinne räumlicher statt raum-zeitlicher Ordnung aufgefasst wird. Hier werden die Grenzen einer Disziplin zu Erkenntnisgrenzen.

Aufgrund der wechselseitigen Bedingtheit von Erkenntnis und Emotion bedingen Desintegrationen der Erkenntnis eine mögliche emotionale Bewertung und Sinnproduktion, sie beeinflussen die Entwicklung von Normen. Umgekehrt hängt die mögliche Erkenntnis von den vorhandenen Normen und Sinnzusammenhängen ab. Die Desintegrationen beeinflussen die Gesamttätigkeit des Subjekts.

Die Aneignung der traditionellen Desintegration von klassischer Physik und (biologischer) Evolutionstheorie kann im Lernprozess z.B. eine grundsätzliche Reduktionismusvorstellung bewirken derart, dass lebende Systeme prinzipiell klassisch-mechanistisch erklärbar gedacht werden. Eine andere Möglichkeit ist die Erzeugung einer gewissen Wissenschafts- (evtl. auch Technik-)Feindlichkeit. Diese beiden möglichen Entwicklungen führen zu einer völlig unterschiedlichen Weltsicht mit unterschiedlichen Sinnzusammenhängen.

Verallgemeinert geht es bei diesem Beispiel um die Desintegration von **Entwicklungsstadium** und **Entwicklungsprozess**, sowie der Isolierung der allgemeinen (komplementären) Begriffe "Stadium" und "Prozess" vom konkreten Wissen derart, dass dies allgemeine Wissen keine Erklärungsfunktion für konkrete Systeme besitzt. In der vorkonstruktivistischen Phase der Didaktik hatte diese Desintegration ihren Niederschlag darin, den genetischen Zusammenhang des Lernens zu ignorieren. Dies führte speziell dazu, lebensweltliche Paradigmen als unpräzises, vorläufiges Alltagswissen zu degradieren, das es durch präzises naturwissenschaftliches Wissen zu ersetzen gilt. Hiervon zeugt eindrucksvoll der noch vor einigen Jahren häufig verwendete Terminus "misconception". Diese Desintegration verstellte sowohl den Blick für die Eigenfunktionalität der lebensweltlichen Paradigmen als auch den Blick für ihre Funktion als relatives Apriori (ideelles Mittel) für die Entwicklung naturwissenschaftlicher Paradigmen und den damit verbundenen Integrations- und Differenzierungsprozess der betreffenden Paradigmen. Damit verlor die Didaktik den inhaltlichen Bezug zu ihren Bezugsdisziplinen, was eine Integration der betreffenden Praxis-systeme verhinderte.

Diese kurze Skizze verdeutlicht die Funktion der Aufhebung von Desintegrationen. Darüber hinaus können Desintegrationen zu Bewegungsmomenten der Wissens- bzw. Informationsproduktion werden. Voraussetzung hierfür ist, dass ihre Aufhebung sinnvoll erscheint, also auf die Realisierung eines Motivs der selbstreflexiven Tätigkeit (Orientierungstätigkeit) ausgerichtet ist.

Eine Desintegration als Bewegungsmoment der Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs ist u. U. in mehreren Bereichen des gesamten Systems aus Subjekt und Umgebungssystem lokalisierbar. Wesentlich hierfür ist sowohl die Problemsituation als auch das in spezifischer Weise explizierte Problem. In den Fällen der motivierten Aufhebung von Desintegrationen ist die Problemsituation speziell eine erklärungsbedürftige Situation. Monokausales Denken könnte z. B. in verschiedenen Kontexten als Desintegration lokalisierbar sein, seine Aufhebung aber nur an einer bestimmten Stelle sinnvoll erscheinen, z. B. in den Sozialbeziehungen, der Subjekt-Objekt- oder der Objekt-Objekt-Beziehung. Der Fokus mag darüber hinaus auf der begrifflichen Ebene oder der korrespondierenden gegenständlichen Ebene liegen. In jedem Fall erhält man ein spezielles Erklärungsproblem.

Im Folgenden soll davon ausgegangen werden, dass im Bereich der Mechanik eine durch das lebensweltliche Paradigma bedingte Desintegration expliziert werden kann, die zu einer erklärungsbedürftigen Situation führt. Hierzu lässt sich an Wechselwirkungen zweier "gleichartiger" Körper anknüpfen. Die Beschränkung auf einen bestimmten Typ, wie etwa den Stoß, kann sich für spezielle Argumentationen als funktional erweisen, erscheint aber für eine allgemeine Problematisierung als einseitige Vorentscheidung weniger sinnvoll. Gesucht wird vielmehr nach einem oder mehreren speziellen Beispielen, für die das asymmetrische Aktiv-Passiv-Prinzip widersprüchlich oder zumindest nicht so ganz stimmig erscheint.

Die Realisierung einer solchen Wechselwirkung hat nicht die Funktion eines *experimentum crucis*, das festlegt, ob das Ergebnis mit Hilfe des Aktiv-Passiv-Prinzips konsistent interpretierbar ist oder nicht. Die Funktion ähnelt eher den Experimenten zur Herausarbeitung einer Anomalie. In der Wissenschaftsentwicklung basiert die Herausarbeitung der Anomalien i. a. auf exakten Messungen. Auf qualitativer Ebene hingegen können auch hier die Widersprüche in der Regel immunisiert werden. Ein Beispiel hierfür bildet die Perihelbewegung des Merkurs, die qualitativ als Störung durch andere Planeten erklärbar ist. Die Herausarbeitung der Desintegration in unserem Falle wird im Allgemeinen einen metatheoretischen Diskurs involvieren. In diesem sind Immunisierungen zu problematisieren. Statt realer Experimente bzw. zur Ergänzung dieser können auch Gedankenexperimente herangezogen werden. Die bekannte Begrifflichkeit wird hier auf neue Situationen angewendet, für die sie nicht (explizit) entwickelt wurde.⁸

Das konkrete nützliche Resultat besteht in der Herausarbeitung einer Desintegration mit den Charakteristika:

- das Aktiv-Passiv-Prinzip zur Beschreibung der Bewegungsvorgänge und das Zweck-Verursacher-Prinzip werden explizit,

- der konstruktive Charakter dieser Prinzipien kommt in Sicht,
- eine Asymmetrieannahme, die die Anwendung des Aktiv-Passiv-Prinzips auf die wechselseitige Beeinflussung gleichartiger Körper voraussetzt, lässt sich nicht begründen.

Die ersten beiden Dimensionen sind notwendig, wenn die Desintegration explizit werden soll. In diesem Kontext der Explikation spielt die zweite insbesondere dann eine wichtige Rolle, wenn eine metatheoretisch stabilisierte Immunisierung auftritt. Denn im sinnlich-konkreten Bereich bekommen die Prinzipien - soweit sie überhaupt bewusst sind - leicht einen absolut-aprioristischen Charakter, sie werden also als prinzipiell unabänderbar angesehen, z.B. in Form von Denknotwendigkeiten.

Der metatheoretische Diskurs, der insbesondere selbstreflexive Phasen einbezieht, ist auf die Herausarbeitung der Desintegration ausgerichtet. Hierdurch wird sein Ausmaß bestimmt. Für diesen Diskurs ist das dritte Charakteristikum wesentlich. Es spielt eine ähnliche Rolle wie das Messbarkeitskriterium bei der Verwerfung der Ätherhypothese: da kein Einfluss des Äthers bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen messbar war, wurde die Annahme des Äthers verworfen. Entsprechend ist hier die Anwendbarkeit des Aktiv-Passiv-Prinzips zurückzuweisen, da die hierfür notwendige Asymmetrie nicht nachweisbar ist. Auf diese Weise kommt ein metatheoretisches Prinzip in Sicht, das die Konstitution von Entitäten (Objekte, Eigenschaften, Beziehungen) mit einer empirischen Entscheidbarkeit in Beziehung setzt.

Die Desintegration ist zunächst lokal, d. h. auf Spezialfälle beschränkt. Diese lassen sich z. B. unter Verwendung von Gedankenexperimenten erweitern. Über eine kontinuierlich gedachte Variation gehen wechselseitig gleichartige Körper in ungleichartige über, ohne dass sich an der Desintegration Prinzipielles ändert". Auf ihrer Schwelle liegt eine symmetrische Beziehung, die Wechselwirkungsbeziehung. Diese gilt es nun als modellierende Information zu entwickeln.

(P2) Entwicklung einer modellierenden Information:

Das Wechselwirkungskonzept

In der Herausarbeitung der Desintegration wird das vorhandene Wissen funktional organisiert, um das spezifische nützliche Resultat zu realisieren. In Anlehnung an die Terminologie Piagets ausgedrückt ist dies in seiner Hauptrichtung ein Akkomodationsprozess, der zu einer Assimilation von konkretem Wissen führt. Dieses so organisierte Wissen ist nun das Mittel (relative Apriori) für die Entwicklung einer modellierenden Information. Für einen Informationsaustausch bildet das konkrete Wissen bezüglich der Symmetriebeziehung zusammen mit dem entwickelten und organisierten metatheoretischen Wissen über das lebensweltliche Paradigma hinausgehende Dimensionen der Bestätigung, die die Erstmaligkeit der Information bedingt. Dieses Wissen ist damit auch Mittel im Prozess der Selbstentwicklung, der Selbstorganisation von Information.

Die Beziehung des Einwirkens, der Produktion von Wirkung, ist gemäß dem lebensweltlichen Paradigma asymmetrisch, einseitig. Die Anwen-

derung des Paradigmas auf Wechselwirkungen mit gleichartigen Körpern verlangt aber eine symmetrische Beschreibung: dies ist das verbleibende Erklärungsproblem. Es ist durch die Entwicklung des Wechselwirkungsdenkens zu lösen, in der diese Symmetrie direkt in der Wirkungsproduktionsbeziehung gesehen wird. Relativ zum Apriori der Lernenden führt eine solche Annahme zu einem Widerspruch, der nun durch die Entwicklung einer modellierenden Information konstruktiv gewendet werden kann.

Modellierende Information des Wechselwirkungskonzepts:

Gegenseitiges Einwirken ist eine symmetrische Beziehung

Für den Terminus "gegenseitiges symmetrisches Einwirken" lässt sich abkürzend der Terminus "Wechselwirkung" definitorisch einführen.

(P3) Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs zum Mittel der Integration und Differenzierung

Mit dieser modellierenden Information wird das Einwirken, die Produktion von Wirkungen neu gesehen, nämlich als symmetrische Beziehung. Der Widerspruch zum alten Denken zeigt an, dass diese Information eine große Erstmaligkeit besitzt und eine relativ geringe Bestätigung. Damit ist das alte Paradigma im Ansatz transzendiert. Eine Reduktion der Erstmaligkeit zugunsten der Bestätigung lässt sich auf dieser Stufe nur durch bewusste Vernachlässigung von Information erreichen, die allerdings emotional positiv bewertet sein, d. h. sinnvoll erscheinen kann.

In diesem Entwicklungsstadium wird der Wechselwirkungsbegriff im Wesentlichen in der Konstruktion durch das relative Apriori gedacht, zum Teil negativ abgrenzend, zum Teil als abstrakte positive Symmetriebeziehung. Dies ist das Konkrete im Abstrakten. Weder das Repräsentationsmoment noch das operative Moment des Wechselwirkungsbegriffs ist aber hinreichend entwickelt, um als effektives Mittel zur Verfügung stehen zu können. Dennoch wird ein Suchprogramm konstituiert, das Fragen generiert. Es ist darauf gerichtet, die Symmetriebeziehung zu konkretisieren, zu verstehen. Eine solche Blickrichtung zu stabilisieren, erfordert adäquate Argumentformen, die zumindest implizit eine der zugrunde liegenden Entwicklungsidee entsprechende Metaebene involvieren. Empiristisch oder rationalistisch reduzierte Argumente z. B. sind inadäquat, sie vermögen durchaus Immunisierungen zu stabilisieren.

Für die Entwicklung der Fragen aus dem Suchprogramm folgen hieraus Konsequenzen. Solche Fragen, die eine Erklärung der modellierenden Information intendieren, sind inadäquat. Ein Beispiel ist die oben zitierte Frage von W. Jung: "Wie "machen" es die Körper, sich zu beeinflussen ...?." Erklärungen dieses Typs sind darauf ausgerichtet, das Neue im Lichte des alten Paradigmas zu deuten, das es zu transzendieren gilt. Die Erklärung kann daher nur gelingen, wenn das Neue ins vorgängige Paradigma konsistent integriert, die Erstmaligkeit also zugunsten der Bestätigung reduziert wird. Stattdessen soll aber die Entwicklung des Neuen erst eine neue Erklärungsgrundlage liefern, die gleichzeitig die alte aufhebt. Die verwendeten Argumentformen haben also diesen Wandel zu berücksichtigen bzw. sich auf diesen Wandel zu beziehen. Ein Beispiel ist die Erklä-

rung der Funktion der modellierenden Information. Hier wird das Neue nicht ins vorgängige, lebensweltliche Paradigma der Mechanik integriert, denn die Erklärungsgrundlage ist hier ein metatheoretisches Paradigma, das sich auf den Paradigmenwechsel bezieht. Ein anderes Beispiel ist die Begründung des Wechselwirkungsbegriffs. Unter Bezugnahme auf seine Entwicklung wird hier nachgewiesen, dass dieser Begriff zur Aufhebung der Desintegration adäquat ist und die Symmetrisierungsidee hinreichend entfaltet wurde.

Die angedeuteten Argumentformen gilt es zusammen mit der Entfaltung einer Entwicklungslogik weiter zu präzisieren. Sie bilden die Basis einer Lehr-Lern-Methodik. Die Fragen der lernenden Subjekte sind ein guter Indikator für die Anwendbarkeit einer Methode; denn an ihnen ist erkennbar, inwieweit das Neue adäquat angeeignet worden ist. Fragen, die durch die modellierende Information generiert werden können, sind z.B.:

- Welches System wechselwirkt mit einem vorgegebenen?
- Welche Eigenschaften ändern sich durch die Wechselwirkung?
- Worin besteht die Symmetrie der Veränderung?
- Kann der Wechselwirkungsbegriff auf andere Bereiche angewendet werden?
- Wie lassen sich Wechselwirkungsarten differenzieren?
- Welche Eigenschaften besitzen die Produktion und die Ausbreitung von Wirkungen?
- Welchen Gesetzmäßigkeiten unterliegen die Veränderungen?

Abschließend hierzu soll noch eine Alternative angedeutet werden. Die skizzierte Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs geht von einer speziellen disziplinentorientierten Desintegration aus. Der so entstehende Wechselwirkungsbegriff ist damit auch zunächst auf die Mechanik eingeschränkt. Von hieraus lässt er sich auf das dem Subjekt entgegenstehende (naturwissenschaftliche) Objekt verallgemeinern. Damit wird aber die Subjekt-Subjekt- und die Subjekt-Objekt-Wechselwirkung noch nicht erfasst. Hierzu ist der Wechselwirkungsbegriff weiter zu verallgemeinern, indem die interaktive Tätigkeit zum Objekt der Betrachtung gemacht wird. In der Phase der Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs als modellierende Information und der sich anschließenden Phase der Weiterentwicklung zum Mittel der Integration und Differenzierung sind durch eine solche Reflexion der eigenen Tätigkeit diese Wechselwirkungsdimensionen abstrahierbar. Um die Subjekt-Subjekt-Wechselwirkung bewusst machen zu können, sind Unterrichtsmethoden zu wählen, die solche Lehr-Lern-Situationen zu konstituieren vermögen, in denen sich eine interaktive Lerntätigkeit realisieren kann. Besonders in diesen beiden Phasen kann die Rolle des lernenden Subjekts als Systemkonstrukteur bewusst gemacht werden. Von der Perspektive der Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs aus gesehen muss diese Rolle auch eingenommen und bewusst gemacht werden, um zu einem konkreten Wechselwirkungsbegriff gelangen können.

Grundsätzlich wäre es auch möglich, den physikalischen Wechselwirkungsbegriff aus dem sozialen zu entwickeln. Der soziale Wechselwir-

kungsbegriff könnte in der oben skizzierten Weise im Bereich der lebensweltlichen Tätigkeit entwickelt werden. Eine mögliche Ausgangsbasis bildet die komplementäre Beziehung von Selbstbestimmen und Bestimmtwerden. Das erste Verständnis dieser Beziehung wird i.a. unsymmetrisch und damit nicht komplementär sein. Dies ganz in Analogie zur Kausalbeziehung im lebensweltlichen Denken. Zur Entfaltung der Symmetrie kann hier aber auf einen Typ von Erfahrungen zurückgegriffen werden, den es in der physikalischen Ebene nicht gibt. Solche anthropomorphisierenden Zugriffsweisen zur physikalischen Begrifflichkeit schildert auch Wagenschein, z.B. mit der Frage "Will der Stein fallen oder muss er fallen?" (/16/, 197).

Für die Konstitution der physikalischen Wechselwirkungsbeziehung mit Hilfe der komplementären Begriffe "Selbstbestimmen" und "Bestimmtwerden" bildet dies Begriffspaar eine Metapher. Es ist der sogenannte Bildspender, die Wirkungsproduktionsbeziehung der Bildempfänger.

Die Wirkungsproduktionsbeziehung wird in einer neuen Weise gesehen. Auch hier haben wir eine Identität mit Widerspruch, denn die asymmetrische Beziehung wird mit Hilfe des Bildspenders symmetrisch umstrukturiert. Der Unterschied zum oben geschilderten Kombinationsverfahren besteht darin, dass die Metapher zwei verschiedene Ebenen verknüpft. Mit der Entwicklung des physikalischen Wechselwirkungsbegriffs verselbständigt sich dieser und wird so zu einer "herabgesunkenen" Metapher. Einen interdisziplinären Wechselwirkungsbegriff erhält man über die geschilderte Verallgemeinerung.¹⁰

(P4) Zum Prozess der Integration und Differenzierung

(1) Zur Entwicklung von Prinzipien

Die Beantwortung von Fragen des obigen Typs führt auf den Integrationsprozess. Er setzt die Produktion von integrierenden Strukturen voraus. Je nach Vorgehen lässt sich dieser Prozess spezieller diszipliniert oder allgemeiner systemtheoretisch ausrichten. Dabei kann der Schwerpunkt auf qualitativen Prinzipien oder auf quantitativen Gesetzen liegen.

Allgemeines und Besonderes lassen sich zwar nicht unabhängig voneinander entwickeln. Dennoch sind in gewissen Dimensionen spezielle Schwerpunktsetzungen sinnvoll. Wird nun Lernen auf Integration bzw. Systembildern lernen ausgerichtet, so wird in der Haupttendenz die Auseinandersetzung mit dem Besonderen auf die Entwicklung des Allgemeinen orientiert.

Allgemeine, integrative Prinzipien besitzen in der Regel nur eine qualitative Form. Die übliche Sichtweise geht davon aus, dass das Qualitative lediglich eine mehr oder weniger triviale Vorstufe des Quantitativen bildet und damit die qualitativen Prinzipien grundsätzlich weniger Information besitzen als die quantitativen. Obwohl sich hierfür etliche stützende Beispiele finden lassen, ist diese Sichtweise dennoch verkürzt. Die physikalische Bedeutung der quantitativen Gesetze geht über den quantitativen Rahmen hinaus. Das Qualitative bildet eine wesentliche Ergänzung des Quantitativen. Die quantitativen Gesetze sind einerseits eine Weiterent-

wicklung des Qualitativen, andererseits eine Verkürzung desselben. Dies lässt sich schon an einfachen Beispielen nachweisen, z. B. an der Auswahl physikalisch sinnvoller Lösungen von Differentialgleichungen, der eine spezifische Kausal- oder Determinismusvorstellung zugrunde liegt". Ein anderes Beispiel ist der Wechselwirkungsbegriff. Er lässt sich auf qualitativer Ebene als Vorstufe von Newtons drittem Axiom ($actio = reactio$) auffassen oder allgemeiner als intertheoretischer Begriff, der sich allerdings mit den einzelnen (quantitativen) Theorien weiterentwickelt. So z. B. mit der Mechanik als einer Metrisierung in einem bestimmten Bereich intensiver Anwendungen. Damit ein solcher Begriff aber die Qualität eines effektiven Mittels der Tätigkeit gewinnen kann, ist er zusammen mit (elementaren, integrativen) Prinzipien zu Re-Konstruieren. Denn diese Prinzipien und Begriffe kommen in den physikalischen Paradigmen mehr implizit als explizit vor und werden üblicherweise über die quantitativen Gesetze angeeignet.

Eine solche Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs soll im Folgenden skizziert werden. Der Abfolge der Schritte liegt zwar eine gewisse Entwicklungslogik zugrunde, je nach den Bedingungen der Lehr-Lern-Situation, dem vorhandenen Wissen, den Interessen, Lernzielen etc., kann sie aber im konkreten Lernprozess modifiziert werden.

Entwicklung des Wechselwirkungsbegriffs

1. Schritt: Deutung der Wechselwirkungen in der Beziehung von Prozess und Stadium.

Mit dieser Deutung wird der Wechselwirkungsbegriff mit systemtheoretischen Begriffen in Beziehung gesetzt und der Bezug zu Zeitindikatoren wird expliziter. Fragen nach der momentanen Existenz von Wechselwirkungen, ihrer Invarianz und Veränderung kommen in Sicht.

2. Schritt: Differenzierung von Wirkungsproduktion und Wirkungsausbreitung.

Wirkungen werden produziert und breiten sich auch dann noch aus, wenn die Wechselwirkungen, die diese Wirkungen produziert haben, nicht mehr existieren. Wirkungsproduktion und Wirkungsausbreitung bilden den genetischen Zusammenhang physikalischer Prozesse, die weder einen absoluten Anfang noch ein absolutes Ende besitzen.

Der so explizierte Wechselwirkungsbegriff soll als **elementares Wechselwirkungskonzept** bezeichnet werden. Hieran anschließend lässt sich nun dieses Konzept weiterentwickeln; zum einen allgemein - wenn auch intradisziplinär so doch intertheoretisch - zum anderen speziell auf die klassische Mechanik reduziert. Hierzu gehört in beiden Fällen auch die theoretische wie empirische Untersuchung der Anwendbarkeit des Konzeptes. Für unser Problem, das physikalische Paradigma der Mechanik aus dem lebensweltlichen zu entwickeln, bedeutet dies, alle Anwendungen des lebensweltlichen Paradigmas mit Hilfe des Wechselwirkungskonzepts zu beschreiben. Hierzu ist auch die Begrifflichkeit der Mechanik weiter zu entwickeln, simultan mit der Entwicklung allgemeiner Prinzipien.

Die Differenzierung von Wirkungsproduktion und Wirkungsausbreitung bildet eine theoretische Grundlage zur Herausarbeitung der Veränderung der gleichförmigen Bewegung als Bestandteil der Wirkung. Der Begriff der gleichförmigen Bewegung kann hierbei als qualitativer Begriff definiert werden.

Definition:

Die Bewegung eines Körpers ist gleichförmig genau dann per def., wenn die Bewegung geradlinig ist und zu beliebigen äquivalenten Strecken der Bewegung äquivalente Bewegungszeiten gehören.

Durch Negation erhält man hieraus den qualitativen Beschleunigungsbegriff (Begriff der ungleichförmigen Bewegung). Die Identität von Bahn- und Normalbeschleunigung wird hier - im Gegensatz zu rein kinematischen Betrachtungen - durch den Wechselwirkungskontext gegeben: Die Wirkungen sind Veränderungen und diese können Veränderungen der Richtung oder des Betrages sein.

Die hier durchzuführende Argumentation geht von einer allgemeinen theoretischen Basis aus: Wechselwirkungen produzieren Veränderungen, die sich in besonderen Fällen kompensieren können. Veränderungen als Wirkungen sind zu unterscheiden von solchen der Wirkungsausbreitung. Auf dieser Grundlage lassen sich zielgerichtet Hypothesen bilden sowie Experimente planen, aufbauen, durchführen und auswerten. Eine zentrale Untersuchungsmethode ist die Methode der Variation von Wechselwirkungen. Variation durch Verstärkung, Abschwächung, Elimination und Ergänzung von Wechselwirkungen sowie durch Variation räumlicher Orientierungen gleicher Wechselwirkungen. Aus den Ergebnissen der komplexen wie auch der einfachen Fälle folgen Hypothesen über die Überlagerung von Wechselwirkungen, ihre Aufhebung, Verstärkung, speziell die weiter unten angegebenen.

Das Ergebnis dieser Lernphase ist eine Konkretisierung des Allgemeinen, der theoretischen Ausgangsbasis, d. h. der Transformation von Erstmaligkeit in Bestätigung durch Strukturproduktion. An einigen Stellen können Argumente verschiedener Formen auftreten, wie z. B. Erklärungen, Begründungen, Verallgemeinerungen. So könnte der Differenzierungsansatz von Wirkungsproduktion und Wirkungsausbreitung begründungsbedürftig erscheinen, und es könnte sich in diesem Kontext erweisen, den verfügbaren Wechselwirkungsbegriff in einem Verallgemeinerungsprozess zum Wechselwirkungskonzept zu entwickeln, um ein adäquates Mittel der Lernfähigkeit zur Verfügung zu haben.

Ein weiteres Element der theoretischen Ausgangsbasis bildet ein allgemeiner Symmetrieansatz, der durch die modellierende Information induziert wird. Angewandt auf die Wechselwirkungsbeziehung als dem symmetrischen Aufeinandereinfließen, lässt sich hieraus das dritte Newtonsche Axiom entwickeln, auch in quantitativer und vektorieller Form. Auf die wechselseitig produzierten Wirkungen angewandt, führt dies zu einem Ansatz zur Entwicklung des Masse- und Impulsbegriffes sowie zum Impulserhaltungssatz. Hierzu könnte man - analog zu Jung (/5/, 178) - mit Wech-

selwirkungen gleichartiger Körper beginnen und zu einer asymmetrisierenden Variation im Experiment und Gedankenexperiment übergehen.

Über die Einführung der Begriffe "resultierende Kraft" und "resultierendes Drehmoment" lassen sich zwei qualitative dynamische Prinzipien formulieren:

Wechselwirkt ein Körper K mit einem Umgebungssystem, so gilt für jedes Stadium:

K ist ungleichförmig bewegt \leftrightarrow eine resultierende Kraft auf K wirkt
Ist K ein starrer Körper, so rotiert er ungleichförmig um eine Achse \leftrightarrow ein resultierendes Drehmoment bezüglich dieser Achse auf K wirkt.

Diese Prinzipien sind Vorstufen quantitativer Gesetze, aus denen sie auch herleitbar sind. Für quantitative, metrische Gesetze bilden sie eine allgemeinere Grundlage, mit der spezielle Bedingungen ihrer Anwendbarkeit formulierbar sind. Unter Verwendung eines qualitativen Begriffs des Impulses und des Drehimpulses lassen sie sich verallgemeinern. Einige Betrachtungen zur Entwicklung der Begriffe der trägen und der schweren Masse sollen die Skizze der Begriffsentwicklung abschließen.

Gemäß dem hier intendierten Systemdenken sind Eigenschaften und Beziehungen Konstituenten von Systemen. Die ihnen korrespondierenden Begriffe sind daher simultan mit der Analyse von Systemen zu entwickeln. Für die Massebegriffe bedeutet dies, dass ihre unterschiedliche Rolle bei der Systembeschreibung explizit wird. Als invariante Eigenschaften materieller Körper sind sowohl die träge als auch die schwere Masse Strukturelemente auf dem Niveau der Systemelemente (wechselwirkenden Objekte). Der hier zugrunde liegende Strukturbegriff lässt sich als Invarianz auf dem Niveau der Elemente, auf dem Niveau der Beziehungen zwischen den Elementen, dem Niveau der Ganzheit und dem Niveau der Umweltbeziehungen charakterisieren. Der Prozess steht mit der Struktur in dem wechselseitigen Bedingungsverhältnis von Invarianz und Veränderung (vgl. /20/, 178 ff).

Der Analysezusammenhang der schweren Masse bezieht sich zunächst auf die Wechselwirkungsbeziehung zwischen Objekten. Von den Objekten (Teilen) her gedacht liefert die Eigenschaft schwere Masse die Potenz von Körpern, unter bestimmten Randbedingungen eine spezifische Wechselwirkung ermöglichen zu können. Solche Eigenschaften, wie auch Ladungen und Feldeigenschaften, spezifizieren (mögliche) Wechselwirkungen. Ihre Existenzannahme ist nur in diesem Kontext sinnvoll und sie sind auch nur in diesem Zusammenhang nachweisbar.

Ausgehend vom Wechselwirkungskontext ergibt sich einmal das Problem der Differenzierung von Wechselwirkungen. Die lebensweltlichen (sinnlich-ästhetischen) Differenzierungsansätze sind hierfür inadäquat. Wenn Theorie konstitutiv für Realität ist, dann müssen die Wechselwirkungsarten auch mit Hilfe der jeweiligen Theorien beschrieben werden. Hierzu gewinnt man einmal differenzierende Charakteristika aus der Prozesscharakteristik, also die anziehende Eigenschaft und die Unabhängigkeit der Beschleu-

nigung von der trägen Masse für die (klassische) Gravitationswechselwirkung. Zum anderen ist die weitere Differenzierung in den Objekten zu suchen, eben den spezifizierenden Eigenschaften, hier speziell der schweren Masse. Die Funktion des Begriffs der schweren Masse besteht also darin, (mögliche) Wechselwirkungen eines spezifischen Typs zu beschreiben. Dies führt zu einem spezifischen Kraftgesetz, dem Gravitationsgesetz.

Während der Analysezusammenhang der schweren Masse im wesentlichen aus der Wechselwirkungsbeziehung besteht, ist dieser für die träge Masse hauptsächlich der Prozess. Der Ausgang der Analyse besteht hier in einer Desintegration:

Äquivalente Kräfte (Wechselwirkungen) bedingen i.a. keine äquivalenten Beschleunigungen.

Mit dem systemtheoretischen Prinzip vom wechselseitigen Bedingungsverhältnis zwischen Struktur und Prozess folgt hieraus, dass noch Strukturparameter existieren, auf die eine theoretische Beschreibung eines eindeutigen Bedingungsverhältnisses Bezug nehmen muss. Hieraus ergibt sich die Funktion des trägen Massebegriffs. Dieser lässt sich auf qualitativer Ebene plausibel machen.

Für äquivalente Massen gilt:

Äquivalente Kräfte bedingen äquivalente Beschleunigungen.

Zur Entwicklung des dynamischen Kraftgesetzes sind komparative Beziehungen der Form hilfreich:

Bei größeren Massen bedingen äquivalente Kräfte kleinere Beschleunigungen.

Der hier skizzierte Weg zur Entwicklung der Begriffe und Gesetze der Mechanik führt einseitig vom Speziellen zum Allgemeinen. Im Gegensatz hierzu lässt sich das Wechselwirkungskonzept zu allgemeinen, intertheoretischen Elementarprinzipien weiterentwickeln, aus denen dann die Gesetze der Mechanik entwickelbar sind. Ein solcher möglicher Entwicklungsschritt besteht darin, zunächst zu Nahwirkungen überzugehen. Wir erhalten damit das Prinzip:

Prinzip von der lokalen Wechselwirkung und der retardierten Wirkungsausbreitung:

Wechselwirkende Objekte (Systeme) sind raumzeitlich zusammenhängend; die Wirkung breitet sich retardiert aus.

Hiervon ausgehend sind einerseits Fernwirkungen als Idealisierungen darstellbar, die sich durch die Vernachlässigung der retardierten Wirkungsausbreitung ergeben. Andererseits ergibt sich hieraus ein möglicher Übergang zur relativistischen Raumzeitlehre. In diesem Lernstadium besitzt dieses Prinzip einen zwar stark hypothetischen Charakter und ist auch relativ abstrakt, es besitzt aber dennoch eine konstruktive operative Dimension und damit wesentliche potentielle Suchprogramme. Für die Entwicklung des Feldbegriffes bildet dieses Prinzip das theoretische Mittel¹². Der Charakter des Prinzips und seine Funktion sind in einem metatheoretischen Diskurs transparent zu machen. Es ist sowohl die konstitutive Rolle des Theoretischen für die Existenz von Entitäten (Objekten, Ei-

enschaften, Beziehungen) herauszuarbeiten wie auch diejenige der empirischen Entscheidbarkeit.

Eine sich anschließende Entwicklungsmöglichkeit auf allgemeiner Ebene ist die Erfassung der Beziehungen zwischen Struktur, Zustand und Prozess. Speziell stellt sich hier die Frage nach der Objektivität des Zufalls und der strikten Determiniertheit. Für den Spezialfall einer invarianten Systemstruktur lässt sich über die Analyse einfacher Beispiele das Prinzip gewinnen:

Determinismusprinzip:

In jedem Stadium determiniert der jeweilige (wirkliche) Zustand den möglichen Prozess in einem Zufallsraum. Die Realisierung des Prozesses innerhalb dieses Raumes unterliegt dem (objektiven) Zufall.

Ein geeignetes Analysebeispiel bildet Wagenscheins Entwicklung des Fallgesetzes (vgl. /16/200 ff). Er orientiert sich an Galileis Versuchbeschreibung und erörtert die Untersuchung der Zustandsbeschreibungen von Kugeln, die auf einer schiefen Ebene herunterrollen. Es wird der Übergang von ungenauen zu präzisen Meßmethoden des Ortes und der Zeit diskutiert mit dem hypothetischen Ergebnis, dass es keine genauen Messungen gibt.

Die Realisierung eines solchen Ergebnisses im Lernprozess bildet eine Ausgangsbasis zur Entwicklung des Begriffs des objektiven Zufalls sowie der Idealisierung der strikten Determination, in der ein Zustand den Folgeprozess eindeutig bestimmt. Das allgemeine Determinismusprinzip bildet eine Basis für die Fehlerdiskussion mit der Einführung der Begriffe des systematischen und des zufälligen Fehlers. Durch die Analyse geeigneter Beispiele könnte sich hieran die Entwicklung der Begriffe der starken und der schwachen Kausalität anschließen, die sich durch eine Art Stetigkeitsbedingung präzisieren lassen.

(2) Allgemeine Betrachtungen zur Integration und Differenzierung der Begriffssysteme

Im Integrations- und Differenzierungsprozess ist einmal das neue Begriffssystem zu entwickeln. Zum anderen sind das vorgängige und das neue Begriffssystem zu einem möglichst konsistenten System zu synthetisieren. Dabei wird das vorgängige System aufgehoben: es werden Bereiche eliminiert, andere übernommen oder transformiert. Dies ist der Differenzierungsprozess. Wenn man nun von der Eigenfunktionalität der lebensweltlichen Erkenntnis ausgeht, so ist zu fragen, wie sich das lebensweltliche Begriffssystem im Integrationsprozess ausdifferenzieren sollte und durch welche Lernhandlungen dies erreicht werden kann. Die nun folgenden Anmerkungen hierzu erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es sind Ausgangsüberlegungen für eine detaillierte theoretische Analyse sowie für mögliche empirische Untersuchungen. Insbesondere ist zu beachten, dass das hier diskutierte lebensweltliche Paradigma der materiellen Bewegungsvorgänge nur ein Teil des gesamten lebensweltlichen Erkenntnissystems ist. Speziell spielen in dem hier betrachteten Teilbereich

Synästhesien keine Rolle und der Typ der Objektivierung ähnelt stark dem der klassischen Physik.¹³

Die lebensweltlichen Begriffe "Geschwindigkeit", "Beschleunigung", "Kraft" und "Widerstand" sind im Sinne der Physik zu explizieren. Sie erscheinen in einem neuen gesetzmäßigen Kontext und zusätzlich in einer neuen Systematisierungsart, der Systematisierung auf das Objekt, die der Naturwissenschaft zugrunde liegt. Einige Momente (Dimensionen, Seiten) der lebensweltlichen Begriffe werden dabei beibehalten. Sowohl für die kinematischen als auch die dynamischen Begriffe besteht die Aufhebung in einer Transformation auf eine neue Ebene, wobei die physikalisch falschen Momente eliminiert werden. Mit der Zurückführung des Kraftbegriffs auf den Wechselwirkungsbegriff ist das Speicher- und Verbrauchsprinzip aufzuheben. Vermutlich gelingt dies erst mit der Entwicklung des Energie- und Impulsbegriffes. Die Differenzierung dieser drei Begriffe lässt sich durch ihre unterschiedlichen Realitätsbereiche zufolge ihrer unterschiedlichen Repräsentationsmomente in Ansatz bringen. Die Potenzvorstellung der Kraft transformiert sich in gewisser Weise auf eine andere Ebene: es werden nicht mehr die Kräfte als Potenz gedeutet, sondern die Eigenschaften der Objekte, die ihre möglichen Wechselwirkungen spezifizieren. Diese Potenzvorstellung ist auch nicht mehr atomistisch, sondern systemtheoretisch. Die Potenzen der Teile werden im Kontext der Ganzheit gedacht.

Bei dieser Transformation bzw. Ausdifferenzierung können lebensweltliche Termini wie "schnell" oder "Widerstand" unter Umständen durchaus beibehalten werden. Der Terminus "schnell" klassifiziert z.B. Bewegungen hinsichtlich des Geschwindigkeitsbetrages, wie es in dem situativen Kontext des lebensweltlichen Handelns zur Orientierung des Subjekts wesentlich ist. Entsprechendes gilt für den lebensweltlichen Terminus "Widerstand", der sich in dem situativen Kontext auf diejenigen Kräfte bezieht, die hinderlich sind, um den unterstellten Zweck der Bewegung zu realisieren. Der lebensweltliche Terminus "Widerstand" unterscheidet sich also vom physikalischen, er ist auch allgemeiner als dieser.

Die beiden Beispiele zeigen, wie lebensweltliche Begriffe derart transformierbar sind, dass sie einmal ihre spezifische Eigenfunktionalität behalten und durch ihre Beziehung zu den physikalischen Begriffen auch mit diesen konsistent sind. Im Ansatz zeigen diese Beispiele auch, wie das Verursacher-Zweck-Denken auf den Handlungs- bzw. Tätigkeitskontext zu beschränken ist. Das lebensweltliche Kausalprinzip lässt sich in zweierlei Hinsicht explizieren. Einmal im Kontext der Wirkursache, d.h. der Wechselwirkungen. Der Begriff der Kausalität wird hier durch Abstraktion aus dem Wechselwirkungsbegriff gewonnen. Die Wechselwirkung wird damit als Ursache für eine produzierte Wirkung angesehen. Die andere Explikationsmöglichkeit bezieht sich auf den Erklärungskontext von Vorgängen, die nur scheinbar die physikalische Theorie verletzen. Dies geschieht durch Auffinden eines Gesichtspunkts, der zunächst (bei der Problemlösung) nicht berücksichtigt wurde (vgl. /9/80 f).

Ein allgemeines und fundamentales Kriterium dieses Integrations- und Differenzierungsprozesses besteht in der spezifischen Funktion des lebensweltlichen Erkenntnissystems im Gesamtsystem. Ältere Auffassungen gin-

gen häufig davon aus, dass das (natur)-wissenschaftliche Wissen das lebensweltliche ersetzt, lebensweltliche Erfahrung unzulänglich und ungenau sei und der Übergang zur Wissenschaft ein Präzisionsprozess ist. Damit waren das lebensweltliche Wissen und die lebensweltliche Erfahrung prinzipiell ersetzbar. Anders verhält es sich, wenn man von der Eigenfunktionalität der Lebenswelt ausgeht. Aus dieser Sicht sind die lebensweltlichen Erkenntnissysteme Mittel für Systembeschreibungen, die zur unmittelbaren Orientierung des Subjekts in seiner lebensweltlichen Tätigkeit relevant und sinnvoll sind. Die lebensweltliche Systematisierung ist auf das Subjekt orientiert, die naturwissenschaftliche demgegenüber auf das Objekt. Soll nun die naturwissenschaftliche Systematisierung wieder auf das Subjekt orientierbar werden, so sind die lebensweltlichen Erkenntnissysteme als Integrationsbasis der naturwissenschaftlichen aufzufassen.

Es lassen sich noch zwei weitere fundamentale Integrationsebenen angeben. Einmal eine allgemeine theoretische Ebene und zum anderen eine metatheoretische. Die theoretische Ebene beginnt bereits mit der Verallgemeinerung von Begriffen und Prinzipien, z.B. einem allgemeinen elementaren Begriff von der Struktur der Materie, dem Wechselwirkungsbegriff oder den oben angedeuteten Prinzipien. Wesentlich sind auch allgemeine systemtheoretische Prinzipien. Als multidisziplinäres Paradigma integriert das Selbstorganisationsparadigma natürliche und soziale Systeme sowie die einzelnen Subjekte, insbesondere in ihrer Tätigkeit als Systemkonstrukteure. Es ist damit auch konstitutiv für das Beziehungsgefüge von Wissenschaft, Technik, Gesellschaft und Natur. Mit dem Selbstorganisationsparadigma ist nun auch diese Ebene mit der metatheoretischen integrierbar.

4. ZUR LEHR-LERN-METHODIK

Der Realisierbarkeit der skizzierten Integration liegt die Hauptthese zugrunde, dass eine adäquate Entwicklung des Neuen, wie hier des Wechselwirkungsbegriffs, eine explizite Gestaltung eines Integrations- und Differenzierungsprozesses beinhaltet. Dabei rücken insbesondere dann allgemeine integrative Prinzipien in den Vordergrund, wenn ein sich entfaltendes genetisches Lernen realisiert werden soll, bei dem also auch das Lernen gelernt wird. Wie die Diskussion der vier Entwicklungsphasen des Wechselwirkungsbegriffs (Neuen) gezeigt hat, setzt die Gestaltung des Integrations- und Differenzierungsprozesses eine spezifische Methodik voraus. Die hierfür wesentlichen Methoden (Erkenntnismethoden) sind nicht mit den üblich diskutierten Unterrichtsmethoden identisch. Die Beziehung zwischen diesen beiden Methodentypen soll hier noch etwas erörtert werden.

Methoden als Regelsysteme sind Mittel, um die Operationsstrukturen zu organisieren. Hierdurch werden Handlungsziele realisierbar, und zwar in der durch die Methoden bestimmten Art und Weise. Die Methoden sind konstitutiv für die Handlungsergebnisse. Die konkrete Anwendbarkeit von Methoden setzt einmal eine hinreichende Entwicklung der einzelnen Operationen voraus und zum anderen die Fähigkeit, in der

Orientierungstätigkeit (durch Selbstreflexion) die notwendigen Weiterentwicklungen und Verknüpfungen der Operationen realisieren zu können. Unter diesen Bedingungen können Methoden als Orientierungen vorgegeben werden. Eine selbsttätige Entwicklung in der Lerntätigkeit setzt die betreffende Operationsstruktur voraus, aus der sie sich abstrahieren lassen. Beide Fälle führen zu einer Integration der Methoden mit anderen Wissensformen, wie dem naturwissenschaftlichen Gesetzeswissen und dem erkenntnistheoretischen Wissen.

Die Entwicklung des Neuen wird dadurch eingeleitet, dass eine Desintegration zu einem konkreten Bewegungsmoment herausgearbeitet wird. Hierauf ist der Lernprozess bewusst auszurichten. Die hierfür notwendigen theoretischen Mittel sowie die notwendige emotionale Bewertung kann aber nicht vorausgesetzt werden. Es wird wohl auch nur in speziellen Fällen möglich sein, die Bewertung, den damit verbundenen persönlichen Sinn und das hierdurch bedingte Interesse an einer Weiterentwicklung über die Erkenntnisseite vorab zu erzeugen. Dem persönlichen Sinn und den Erkenntnisssystemen des lernenden Subjekts stehen die objektive Bedeutung und das gesellschaftliche Wissen gegenüber. Das lernende Subjekt eignet sich den Lerngegenstand (Desintegration) in der komplementären Wechselbeziehung zwischen Selbstbestimmung (Freiheit, Selbstverwirklichung) und Bestimmtwerden (Notwendigkeit, Aneignung gesellschaftlicher Allgemeinheit) an.

Zur Diskussion der spezifischen Methodik gehen wir von den Unterrichtsmethoden aus. Methoden dieser Art dienen der Organisation von Lehr-Lern-Situationen. Sie konstituieren ein spezielles Lehr-Lern-System. Ein Beispiel ist das Rollenspiel. Als System von Regeln aufgefasst, reguliert es die interaktive Bearbeitung eines Objektes (Lerngegenstandes). Es eignet sich z.B. zur Herausarbeitung einer Desintegration durch zwei Kontrahenten. Die dem speziellen Aneignungsziel angepasste Argumentationsstruktur kann durch Spezifikation des allgemeinen Regelsystems erreicht werden. In einem möglichst rationalen Diskurs legt einer der beiden Diskursteilnehmer Gründe und der andere Gegengründe dafür vor, dass eine Desintegration existiert.

Dies führt für beide Seiten zu einer Akkommodation, an dessen Ende eine hinreichend konkrete Erkenntnis der Desintegration stehen kann, um das Neue in Form einer modellierenden Information herausbilden zu können. Durch diese Unterrichtsmethode wird die Diskussion um Geltung in einen (rationalen) Spiel-Diskurs transformiert. Hierdurch können sich eventuelle Erkenntnis hemmende emotionale Bewertungen aufheben, denn der Spieldiskurs ist durch andere emotionale Bewertungen bestimmt. Sie sind i. Allg. auch situativ bedingt.

Neben der formalen Eignung bilden die emotionalen Bewertungen ein wesentliches Kriterium für die Wahl der Unterrichtsmethoden. Das formale Eignungskriterium einer Unterrichtsmethode besteht darin, inwieweit die betreffende Methode die Operationsstrukturen derart zu organisieren vermag, dass sie hinreichend auf die organisierende Wirkung der Erkenntnismethoden funktionalisiert sind. Andere Unterrichtsmethoden können für die Herausarbeitung einer Desintegration in diesem Sinne weit weniger

effektiv als das Rollenspiel sein, auch wenn sie i.a. im Klassenverband als praktikabler erscheinen mögen.

In dem durch die Unterrichtsmethode konstituierten Lehr-Lern-System ist die Desintegration in der Lerntätigkeit bewusst mit dem konkreten Ziel herauszuarbeiten, geeignete Informationen für die Entwicklung des Neuen in Form einer modellierenden Information zu gewinnen. Es geht also nicht nur um den abstrakten Nachweis dafür, dass ein Paradigma in bestimmten Anwendungsbereichen versagt. Entscheidend hierfür ist die konkrete Form der verwendeten Argumente bzw. der ihnen zugrunde liegenden Methoden. Diese Methoden sind gleichfalls anzueignen. Als Nebenziele sind sie jedoch der allgemeinen Zielstellung unterzuordnen und zunächst nur so weit zu bearbeiten, wie dies für die Erreichung des beschriebenen Hauptziels notwendig ist. Eine Explikation der Methoden ist gesondert unter der Zielstellung ihrer Weiterentwicklung durchzuführen.

Die experimentelle Methode¹⁴ kann speziell bei der Herausarbeitung der Desintegration als zentrales Element der Gesamtmethodik angesehen werden. Sie involviert selbst Teilmethoden wie die der Begründung und der Analyse und Synthese und ist auch in Methoden dieser Art als Teil-Methode eingebettet. Mit der Explikation der experimentellen Zielstellung - dies ist eine der Regeln der experimentellen Methode - wird die allgemeine Methode auf Besonderheiten spezifiziert. Nahezu alle vorkommenden Methoden erhalten ihr Grundcharakteristikum über die involvierte erkenntnistheoretische Basis, die speziell die Beziehungen zwischen Theoretischem und Empirischem, Sinnlichem und Rationalem, Allgemeinem und Besonderem, Theorie und Realität etc. bestimmt. Es sind auch gerade diese Beziehungen, auf die sich die gesamte Argumentation implizit oder explizit bezieht. Der Gebrauch des Wissens (Methoden, Gesetze, Theorien) hängt davon ab, wie diese Verhältnisse gedacht werden. Empiristische oder rationalistische Vorstellungen sind als Reduktionen ebenso zu vermeiden wie der Begriff des *experimentum crucis*. Die Argumente der Diskussionspartner sind im Kontext geeigneter externer Orientierungen entsprechend dieser Verhältnisse zu transformieren.

Durch den Verzicht auf absolute Erkenntnisdimensionen wird die Forderung nach approximativer Konsistenz von Theoretischem und Empirischem zum fundamentalen Kriterium der experimentellen Methode. Doch diese Konsistenz lässt sich jeweils nur innerhalb einer Theorie, eines Paradigmas erzeugen. Damit ist z.B. auch die Herausbildung einer modellierenden Vorstellung zum Mittel der Integration und Differenzierung unter der Zielstellung durchzuführen, eine neue Erklärungsgrundlage alter und evt. auch neuer Fakten zu entwickeln. Die begründete Möglichkeit hierfür liefert die erkenntnistheoretische Grundposition. Allerdings vollzieht sich die Begründung in einem allgemeineren Kontext. Denn es ist auch zu begründen, warum dieser Weg beschritten wird, und zwar derart, dass eine positive emotionale Bewertung möglich wird.

Wie oben skizziert, zeigen die empirischen Untersuchungen einen emotionalen Widerstand beim lernenden Subjekt auf, wenn es die lebensweltliche Systematisierungsart verlassen soll. Die naturwissenschaftliche Systematisierung liefert dem Subjekt nicht unbedingt einen neuen Sinn, wenn der

Bezug zum Menschen zumindest implizit nicht hinreichend herstellbar wird. Mit dieser Betrachtung werden wir auf das Problem geführt, das Lernen auf die Entwicklung von Mensch, Gesellschaft und Natur zu orientieren.

Literatur

- /1/ Black, M.: Models and Metaphors. Ithaca N.Y.: Cornell University Press, 1962.
- /2/ Black, M.: More about Metaphor. In: Ortony 1979, 19-43.
- /3/ Hesse, M. B.: Models and Analogies in University of Science. Notre Dame, Indiana: Notre Dame Press 1966. Bad Salzdetfuth 1981.
- /4/ Jung, W.: Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie. Frankfurt/Berlin/München 1979.
- /5/ Jung, W.: Zur Einführung des Kraftbegriffs. In: phys. did. 4, 1977, 171-187.
- /6/ Jung, W.; Engelhardt, P.; Wiesner, H.: Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik.
- /7/ Kuhn, T. S.: Eine Funktion für das Gedankenexperiment. In: Kuhn, T. S.: Die Entstehung des Neuen. Hrsg.: Lorenz Krüger, Frankfurt 1977, 327-357.
- /8/ Kuhn, T. S.: Metaphor in Science. In: Ortony 1979, 409-419.
- /9/ Kuhn, T. S.: Verschiedene Begriffe der Ursache in der Entwicklung der Physik. In: Kuhn, T. S.: Die Entstehung des Neuen. Hrsg.: Lorenz Krüger, Frankfurt 1977, 72-83.
- /10/ Mach, E.: Über Gedankenexperimente, Z. f. d. physik. und chem. Unterricht 10, 1-5, 1897.
- /11/ Niedderer, H.: Probleme der Lebenswelt, Vorverständnis der Schüler und Wissenschaftstheorie der Physik als Determinante für den Physikunterricht. In: Fischler, H. (Hrsg.): Lehren und Lernen im Physikunterricht, Köln 1982, 105-132.
- /12/ Parthey, H.; Wahl, P.: Die experimentellen Methoden in Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Berlin 1966.
- /13/ Schecker, H.: Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Dissertation, Bremen 1985
- /14/ Steiner, H. G.: Über Metaphern, Modelle und Mathematik. In: Bender, P. (Hrsg.): Mathematikdidaktik - Theorie und Praxis. Festschrift für Heinrich Winter. Berlin 1988, 190-201.
- /15/ Varela, F. J.: Kognitionswissenschaft - Kognitionstechnik. Frankfurt am Main 1990.
- /16/ Wagenschein, M.: Naturphänomene sehen und verstehen. Hrg. von H. Chr. Berg. Stuttgart 1980.
- /17/ Weizsäcker, C.F. v.: Einheit der Natur. München 1971.
- /18/ Weizsäcker, E. v.: Erstmaligkeit und Bestätigung als Komponenten der pragmatischen Information. In: Weizsäcker, E. v. (Hrsg.): Offene Systeme I: Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution. Stuttgart 1974.
- /19/ Wolze, W.: Zur Bedeutung neuerer Erkenntnistheorien für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens durch Schüler - Teil II: Erkenntnistheoretische Konsequenzen für den Lernprozess. In: Mikelskis, H.

(Hrsg.): Zur Didaktik der Chemie und Physik. Alsbach: Leuchtturm Verlag 1983.

/20/ Wolze, W.: Zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Erkenntnissysteme im Lernprozess. Wiesbaden 1989.

Anmerkungen

1) Aus: *physica didactica* 1991, 4, 3-37; überarbeitete Fassung. Dieser Aufsatz ist die Ausarbeitung eines Vortrags zum Thema "The Complementary Relation between Autopoiesis and Evolution in Learning Process", gehalten auf dem 2nd International Congress for Research on Activity Theory, Lahti, Finland, May 21-23, 1990.

2) Statt des Ausdrucks "Schülvorstellung" ziehen wir mit H. Niedderer den Terminus "Schülvorverständnis" vor. Hiermit ist ein ideelles Mittel gemeint, das wesentliche Eigenschaften eines Paradigmas besitzt (vgl. /20/, 109ff.). Da es sich bei den Schülvorverständnissen um typisch lebensweltliche Erkenntnisse handelt, wollen wir auch den Ausdruck "lebensweltliche" oder "sinnlich-ästhetische Paradigmen" verwenden.

3) Der Begriff des Paradigmas wird hier in einem allgemeineren Sinne als in der Wissenschaftstheorie gebraucht (vgl. Anm. 2). Im Wesentlichen bezieht er sich auf eine verallgemeinerte Beschreibung der Wissensentwicklung im individuellen Erkenntnisprozess.

4) Diese erkenntnistheoretische Position liegt Varelas Ansatz einer Handlungsorientierten Kognitionswissenschaft zugrunde (vgl. /15/). Varela versteht seine Position als Alternative zur Kognitionswissenschaft und zum radikalen Konstruktivismus. Die wesentliche Differenz zur Kognitionswissenschaft besteht darin, dass er einen Informationsbegriff und damit den entsprechenden Repräsentationsbegriff ablehnt, der auf der Annahme einer absoluten Realität basiert. Die Objektzentrierung der Kognitionswissenschaft wird mit Varelas Ansatz aufgehoben; entsprechendes gilt für die Subjektzentrierung des radikalen Konstruktivismus, die sich aus einer speziellen Annahme über die informationelle Abgeschlossenheit des Subjekts ergibt.

5) In Anlehnung an die Theorie der Abduktion von Peirce formuliert W. Jung(/4/, 47ff.) das Prinzip, dass neue Hypothesen durch Kombination bereits bekannter und verfügbarer Elemente gebildet werden.

6) Eine solche Annahme "gleichartiger Körper" ist auf der Grundlage eines intuitiven Symmetrieprinzips durchaus sinnvoll.

7) In Seminaren an der Universität Kiel habe ich dies wiederholt festgestellt. Erst nach eingehender Erörterung des Wechselwirkungsbegriffs hatten die Studenten das Gefühl, Wechselwirkungsbeziehungen adäquat zu denken.

8) Zum Begriff des Gedankenexperiments vgl. /?/

9) Vgl. hierzu /10/

10) Für eine kurze und prägnante Übersicht zum Metaphernbegriff und seiner Entwicklung s. Steiner/14/. M. Black nimmt in/!/ und/2/ den Versuch einer systematischen Grundlegung vor. Seine zentrale Problematik bildet die Beziehung zwischen Modellen und Metaphern, die Hesse in /3/ weiter bearbeitet. Zur Rolle der Metaphern in der Theoriedynamik s. auch Kuhn /8/. In seinem Entwurf zur Systembildung mit Fließendem geht W. Walgenbach von der Metapher "Fließendes ist ein sensibles Chaos" aus. Auf dieser Grundlage werden die Komplementaritäten Bestimmen/Bestimmtwerden und Chaos/Ordnung in verschiedenen Disziplinen entwickelt und schließlich in einer ökologischen Systembildung (Planung von Flussgewässern) integriert. Dieser Entwicklungsprozess wird reflektiert und

führt zur System-Bildung als Bewusstheit über die Tätigkeit disziplinärer und interdisziplinärer Systembildung.

11) Vgl. zum Problem der Beziehung von Qualitativem und Quantitativem /20/, 123 ff.

12) Vgl. hierzu /19/.

13) Vgl. hierzu z. B. /20/, 295 ff.

14) Zur experimentellen Methode vgl. z. B. /12/ und /20/, 176-183.

Kontakt
PD Dr. Wilhelm T. Wolze
Wolze@paedagogik.uni-kiel.de