

DISKUSSION EINIGER METHODEN
ZUR EINFÜHRUNG NATURWISSENSCHAFTLICHER BEGRIFFE *

Teil 1

WILHELM T. WOLZE

Zusammenfassung

Es werden einige Methoden diskutiert, die im Prozess der Begriffseinführung eine wesentliche Rolle spielen. Im ersten Teil werden die exemplarische Methode, die Nominaldefinition, eine Einschränkung der Realdefinition und die implizite Definition dargestellt. Bis auf die erste sind diese Methoden gegenüber ihrer üblichen Form modifiziert bzw. erweitert. Im zweiten Teil wird ihre Anwendbarkeit im Prozess der Begriffseinführung analysiert. Es wird gezeigt, dass sich diese Methoden sowohl im Rahmen der klassischen induktiven Methodologie als auch innerhalb eines neu zu gestaltenden Einführungsprozesses von Begriffen anwenden lassen. Ein solcher Prozess wird sich an wesentlichen Gesetzen der Wissensentwicklung orientieren, die eine Begründung für die einzelnen Einführungsschritte liefern.

Abstract

Several methods are discussed which are important in the process of introducing concepts. In the beginning section the following methods are described: the method of paradigm case argument, the method of nominal definition, the method of realdefinition in a limited form, the method of operational definition and the method of implicit definition. With the exception of the first all these methods are treated in a modified and expanded sense. The following section analyses the application of these methods in the process of introducing concepts. Thus is shown that these methods can be used either in the frame of classical inductive-methodology or within a new conceptualised process of introducing concepts. Such a new process should be oriented towards principles of knowledge development. These principles give the rationale for the single Steps within the introductory course.

1. ZUR PROBLEMSITUATION

Wissenschaftstheoretische Untersuchungen über Begriffe, Theorien und Begriffsbildungen sind zwar immer noch nicht abgeschlossen, haben aber bis zum gegenwärtigen Diskussionsstand einige grundlegende Klärungen erbracht, die aber bislang weder in die Theoretisierungen und Begründungen noch in die Didaktik hinreichenden Eingang gefunden haben und in der Curriculumentwicklung kaum berücksichtigt wurden. Ein wesentlicher Grund liegt wohl darin, dass diese Probleme vielschichtig sind und ihre Lösungen, die radikale Konsequenzen für die betreffenden Arbeiten haben würden, meist noch offene wissenschaftstheoretische Probleme einbeziehen. So ist z.B. das Bedeutungsproblem der sogenannten theoretischen Terme¹, dessen Lösung mit der Lösung unseres Problems der Einführung wissenschaftlicher Begriffe bzw. Termini untrennbar verbunden ist, noch völlig unzureichend geklärt. Dennoch

* Aus: *physica didactica* 1980, S. 57-62; überarbeitete Fassung
ISB-Letter

kann unter Verwendung bisheriger wissenschaftstheoretischer Ergebnisse die Einführungsproblematik explizit gemacht und vor allem eine praktische Lösung erzielt werden, die dazu beitragen kann, die mit der Begriffsaneignung verbundenen Schwierigkeiten aufzuheben. In diesem Artikel soll ein derartiger Klärungsversuch durchgeführt werden, und zwar im Wesentlichen orientiert an Beispielen der elementaren Physik. Er basiert einmal auf dem Prinzip, dass der Sinn jeder Einführungsmethode allen Diskursteilnehmern klar sein muss und zum anderen darauf, dass der Gebrauch von Termini die Bedeutung der Termini repräsentiert.²

Dieser Ansatz liefert sowohl ein praxisrelevantes Analyseinstrument für Begriffseinführungen bzw. -einführungsmethoden, als auch eine Orientierung für die Begriffseinführung. Ein wesentliches Defizit des Ansatzes liegt darin, dass der Realitätsbezug ungenügend behandelt wird. Auch hierbei handelt es sich noch um ein kontroverses erkenntnis- und wissenschaftstheoretisches Problem: das Verhältnis von Theorie und Realität. Die Lösung dieses Problems würde vermutlich auch das Bedeutungsproblem der Termini klären, da die Bedeutung der Termini nur unter Bezugnahme auf ihren Realitätsbezug zu klären ist und damit – im Rahmen einer Konstitutionstheorie – unter Bezugnahme auf ihre Rolle bei der Realitätskonstitution. Dementsprechend ist auch aus der nachfolgenden Erörterung konkreter Zusammenhänge zu entnehmen, dass eine grundlegende Klärung unseres Problems der Begriffseinführung mit der Klärung der erkenntnistheoretischen Grundlagen der Wissenschaften untrennbar verbunden ist. Bezüglich des Realitätsbezuges verfolgen wir hier, wie auch im Falle des Bedeutungsproblems der Termini, einen pragmatischen Ausweg, der die Reduktion dieser Problematik auf den Gebrauch der Termini ergänzt.

2. EINE AUSWAHL VON METHODEN ZUR BEGRIFFSEINFÜHRUNG

Die Einführung von Begriffen ist an konkrete Zeichen gebunden in der Weise, dass primär Termini eingeführt werden. Allerdings setzt dies zumindest implizit eine Abstraktion von den konkreten Zeichen und die Erfassung der Zeichengestalt voraus. Ferner kann man davon ausgehen, dass zumindest implizit die Invarianz von der konkreten Zeichengestalt erfasst wird – sonst wäre z.B. das übliche Erlernen einer Fremdsprache auf der Grundlage von Wortübersetzungen nicht möglich. In diesem Sinne kann man daher auch von der Einführung von Begriffen reden.

In der (natur-)wissenschaftlichen Literatur – sowohl der Schul- als auch der Hochschulliteratur – wird häufig bei der Einführung von Begriffen die Angabe einer (exakten) Definition gefordert. Der in diesem Zusammenhang verwendete Definitionsbegriff ist vielschichtig und ohne nähere Präzisierung undurchsichtig. Wie auch immer die Methode der Einführung sein mag, als Grundvoraussetzung ist das Verständnis derjenigen Sätze oder auch Zeigehandlungen anzusehen, mit denen die Begriffe eingeführt werden. Diese Voraussetzung erfüllt der allgemein verwendete Definitionsbegriff nicht. Eine Explikation erscheint daher unumgänglich.

2.1 DIE EXEMPLARISCHE METHODE DER BEGRIFFSEINFÜHRUNG OSTENSIVE DEFINITIONEN

Die grundlegendste, nicht hintergehbare und prinzipiell nicht eliminierbare Methode der Begriffseinführung ist die exemplarische Methode.³ Die Begriffe werden hier an Beispielen und Gegenbeispielen eingeführt, durch Elementarsätze der Form: "a ist ein P" und "b ist kein P"; wofür man formal auch " $P(a)$ " und " $\neg P(b)$ " schreiben kann. Diese Methode – die wesentlich beim Erlernen der Umgangssprache verwendet wird – ist nicht nur auf einstellige Prädikate bzgl. physischer Objekte anwendbar: sie kann

z.B. auch für die Einführung von Begriffen verwendet werden, die sich auf Handlungen oder auch wiederum auf Begriffe beziehen; z.B. "'Atom' ist ein Substantiv". Eingeschränkt auf physische Objekte trifft sie im Zusammenhang mit Zeigehandlungen den Sinn der sogenannten *ostensiven Definition*.

Die exemplarische Methode führt die Begriffe isoliert ein, die Beziehungen zwischen den Begriffen bleiben daher implizit. Zur besseren Stabilisierung der exemplarisch eingeführten Begriffe kann die exemplarische Methode durch Hinzunahme von Regeln, den sogenannten Prädikatorenregeln, ergänzt werden, die einige Beziehungen zwischen den Begriffen zum Ausdruck bringen. Die Prädikatorenregeln bestimmen den Gebrauch der Begriffe, indem sie festlegen, ob einer Entität ein Prädikat (z.B. "...ist ein physikalischer Körper") zugesprochen werden kann, wenn man ihr zu Recht ein anderes Prädikat (z.B. "... ist ein fester Körper") zuspricht. Kürzen wir die beiden Prädikate mit "pk" und "fk" ab und symbolisieren das Zusprechen durch " \Rightarrow ", so lässt sich unser Beispiel folgendermaßen formalisieren:

$$fk(x) \Rightarrow pk(x).$$

Die Prädikatorenregeln sind sprachliche Festlegungen; ihnen korrespondieren daher Allsätze, in unserem Beispiel:

$$\bigwedge x(fk(x) \rightarrow pk(x)).$$

Diese Sätze sind empirisch nicht widerlegbar, empirisch kann lediglich bestimmt werden, ob ihre Festlegung sinnvoll ist.

Die exemplarische Methode lässt sich im wissenschaftlichen Bereich dann gut anwenden, wenn die Begriffe Objekte nach sinnlich beobachtbaren Eigenschaften und Relationen klassifizieren. Die physikalischen Begriffe z. B. besitzen i. a. diese Eigenschaft nicht. Lediglich einige Begriffe haben einen direkten Bezug zur Sinnlichkeit, in dem die mit ihrer Hilfe formulierten Elementaraussagen zum Teil wahrnehmungsmäßig entscheidbar oder aus solchen durch Abstraktion gewonnen sind. Beispiele hierfür sind die qualitativen Raumzeit-Begriffe und der qualitative Temperaturbegriff. Die meisten physikalischen Begriffe haben keinen oder jedenfalls keinen für die exemplarische Einführung relevanten bzw. signifikanten Bezug zur Sinnlichkeit, wie z.B. der Kraftbegriff bzgl. des Tastsinns. Daher müssen diese Begriffe auch durch andere Methoden eingeführt werden. Die Einführung physikalischer Begriffe geschieht auf der Grundlage von Begriffssystemen. Dies mag der Grund dafür sein, schlicht, einfach und undifferenziert von Definitionen zu reden. Denn auch, wenn man unter "Definition" die Festlegung von Begriffs-, Wort- und Zeichenbedeutungen versteht, ist die geforderte Grundvoraussetzung noch nicht erfüllt: der Terminus "Festlegung" wird nämlich keineswegs eindeutig interpretiert. Je nach Interpretation lassen sich verschiedene Definitionsbegriffe unterscheiden, die auch ein unterschiedliches Verhältnis zum Axiomenbegriff besitzen. Noch eklatanter als in der Physik ist dieses Definitionsproblem in den Sozialwissenschaften, da man sich hier mit einer lebensweltlichen Begrifflichkeit behelfen kann, die in der Physik schnell versagt. Im folgenden sollen die Definitionsbegriffe der Nominal-Definition, der Realdefinition, der operationalen Definition und der impliziten Definition besprochen werden, die dann im nächsten Abschnitt unter Verwendung von Beispielen genauer analysiert werden. Im Gegensatz zur ostensiven Definition geschieht hier die Bedeutungsfestlegung durch vorgegebene Begriffe bzw. Begriffssysteme.

2.2 NOMINALDEFINITIONEN

Bei der Erörterung der Definitionen haben wir einen formalen und einen pragmatischen Aspekt zu berücksichtigen. Üblicherweise reduziert man letzteren bei den Nominaldefinitionen auf die Bestimmung, dass der zu definierende Begriff völlig neu und unbekannt ist. Genau in diesem Punkt unterscheiden sich Nominaldefinitionen von Realdefinitionen. Nominaldefinitionen legen die Bedeutung eines Terminus mit Hilfe anderer vollständig und eindeutig fest. Das bedeutet insbesondere, dass derjenige, der den Gebrauch der Begriffe des Definiens (dasjenige, womit definiert wird) kennt, auch den vollständigen Gebrauch des definierten Begriffs kennt. So gesehen liefern Definitionen inhaltlich nichts Neues; sie können – wenn der obige pragmatische Umstand erfüllt ist – als Abkürzung interpretiert werden. Innerhalb präziser, formaler Sprachen lassen sich diese inhaltlichen Charakterisierungen durch zwei präzise Kriterien ersetzen, die eine Nominaldefinition erfüllen muss, durch das *Kriterium der Eliminierbarkeit* und das *Kriterium der Nichtkreativität*.⁵ Kurz inhaltlich charakterisiert besagen die Kriterien folgendes:

Kriterium der Eliminierbarkeit

Der definierte Terminus muss aus jedem Kontext, in dem er vorkommt, eliminierbar, d.h. durch das Definiens ersetzbar sein.

Kriterium der Nichtkreativität

Nach Einführung von Nominaldefinitionen sind nur solche Sätze herleitbar, die logisch äquivalent mit jenen Sätzen sind, die auch ohne Verwendung der Definitionen herleitbar sind. D.h. speziell: Ist S^+ ein Satz, der mit Hilfe von Definitionen hergeleitet ist und S derjenige Satz, der aus S^+ durch Ersetzung aller definierten Begriffe entsteht, so ist S ohne Verwendung von Definitionen herleitbar.

Das Kriterium der Nichtkreativität ist das entscheidende Charakteristikum, das Nominaldefinitionen von Axiomen unterscheidet, die im Gegensatz dazu kreativ sind (Vergleiche das Beispiel der klassischen Partikelmechanik in 2.5). Die Anwendung der beiden Kriterien setzt eine präzise Sprache voraus. Für die physikalischen Theorien bedeutet dies, dass sie zumindest informal axiomatisiert⁶ sein müssen, damit alle Beziehungen (Gesetze) vorliegen, in denen die Begriffe vorkommen. Der begründeten Wahl bzw. der Explikation von Grundbegriffen⁷ bei der Rekonstruktion bzw. Axiomatisierung von Theorien geht aber stets eine Analyse der Bedeutungen und der definitorischen Reduktionsmöglichkeit (gewisse Gesetze als Definitionsbeziehung aufzufassen) voraus. In der formalen Definitionstheorie wird eine Variablenbedingung angegeben, um die Eliminierbarkeit und Nichtkreativität abzusichern. Sie fordert, dass im Definiendum dieselben Variablen vorkommen wie im Definiens⁸. Dieses formale Argument kann auf inhaltlicher Ebene um eine Bedingung über die Realitätsbereiche im Definiens und Definiendum erweitert werden. Wenn Nominaldefinitionen als Abkürzung interpretiert werden, so sind Definiens und Definiendum zwar verschiedene Termini, ihnen korrespondieren aber aufgrund der totalen Bedeutungsreduktion identische Begriffe. Diese müssen sich dann auch auf dieselbe Entität beziehen. Ergänzend zur formalen Definitionstheorie stellen wir hier noch ein zusätzliches Kriterium bezüglich der Realitätsbereiche von Definiens und Definiendum auf, das bei Definierbarkeitsuntersuchungen als praktisches Kriterium dienen kann.

Realitätsbereichskriterium:

Definiens und Definiendum beziehen sich beide auf denselben Realitätsbereich.

Diese Ergänzung ist notwendig, da die Variablenbedingung aus zwei Gründen zu schwach ist:

- (1) Eine Beziehung, die die Variablenbedingung erfüllt, braucht noch nicht das Realitätsbereichskriterium zu erfüllen.
Ein verifizierendes Beispiel hierfür bildet das zweite NEWTONsche Axiom, wie weiter unten gezeigt wird.
- (2) Die in den axiomatisierten Theorien auftretenden Variablen brauchen aus inhaltlichen Gründen nicht adäquat zu sein.

Hierzu ein erläuterndes Beispiel:

Innerhalb einer Axiomatisierung der Theorie elementarer Stromkreise könnte man mittels der Variablen " q_i ," – die sich auf Leiterquerschnitte beziehen – und der Zeitvariablen " t " zu dem Definitionsvorschlag kommen:

$$R(q_1, q_2, t) =_{df} U(q_1, q_2, t) : I(q_1, q_2, t)$$

Dabei ist $R(q_1, q_2, t)$ der Größenwert des Widerstandes zwischen den beiden Querschnitten q_1 und q_2 zum Zeitpunkt t , $U(q_1, q_2, t)$ der Größenwert der Spannung zwischen q_1 und q_2 zur Zeit t und $I(q_1, q_2, t)$ der Größenwert des Stromes zur Zeit t , der durch q_1 nach q_2 fließt. Die Inadäquatheit ergibt sich aus folgender Betrachtung: Der Widerstandsbegriff bezieht sich auf eine Eigenschaft materieller Körper, die durch die Wechselwirkung der bewegten Ladungsträger mit dem Widerstandskörper konstituiert ist, der Spannungsbegriff bezieht sich auf das elektrische Feld und der Begriff der Stromstärke eine Eigenschaft der Bewegung materieller geladener Teilchen. Die Realitätsbereiche von Definiens und Definiendum sind also verschieden, der Definitionsvorschlag muss als inadäquat zurückgewiesen werden.

Mit diesem Realitätsbereichskriterium wird ein semantisches Definitionskriterium eingeführt, das auf einen komplexen pragmatischen Kontext Bezug nimmt. In der formalen Definitionstheorie konnte von diesem Kontext abstrahiert werden, da man mit der Einführung eines neuen Begriffs auf der Grundlage der beiden Kriterien und der Variablenbedingung automatisch das Realitätsbereichskriterium erfüllt. Der hierbei vorausgesetzte pragmatische Kontext ist in zweifacher Weise reduziert. Einmal hat man es auch in den Naturwissenschaften nicht mit fertigen und präzisen Begriffen zu tun: die Anwendung der Methode der Definition auf die Wissenschaftssprachen zur Einführung eines neuen Begriffs setzt im allgemeinen eine Präzisierung der vorhandenen Begriffe und damit auch eine Herausarbeitung der Realitätsbereiche voraus. Zum anderen wird jener pragmatische Kontext eliminiert, der sich auf die Aneignung fertigen Wissens bezieht. Hier hat man es zusätzlich mit der Begründung der Einführung der Begriffe zu tun. Der Realitätsbereich spielt dabei eine wesentliche Rolle.

2.3 REALDEFINITIONEN

Der Terminus "Realdefinition" wird i. a. synonym mit dem Terminus "Begriffsexplikation" gebraucht.⁹ Zur Gewinnung einer differenzierten Terminologie, die für eine Theorie der Begriffsentwicklung wesentlich ist, wird hier folgende Einschränkung vorgeschlagen:

Realdefinitionen erfüllen das Nichtkreativitäts-, das Eliminierbarkeits- und das Realitätsbereichskriterium der Nominaldefinitionen. Sie unterscheiden sich von den Nominaldefinitionen durch den pragmatischen Kontext; der durch die Realdefinition neu eingeführte Begriff ist eine Weiterentwicklung eines vorgängig verfügbaren Begriffs. Realdefinitionen sind insofern Begriffsexplikationen, als in den vorgängigen Sprachsystemen (z.B. Umgangssprache) bereits solche Begriffe vorkommen, die in entwi-

ckelter und expliziter Form in den neuen Sprachsystemen enthalten sind. Beispiele hierfür bilden die Definitionen der Begriffe "Druck", "(mechanische) Arbeit" und "(Durchschnitts-) Geschwindigkeit", während die Definition des Begriffs "Drehmoment" oft eine Nominaldefinition ist, da dieser Begriff im Allgemeinen vorgängig nicht zur Verfügung steht. Mit dieser Festlegung des Terminus "Realdefinition" ist es möglich, diese für den Aufbau und die Begründung von Wissenschaftssprachen wichtige Begriffseinführung auch terminologisch sowohl von den Nominaldefinitionen als auch den übrigen Begriffsexplikationen unterscheiden zu können. Zur Abkürzung, führen wir für beide Definitionsarten, die Nominal- und die Realdefinitionen, die Bezeichnung "*explizite Definition*" ein.

Für den Lernprozess ist der Unterschied des pragmatischen Kontextes zwischen Nominal- und Realdefinitionen wesentlich, weil damit die Beziehungen zwischen vorgängigen und neuen Sprachsystemen zusammenhängen. Der neue Begriff ist eine Weiterentwicklung des alten, der mit der Überwindung einer kognitiven Schwelle und mit einer korrespondierenden Umstrukturierung der Realität verbunden ist. Das Denken in den neuen Begriffen bedingt die Aufhebung der alten, die dazu notwendig ist. Dies gilt allgemein, nicht nur für den Übergang von der Umgangssprache zur Wissenschaftssprache. So werden z.B. auch die Begriffe der nichtrelativistischen Physik beim Übergang zur relativistischen dadurch geändert, dass die Grenzen ihrer Anwendbarkeit im Zusammenhang mit dem approximativen Charakter der nichtrelativistischen begrifflich erfassbar werden. Intertheoretische Beziehungen liefern hier diejenigen Beziehungen zwischen den korrespondierenden Begriffen der beiden Theorien, die zur Umstrukturierung notwendig sind.

2.4 OPERATIONALE DEFINITIONEN

Nominal- und Realdefinitionen führen innerhalb eines Sprachsystems neue Termini ein, in dem die Bedeutungen der neu eingeführten Termini total auf bekannte Termini des Sprachsystems reduziert werden. Die Kreativität der Sprachsysteme wird dadurch nicht erhöht. Diese Methode führt somit nicht zu echt erweiterten Sprachsystemen.

Zur echten Erweiterung bzw. Neueinführung von Sprachsystemen müssen zumindest einige Begriffe, die sogenannten Grundbegriffe, mittels anderer Methoden eingeführt werden. Die in der Physik übliche Methode der Einführung von Grundbegriffen ist die durch operationale Definition; sie wird auch in nichtnaturwissenschaftlichen Wissenschaftssprachen verwendet, z. B. bei der sogenannten Operationalisierung von Begriffen.¹⁰ Die operationalen Definitionen gründen auf empirischen Entscheidungsverfahren, die im Falle metrischer Begriffe Messverfahren sind. Die empirischen Entscheidungsverfahren beziehen sich auf spezielle Systemarten, umfassen also nicht alle möglichen Systeme. Somit kann durch die operationale Definition nicht die gesamte Bedeutung der definierten Termini erfasst werden. Im Gegensatz zu den Nominal- und Realdefinitionen liefern also die operationalen Definitionen nur eine partielle Bedeutungsreduktion. Die operational definierten Termini sind damit nicht eliminierbar. Im positivem Fall liefern die Definitionsbeziehungen einen Teil der Struktur der Theorie, indem sie Gesetze vorweg nehmen. Problematischer sind die negativen Fälle, die eine zumindest implizite Zirkularität beinhalten. Beispiele für den negativen Fall sind im Behaviorismus zu finden. Beispiele für operationale Definitionen des positiven Falles sind die Definitionen des Massenbegriffs mittels einer Balkenwaage oder mit Hilfe des total unelastischen Stoßes, sowie die Definition des Kraftbegriffs über das dynamische Kraftgesetz. Im Falle der Definition des Massenbegriffs mittels des total unelastischen Stoßes ist die Reduktion auf spezielle Systeme sehr deutlich.

Zur präzisen Formulierung der operativen Definitionen ist es notwendig, auch die zur Definition verwendeten Vorgänge bzw. Systeme mit den zur Verfügung stehenden Begriffen präzise zu beschreiben. Diese Vorgänge werden als definierende Vorgänge bezeichnet. Bei der Definition metrischer Begriffe handelt es sich um die sogenannten Messvorgänge. Ein definierender Vorgang liegt also der Definition desjenigen Begriffs zugrunde, den man mit diesem Verfahren bestimmt. Unter der Bestimmung des Begriffs "P" ist dabei im qualitativen (klassifikatorischen oder komparativen) Fall die Bestimmung derjenigen Entitäten bzw. Entitätentupel gemeint, für die "P(a)" bzw. "P(a₁, ..., a_n)" wahr ist; im metrischen Fall bedeutet es die Bestimmung der Funktionierte.

Hinsichtlich der Beschreibung der Vorgänge lassen sich zwei Arten von operationalen Definitionen unterscheiden, die begrifflich-operativen Definitionen und die empirisch-operativen Definitionen.¹¹ In den begrifflich-operativen Definitionen werden die definierenden Vorgänge durch begrifflich festgelegte Eigenschaften unabhängig von und damit vor der wissenschaftlichen Erfahrung auf der Grundlage der vorwissenschaftlichen Erfahrung bestimmt. Die Bestimmung schließt den Nachweis der Möglichkeit der Vorgänge auf der vorwissenschaftlichen Erfahrungsebene ein. Dies protophysikalische Programm der begrifflich-operativen Definition wissenschaftlicher Begriffe soll hier aus verschiedenen Gründen nicht weiter diskutiert werden, zumal auch Zweifel an der Durchführbarkeit des Programms bestehen.¹² Empirisch-operative Definitionen beziehen sich im wesentlichen auf die wissenschaftliche Erfahrung, die zur Charakterisierung und zum Nachweis der Existenz der definierenden Vorgänge herangezogen wird. Es handelt sich hier um jene operationalen Definitionen, die in der Physik üblich sind. Da diese Definitionen die Bedeutung eines Terminus nur partiell bestimmen, können sie auch nur als ein echter Teil einer vollständigen Einführungsmethode aufgefasst werden. Die i.a. in den Lehrbüchern vorgenommene Reduktion auf diese Teilmethode hat einige negative Konsequenzen, die im Abschnitt 3.2 diskutiert werden.

2.5 IMPLIZITE DEFINITIONEN

2.5.1 Zum Begriff der impliziten Definition.

Unter einem Axiomensystem eines Wissenschaftsbereichs wird eine (endliche) Teilmenge von Aussagen, den Axiomen, verstanden, aus denen sich alle übrigen Aussagen des Wissenschaftsbereiches (logisch) herleiten lassen. Im Allgemeinen lassen sich für die Aussagen eines Wissenschaftsbereiches mehrere Axiomensysteme angeben. Die moderne Axiomatik präzisiert diesen Begriff dahingehend, dass auf eine formale Sprache im Sinne eines syntaktischen Systems Bezug genommen wird.¹³ Syntaktische Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass vom Bedeutungsgehalt der Zeichen der Sprache abstrahiert wird. Die sprachlichen Gebilde sind somit Variable, die interpretiert werden können. Die Interpretationen eines Axiomensystems heißen auch Modelle, sie verwandeln das syntaktische System in ein semantisches System. In der Mathematik wird üblich eine informelle Axiomatisierung verwendet, mit deren Hilfe Strukturen definiert werden. Die Axiomatisierung wird nicht im Rahmen eines formalen Systems, sondern im Rahmen der Umgangssprache eingeführt. Im Zusammenhang mit einer intendierten Interpretation hat diese informelle Axiomatisierung in die Physik Eingang gefunden.¹⁴ Ein Axiomensystem liefert die Struktur (Teilstruktur) einer Theorie und im Zusammenhang mit einer intendierten Interpretation ein Begriffssystem, das bei den bekannten Axiomatisierungen nur einen Teil der metrischen Struktur (mathematische Kernstruktur) einer physikalischen Theorie ausmacht und vor allem die Beziehung zu Begriffen mit direktem sinnlichen Bezug – hierzu ge-

hören auch die Messbeziehungen – ausspart; es legt also bis zu einem gewissen Grade die (metrischen) Begriffe durch einige fundamentale Beziehungen zueinander fest. Notwendig erscheint jedoch, der formalen Einführung eine am pragmatischen Kontext orientierte Bedeutungsanalyse der Termini vorzuschicken. Wir erörtern einige Probleme am Beispiel der informellen Axiomatisierung der klassischen Partikelmechanik. Obwohl diese Axiomatisierung mit sehr geringem formalem Aufwand formuliert ist, zeigt sich, wie abstrakt sie ist.¹⁵

Klassische Partikelmechanik

(1) Grundzeichen mit intendierten Interpretationen.

P: nichtleere Menge von Partikeln.

T: Intervall der reellen Zahlen.

T repräsentiert eine Zeitspanne, in der die betreffenden Partikel betrachtet werden sollen.

s: Funktion von $P \times T$ in den dreidimensionalen Vektorraum \mathbb{R}^3 , derart, dass die zweite Ableitung von s nach der Zeit überall im offenen Intervall existiert.

Diese Funktion ordnet jeder Partikel $p \in P$ zu jeder Zeitinstanz $t \in T$ eine Position $s(p, t) \in \mathbb{R}^3$ relativ zu einem (implizit bleibenden) Inertialsystem zu.

m: Funktion von P in \mathbb{R}^+ (Menge der positiven reellen Zahlen). Diese Funktion repräsentiert die Massenwerte der Partikel.

f: Funktion von $P \times T \times N$ in \mathbb{R}^3 , wobei $N = (1, \dots, n) \subseteq \mathbb{N}$ ist.

Diese Funktion ordnet jeder Partikel zu jeder Zeitinstanz die resultierende Kraft $\sum_{i \in N} f(p, t, i)$ zu.

Bem.: Man kann auch $N = \mathbb{N}$ setzen; dann muss die absolute Konvergenz der Summe gefordert werden. Den physikalisch sinnlosen Komponenten ordnet man den Wert (0; 0; 0) zu.

(2) Definierte Begriffe (Realdefinitionen)

$v(p, t) =_{df} \delta/\delta t s(p, t)$; $a(p, t) =_{df} \delta^2/\delta t^2 s(p, t)$

(3) Axiom (Fundamentalgesetz)

Für alle Partikeln $p \in P$ und Zeitinstanzen $t \in T$ gilt:

$$\sum_{i \in N} f(p, t, i) = m(p, t) \times a(p, t)$$

Durch Hinzunahme weiterer Axiome – der speziellen (Kraft-) Gesetze – kann diese Struktur noch in verschiedener Hinsicht verschärft werden. Die verschärften Strukturen beziehen sich dann auf spezielle Systemarten. Wir wollen diesen Gedanken noch skizzieren:

(4) Spezielle Gesetze

(a) Aktion gleich Reaktion

Die Elemente der Menge $P \times N$ lassen sich folgendermaßen zu Paare (p, i) , (q, j) mit $p \neq q$ zusammenfassen, so dass gilt:

$$f(p, t, i) = -f(q, t, j)$$

("p ≠ q" beinhaltet, dass keine Partikel auf sich selbst eine Kraft ausübt).

(b) Bedingte Definition (Nominaldefinition)

Ist $f(p, t, i) = -f(q, t, j)$, so ist $h(p, t, q) =_{df} f(p, t, i)$

(c) Inverses Quadratgesetz

Es gibt eine Funktion H von $P \times P$ in \mathbb{R}^3 , so dass für alle $p, q \in P$ gilt:

$$h(p,t,q) = H(p,q) \times [s(q, t) - s(q, t)] : [l(s(q, t) - s(q, t))]^3$$

Durch Spezialisierung der Funktion H kann nun das Gravitationsgesetz und das Coulombsche Gesetz eingeführt werden.

Im ersten Fall ist:

$$H(p, q) = \gamma m(p) \times m(q) \text{ mit } \gamma \in \mathbb{R} \text{ (Gravitationskonstante)}$$

Definierbarkeit der Grundbegriffe

Um den Unterschied zwischen den Grundbegriffen im axiomatischen Sinne und Grundbegriffen im Sinne der Größenlehre diskutieren zu können, soll hier die Definierbarkeit der drei Grundbegriffe „s“, „m“ und „f“ (im Sinne einer Nominal- bzw. Re-Definition) untersucht werden. Wir diskutieren dieses Problem einmal inhaltlich und zum anderen formal.

Die Grundbegriffe des Axiomensystems beschreiben spezielle Wechselwirkungssysteme. Der Begriff „s“ bezieht sich dabei auf eine räumliche Beziehung zwischen den Partikeln und einer Bezugsbasis. Dem Begriff „f“ korrespondiert als Realitätsbereich die Wechselwirkungsbeziehung zwischen Partikeln und dem Massebegriff „m“ eine Eigenschaft der Partikeln. Die den Grundbegriffen korrespondierenden Realitätsbereiche sind also derart verschieden, dass eine definitorische Reduktion eines der Begriffe auf die beiden übrigen nicht möglich ist. Ein Vergleich mit der Definition der Begriffe „v“ und „a“ verdeutlicht den Unterschied, es handelt sich hier um explizite Definitionen.

Formal lässt sich die definitorische Unabhängigkeit mit Hilfe der Interpretationsmethode von Padoa durchführen, die kurz folgendermaßen formuliert werden kann: Lassen sich – ausgehend von der uninterpretierten Struktur – zwei Interpretationen (Modelle) angeben, die mit Ausnahme eines Begriffs vollkommen übereinstimmen, so ist der betreffende Begriff definitorisch unabhängig von den anderen. Die Methode lässt sich sinnvoll also dann anwenden, wenn die definitorische Unabhängigkeit nachgewiesen werden soll. Durch die Interpretationsmethode wird nachgewiesen, dass ein bestimmter Begriff im Rahmen des Axiomensystems durch die Festlegung der restlichen Begriffe nicht eindeutig festlegbar ist. Damit lässt sich auch die Bedeutung des betreffenden Begriffs nicht vollständig auf die der anderen reduzieren. Wir wenden nun diese Methode auf die Grundbegriffe „s“, „m“ und „f“ an.

Nichtdefinierbarkeit von „s“

Es sei $P = \{p\}$ und $T = [0,1]$. Dann legen wir fest:

$$m(p) = r \text{ mit } r \in \mathbb{R} \text{ und } f(p, t, 1) = (r \times a, 0, 0) \text{ mit } N = \{1\}, a \in \mathbb{R}$$

Hierzu lassen sich beliebig viele, durch Anfangsbedingungen unterschiedene Ortsfunktionen angeben, die das Fundamentalgesetz erfüllen; z.B.:

$$s_1(p,t) = (1/2gt^2, 0, 0) \text{ und } s_2(p, t) = (1/2 g t^2 + v t, 0, 0).$$

Nichtdefinierbarkeit von „m“

Aus P und T wie oben, $s(p, t) = (ut, vt, wt)$

- $u, v, w \in \mathbb{R}$ - und $f(p, t, i) = (0, 0, 0)$ für alle

$t \in T$ und $i \in N$ folgt $\delta^2/\delta t^2 s(p, t) = (0, 0, 0)$. Damit ist das Fundamentalgesetz für beliebige Massenwerte erfüllbar.

Nichtdefinierbarkeit von „f“

Unter Verwendung der gewählten Mengen P und T erhalten wir mit

$m(p) = 1$ und $s(p, t) = (1/6 a t^3 - 1/2 t^2, 0, 0) : \delta^2/\delta t^2 s(p, t) = (at - 1, 0, 0)$
sowie eine resultierende Kraftfunktion
 $f_r(p, t) = (at - 1, 0, 0)$, die durch Wahl zweier verschiedener Indexmengen in
verschiedene Komponenten zerlegt werden kann:

Fall 1

$N = \{1, 2\}$, $f(p, t, 1) = (at, c, 0)$, $f(p, t, 2) = (-1, -c, 0)$

Fall 2

$N = \{1\}$, $f(p, t, 1) = (at - 1, 0, 0)$

Beide Kraftfunktionen erfüllen mit den übrigen Interpretationen das Fundamentalgesetz. Die Termini „P“ und „T“ sind natürlich explizit definierbar, z.B. ist $P =_{df} D(m)$ (Definitionsbereich von m).

Die durch ein Axiomensystem bestimmte Struktur liefert eine partielle Bedeutungsfestlegung der Grundbegriffe der betreffenden Theorie. Unter Bezugnahme auf HILBERTS Axiomatik hatte M. SCHLICK hierfür den Ausdruck "implizite Definition" verwendet. In der Wissenschaftstheorie wird diese Bezeichnung heute als irreführend und überflüssig abgelehnt. Die implizit definierten Begriffe in diesem Sinne sind nämlich lediglich die undefinierten Grundbegriffe der axiomatisierten Theorie. Hier soll der Ausdruck "implizite Definition" in einem spezielleren Sinne verwendet werden, wodurch die Verwendung dieses Ausdruckes legitimierbar wird. Die durch die Struktur bedingte partielle Bedeutungsfestlegung soll hier durch einen ergänzenden semantischen Aspekt zu einer fest umrissenen Bedeutungsfestlegung verschärft werden. Hierzu gehören zwei Momente:

M1: Die Festlegung der Rolle der Begriffe bei der Realitätskonstitution.

M2: Die Angabe eines empirischen Entscheidungsverfahrens.

Die Momente zusammen tragen den beiden Formen der Erkenntnisgewinnung, der sinnlichen und der rationalen, Rechnung. Dabei bezieht sich das sinnliche Erkenntnisvermögen im Wesentlichen auf diejenigen sinnlich beobachtbaren Eigenschaften und Beziehungen, auf die sich das empirische Entscheidungsverfahren stützt. Die Präzisierung der Prinzipien, die mit dem rationalen Erkenntnisvermögen verbunden sind, bleibt hier ein Desiderat. Ein Klärungsansatz soll in Teil 3 skizziert werden. Wesentlicher Bestandteil der Präzisierung ist die Bestimmung der Realitätsbereiche der Begriffe.

2.5.2 Grundbegriff und Grundgrößenbegriff

Aus einem Vergleich des Begriffs der operationalen Definition mit dem der impliziten Definition geht das Verhältnis von Grundbegriffen im Sinne der Größenlehre und Grundbegriffen im Sinne der axiomatischen Methode hervor. Der Kürze halber bezeichnen wir die ersteren als Grundgrößenbegriffe und die letzteren als Grundbegriffe. Die Begriffe der Theorien lassen sich einmal mittels impliziter und expliziter Definitionen einführen. Die Grundbegriffe einer Theorie werden durch das Axiomensystem bestimmt. Es sind diejenigen Begriffe, die definatorisch (im Sinne der expliziten Definition) nicht mehr reduzierbar sind. Da im Allgemeinen eine Theorie auf verschiedene Art axiomatisierbar ist, muss die Eigenschaft, ein Grundbegriff zu sein, auf die spezielle Axiomatisierung bezogen werden: man kann daher nur von Grundbegriffen einer Theorie bezüglich einer bestimmten Axiomatisierung sprechen.

In analoger Weise sind die Grundgrößenbegriffe einer Theorie auf ein System operationaler und expliziter Definitionen bezogen, das die Größenbegriffe bzw. ein Grö-

Benbegriffssystem der Theorien festlegt. Die operationalen Definitionen geben an, wie eine Größe gemessen werden kann. Sie legen also fest, wie innerhalb eines gewissen Bereiches die Werte der metrischen Begriffe bestimmt werden können. Wie in der Meßtheorie¹⁶ gezeigt wird, ist diese Festlegung nur bis auf gewisse (die sogenannten zulässigen) Skalentransformationen bestimmt. Im Allgemeinen handelt es sich in den Naturwissenschaften um lineare Funktionen, so dass die Skalen bis auf einen Proportionalitätsfaktor eindeutig bestimmbar sind.

Die Größenbegriffe einer Teilmenge werden relativ zu einer Menge von definierten Größenbegriffen als Grundgrößenbegriffe bezeichnet, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- (1) Jeder Größenbegriff der Teilmenge ist ohne Verwendung von Größenbegriffen der Komplementärmenge definiert.
- (2) Die Größenbegriffe der Teilmenge liefern aufgrund der Definitionsbeziehungen für die Größenbegriffe der Komplementärmenge idealisiert gesehen eine eindeutige Bestimmbarkeitsgrundlage.
- (3) Die Teilmenge ist bzgl. (1) und (2) minimal; d.h. es gibt keine echte Untermenge dieser Teilmenge, die die Bedingungen (1) und (2) erfüllt. Im Rahmen der Einführung von Theorien mittels impliziter Definitionen tritt aus syntaktischen und semantischen Gründen der Begriff des Grundbegriffes (im axiomatischen Sinne) gegenüber dem des Grundgrößenbegriffes (im Sinne der Größenlehre) in den Vordergrund. Die Größenbegriffssysteme besitzen nur als System operationaler Definitionen im Zusammenhang mit den auf sie bezogenen Einheitensystemen für die Festlegung eines empirischen Entscheidungsverfahrens eine wesentliche Relevanz,

2.5.3 Größen

Im Allgemeinen wird in der Größenlehre nicht zwischen der Größe und dem sie ideell repräsentierenden Größenbegriff unterschieden. Diese semantische Grundstufung zwischen Ideellem (Vorstellungen, Begriffe) und realem Korrelat ist in verschiedenen Kontexten wesentlich, so z.B. im Kontext der Bestätigung oder der Wahrheitsbeurteilung. Zur Abklärung der Grundstufung soll an dieser Stelle der Begriff der Größe etwas erörtert werden. Die hier implizit zugrundeliegende und in M1 angesprochene erkenntnistheoretische Basis – ein konstitutionstheoretischer Ansatz – liefert den Kontext, in dem der Begriff der Größe expliziert werden muss: er kann unter dieser Bedingung nur in bezug auf eine naturwissenschaftliche Systematisierung hin eingeführt werden. Denn wenn Theorie konstitutiv für Realität sein soll, dann sind die Größen als reale Entitäten nur relativ zu den sie konstituierenden Theorien beschreibbar. Somit beruht eine allgemeine Charakterisierung der Größen auf einer allgemeinen Charakterisierung der naturwissenschaftlichen Theorien bzw. der naturwissenschaftlichen Systematisierung. Eine solche Charakterisierung kann hier nicht gegeben werden. Sie setzt u. a. eine Lösung des Problems der Semantik naturwissenschaftlicher Begriffe voraus, die hier als Desiderat betrachtet wird. Unter Verwendung des Begriffs des Attributs (Eigenschaft, Beziehung) und der komparativen Beziehung, des Begriffs des empirischen Entscheidungsverfahrens sowie einiger Begriffe der Mess-theorie lässt sich die folgende Charakterisierung geben:

Eine naturwissenschaftliche Größe ist ein Attribut, für das eine empirisch entscheidbare komparative Beziehung existiert, die bis auf geeignete Skalentransformationen numerisch repräsentierbar ist.

Gemäß dieser Bestimmung sind Größen spezielle Attribute, d.h. Eigenschaften oder Beziehungen. Beispiele für Beziehungen sind die Länge, die Zeitdistanz, die Kraft, die

Spannung und der Widerstand. Die Masse und die Stromstärke sind Beispiele für solche Größen, die Eigenschaften sind.¹⁸

DISKUSSION EINIGER METHODEN
ZUR EINFÜHRUNG NATURWISSENSCHAFTLICHER BEGRIFFE *
Teil 2

3. ANALYSE DER EINFÜHRUNGSMETHODEN

3.1 ALLGEMEINES ZUR BEGRIFFSEINFÜHRUNG

Die in Teil 1 geschilderten Methoden sollen hier noch etwas analysiert werden. Von besonderem Interesse ist ihr Stellenwert innerhalb einer Begriffsentwicklung. Die Schwierigkeit der Analyse besteht nun darin, allgemeine Charakteristik einer zumindest tendenziell adäquaten Begriffsentwicklung anzugeben. Konkrete und systematische Ansätze zu einer solchen Begriffsentwicklung sind aber bislang noch nicht entwickelt, so dass wir uns hier mit etwas fragmentarischen und wenig entwickelten groben Bestimmungen zufrieden geben müssen.

Im Begriffsentwicklungsprozess lassen sich analytisch drei Bereiche identifizieren:

(B1) Rationale Motivation (Begründung) der Einführung neuer Begriffssysteme;

(B2) Methodensystem;

(B3) Beziehung zum vorgängig verfügbaren Begriffssystem.

Hierzu zunächst einige Anmerkungen:

Der Begriff der rationalen Motivation wird hier in loser Anlehnung an HABERMAS' Diskurslogik gebraucht.¹⁹ Dort wird unter der rationalen Motivation für die Einführung neuer Sprachsysteme die Begründung der Einführung aufgrund des stärkeren Arguments innerhalb des Diskurses verstanden. Das Methodensystem in (B2) besteht aus den im vorigen Abschnitt diskutierten Einführungsmethoden, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit stellen. Eine Begriffseinführung kann nämlich aus mehreren Schritten bestehen, für die verschiedene Einführungsmethoden verwendet werden können". Begriffsentwicklungen nehmen auf die vorgängig verfügbaren Begriffe Bezug. Der Bereich (B3) bezieht sich auf die Art und Weise, wie innerhalb einer Begriffsentwicklung die Beziehung zum vorgängigen Begriffssystem hergestellt wird: diese Beziehung charakterisiert wesentlich die gesamte Begriffsentwicklung.

Bei allen drei Bereichen handelt es sich um relativ umfangreiche Problemkomplexe, die vielschichtig miteinander vernetzt sind. So gehen zum Beispiel in alle drei Bereichen die Semantik der naturwissenschaftlichen Begriffe im Allgemeinen sowie der spezielle semantische Gehalt der einzuführenden Begriffe im Besonderen ein. Die rationale Motivation als Begründung für die Einführung naturwissenschaftlicher Begriffe neuer Theorien bezieht sich wesentlich auf die Systematisierung neuer Erfahrungsbereiche, d. h. die Erkenntnisgewinnung oder Realitätskonstitution. Hierbei handelt es sich aber nur um einen sozusagen immanenten Aspekt der rationalen Motivation. Es muss damit weder ein entsprechendes Erkenntnisinteresse vorliegen noch das Vorhaben der Erkenntnisgewinnung begründet oder auch begründbar sein. Entsprechendes gilt für das Methodensystem. Innerhalb der Semantik lässt sich erst hinreichend begründen, ob die Methoden für die Einführung der speziellen Begriffe

* Aus: *physica didactica* 1980, S.109-126; überarbeitete Fassung
ISB-Letter

relativ zu den vorgängig verfügbaren Begriffen angemessen sind. Die Reihenfolge in der Anwendung der Methoden hängt wesentlich davon ab, wie die Beziehung zu den verfügbaren Begriffen hergestellt wird. Im Allgemeinen werden bei einer Begriffsentwicklung nur einige Komponenten des alten Begriffs weiterentwickelt und andere eliminiert. So ist z.B. der umgangssprachliche Kraftbegriff mehrschichtig: man spricht z.B. auch von Kraft haben und der Geisteskraft. Umgangssprachlich sind Kräfte i. a. Eigenschaften, in der Physik dagegen Relationen. Lebensweltliche Kraftbegriffe sind zu Relationsbegriffen zur Beschreibung von Wechselwirkungen weiter zu entwickeln. Dabei wird der Bezug zur sinnlichen Wahrnehmung durch den Tastsinn in einem gewissen Bereich zu einer sinnlichen Entscheidungsgrundlage für die Existenz von Kräften und von komparativen Beziehungen zwischen Kräften reduziert. Weitere, mit dem Kraftbegriff verbundene Wahrnehmungen und Vorstellungen sind für diese Komponente bzw. diese naturwissenschaftliche Systematisierungsart irrelevant, obwohl ihnen innerhalb anderer Systematisierungsarten, z.B. innerhalb der Systematisierung der Alltagserfahrung, ein wesentlicher Stellenwert zukommen kann²⁰.

Zu eliminierende Komponenten sind z.B. beim physikalischen Kraftbegriff animistische Aspekte oder bei Raum- und Zeitbegriffen der Begriffsaspekt des absoluten Raumes und der absoluten Zeit im Sinne NEWTONs. Durch die Elimination von Komponenten bei der Begriffsentwicklung kann die Einheit des ursprünglichen Begriffs verloren gehen, so dass nach der Entwicklung keine Identität der Komponenten mehr existiert. Dies ist sicherlich bei den Komponenten der Geisteskraft und der physikalischen Kraft der Fall. Wir kommen auf das Identitätsproblem noch einmal weiter unten zurück. Die Entscheidung darüber, welche Komponente eines Begriffs entwickelt, unberücksichtigt bleiben oder eliminiert werden soll, wird durch die Zielsetzung der Begriffsentwicklung, der spezifischen Theoretisierungs- oder Systematisierungsart bestimmt. Im Sinne der Zielsetzung sind die zu eliminierenden Komponenten als falsche Momente eines Begriffs aufzufassen, sie lassen sich nicht widerspruchlos in das gesamte Begriffsgefüge einordnen. Die Herstellung der Beziehungen zwischen alten und neuen Begriffen innerhalb einer Begriffsentwicklung hat die Aufgabe, die alten Begriffssysteme aufzuheben und somit einen genuinen Übergang vom begrifflich Abstrakten zum begrifflich Konkreten zu ermöglichen. Das Konkrete ist die Reproduktion der Realität in der Erkenntnis, die nun nicht mehr – wie unmittelbar nach der Einführung der neuen Begriffe – abstrakt und unzusammenhängend ist, sondern als ein Ganzes im Sinne einer Zusammenfassung mehrerer Bestimmungen gedacht werden kann. In Anlehnung an T.S. KUHN kann man sagen, dass nun der Paradigmenwechsel auf individueller Ebene stattgefunden hat. Die Aufhebung vorgängiger Begriffe lässt sich also durch die Herstellung geeigneter Beziehungen zwischen diesen und den neuen Begriffen explizit dadurch erreichen, dass die vorgängigen Begriffe im Kontext der rationalen Motivation nach den weiterentwickelten und eliminierten Komponenten hin analysiert werden.

In der Didaktik ist diese explizite Aufhebung aus zweierlei Gründen von Interesse. Einmal gelingt eine nicht explizite Aufhebung nur durch intensive Anwendung der eingeführten Begriffssysteme, was aufgrund verschiedener Randbedingungen auch noch im Hochschulstudium Schwierigkeiten bereitet. Zum anderen kann die explizite Aufhebung vorgängiger Begriffssysteme simultan metatheoretisches und methodentheoretisches Wissen liefern. Auch in diesem Bereich besteht dann die Möglichkeit der Aufhebung vorgängigen Wissens.

Die bisherige Erörterung liefert einige Orientierungen für Begriffseinführungen; sie zeigt aber auch, dass ein wesentlicher Einblick in den Prozess der Begriffsentwicklung nur über die Explikation einer erkenntnistheoretisch fundierten Semantik naturwissenschaftlicher Begriffe erfolgen kann, auf die sich eine dynamische Begriffsentwicklung gründen lässt. In der Berücksichtigung des dynamischen Aspektes liegt das Hauptdefizit der bisher entwickelten Einführungsmethoden. Es wird daher nützlich sein, noch eine wesentliche erkenntnistheoretisch fundierbare Bestimmung der Entwicklung einer Wissenschaft anzufügen. Zu ihrer Diskussion gehen wir von T.S. KUHNs historischen Analysen der Wissenschaftsentwicklung sowie den wissenschaftstheoretischen Rekonstruktionen der KUHNschen Ergebnisse aus.²¹

Nach KUHN vollzieht sich die Entwicklung der Wissenschaft in charakteristischen Phasen, der Phase der außerordentlichen Wissenschaft und der normalwissenschaftlichen Phase. Das Ziel der außerordentlichen Wissenschaft ist die Entwicklung und Erprobung eines ideellen Instrumentes – des sogenannten Paradigmas – , das dann in der normalen Wissenschaft als rationale Grundlage für die wissenschaftlichen Untersuchungen Verwendung findet. Die Einleitung der außerordentlichen Wissenschaft sieht KUHN an das Auftreten hartnäckiger Anomalien im normalwissenschaftlichen Kontext geknüpft. Die beiden Phasen korrespondieren mit der Unterscheidung zwischen Theorienentwicklung und Anwendung einer Theorie zur Gewinnung empirischer Resultate²². Dabei umfasst der Paradigmenbegriff den Begriff der Theorie: Paradigmen umfassen auch Beispiele, die "Vorbilder abgeben, aus denen bestimmte festgefügte Traditionen wissenschaftlicher Forschung erwachsen" ([11], Seite 25). Implizit kommen in den Beispielen Regeln und Methoden zum Ausdruck, die der normalen Wissenschaft zur Orientierung dienen. Ihre Explikation hält KUHN für äußerst schwierig²³. Dies ist für ihn auch der Grund dafür, dass die Frage nach den zugrundeliegenden Regeln und Methoden sowie dem philosophischen Fundament der Wissenschaft stets nur in den Krisenzeiten, den Zeiten sich häufender Anomalien, eine wesentliche Beachtung gewinnen. Die wissenschaftstheoretischen Rekonstruktionen der KUHNschen Analysen bestätigen die Schwierigkeit solcher Explikationen. Arbeiten wie die von J. D. SNEED und I. LAKATOS schaffen zwar einige Klärung, tragen aber wenig zur Dynamik der Begriffsentwicklung bei und liefern auch keine befriedigende Klärung des Theoriebegriffs oder des Bedeutungsproblems der naturwissenschaftlichen Begriffe.

Von den didaktisch relevanten Elementen dieser Arbeiten sollen hier nur die zwei wichtigsten angesprochen werden: die Zurückführung der Theorien oder Paradigmenentwicklung auf das Auftreten von Anomalien und die Unterscheidung zwischen Theorien und den empirischen Resultaten der Theorien. Aus dem ersten Element lässt sich so etwas wie eine Methode der Anomalieerzeugung gewinnen, die im Kontext der Motivation und der Aufhebung alter Paradigmen eine wesentliche Rolle spielt. Das zweite Element liefert einen mehr oder weniger scharf umrissenen Theorienbegriff. Der Hauptteil besteht aus den Fundamentalgesetzen.

Reduziert auf den wesentlichen Teil der metrischen Strukturen bedeutet dies für unser Beispiel der klassischen Partikelmechanik, dass die durch das Fundamentalgesetz, das zweite NEWTONsche Gesetz, bestimmte interpretierte Struktur die Theorie ausmacht und die speziellen Gesetze empirische Resultate der Theorie darstellen. Beispiele für weitere Fundamentalgesetze sind die MAXWELLSchen Gleichungen bezüglich der Elektrodynamik, die SCHRÖDINGERGleichungen bezüglich der Quantenmechanik und die Feldgleichungen bezüglich der Relativitätstheorie. Neben der quantita-

tiven Form der Fundamentalgesetze ist auch eine qualitative möglich. Ein Beispiel ist PIAGETs Gesetz von der Akkomodation, Assimilation und Äquilibrium, ein qualitatives Fundamentalgesetz das Lernen beschreibt bzw. Lernprozesse konstituiert. Im Falle quantitativer Theorien sind qualitative Fundamentalgesetze als reduzierte Begriffssysteme aufzufassen. Von ihnen kann aber eine "relative Vollständigkeit" verlangt werden; d.h.: sie enthalten einmal alle wesentlichen Gesetze, die für die empirischen Untersuchungen notwendig sind und zum anderen sind sie ein hinreichendes Mittel für ihre eigene Weiterentwicklung zu den quantitativen Gesetzen. Was nun wesentliche Gesetze sind, lässt sich in diesem Rahmen nicht begrifflich erfassen, aber paradigmatisch umreißen. In der Partikelmechanik ist z.B. das Superpositionsgesetz der Kräfte unentbehrlich, das im Fundamentalgesetz enthalten ist. Dies Gesetz allein erfüllt die Vollständigkeitseigenschaft noch nicht. Es müssen noch Bestimmungen über die Massefunktion – z.B. die Additivität – und die Kraftfunktion – z. B. die Gleichheitsforderung von Aktion und Reaktion – hinzugenommen werden. Bestimmungen dieser Art liegen zum Teil den Messvorschriften zugrunde. Darüber hinaus könnten die im KUHNschen Paradigma implizit enthaltenen Prinzipien aufgenommen werden, sofern diese expliziert sind. Als Beispiele hierfür wären die verschiedenen Abstraktionsmethoden und Lösungsmethoden zu nennen. Ein weiteres Beispiel ist ein Prinzip, das die Existenz von Größen, den Kraftursachen, sowie deterministische Beziehungen zwischen ihnen fordert. Aufgabe der normalwissenschaftlichen Untersuchungen wäre es dann z.B., die Größen nachzuweisen und die speziellen Gesetze zu ermitteln, wobei die deterministischen Beziehungen Zielperspektiven für die Anwendung der Theorie bilden.

Die Vervollständigung der auf die Fundamentalgesetze reduzierten Begriffssysteme ist sicherlich nicht eindeutig bzw. allenfalls unter fest vorgegebenen Rahmenbedingungen eindeutig bestimmbar. Es lassen sich mehr oder weniger allgemeine, auf qualitativer oder quantitativer Ebene formulierte Ergänzungen angeben. In diesem Kontext sollen nicht so sehr die Überbestimmtheit als vielmehr zu schwache Begriffssysteme vermieden werden. Auf diesem Hintergrund lässt sich für die Einführung der Grundbegriffe folgende Orientierungsmarke formulieren:

- (0) Die Einführung der Begriffe ist auf die aktive Aneignung eines Paradigmas auszurichten, das als rationales Erkenntnisprinzip im Sinne einer in "gewisser Weise vollständigen" ideellen Grundlage für empirische (normalwissenschaftliche) Untersuchungen anzusehen ist.²⁴

Die Orientierungsmarke verlangt, dass die Einführung der Begriffe einer Theorie unter dem Gesichtspunkt thematisiert wird, eine rationale Grundlage für naturwissenschaftliche Untersuchungen zu entwickeln.²⁵ Auf dieses Ziel, sowie auf die aktive Aneignung des Paradigmas, ist die rationale Motivation, die Konstruktion des Methodensystems und die Herstellung der Beziehungen zu den vorgängigen Begriffen auszurichten. Umgekehrt ist (0) als Beurteilungsgrundlage für die Adäquatheit einer Begriffseinführung anzusehen. Ein aktiver Aneignungsprozess ist an eine dynamische Gestaltung der Begriffseinführung geknüpft. Hierfür liefert die Orientierungsmarke keine Leitperspektiven; sie nimmt – entsprechend den Resultaten der analytischen Wissenschaftstheorie – auf fertiges Wissen Bezug und spart dessen Entwicklung aus dem jeweiligen Vorwissen aus. Die erwähnte Methode der Anomalieerzeugung liefert zwar ein komplexes, die Bereiche (B1) und (B3) einbeziehendes Ausgangsmoment einer Begriffsentwicklung, Momente konkreter Entwicklungsperspektiven lassen sich hieraus jedoch nicht gewinnen.²⁶ Hierzu müssen im Kontext eines komplexen

Aufhebungsprozesses die entwicklungsfähigen Begriffskomponenten identifiziert und hierfür Entwicklungsperspektiven angegeben werden. In diesen Kontext geht der Bereich (B 2) ein.

Die Entwicklung eines Paradigmas lässt sich stufenförmig durchführen. So könnte innerhalb der Entwicklung des metrischen Begriffssystems der Mechanik ein Entwicklungsschritt in der Einführung eines qualitativen Zusammenhangs zwischen resultierender Kraft und beschleunigter Bewegung bestehen. In einer sich anschließenden Phase empirischer Untersuchungen lassen sich einmal die beiden qualitativen Begriffe präzisieren bzw. weiterentwickeln und zum anderen für die weitere Entwicklung des Paradigmas wesentliche empirische Resultate gewinnen. Die Entwicklung der Begriffe kann dabei in der Herausarbeitung des Begriffes der Normalbeschleunigung und des Begriffes der Bahnbeschleunigung bestehen, sowie in der Zuordnung einer Richtung bzgl. der Beschleunigung und der resultierenden Kraft. Bei diesen Untersuchungen wird die experimentelle Fragestellung unter expliziter Verwendung des qualitativen Zusammenhangs zwischen Beschleunigung und resultierender Kraft formuliert. Die weitere Entwicklung des Paradigmas kann in einer Beschreibung der Kraftursachen, der Einführung eines qualitativ formulierten Superpositionsprinzips und eines qualitativen Massebegriffs bestehen. Auf diese Weise lässt sich stufenförmig ein relativ umfangreiches und erklärungs mächtiges Begriffssystem entwickeln, das z.B. auch Bereiche der Mechanik starrer Körper sowie der Kontinuumsmechanik umfasst. Die Metrisierung dieser Struktur lässt sich stückweise durchführen; dabei könnten die Statik und die Partikelmechanik die ersten Schritte darstellen.

3.2 ZUM ANWENDUNGSBEREICH DER METHODEN

Im zweiten Abschnitt wurden einige Methoden zur Begriffseinführung dargestellt. Die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Methoden lassen ihre beschränkte Anwendbarkeit erkennen. So scheint die exemplarische Methode im nicht sinnlich beobachtbaren Bereich auf Schwierigkeiten zu stoßen und die expliziten Definitionen sind dann nicht anwendbar, wenn die Kreativität der Begriffssysteme erhöht werden soll. Die beschränkte Anwendbarkeit der impliziten Definitionen schließlich folgt aus den Voraussetzungen ihrer Anwendbarkeit. Innerhalb einer Begriffseinführung kommt diesen Methoden ein spezifischer Stellenwert zu. Um diesen etwas klären zu können, sollen hier die Anwendungsbereiche der Methoden präzisiert werden.

3.2.1 Analyse der exemplarischen Methode

Die grundlegendste und elementarste Methode ist die der exemplarischen Begriffseinführung. Sie ist nicht nur auf Begriffe bezüglich der objektiven Realität (äußeren Wirklichkeit), sondern auch auf Begriffe der subjektiven Realität (inneren Wirklichkeit) anwendbar. Beispiele der ersteren Art sind die Begriffe der Materie, des physikalischen Körpers, des Systems, der physikalischen Größe und der Wechselwirkung. Der Begriff der Theorie, des Modells, der Definition und der Wahrheit (von Aussagen) sind Beispiele für die letztere Art, sie beziehen sich auf Ideelles.

Zur Anwendung der Methode sind einige Exemplare (paradigmatische Beispiele) der den einzuführenden Begriffen korrespondierenden Entitäten durch Beschreibung oder Zeigehandlung zu identifizieren. Neben positiven Instanzen sind auch negative wesentlich – auf die also der betreffende Begriff nicht zutrifft – um die mit dem Begriff verbundenen Vorstellungen herauszubilden und die korrespondierenden Entitäten zu konstituieren.²⁷ Ein wesentliches Charakteristikum der exemplarischen Methode ist also die direkte Zuordnung von Begriff und Entitäten. Die Eigenschaften dieser Zu-

ordnung bzw. diese Zuordnungsmöglichkeit bestimmen ihre Anwendbarkeit und damit die Charakteristika der einföhrbaren Begriffe. Um diesen Rahmen abzustecken, knüpfen wir an WITTGENSTEINs Analyse des Spielbegriffs in den Philosophischen Untersuchungen an.²⁸

Hier macht WITTGENSTEIN deutlich, dass einem Begriff nicht unbedingt Merkmalskombinationen entsprechen müssen, die nur denjenigen Entitäten zukommen, auf die der Begriff zutrifft. Notwendige und hinreichende Bedingungen solcher Art liegen z.B. den Farbbegriffen zugrunde; im Allgemeinen hat man es aber nach WITTGENSTEIN mit einem komplizierten "Netz von Ähnlichkeiten" – den "Familienähnlichkeiten" – zu tun, "die einander übergreifen und kreuzen". Diese Argumentation verdeckt allerdings das Problem der Identität: warum soll es sich hier um einen einzigen Begriff handeln, warum nicht lediglich um Homonyme? Man wird zumindest fordern wollen, dass die Identität implizit erfasst wird und bei der Begriffseinföhrung abklärbar ist, ob eine Identität überhaupt besteht. Implizit macht auch WITTGENSTEIN hiervon Gebrauch. Dies wird deutlich, wenn er Handlungen wie Kulthandlungen daraufhin untersucht, ob es sich hierbei um Spiele handelt. Einerseits lokalisiert WITTGENSTEIN die Merkmale der Spiel-Handlungen auf der Ebene der Spielgegenstände (Ball, Kartenspiel etc.) und des behavioristischen Verhaltens, andererseits greift er, bei der Entscheidung bezüglich der Zugehörigkeit zum Begriff auf den Zweck der Handlungen zurück. Unter Einbezug dieser Ebene lässt sich auch die Identität der einzelnen Spiele angeben. Ein Paradebeispiel, bei dem das Identitätsproblem keineswegs hinreichend geklärt ist, liefert ein sehr weit gefasster Modellbegriff, der sich nicht nur auf ideelle Gebilde, sondern auch auf materielle Objekte (Schiffsmodelle etc.) bezieht. Obwohl in den einschlägigen Arbeiten der Vorteil eines allgemeinen Modellbegriffs gepriesen wird, reduziert sich i. a. die Identitätsbeschreibung auf die Angabe allgemeiner formaler Eigenschaften wie spezifischer Abbildungsbeziehungen, die einmal die Identitätsforderung nicht erfüllen können und zum anderen die ideellen Modelle mit einer dubiosen, oft den naiven Realismus nahestehenden erkenntnistheoretischen Auffassung verketteten. Identitätsprobleme dieser Art können die Ursache hartnäckiger Verständnisschwierigkeiten bilden. Ein bekanntes Beispiel bildet die Identität von Normalbeschleunigung und Bahnbeschleunigung, die frühestens auf der Ebene des qualitativen Zusammenhangs zwischen Beschleunigung und resultierender Kraft gestiftet werden kann. Auf dieser Stufe der Entwicklung von Begriffen mittels der exemplarischen Methode bleiben die Beziehungen zwischen ihnen implizit. Zu ihrer Explikation können Prädikatenregeln formuliert werden. Das Zusprechen und Absprechen von Termini in Abhängigkeit von bestimmten, bereits zugesprochenen oder abgesprochenen Termini lässt sich durch logische Beziehungen repräsentieren, so dass Sprachsysteme bzw. Begriffssysteme entstehen.²⁹ Zur näheren Charakterisierung der Anwendbarkeit der exemplarischen Methode vergleichen wir diese Art von Begriffssystemen mit den Fundamentalgesetzen der Paradigmen der Wissenschaft.

Als Grundlage für die Entwicklung von Begriffssystemen kann das jeweilige Erfahrungsergebnis angesehen werden, das jeweils eine noch nicht theoretisch verarbeitete empirische Kenntnis enthält.³⁰ Relativ hierzu sind die einzuföhrenden Begriffssysteme als rationale Prinzipien zur Systematisierung der Erfahrungsinhalte anzusehen. Das Unterscheidungskriterium beider Begriffssystemtypen lässt sich an der damit verbundenen spezifischen Erkenntnisgewinnung festmachen: wir gewinnen zwar alle unsere Erkenntnis auf der Grundlage der Erfahrung, sie entsteht jedoch nicht stets durch einfache Abstraktion aus ihr.³¹ Auch für KUHN ist die Entwicklung der Para-

digmen mit einem Erkenntnisprozess verbunden, der nicht unmittelbar der Erfahrung entspringt. Demgegenüber entspringen die exemplarisch einführbaren Begriffe bzw. Begriffssysteme der Erfahrung. Die einzelnen Begriffe sind hier mehr oder weniger isoliert von einander einführbar, da die Korrelate der direkten Erfahrung zugänglich sind. Im Gegensatz hierzu sind die Korrelate der Begriffe und Fundamentalgesetze nicht mehr sinnlich beobachtbar, so dass die Begriffe auch nicht mehr isoliert einführbar sind. Die Beziehungen zwischen den Begriffen müssen von Anfang an mit einbezogen werden.

Es stellt sich hier die Frage, ob die Methode der exemplarischen Einführung derart weit gefasst werden kann, dass sie Begriffe mit nicht sinnlich beobachtbaren Korrelaten umfasst. Wir untersuchen dies am Beispiel des qualitativen Massebegriffs unter der Voraussetzung des Zusammenhangs zwischen dem qualitativen Begriff der Beschleunigung und der resultierenden Kraft. Hierzu stellen wir uns vor, dass mit Hilfe einer Annahme über die Invarianz der Kraft (gleiche Kräfte) und der empirisch ermittelten Invarianz der Beschleunigung (gleiche Beschleunigung) die Körper klassifiziert werden. Zur Einführung des Massebegriffs bedarf es aber eines Prinzips, das den Zusammenhang von Invarianzen und Eigenschaften postuliert. Eine Eigenschaft eines Körpers wäre hiernach mit einem invarianten Verhalten des betreffenden Körpers in einem bestimmten Systemzusammenhang identisch.³² Die Invarianz bildet nun das Korrelat des einzuführenden Begriffs. Sie muss empirisch nachweisbar sein, was üblicherweise mit Hilfe von Messverfahren geschieht. Die Angabe des Messverfahrens setzt aber zumindest die Annahme der Existenz der Entitäten sowie einen theoretischen Rahmen voraus, mit deren Hilfe die experimentelle Fragestellung formuliert und die zugrundeliegende Systemart beschrieben werden kann. Man hat es also hier nicht mehr mit der Einführung eines Begriffs durch Vorgabe von paradigmatischen Beispielen zu tun, sondern mit einer Beschreibung von Invarianzen, für die ein neuer Terminus eingeführt wird. Man könnte dies die *Methode der Definition durch Invarianzbildung* nennen.

Ein entsprechendes Resultat erhält man bezüglich der Einführung des dieser Betrachtung zugrundeliegenden qualitativen Begriffssystems, der Beziehung zwischen dem resultierenden Kraftbegriff und dem Beschleunigungsbegriff, dass konstitutiv für die hiermit erfasste Invarianz ist.

In diesen Bereichen kann auf eine theoretische Beschreibung nicht verzichtet werden. Der theoretische Rahmen entspringt auch nicht der Erfahrung, er ist sozusagen ein relatives Apriori für die Gewinnung empirischer Resultate. Bei dieser Erkenntnisgewinnung dominiert das rationale Erkenntnisvermögen in einem weitaus stärkeren Maße als bei der Erkenntnis bezüglich der Ebene exemplarisch einführbarer Begriffssysteme. Zur Einführung des theoretischen Rahmens ist also eine andersartige Methode notwendig. Zusammenfassend lässt sich die Methode der exemplarischen Begriffseinführung durch folgende Bestimmungen beschreiben:

- Der einzuführende Begriff ist aus dem ihm korrespondierten Entitäten abstrahierbar. Er kann ohne eindeutige Beschreibung der Entitäten gewonnen werden. Hierzu sind manchmal Idealisierungen notwendig. Beispiele: Abgrenzung von Farbeigenschaften innerhalb des Kontinuums, Gewinnung geometrischer Objekte durch Idealisierung (Ideation).
- Die gewählten Exemplare – paradigmatische Beispiele und Gegenbeispiele – bestimmen hinreichend

- a) den intendierten Begriffsumfang
- b) die im jeweiligen Kontext als relevant erachteten gemeinsamen Merkmale,
- c) die Identität³³ der unter den Begriff fallenden Entitäten und
- d) die Beziehungen zu bereits eingeführten Begriffen, die über die Prädikatorenregeln explizit gemacht werden können.

Die einzelnen Bedingungen a) bis d) sind keineswegs unabhängig voneinander. So liefert implizit die Bedingung a) die explizit geforderte Identität in Bedingung c), die in Bedingung b) geforderten gemeinsamen Merkmale und die Prädikatorenregeln aus Bedingung d).

Für die Anwendung der exemplarischen Methode können die beiden Bestimmungen als Orientierungsmarken dienen. Die erste Bestimmung bezieht sich direkt auf die Anwendbarkeit der Methode (Bereich B2); indirekt aber auch die zweite: die Erfüllbarkeit der Bedingungen a) bis d) hängt vom spezifischen Vorwissen ab. Für die Bereiche B1 und B3 ist im Wesentlichen nur die zweite Bestimmung relevant. Die Systematisierung der theoretisch noch nicht verarbeiteten empirischen Kenntnis des Erfahrungsergebnisses ist ein wesentliches Moment der rationalen Motivation. Hierfür liefern die gemeinsamen Merkmale und vor allem die Identität der dem Begriff korrespondierenden Entitäten eine Zielperspektive. Die Explikation der Beziehungen zwischen den Begriffen – Bedingung d) – ist für die Aufhebung alter und die Entwicklung neuer Begriffssysteme wichtig. Das große Spektrum exemplarisch einführender Begriffe bringt es mit sich, dass sowohl Trivialfälle als auch komplizierte Beispiele erfasst werden. Zu letzteren würde man wohl auch den Theoriebegriff oder den Begriff des Paradigmas (Matrix) im Sinne T.S. KUHNs rechnen.

3.2.2 Analyse der expliziten Definitionsmethode

Wir wenden uns nun der expliziten Definition und anschließend der impliziten Definition zu. Zur Durchführung der Analyse machen wir von einer Charakterisierung der naturwissenschaftlichen Systematisierung unter Verwendung des Systembegriffs, des Wechselwirkungsbegriffs und des Invarianzbegriffs Gebrauch. Mit Hilfe des Systembegriffs und des Wechselwirkungsbegriffs lässt sich die naturwissenschaftliche Systematisierung als Beschreibung von Invarianzen der Systeme charakterisieren. Dabei ist für die Auswahl und Abgrenzung der Systeme der Wechselwirkungsbegriff konstitutiv, so dass die Invarianzbeschreibung als Beschreibung der Wechselwirkungszusammenhänge angesehen werden kann.

Bei der expliziten Definition handelt es sich um eine totale Begriffsreduktion, das Definiendum wird lediglich als zweckmäßige Abkürzung des Definiens eingeführt. Die hierbei auftretenden Probleme sind ausschließlich terminologischer Art. Unsere Analyse kann sich daher auf die Einführung des Definiens beschränken. Das Definiens besteht aus einer Komposition bekannter Begriffe. Die rationale Motivation zielt auf den Zweck der Bildung dieser Komposition, die in der Erfassung einer Invarianz zu suchen ist.³⁴ Hierzu ein Beispiel aus der Mechanik. Auf der Grundlage des Fundamentalsatzes der Partikelmechanik wird der mechanische Impuls durch die Beziehung " $p =_{df} m v$ " eingeführt. Das Definiens " $m v$ " beschreibt die Invarianz des Gesamtimpulses des Partikelsystems, wenn die resultierende äußere Kraft verschwindet. Das Definiendum " p " ist mit dem Definiens bedeutungsgleich und bildet daher nur eine terminologische Abkürzung.

3.2.3 Analyse der operationalen und impliziten Definitionsmethode.

Die Methode der impliziten Definition ist die problembeladenste der aufgeführten Methoden. Mit ihrer Hilfe können die Fundamentalgesetze der Paradigmen im Sinne der Orientierungsmarke (0) eingeführt werden, die als relatives Apriori für empirische Untersuchungen der Realität dienen. In Abschnitt 2.5 wurde diese Methode durch drei Momente charakterisiert: die Struktur, die Rolle der Begriffe bei der Realitätsbeschreibung und die empirischen Entscheidungsverfahren der Begriffe. Das Wort "Moment" soll zum Ausdruck bringen, dass es sich nicht um isolierte Bestandteile einer Methode handelt, die sozusagen als Teilmethoden nacheinander anwendbar sind. Die Notwendigkeit der Synthetisierung ergab sich aus erkenntnistheoretischen Gründen. Darüber hinaus macht die bisherige Erörterung deutlich, dass die Verletzung erkenntnistheoretischer Prinzipien der rationalen Motivation die Grundlage entzieht. Da nun bei der Entwicklung naturwissenschaftlicher Begriffssysteme der rationalen Erkenntnisform gegenüber der sinnlichen Erkenntnisform eine dominierende Rolle zukommt, wären die isolierten Methoden auch ungleichmäßig zu wichten.

Die in der Lehrpraxis übliche Methode ist die der operationalen Definition. Bei dieser Methode steht aber gerade das sinnliche Erkenntnismoment im Vordergrund, so dass sie für diese Aufgabe eigentlich gänzlich ungeeignet ist. Die starke erkenntnistheoretische Reduktion, die mit dieser Methode verbunden ist, zeigt sich an ihrer Mehrdeutigkeit: zwei verschiedene Messverfahren desselben Begriffs würden natürlich zu verschiedenen Begriffen führen. Zur Erfassung ihrer Identität bedarf es theoretischer Prinzipien, die zur Konstitution der Realität ausreichen. Implizit setzt diese Methode auch solche Prinzipien voraus; im allgemeinen qualitative, die natürlich auch gleichzeitig numerisch repräsentierbar, d.h. metrisierbar gedacht werden können und im Verlauf der Einführung auch in metrischer Form expliziert werden. Betrachten wir hierzu die in 2.4 erwähnten Beispiele aus der Mechanik. Die operationale Definition des Begriffs der (schweren) Masse unter Verwendung der Balkenwaage setzt zwei Prinzipien voraus, einmal das Hebelgesetz in zumindest reduzierter Form und zum anderen eine deterministische Abhängigkeitsbeziehung zwischen Massenverteilung und Gravitationskraft. Mit dem ersten Prinzip sprengt diese Definition den Rahmen der Partikelmechanik. Die Orientierungsmarke (0) wird hierdurch in zweierlei Weise verletzt, wenn das Ziel die Einführung des Fundamentalgesetzes der Partikelmechanik und nicht gleichzeitig eine reduzierte Theorie der Mechanik starrer Körper ist. Denn diese Einführung zielt generell nicht auf die Aneignung eines Paradigmas, sondern befindet sich auf dem Boden der kumulativen Wissensentwicklung und geht dazu noch einen solchen Umweg, dass auch nach erfolgter Einführung des Fundamentalgesetzes die der Definition zugrunde liegenden Systeme nicht beschreibbar sind. Damit hat man auch retrospektiv weder die Möglichkeit, den Sinn der Definition zu erfassen noch sie zu begründen. Die Definition des Begriffs der (trägen) Masse mit Hilfe des zentralen, total inelastischen Stoßes vermeidet zwar die letztere Schwierigkeit, nicht jedoch die erste. Auch hier werden mehr oder weniger implizit allgemeine Prinzipien vorausgesetzt. Sie ergeben sich aus der operationalen Definition:

$$m(k_1) : m(k_2) =_{df} (v(k_2, t_v) - v(k_2, t_n)) : (v(k_1, t_n) - v(k_1, t_v))$$

Mit: $m(k_i)$ die Größenwerte der Massen und $v(k_i, t_v)$ bzw. $v(k_i, t_n)$, $i=1,2$, die Größenwerte der Geschwindigkeiten der beiden Körper vor bzw. nach dem Stoß sind.

Die Definition impliziert, dass der Massebegriff zur Beschreibung von Invarianzen der Stoß-Wechselwirkungssysteme sowie einer größeren Klasse von Wechselwirkungssystemen eine Rolle spielt. Zusammen mit einer Beschreibung der Stoßprozesse als

definierende Vorgänge muss nun diese Invarianz formulierbar sein, und zwar derart, dass der Massebegriff auch auf die anderen mechanischen Systeme erweitert werden kann. Hierzu bieten sich mehrere Möglichkeiten an. Einmal könnte von einer speziellen Beschreibung des Stoßprozesses ausgegangen werden, über Invarianzen des raumzeitlichen Verhaltens der stoßenden Körper beim Austausch der Körper der Massebegriff eingeführt³⁵ und dann eine Verallgemeinerung auf andere mechanische Systeme vorgenommen werden, und einmal könnte von einer qualitativen Beschreibung der Wechselwirkung dieser Systeme mit Hilfe der klassifikatorischen Begriffe der Beschleunigung und der resultierenden Kraft ausgegangen werden. Das Fundamentalgesetz besteht dann in der Aussage, dass ein Körper bzgl. eines Inertialsystems genau dann beschleunigt ist, wenn eine resultierende Kraft auf den Körper wirkt. Beim Übergang zum komparativen Beschleunigungs- und Kraftbegriff lässt sich dann der Massebegriff einführen, der zur Formulierung der Invarianzen notwendig ist: eine Beschreibung der eindeutigen Zuordnung der komparativen oder topologischen Beziehungen zwischen Kraft und Beschleunigung lässt sich nur bei invarianter Masse durchführen. Eine operationale Definition wie diese des Massebegriffs kann beim Übergang zu metrischen Begriffssystemen eine weitere oder eine engere Funktion besitzen: einmal kann sie dazu dienen, den metrischen Begriff als numerische Repräsentation empirischer Relationsstrukturen (komparativer Strukturen)³⁶ einzuführen, ein andermal, um für den bereits eingeführten metrischen Begriff des Fundamentalgesetzes ein empirisches Entscheidungsverfahren zu liefern. Ersteres bietet sich dann an, wenn nur eine Teilmetrisierung vorgenommen werden soll, wie z.B. die des Kraftbegriffs in der Statik. Das zweite Verfahren der Einführung des Massebegriffs unter Verwendung eines elementaren, qualitativen Fundamentalgesetzes hebt die theoretischen Prinzipien stärker hervor, die Einführung des neuen Begriffs ergibt sich aus der Weiterentwicklung der vorhandenen, um Invarianzen beschreiben zu können. Das erstere Verfahren, das durch die Bezugnahme auf die Stoßprozesse bestimmt ist, verschleiert die Prinzipien. Damit wird weder der Orientierungsmarke (0) noch der rationalen Motivation Rechnung getragen. Abschließend gehen wir noch auf die operationale Definition des Kraftbegriffs mit Hilfe des Massebegriffs und des Beschleunigungsbegriffs ein. Es handelt sich hier um die Definition eines abgeleiteten Größenbegriffs. Definitionen dieser Art verwenden Axiome³⁷, hier das Fundamentalgesetz der Partikelmechanik. Damit entsteht das Problem, den Unterschied zwischen Axiomen und operationalen Definitionen zu explizieren, denn innerhalb eines Lehr- bzw. Entwicklungs- oder Begründungsdiskurses muss der Sinn der beiden Aussagen "'F = m a" ist ein Axiom" und "'F =_{df} m a" ist eine operationale Definition" klärbar sein. Als formales Charakteristikum der Axiome lässt sich ihre Kreativität nennen. Modelltheoretisch ausgedrückt gelten die Axiome nicht in allen möglichen Welten, wie dies bei den logischen Axiomen und den aus ihnen ableitbaren Sätzen der Fall ist. Eine weitere Bestimmung des Axioms als Naturgesetz führt auf das bislang noch nicht gelöste wissenschaftstheoretische Problem, den Begriff der Gesetzesartigkeit zu präzisieren. Vermutlich wird dies auch nicht allein mit logischen Mitteln möglich sein, so dass Grundbegriffe eines naturwissenschaftlichen Systematisierungsansatzes herangezogen werden müssen. Bis zur Lösung des Problems müssen wir uns damit bescheiden, diesen Begriff exemplarisch einzuführen, entweder als Fundamentalgesetz bzw. als Teilgesetz eines Fundamentalgesetzes oder als spezielles Gesetz. Es wäre nun zu klären, welche Gründe dafür sprechen, bei der Einführung abgeleiteter Größenbegriffe anstatt des Axiomenbegriffs den Begriff der operationalen Definition zu verwenden. Um kreative Gesetze zu erhalten, wäre der Begriff der operationalen De-

definition als partielle Begriffsreduktion zu explizieren. Damit tauchen die beiden Probleme auf, welche Momente von dem definierten Begriff durch die Definitionsbeziehung festgelegt werden und wie der gesamte Begriff eingeführt werden können. Die Beantwortung dieser Fragen hängt vom jeweiligen Realitätsbegriff bzw. vom jeweiligen erkenntnistheoretischen Grundansatz ab. Man kommt der Problemlösung daher näher, wenn man nach dem Realitätsbegriff bzw. dem erkenntnistheoretischen Grundansatz fragt, der die legitime Verwendung der operationalen Definitionsmethode plausibel macht. Die Einführung eines Begriffssystems auf der Grundlage dieser Methode suggeriert einen Aufbau aus einzelnen Bausteinen derart, wie man mittels der exemplarischen Methode über die Erstellung von Prädikatorenregeln Begriffssysteme einführt. Denn streng genommen könnte beim Aufbau eines operationalen Definitionssystems auf die Verwendung der Fundamentalgesetze der betreffenden Theorie verzichtet werden, im allgemeinen jedoch nicht auf spezielle Gesetze und Gesetze anderer Theorien, die dem Messverfahren zugrunde liegen. Mit jedem Größenbegriff würde isoliert eine Größe erfasst, d.h. ein Attribut zusammen mit einer komparativen Beziehung, die durch den Größenbegriff numerisch repräsentiert wird. Auf dieser Ebene sind nun alle Prinzipien zur Realitätskonstitution liquidiert. Damit reduziert sich die Erkenntnisgewinnung auf die Entdeckung dessen, was sozusagen absolut vorgegeben ist. Die Durchführung der Experimente, die den operationalen Definitionen entsprechen, basiert auf dem Zweck, Größen und Zusammenhänge zwischen ihnen ‚ausfindig‘ zu machen. Der sinnliche Bezug, den das System der operationalen Definitionen liefert, wäre dabei als notwendiger und hinreichender Indikator für die Existenz einer Größe anzusehen. Die Gesetze, soweit sie nicht zur Definition der Größenbegriffe vorweggenommen sind, wären empirisch zu ermitteln. Das hierbei verwendete Verfahren ist eine spezielle, genauer entartete Form der Induktion. Ausgehend von einzelnen empirischen Ergebnissen wird auf ein allgemeines Gesetz geschlossen. Der wesentliche Punkt dabei ist die theoretische Voraussetzungslosigkeit dieser Methode: es wird für den induktiven Schluss kein allgemeines Gesetz vorausgesetzt, mit dessen Hilfe erst konkrete experimentelle Fragestellungen möglich sind. Vielmehr wird angenommen, dass zu den experimentell erschlossenen harten Fakten erst passende Gesetze gesucht werden. Damit wäre eine äußerst einfache und in gewisser Weise auch plausibel scheinende naturwissenschaftliche Forschungsmethode gefunden, die eng mit der operationalen Definitionsmethode verbunden ist (klassische Methodologie). Die Verknüpfung beider Methoden, ihre Anwendung in der methodischen Entwicklung des akkumulierten Wissens unter dem Anspruch eines adäquaten methodologischen Vorgehens liefert den Grund für die Verwendung der abgeleiteten operationalen Definitionen anstatt der den Definitionen zugrunde liegenden Axiome. Letzteres müsste als unvollständiges Verfahren deklariert werden, da sonst ein Widerspruch zur induktiven Forschungsmethode, von harten Fakten auszugehen, entstehen würde. Entsprechend verhält es sich mit den implizit verwendeten Gesetzen bei den operationalen Definitionen von Grundgrößenbegriffen. Die Bedeutung der operationalen Definitionsmethode ist also wesentlich durch ihre Verknüpfung mit der induktiven Methode bestimmt. Die Auflösung dieser Verbindung würde die Definitionsmethode bestenfalls als Kompromiss erscheinen lassen, das akkumulierte Gesetzeswissen schnell einführen zu können. In diesem Rahmen kann die Verwendung von Axiomen nur wünschenswert sein. Auf dem Hintergrund dieser Erörterung lassen sich die beiden Ausgangsfragen leicht beantworten. Vom Standpunkt der induktiven Methode und dem damit verbundenen erkenntnistheoretischen Grundansatz aus gesehen, führt die operationale Definitionsmethode den vollständigen Größenbegriff

ein. Dies etwas überraschende Ergebnis folgt unmittelbar aus der obigen Interpretation der Definitionsmethode als Methode zur Begriffsbestimmung auf der Grundlage identifizierter Größen. Damit verschwindet auch die erwähnte Mehrdeutigkeit. Verschiedene Definitionsverfahren identifizieren auf verschiedene Weise dieselbe Größe, die durch einen Begriff ideell repräsentiert wird. Erkenntnistheoretische Ansätze, wie der hier zugrundeliegende konstitutionstheoretische Ansatz, können eine solche Interpretationsbasis nicht liefern. Der sinnliche Bezug des Systems der Größenbegriffe würde hier als notwendiger und hinreichender Indikator für die Existenz einer Größe nicht ausreichen.

Weder die Messoperationen noch der sinnliche Bezug des Systems der Größenbegriffe liefert einen hinreichenden Indikator für die Existenz einer Größe. Die Identität einer durch verschiedene Messverfahren gekennzeichneten Größe lässt sich mit diesen Mitteln nicht bestimmen. Ein klassisches Beispiel ist die Identität von träger und schwerer Masse. Im Rahmen der klassischen Methodologie muss die Identität zunächst antizipiert werden und lässt sich erst retrospektiv nach Ermittlung der Gesetze als zutreffend oder unzutreffend erweisen. Damit werden – wenn auch retrospektiv – theoretische Prinzipien zur Bestimmung einer Größe verwendet.

KUHNs historische Rekonstruktionen der Wissenschaftsentwicklung weisen nach, dass die geschilderte klassische Methodologie weder für die Paradigmenentwicklung noch für die normalwissenschaftliche Forschung je von Bedeutung war. In seinem Aufsatz "Die Funktion des Messens in der Entwicklung der physikalischen Wissenschaften"³⁸ bezeichnet er diese Methodologie (Lehrbuchmethodologie) als Märchen. Interessant ist jedoch, dass Forscher wie NEWTON, die selbst maßgeblich an Paradigmenentwicklungen beteiligt waren, die induktive Methode als fundamentalste Forschungsmethode propagierten. Unter der Prämisse, dass die Annahme harter Fakten unhaltbar und damit auch jede Beobachtungsaussage theoriebeladen ist, bietet sich die folgende Interpretation an. Die betreffenden Forscher verfügten über ein metatheoretisches Paradigma, mit dessen Hilfe sie den Prozess der Erkenntnisgewinnung deuten. Die Akzeptierung oder Verwerfung der isolierten operationalen Definitionsmethode als adäquate Methode der Begriffseinführung ist an metatheoretische Paradigmen geknüpft. Damit werden Einwände gegen diese Methode auch weitgehend immunisierbar. Aus KUHNs Sicht ist die Entscheidung für das eine oder andere Paradigma nicht an rationalen Kriterien festmachbar, auch dann nicht, wenn hartnäckige Anomalien auftreten. Der Grund liegt u.a. darin, dass mit dem Auftauchen eines neuen Paradigmas weder die Schwierigkeiten des alten a priori beseitigt sind noch die Überlegenheit des neuen a priori feststeht. Die Paradigmen sind – wie wir dies in (0) formuliert haben – rationale Erkenntnisprinzipien, die zunächst angenommen werden müssen, um mit ihnen auf begrifflich konkreter Ebene empirische Untersuchungen durchführen zu können. Hierzu muss erst die Realität im Licht des neuen Paradigmas gedeutet bzw. die Realität durch das neue Paradigma konstituiert werden. Das neue Paradigma muss also schon angenommen sein, um seine Überlegenheit gegenüber dem alten zeigen zu können. Gemäß LAKATOS' forschungslogischer Theorie ist die Bewertung von Theorien in einem "progressiv problemshift" zu suchen; d.h. in einer (relevanten) Erweiterung des Arbeitsgebietes der Wissenschaft. Es bleibt nun die Aufgabe aufzuzeigen, worin hier eine Art "progressiv problemshift" beim Wechsel des Paradigmas der induktiven Forschungsmethode zugunsten einer konstitutionstheoretisch fundierten, wie sie insbesondere in 2.5 und 3.1 angedeutet ist, bestehen könnte

und welche minimalen Adäquatheitsbedingungen die neue Methode damit besitzen müsste.

Im Forschungsprozess wie in der methodischen Entwicklung des akkumulierten Wissens lässt sich stets die rationale Erkenntnisform nachweisen, die ihren Niederschlag in den zumindest implizit und verschleiert verwendeten Prinzipien hat. Aus der Sicht der am Realismus orientierten induktiven Methode beurteilt, sind solche Prinzipien bestenfalls als positive, die Phantasie anregende Begleitgedanken beim Aufspüren der Größen und ihrer Zusammenhänge anzusehen. Dabei ist wesentlich, sich nicht an bestimmten Prinzipien zu fixieren, weil damit eine Einengung der Entdeckungsmöglichkeit verbunden sein kann. Dementsprechend reduziert sich der Begriff der empirischen Ermittlung der Gesetze auf einen naturwissenschaftsimmanenten, theorieleeren trial-and-error-Begriff. Die Methodologie der induktiven Methode auf der Grundlage der operationalen Definitionen verflüchtigt sich in ein Abstraktum, das im Prinzip einen Methodenanarchismus nach sich zieht: die induktive Methode besitzt lediglich erklärenden Wert, aber keinen erkenntnisleitenden. Es fehlt somit jede positive Perspektive für die Theorienentwicklung sowie für wesentliche Bereiche empirischer (normalwissenschaftlicher) Untersuchungen mit Hilfe der Theorien. Jeder Ansatz einer rationalen Motivation wird liquidiert, da eine Begründung nicht auf Scheinmethoden bezogen werden kann. Die Semantik der Begriffe reduziert sich auf eine abstrakte Bezeichnungsfunktion, so dass sich auch retrospektiv nach erfolgter Definition der Größenbegriffe nichts Wesentliches über die Semantik der Begriffe aussagen lässt, wenn die Grundlage der Induktionsmethodologie nicht verlassen werden soll. Explizit wurde dies am Beispiel der operationalen Definition des Massebegriffs unter Verwendung des zentralen, total inelastischen Stoßes nachgewiesen. Ein entsprechendes Resultat erhält man für die Definition des Kraftbegriffs. Der Begriff lässt sich auf eine mittels des Massebegriffs und des Beschleunigungsbegriffs formulierte Invarianzgründen, zu deren Formulierung die speziellen Wechselwirkungssysteme beschrieben werden müssen. Damit wird der Kraftbegriff auf eine Invarianz der Wechselwirkungsbeziehungen bezogen, er involviert also auch die Kraftursachen. Die Explikation der Prinzipien führt auf die Formulierung eines Invarianzzusammenhangs – wie der oben eingeführte zwischen (resultierender) Kraft und Beschleunigung – aus dem dann das Fundamentalgesetz entwickelbar ist. Innerhalb der klassischen Methodologie sind aber diese Prinzipien unzulässig, denn sie haben Axiomencharakter. Die klassische Methodologie verabsolutiert das Wissen, die Genesis und die Bedingungen des Entstehens sind irrelevant. Eine wesentliche Erweiterung des Arbeitsgebietes ("progressiv problemshift") liegt in der Aufhebung der Isolation des naturwissenschaftlichen Wissens, die hierzu als isolierende Abstraktion nachzuweisen ist. Dies ist auch eine zumindest notwendige Bedingung für die in 3.1 angedeutete Begriffsentwicklung. Denn in der bisherigen Erörterung ist angedeutet worden, dass die Begriffsentwicklung, konsequent durchgeführt, noch andere Wissensbereiche wie das lebensweltliche Wissen sowie philosophisches und methodologisches Wissen involviert. Das integrierende Moment wird dabei im Lösungsansatz der Semantik naturwissenschaftlicher Begriffe, der Rolle der Begriffe bei der Realitätskonstitution gesehen. In der naturwissenschaftlichen Systematisierung wurde sie oben als Systembeschreibung mit Hilfe des Wechselwirkungsbegriffs und des Invarianzbegriffs charakterisiert. Damit wird diese Systematisierung innerhalb der Begriffsentwicklung thematisiert und zum Erkenntnisobjekt distanziert. Die entsubjektivierte Begriffsentwicklung in den Naturwissenschaften wird explizit und von der subjektbezogenen – z.B. im lebensweltli-

chen Bereich – differenzierbar. Die Herausarbeitung anderer Systematisierungsarten, wie die der Systematisierung der lebensweltlichen Erfahrung,³⁹ relativiert einmal die naturwissenschaftliche Systematisierung und stellt zum anderen Beziehungen zu anderen Erfahrungsbereichen her, die neben der Integration die Aufhebung vorgängiger Begriffe bewirken. Die intendierte Begriffsentwicklungsmethode lässt sich also nicht als bequeme Methode zur schnellen und problemlosen Einführung von Gesetzen ansehen, der Einbezug der involvierten Gebiete muss dabei ein direktes Ziel sein. Die implizite Definitionsmethode spielt bei dieser Begriffsentwicklung insofern eine wesentliche Rolle, als sie einmal für die Einführung elementarer Fundamentalgesetze – wie den Zusammenhang zwischen den qualitativen Begriffen der Beschleunigung und der resultierenden Kraft – nötig sowie zur Präzisierung jeder weiteren Entwicklungsstufe von Bedeutung ist. Letzteres gilt insbesondere bei der Entwicklung metrischer Gesetze.

Anmerkungen

- 1 Siehe hierzu [21].
- 2 Dieser Ansatz geht auf L. Wittgenstein zurück [23]
- 3 Siehe hierzu [8].
- 4 Neben der Schreibweise "P(a)" ist auch " $a \in P$ " üblich.
- 5 Zur Definitionstheorie siehe [22].
- 6 Dies ist diejenige Form der Axiomatisierung, die üblicherweise in der Mathematik verwendet wird.
- 7 Es handelt sich hierbei um Grundbegriffe im axiomatischen Sinne und nicht im Sinne der Größenlehre. Siehe hierzu 2.5.2.
- 8 Diese Bedingung kann liberalisiert werden, was hier aber ohne Belang ist. Siehe hierzu [22].
- 9 Siehe hierzu [15].
- 10 Siehe hierzu [16J, [17].
- 11 Eine ausführliche Erörterung beider Definitionsarten befindet sich in [18].
- 12 Dieses Problem wird in [2] erörtert.
- 13 Eine kurze und präzise Definition des Begriffs des formalen Axiomensystems befindet sich in [5]. Zu den unterschiedlichen Axiomatisierungsformen siehe [21]
- 14 Zu Axiomatisierungen dieser Art siehe [3], [6]. Die im Folgenden aufgeführte Axiomatisierung der klassischen Partikelmechanik ist eine leicht modifizierte Form der Axiomatisierung aus [22].
- 15 Für Begründungen und den Aneignungsprozess stellt sich somit die Frage, ob und in welcher Weise Axiomatisierungen Verwendung finden sollten bzw. wie sie geeignet reduziert werden können.
- 16 Eine ausführliche, algebraische Abhandlung der Theorie der Messung befindet sich in [10]. Für eine knappe und anschauliche Darstellung siehe [20].
- 17 Detaillierter wird dieses Problem in neueren Ansätzen dargestellt. In [11] wird das Entwicklungsproblem im Begründungskontext abgehandelt und dabei explizit auf das Realitätsproblem eingegangen. Eine Kurzfassung befindet sich in [12] (siehe auch ISB-Letter, Jg. 1, 1, 2008, S. 59-68, engl. 69-77). Unter expliziterer systemischer Sicht wird der Zusammenhang von Erkenntnisssystemen und Tätigkeit am detailliertesten in [25] bearbeitet: Dies führt zu dem Begriff des funktio-

- nellen Erkenntnissystems. Eine Bearbeitung des Problems der Entstehung von Neuem wird an Beispielen der Physikgeschichte in [26] abgehandelt.
- 18 Im Allgemeinen werden auch die Kraft und der Widerstand als Eigenschaft angesehen. Dies ist aber nicht ganz korrekt, denn die beiden korrespondierenden Begriffe sind spezielle Entwicklungen des Wechselwirkungsbegriffs.
 - 19 Siehe hierzu [4].
 - 20 Zum Problem der Systematisierung der Alltagserfahrung siehe [1].
 - 21 Zu Kuhns Analyse siehe [13] und [15]; zu den logischen Rekonstruktionen dieser Ergebnisse [18] und [21].
 - 22 Siehe hierzu [21].
 - 23 Kuhn parallelisiert seinen Paradigmenbegriff mit Wittgensteins Begriff des Paradigmas. Für eine ausführliche Diskussion dieses Vergleichs siehe [21], Methoden zur Einführung naturwissenschaftlicher Begriffe.
 - 24 Siehe hierzu [24].
 - 25 Dies Ziel, statt primär physikalische Einzelkenntnisse einen Begriffsrahmen zu entwickeln, verfolgen W. Jung und H. Wiesner in [7]. Als entscheidenden "Prozess, den der Unterricht in Gang setzen muss", sehen sie den "Dialog mit dem, was im Jargon die "kognitive Struktur" der Lernenden genannt hat". Diese Ansicht impliziert die in der Orientierungsmarke (0) enthaltene Forderung, die Einführung des Begriffsrahmens unter dem Gesichtspunkt zu thematisieren, eine rationale Grundlage für naturwissenschaftliche Untersuchungen zu entwickeln.
 - 26 Vgl. zu diesem Problem sowie das Folgende [11], Abschnitt 3.4. Korrespondierend zum Begriff des Forschungsprogramms wird hier der Begriff des Erklärungsprogramms entwickelt.
 - 27 Zwischen Vorstellung und Begriff wird hier ein enger Zusammenhang angenommen, der aber nicht weiter präzisiert werden soll. Kant bestimmte z.B. das Verhältnis folgendermaßen: "Alle Anschauungen, als sinnlich, beruhen auf Affektionen, die Begriffe also auf Funktionen. Ich verstehe aber unter Funktion die Einheit der Handlung, verschiedene Vorstellungen unter einer gemeinsamen zu ordnen".
 - 28 [23], § 66 und folgende.
 - 29 Ein einfaches Beispiel eines Begriffssystems ist in 2.1 aufgeführt.
 - 30 Es handelt sich hierbei um ein erkenntnistheoretisches Prinzip, das wir diesen Betrachtungen zugrunde legen wollen.
 - 31 Fassen wir den Abstraktionsbegriff derart, dass Theoretisierung stets auf Abstraktionen beruht, so sind unter einfachen Abstraktionen solche zu verstehen, in denen im Wesentlichen die sinnliche Erkenntnisform vorherrscht. Kant formuliert die hier angesprochene Unterscheidung folgendermaßen: "Wenn aber gleich alle unsere Erkenntnis mit der Erfahrung anhebt, so entspringt sie darum noch nicht eben alle, aus der Erfahrung".
 - 32 Entsprechendes gilt für Beziehungen.
 - 33 Siehe hierzu die Charakterisierung der Begriffe nach Kant in Anmerkung 22. Sie fordert eine Identität der einzelnen Vorstellungen.
 - 34 Es werden hier nur Eigenschafts- und Relationsbegriffe und z.B. keine Objektbegriffe betrachtet.
 - 35 Der Größenwert des Definiens der operationalen Definition des Massebegriffs bleibt invariant, wenn Körper mit gleicher Masse ausgetauscht werden.
 - 36 Siehe hierzu [10].

- 37 Unter „Axiomen“ sollen hier naturwissenschaftliche, nicht logische Axiome verstanden werden. Also speziell auch keine expliziten Definitionsbeziehungen, die manchmal aus praktischen Gründen objektsprachlich als nichtkreative Axiome eingebettet werden. Um Axiome im Sinne von Gesetzen, d.h. Aussagen, zu erhalten, müsste über die freien Variablen - die bei der üblichen Formulierung auftreten - geeignet quantifiziert werden.
- 38 [13], S. 254-308.
- 39 Zum Verhältnis von lebensweltlicher und wissenschaftlicher Erfahrung siehe [1] und [11]

Literaturverzeichnis

- [1] BÖHME, G.: Die Verwissenschaftlichung der Erfahrung. Wissenschaftsdidaktische Konsequenzen. In: BÖHME, G.; v. ENGELHARDT, M. (eds.): Entfremdete Wissenschaft, Frankfurt/Main: Suhrkamp 1979.
- [2] BÖHME, G. (ed.): Protophysik. Frankfurt/Main: Suhrkamp 1976.
- [3] BUNGE, M.: Foundations of Physics. Berlin - Heidelberg - New York 1967.
- [4] HABERMAS, J.: Vorbereitende Bemerkungen zu einer Theorie der kommunikativen Kompetenz. In: HABERMAS, J.; LUHMANN, N., Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie, Frankfurt/Main 1971.
- [5] HATCHER, W. S.: Foundations of Mathematics, Philadelphia-Toronto-London 1968.
- [6] HENKING, L.; SUPPES, P.; TARSKI, A. (eds.): Symposium on the Axiomatic Method, Amsterdam 1959.
- [7] JUNG, W.; WIESNER, H.: Einführung in die Mechanik als Exempel fachdidaktischer Problematik. In: Scharmann, A. (ed.): Deutsche Physikalische Gesellschaft. Fachausschuss Didaktik der Physik. Vorträge der Frühjahrstagung 1979. Gießen: 1. Physikalisches Institut, 1979.
- [8] KAMLAH, W.; LORENZEN, P.: Logische Propädeutik oder Vorschule des vernünftigen Redens, Mannheim: BI 1967.
- [9] KANT, I.: Kritik der reinen Vernunft. A 68, B 93
- [10] KRANTZ, H. et al.: Foundations of Measurement, New York und London 1971.
- [11] KROPE, P.; WOLZE, W.: Konstruktive Begriffsbildung - Vom lebensweltlichen Wissen zum wissenschaftlichen Paradigma der Physik. Münster etc. 2005
- [12] KROPE, P.; WOLZE, W.: The Foundation of Theories in the Complementary Relationship of Explanation and Description. Los Angeles 2006.
- [13] KUHN, T.S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt/Main: Suhrkamp 1976.
- [14] KUHN, T.S.: Die Entstehung des Neuen: Studie zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte, Frankfurt/Main: Suhrkamp 1977.
- [15] LEINFELNER, W.: Einführung in die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie, Mannheim: BI 1967.
- [16] MITTELSTAEDT, P.: Klassische Mechanik, Mannheim: BI 1970.
- [17] MITTELSTAEDT, P.: Die Sprache der Physik, Mannheim: BI 1972.
- [18] SNEED, J. D.: The Logical Structure of Mathematical Physics, Dordrecht 1971.
- [19] STEGMÜLLER, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band I. Berlin-Heidelberg-New York 1970.
- [20] STEGMÜLLER, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band II, Erster Halbband. Berlin-Heidelberg-New York 1970.
- [21] STEGMÜLLER, W.: Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie, Band II, Zweiter Halbband. Berlin — Heidelberg -New York 1973.
- [22] SUPPES, P.: Introduction to logic. New York 1957.

- [23] WITTGENSTEIN, W.: Philosophische Untersuchungen. Frankfurt/Main, 1967.
- [24] WOLZE, W.: Invarianzen als Grundlage der Begriffseinführung, in Scharmann, A. (ed.): Deutsche Physikalische Gesellschaft. Fachausschuss Didaktik der Physik. Vorträge der Frühjahrstagung 1979. Gießen: 1. Physikalisches Institut, 1979, 206-211.
- [25] WOLZE, W.: Zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Erkenntnisssysteme im Lernprozess. Wiesbaden 1989.
- [26] WOLZE, W.; Walgenbach, W.; Schuldt, S.: Die Erzeugung von Neuem in den Wissenschaften als Orientierung für die Konstruktion heuristischer Mittel. Z. f. D. d. N.; Jg. 3, Heft 1, 1997, 52-70.

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