

Kybernetisch- informationstheoretische Didaktik

Ausarbeitung eines Vortrages im Seminar

“Didaktische Modelle” - WS 1999/2000

Fachbereich Erziehungswissenschaften
der Johann Wolfgang Goethe-Universität

Frankfurt am Main

Axel Müller

23. September 2000

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Die zugrundeliegenden Theorien des Modells	3
2.1	Kybernetik	4
2.2	Informationstheorie	8
3	Die Kerntheorien der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik	10
3.1	Erziehung als Regelungsprozeß	10
3.1.1	Lernziele	12
3.2	Lernen als Redundanzерzeugung	12
3.2.1	Drei Typen von Lernprozessen	14
4	Analyse und Optimierung von Lehrstrategien	15
4.1	Lehrstrategien als Anwendungen der Kerntheorien	16
4.1.1	Analyse des “exemplarischen Lernens”	16
4.2	Die Optimierung von Lehrstrategien als Entscheidungsproblem	18
5	Kritische Bewertung des Modells	19

1 Einleitung

Ich möchte in diesem Text eine kurze Darstellung der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik geben, wie sie von Felix von Cube entwickelt wurde. Ich habe mich dabei an dem Text von Ingbert Knecht-von-Martial [Martial] orientiert, möchte aber darüberhinaus die verwendeten Ideen aus der Kybernetik und der Informationstheorie kurz darstellen.

Felix von Cube sieht Didaktik nicht als einen Begriff, der von gesellschaftlich bedingten Zielen abhängt, er versteht sie als eine allgemeinere Wissenschaft. *“Didaktik als Wissenschaft untersucht vielmehr die prinzipiellen Eingriffsmöglichkeiten in menschliche Lernprozesse überhaupt.”* ([Cube67] S.56)

Die von ihm entwickelte kybernetisch-informationstheoretische Didaktik ist, von diesem Didaktik-Verständnis ausgehend, kein konkretes Modell für Unterricht, das in Konkurrenz zu anderen Modellen steht (wie zum Beispiel der lernzielorientierte Unterricht oder die dialektisch orientierte Didaktik Klingenberg). Sie bietet vielmehr die Möglichkeit, bekannte didaktische Strategien im Hinblick auf bestimmte Aspekte zu analysieren und wissenschaftlich zu begründen: *“Die beiden Kerntheorien, auf die von Cube sich bei der Konstruktion der Lehrstrategien stützt, sollen einen bestimmten Aspekt des Lernens, nämlich die Regelung und die Aufnahme und Verarbeitung von Information, zur Darstellung bringen. Sie beschreiben keinen völlig neuen Gegenstand. Es wird aber gegenüber traditionellen Lehr-/Lerntheorie der Anspruch erhoben, daß sie die Vorgänge der Lernsteuerung präziser fassen.”* ([Martial], S. 81)

2 Die zugrundeliegenden Theorien des Modells

Ich möchte hier zunächst die beiden Theorien beschreiben, die dem didaktischen Modell von Cubes zugrunde liegen. Beide Theorien, die Kybernetik und die Informationstheorie, sind in wesentlichen Teilen mathematische Theorien. Ich werde jedoch weitestgehend auf die Darstellung der Mathematik verzichten und beschränke mich auf eine Darstellung der wesentlichen Ideen und Konzepte.

Für eine detaillierte Darstellung der Informationstheorie sei auf das bahnbrechende Buch von Claude Shannon [Shannon], sowie das umfassende Lehrbuch von Cover und Thomas [Cover] verwiesen. Eine einführende Beschreibung der

Kybernetik, insbesondere auch im Hinblick auf deren Bedeutung für die Erziehungswissenschaften, findet sich in [Cube67].

2.1 Kybernetik

Um den Begriff der Kybernetik einordnen zu können, gebe ich zunächst eine kurze Beschreibung, wie sie in der Brockhaus Enzyklopädie zu finden ist.

*“**Kybernetik**, [engl., zu griech. kybernetike (techne): 'Steuermannskunst'], die allgemeine, formale Wissenschaft von der Struktur, den Relationen und dem Verhalten dynamischer, insbesondere komplexer Systeme, die gewisse allgemeine Eigenschaften und Verhaltensweisen realer Systeme aus den verschiedensten Bereichen der Wirklichkeit widerspiegeln. [...] Die allgemeine Kybernetik gewinnt wesentliche Erkenntnisse aus realen Systemen, abstrahiert daraus gewisse Modelle (kybernetische Systeme), die dann theoretisch und unabhängig von irgendwelchen Anwendungen untersucht werden, und gibt die neu gewonnenen Einsichten als Verbesserung an die Anwendungen zurück.”* [Brockhaus]

Die Kybernetik als Wissenschaft wurde 1948 von Norbert Wiener mit dem Erscheinen seines Buches “Cybernetics: or 'Control and Communication'” begründet [Britannica]. Sie ist von ihrem Wesen her zutiefst interdisziplinär und hat somit auch Anwendungen in den Erziehungswissenschaften.

Um die Ideen der Kybernetik ein wenig zu erklären, möchte ich an einem einfachen Beispiel eines kybernetischen Systems einige wichtige Schlüsselbegriffe einführen. Als Beispiel wähle ich die Steuerung einer Heizung (vgl. [Cube67], S. 23ff), zum einen, da dies ein uns allen wohlbekannter Vorgang ist, zum anderen, weil die Schlüsselbegriffe der Kybernetik hier als beinahe natürliche Bezeichnungen auftreten. Der Regelkreis einer Heizung ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

Der **Sollwert** ist ein von außen vorgegebenes Ziel, hier eine angestrebte Raumtemperatur von 20° C. Der eigentliche Regelkreis ist bestrebt, diesen Sollwert zu erreichen.

Der **Regler**, in diesem Fall eine elektronische Schaltung, kennt den angestrebten Sollwert und ist in der Lage, Aktionen zu koordinieren, um diesen Sollwert zu erreichen. In unserem Beispiel kann der Regler die Impulse “öffnen” und “schließen” an das Stellglied, einen mechanischen Schieber, geben.

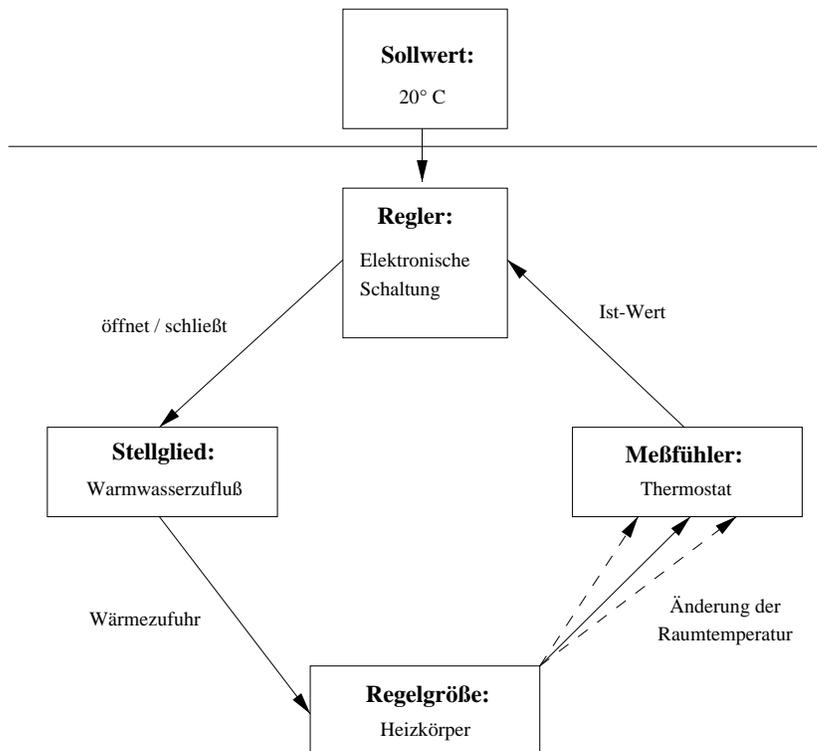


Abbildung 1: Temperaturregelung als Regelkreis ([Martial], S.76)

Das **Stellglied**, hier ein mechanischer Schieber, der den Warmwasserzufluß zum Heizkörper kontrolliert, wird vom Regler eingesetzt, um Einfluß auf die eigentliche Regelgröße auszuüben. In diesem Sinne ist das Stellglied ein “Mittel zum Zweck”.

Die **Regelgröße** ist das Objekt des Regelkreises, dessen Verhalten verändert werden soll. Durch den Einsatz des Stellgliedes erhält der Heizkörper mehr oder weniger Warmwasser. Dies bewirkt eine Veränderung der Raumtemperatur.

Der **Meßfühler**, ein Thermometer, das die Raumtemperatur mißt und als elektrisches Signal an den Regler gibt, ist das Objekt, das eine Rückkopplung realisiert. Es ermöglicht dem Regler, zwischen dem angestrebten Sollwert und dem erreichten Ist-Wert zu vergleichen, und gibt damit eine Entscheidungsgrundlage für die eingeleiteten Aktionen.

Diese Betrachtungsweise unterscheidet klar verschiedene Rollen in der Regelung der Temperatur. Vom abstrakten Standpunkt der Kybernetik ist diese Temperaturregelung ein Kommunikationsprozeß. Die Rollen sind ausschließlich durch ihre Stellung innerhalb dieses Prozesses festgelegt.

Ein Grundprinzip der Kybernetik besteht nun darin, eine große Zahl von Vorgängen durch die gleichen Strukturen darzustellen und dadurch verständlicher zu machen: *“...wir werden indessen sehen, daß der Kern der Kybernetik gerade darin besteht, sehr verschieden aussehende Vorgänge nach denselben Prinzipien zu erklären.”* ([Cube67], S.24)

Um dies ein wenig zu verdeutlichen, betrachten wir ein weiteres Beispiel aus einem anderen Wirklichkeitsbereich, in dem wir die gleichen Strukturen wiedererkennen werden. Eben um diese Strukturen geht es der Kybernetik, um die Abstraktion der Beziehung zwischen den verschiedenen Instanzen eines Prozesses: *“unter Kybernetik im weiteren Sinne versteht man die mathematische und konstruktive Behandlung allgemeiner struktureller Beziehungen, Funktionen und Systeme, die verschiedenen Wirklichkeitsbereichen gemeinsam sind.”* ([Cube67], S.41).

Die Steuerung eines Schiffes kann als kybernetischer Regelkreis modelliert werden, wie er in Abbildung 2 dargestellt ist. (vgl. [Cube68], S.28 ff)

Der **Sollwert** ist der vom Kapitän festgesetzte Kurs. Dies ist eine Zielvorgabe, die außerhalb des eigentlichen Regelkreises stattfindet. Der Kapitän trifft eine “Urentscheidung” und beeinflusst damit die Aktionen des Steuermanns.

Der Steuermann hat die Rolle des **Reglers**, der den Ist-Wert mit dem Soll-Wert vergleicht und aufgrund dieses Vergleichs die Entscheidungen über auszuführende Aktionen trifft. Er erhält den Ist-Wert vom Lotsen und bedient das Steuerrad, beeinflusst also das Stellglied.

Das **Stellglied** ist das Steuerrad des Schiffes. Es ist das Mittel, mit dem der Steuermann auf die Regelgröße des Kreises, das Ruder, einwirken kann.

Die **Regelgröße** dieses Regelkreises ist das Ruder des Schiffes. Die Aktionen des Reglers zielen darauf, diese Größe zu beeinflussen.

Der Lotse hat die Rolle eines **Meßfühlers**, der dem Steuermann den Ist-Wert der Position angibt, die Entscheidungsgrundlage für neue Aktionen des Reglers. Er realisiert somit eine Rückkopplung in dem kybernetischen System.

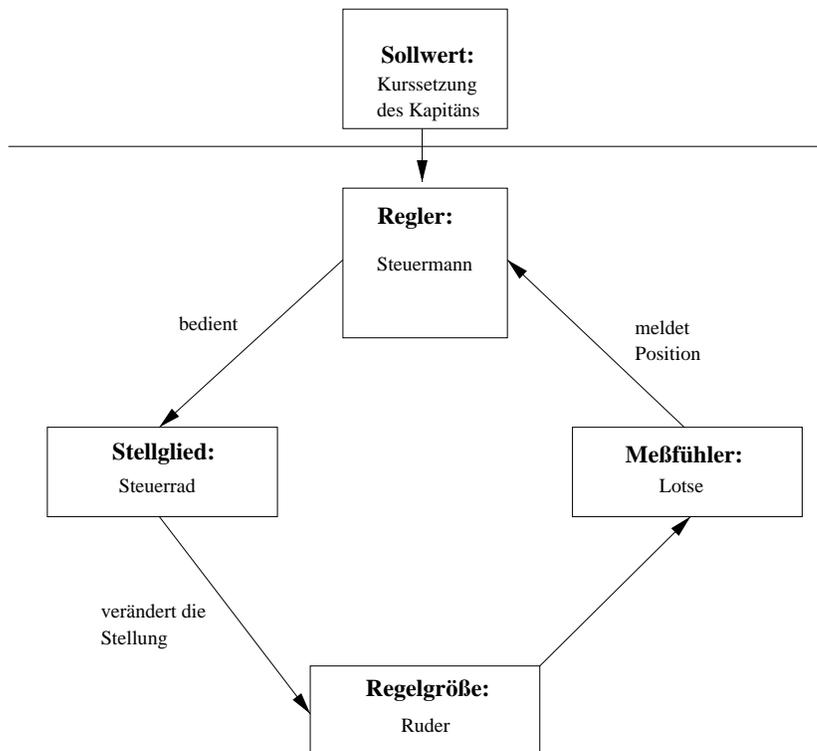


Abbildung 2: Steuerung eines Schiffes als Regelkreis ([Martial], S.76)

Wie uns der Vergleich dieser beiden Beispiele zeigt, werden die Begriffe Regler, Stellglied usw., in der Kybernetik in einem abstrakteren Sinne benutzt als in anderen Kontexten. Sie bezeichnen lediglich die Rolle verschiedener Objekte in einem Prozeß. *“Der Begriff der Information ist im Rahmen der Kybernetik zu einem reinen Strukturbegriff geworden, ein Sachverhalt, der für alle kybernetischen Begriffe gilt und [...] ein wesentliches Definitionsmerkmal der Kybernetik überhaupt darstellt.”* ([Cube67], S.28)

Besonders im Hinblick auf die spätere Beschreibung der Erziehung als Regelungsprozeß sollte man sich dessen bewußt sein. Die Bezeichnung des Erziehers als Regler ist keinesfalls eine Bewertung oder Anforderung, sie kennzeichnet lediglich seine Rolle im Regelkreis.

Als letzte Eigenschaft möchte ich die Rolle der Mathematik in kybernetischen Systemen erwähnen. Bereits die Modellierung eines Prozesses in einem kybernetischen Regelkreis ist ein mathematischer Vorgang, in dem ein konkre-

ter Vorgang auf ein abstraktes Modell abgebildet wird. *“unter Kybernetik im weiteren Sinne versteht man die mathematische und konstruktive Behandlung allgemeiner struktureller Beziehungen, Funktionen und Systeme, die verschiedenen Wirklichkeitsbereichen gemeinsam sind.”* ([Cube67], S.41)

Zwischen den einzelnen Komponenten des Regelkreises findet eine Informationsübertragung statt. Mit Hilfe des im nächsten Abschnitt beschriebenen Informationsbegriff kann der Regelkreis zumindest prinzipiell genauer analysiert werden und unter Verwendung mathematischer Theorien optimiert werden. *“Von der Methode her gesehen, kann man die Kybernetik kennzeichnen als das Eindringen mathematischer Werkzeuge in Wissenschaftsgebiete, in denen sie bisher als nicht praktikabel erschienen, z.B. in Physiologie, Psychologie und Soziologie ...”* ([Cube67], S.36-37)

2.2 Informationstheorie

Der Begriff der Information spielt in allen Kommunikationsprozessen, sei es zwischen Menschen, zwischen anderen Organismen oder zwischen Maschinen, eine zentrale Rolle: *“**Information**, die formulierte Unterrichtung nicht nur von Menschen, sondern auch von anderen Organismen oder technischen Einrichtungen über Sachverhalte.”*[Brockhaus]

Die Information wird *“heute [...] neben der Materie und der Energie vielfach als eine dritte Grundgröße angesehen ...”* ([Brockhaus], S. 657). Damit kann der Begriff der Information nicht auf andere Größen zurückgeführt werden, er ist ein fundamentaler Baustein jedes Kommunikationsprozesses. Eine strenge, quantitative Untersuchung der Informationsübertragung ist im Rahmen der Informationstheorie möglich:

*“**Informationstheorie**, von C. Shannon 1948 begründete mathematische Theorie, die sich mit der strukturellen und quantitativen Erfassung und mit den (statistischen) Gesetzmäßigkeiten der Übermittlung und Verarbeitung von Nachrichten und den in ihnen enthaltenen Informationen befaßt.”*[Brockhaus]

Die Informationstheorie war die erste Theorie, die es erlaubte, den Begriff mathematisch zu fassen und so eine quantitative Untersuchung von Informationsübertragung und Informationsverarbeitung zu ermöglichen.

Der von Shannon eingeführte Informationsbegriff ist ein Maß für die syntaktische Information eines Signals, der semantische Aspekt wird ausdrücklich nicht berücksichtigt. Der Informationsgehalt eines Signals resultiert allein dar-

aus, daß ein Signal aus der Menge aller möglichen Signale realisiert worden ist: *“Frequently the messages have meaning; that is they refer to or are entities. These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem. The significant aspects is that the actual message is one selected from a set of possible messages.”* ([Shannon], S. 3)

Um Shannons Informationsbegriff ein wenig zu verdeutlichen, möchte ich an einem einfachen Beispiel beschreiben, in welchem Sinne er ihn benutzt. Betrachten wir die samstägliche Ziehung der Lottozahlen. Hierbei wird zweifellos Information übertragen. Wenn ich das Ergebnis der zwölften Ziehung im deutschen Lottoblock erfahre, weiß ich, welche der möglichen Zahlenfolgen in dieser Ziehung realisiert wurde, welche sechs der neunundvierzig möglichen Zahlen gezogen wurde. Dies ist unzweifelhaft eine Übertragung von Information.

Stellen wir uns nun einmal kurz vor, daß bei der Lottoziehung nicht neunundvierzig Kugeln in der Trommel wären, sondern lediglich sechs Kugeln, die mit den Zahlen von 1 bis 6 beschriftet sind. Wenn aus diesen sechs Kugeln nun wieder sechs “Richtige” gezogen werden, dann ist völlig klar, welche Zahlen es sind, es sind die Zahlen 1,2,3,4,5,6. Durch diese Ziehung wird keinerlei Information übertragen, denn ich weiß schon vorher, welches Ergebnis vorliegen wird. Die Realisierung der Zahlen von 1 bis 6 steht mit einer hundertprozentigen Sicherheit (besser: Wahrscheinlichkeit) fest. In diesem Sinne ist die übertragene Information ein Maß für die Unsicherheit bei einem solchen Experiment.¹

Eine andere Möglichkeit, auf den gleichen Informationsbegriff zu kommen, besteht darin zu betrachten, wieviel Freiheit man bei der Wahl eines zu übertragenden Signals hat. Habe ich beispielsweise die Möglichkeit, aus einem von fünfundzwanzig verschiedenen Kuchen ein Stück zu wählen, so wird durch meine Wahl mehr Information offenbart, als wenn ich nur einen Kuchen zur Wahl habe. Information kann also auch als ein Maß für die Wahlfreiheit verstanden werden. *“..., information is a measure of one’s freedom of choice when one selects a message.”* ([Shannon], S. 100)

Shannon formuliert einige Mindestforderungen an einen Ausdruck, der die syntaktische Information eines Signals messen soll, und zeigt dann, daß es genau eine mathematische Größe gibt, die dies erfüllt. Auch, wenn über die möglichen Signale keine genauen Kenntnisse vorliegen, gelingt es der Informationstheorie, allgemeingültige Aussage über Informationsverluste bei Übertragungen oder

¹Die Information, die bei einer üblichen Lottoziehung übertragen wird, beträgt ungefähr 23.7 bit, während die beschriebene Variante natürlich 0 bit Information überträgt

Zusammenhänge zwischen Informationsfluß und der Kapazität eines Übertragungskanals herzustellen.

Ich möchte noch einmal darauf hinweisen, daß die Informationstheorie nur den syntaktischen Informationsgehalt eines Signals betrachtet: *“In fact, two messages, one of which is heavily loaded with meaning and the other of which is pure nonsense, can be exactly equivalent, from the present viewpoint, as regards information.”*, ([Shannon], S. 99). Dies scheint mir besonders im Hinblick auf die Anwendung im Rahmen eines didaktischen Modells als ganz wesentlich.

3 Die Kerntheorien der kybernetisch-informations-theoretischen Didaktik

Ich werde vor allem auf die Rolle der Lehrstrategie im Licht der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik eingehen. Von Cube versteht darunter die *“geplante Lernsteuerung zum Zwecke der Erreichung eines Lernziels”* ([Martial], S. 75). Die Grundlagen, die von Cube zur Beschreibung verschiedener Lehrstrategien benutzt, sind dabei die Theorie der Erziehung als Regelungsprozeß, also ein kybernetisches Modell, und die Redundanztheorie des Lernens, die Überlegungen aus der Informationstheorie umsetzt.

Ich stelle nun zunächst die beiden Kerntheorien der kybernetisch-informations-theoretischen Didaktik vor.

3.1 Erziehung als Regelungsprozeß

Von Cube benutzt die Kybernetik, um eine allgemeingültige Struktur für alle Lehr- und Lernvorgänge zu entwickeln. Er modelliert den Erziehungsprozeß als einen kybernetischen Regelungsprozeß, wie er in Abbildung 3 dargestellt ist, und definiert so *“Erziehung [...] als Steuerung von Lernenden auf ein im Ziel vorweggenommenes Verhalten ...”*. ([Martial], S. 76)

Betrachten wir die einzelnen Komponenten des Regelkreises etwas genauer:

Der **Soll-Wert** ist das Lernziel, das durch Maßnahmen des Erziehers in der Interaktion mit dem Lernenden erreicht werden soll. Das Lernziel ist dem Erzieher bekannt und eine Grundlage für sein Agieren innerhalb des Regelungsprozesses. Es steht jedoch außerhalb des eigentlichen Regelkreises.

Als **Regler** wirkt der Erzieher, der die Lehr- bzw. Erziehungsstrategie ent-

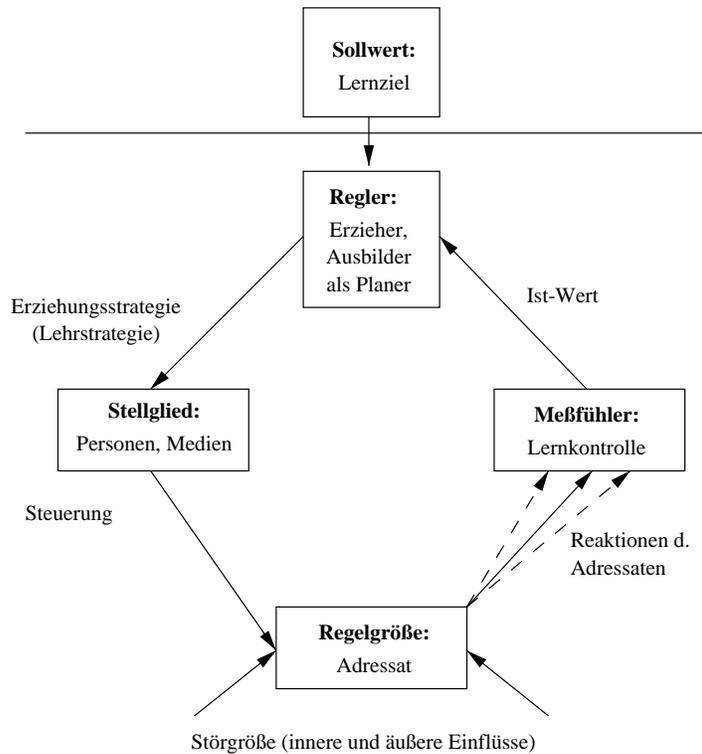


Abbildung 3: Der Erziehungsprozeß als Regelkreis ([Martial], S.76)

wirft, umsetzt und eventuell ändert, um das Lernziel zu erreichen. Er wählt dabei aus Medien und Methoden, im Hinblick auf den Sollwert - das Lernziel - und des Lernenden, aus.

Als **Stellglied** wirken Medien (Filme, Experimente, Texte, usw.) oder Personen (z.B. Lehrer oder Mitschüler, die agieren oder berichten). Die Stellglieder werden im Rahmen der Lehrstrategie benutzt, um gewisse Effekte bei der Regelgröße, dem Lernenden, zu erreichen.

Die **Regelgröße** ist der Adressat der Lehrstrategie, der Lernende. Er wird durch die Stellglieder beeinflusst. Im Hinblick auf ihn wählt der als Regler agierende Erzieher die Lehrstrategie, die zum Lernziel führen soll. Der Adressat unterliegt aber neben der durch die Stellglieder ausgeübten Steuerung noch anderen Einflüssen, den Störgrößen und den Nebenwirkungen.

Als **Störgrößen** sind *“alle vom Erzieher nicht vorhersehbare Einflüsse zu verstehen, denen der Adressat ausgesetzt ist”* ([Martial], S. 84). Dies können ei-

nerseits von außen kommende Einflüsse (Mitschüler, Bücher) oder innere Voraussetzungen (Müdigkeit, Stimmung) sein.

Ein weitere Wirkung auf den Adressaten kann durch **Nebenwirkungen**, die definiert sind als *“von Medien und Steueroperationen ausgehende Wirkung [...], die außer den für die Zielerreichung relevanten Wirkungen auftreten”* ([Martial] S.85), entstehen. Gemeint ist damit beispielsweise der Effekt, daß beim Einsatz von Gruppenunterricht nicht nur die geplante Förderung der Kooperationsfähigkeit erreicht wird, sondern auch bei einzelnen Schülern eine Anpassung an die Gruppe. ([Martial], S. 85)

Ob der Lernende das Lernziel erreicht hat, wird vom **Meßfühler**, der Lernkontrolle, an den Regler gemeldet. Der Meßfühler stellt die Rückkopplung zum Regler her. Die Lernkontrolle kann in vielerlei Form geschehen, und kann den Regler dazu veranlassen, die Lehrstrategie zu ändern. Auch zwischen Meßfühler und Adressat kann eine Rückkopplung stattfinden, durch die der Lernende eine Mitteilung über seinen Lernzustand erhält.

3.1.1 Lernziele

Die Lernziele haben in der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik eine ausgezeichnete Rolle. Sie werden als Sollwert von außen in den Regelkreis eingegeben. Bezieht man die Didaktik auf den Unterricht in der Schule, so bedeutet dies, daß der einzige Zweck des Unterrichts darin liegt, das Lernziel zu erreichen. Das Lernziel ist *“lediglich [...] Bestandteil eines zweckrationalen Begründungszusammenhangs, der besagt: Wenn ein möglicher Benutzer diese oder jene Ziele erreichen möchte, sind diese oder jene Maßnahmen zu ergreifen.”* ([Martial], S.86)

Die Auswahl der Lernziele wird von der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik nicht erfaßt. Die von von Cube untersuchten Aspekte von Lehrstrategien befassen sich nur mit den Möglichkeiten, diese Ziele zu erreichen. Die Zielsetzung findet außerhalb des Bereiches statt, der seiner Didaktik zugänglich ist.

3.2 Lernen als Redundanzzeugung

Von Cube versteht den Prozeß des Lernens als Ursache für eine Verhaltensänderung. Die von ihm benutzte Redundanztheorie des Lernens *“geht von der Annahme aus, daß nur durch die Aufnahme, Speicherung und Verarbeitung von*

Information ein verändertes Verhalten in einer späteren gleichartigen Situation erklärt werden kann.” ([Martial], S.78).

Lernen ist somit direkt mit dem Begriff der Information verbunden. Als Grundprinzip aller Lernakte sieht von Cube den Abbau dargebotener Information: *“Betrachtet man die angeführten Lernakte [...], so entdeckt man bei aller Vielfalt der Erscheinungen ein gemeinsames Prinzip: das Prinzip zunehmender Sicherheit und Ordnung. Je mehr Informationen wir von der Außenwelt aufnehmen, und je mehr wir diese Information gemäß den wirklichen Sachverhalten ordnen, um so weniger Information bleibt übrig, d.h., um so leichter ist es, sich in der Außenwelt zu orientieren und angemessen zu verhalten.”* ([Cube67], S.53)

Lernen ist eine Auseinandersetzung mit Neuem. Das zu Lernende hat einen Informationsgehalt, sonst wäre es schon bekannt. Lernen besteht nun daraus, aus dem Neuen etwas Bekanntes zu machen. Der Informationsgehalt wird durch das Lernen solange verringert, bis aus Neuem Bekanntes geworden ist. Dies bezeichnet von Cube als “Abbau von Information”. Er erläutert dies beispielhaft an zwei Lernakten.

Er beschreibt den Lernakt der Einsicht wie folgt: *“Wird man einem Problem gegenübergestellt, so steht man - wie ein sehr treffender Vergleich lautet - erst einmal vor einem Berg. Man weiß nicht, wo man anfangen soll, welche Möglichkeiten zum Ziel führen und wie die einzelnen Teile des Problems zusammenhängen. Aber nach und nach wird dieser Berg abgebaut, es werden Zusammenhänge aufgedeckt, Überblicke gewonnen, Ordnungsgewinne erzielt. Damit wird aber die Information, die das Problem für uns enthält, immer kleiner.”* ([Cube67], S. 53f)

Bei der Analyse des Auswendiglernens eines Textes wird der Abbau von Information, und dies ist nichts anderes als die Erzeugung von Redundanz, noch deutlicher.

Liest man den neuen Text zum ersten Mal, so ist sein Informationsgehalt maximal.² Nach und nach nehmen wir Teile des Textes in unser Gedächtnis auf und verringern dadurch den Informationsgehalt des Textes, denn nur noch die Teile, die uns noch nicht geläufig sind, tragen Information in sich. Ein auswendig gelernter Text hat die Information Null, seine Redundanz ist

²Der Informationsgehalt kann, abhängig von seinem Wissensstand, natürlich für jeden Leser unterschiedlich sein. Von Cube geht auf diesen Aspekt im Zusammenhang mit subjektiver Information ein. ([Cube68], S. 94ff)

maximal.([Cube67], S.54)

3.2.1 Drei Typen von Lernprozessen

Beim menschlichen Lernen unterscheidet von Cube drei unterschiedliche Formen. Aus diesen Unterschieden und den Aussagen der Informationstheorie entwickelt er Analyse- und Optimierungsverfahren für Lehrstrategien, wie ich sie im nächsten Abschnitt skizzieren werde.

Der Begriff des Zeichens, der im folgenden auftaucht, ist sehr allgemein als “*Träger von Bedeutung*” zu verstehen ([Cube68], S. 37ff). Als Text ist dementsprechend nicht nur ein schriftlicher Text zu verstehen, sondern jede Folge von Zeichen.

Ausgehend von einigen Annahmen über die Fähigkeiten eines Lernenden (Kapazität des Kurzspeichers, Fähigkeit zur Superzeichenbildung, usw.) (siehe dazu [Cube68], S. 123), beschreibt von Cube folgende drei kybernetischen Lernprinzipien ([Martial], S.79ff):

1. Das Wahrscheinlichkeitslernen

Dies beschreibt einen Prozeß beim Erwerb des Zeichenvorrates, bei dem der Adressat lernt, wie häufig Zeichen oder Zeichenkombinationen auftreten. Dabei werden die subjektiven Erwartungen an die objektiven Wahrscheinlichkeiten angepaßt.³ Wir nutzen die Ergebnisse des Wahrscheinlichkeitslernens immer dann, wenn wir “aus dem Kontext schließen”.⁴

Die Grundvoraussetzung für das Wahrscheinlichkeitslernen ist die Fähigkeit des Lernenden, die relativen Häufigkeiten, mit denen bestimmte Zeichen und Zeichenfolgen auftauchen, schätzen zu können.

2. Speicherung

Damit ist die Aufnahme von Information ins Gedächtnis gemeint. Wie

³Wir wissen zum Beispiel, daß in einem deutschen Text der Buchstabe ‘Q’ stets vom Buchstaben ‘U’ gefolgt wird.

⁴In diesem Zusammenhang ist die Betrachtung der Entropie der englischen Sprache, wie sie in [Cover], S. 133ff gemacht wird, interessant. Wir nutzen unser Wissen aus dem Wahrscheinlichkeitslernen - die Kenntnis von bedingten Wahrscheinlichkeiten - aus, um Lücken in Texten *aus ihrem Kontext* schließen zu können.

oben beschrieben, wird dies als Abbau von Information oder Erzeugung von Redundanz interpretiert.

3. Superzeichenbildung

Superzeichenbildung ist die Bildung größerer Informationseinheiten aus einzelnen Zeichen. Ein Beispiel hierfür ist das Erkennen eines Wortes als Ganzes und nicht als Folge von einzelnen Buchstaben oder ordnungstiftende Einteilung in der Biologie (Esel, Huftiere, Säugetiere).

Superzeichen können durch verschiedene gedankliche Operationen gebildet werden. Klassenbegriffe, Gesetze, Strukturen sind Superzeichen, die durch Stiftung von Ordnung und Sinnerfassung gebildet werden.

Durch die Bildung von Superzeichen wird die Information, die aufgenommen werden muß, verringert. Die Information eines Superzeichens ist geringer als Summe der Information aller seiner Komponenten und kann somit schneller gelernt werden.⁵

Die hier beschriebene Redundanztheorie beschreibt einerseits Eigenschaften des Lernenden, wie die Fähigkeit Superzeichen zu bilden oder die Wahrscheinlichkeiten einzelner Zeichen zu schätzen, und stellt andererseits grundlegende Lernvorgänge aus Sicht der Redundanzproduktion dar.

4 Analyse und Optimierung von Lehrstrategien

Die kybernetisch-informationstheoretische Didaktik untersucht nur einen - wenn auch wesentlichen - Aspekt des Lernens, die Aufnahme und Verarbeitung von Information. Sie offenbart dabei keine vollständig neuen Gesichtspunkte. Sie hat aber den Anspruch, unter Verwendung strenger mathematischer Theorien, die Vorgänge präziser zu beschreiben. Insbesondere wird der Begriff der Information durch die Verwendung der Shannonschen Definition meßbar.

⁵Von Cube berechnet zum Beispiel, daß der durchschnittliche Informationsgehalt eines Wortes der deutschen Sprache 2,11 bit beträgt, während die Information aller seiner Buchstaben 4,11 bit beträgt. Dadurch, daß wir die Buchstabenkombinationen als Wort aufnehmen können wir den aufzunehmenden Informationsgehalt um 49% verringern. Dies erklärt, warum es überhaupt sinnvoll ist Worte als Ganzes zu lesen. ([Cube68], S. 138f)

4.1 Lehrstrategien als Anwendungen der Kerntheorien

Felix von Cube analysiert bekannte Lehrstrategien unter Verwendung der Konzepte aus den Kerntheorien seiner Didaktik. Die untersuchten Strategien werden dabei allerdings auf die für die Kybernetik und Informationstheorie relevanten Aspekte beschränkt. ([Martial], S. 81). Als Beispiel möchte ich die Untersuchung des exemplarischen Lernens darstellen, wie von Cube sie in [Cube68], S. 210ff vornimmt.

4.1.1 Analyse des “exemplarischen Lernens”

Die Lehrstrategie des exemplarischen Lernens verfolgt das Ziel, daß der Lernende, ausgehend von für einen Sachverhalt typischen Beispiele die gemeinsamen Merkmale selbst erkennen und auf andere Beispiele anwenden soll.

Um die exemplarische Methode zu analysieren, muß man bedenken, daß ein einzelnes Beispiel für den Lernenden noch keinen exemplarischen Charakter haben kann. Etwas Gemeinsames kann erst durch den Vergleich von mindestens zwei Sachverhalten als Gemeinsames erkannt werden.

Aus dieser Bedingung folgt die Notwendigkeit, zwei Formen des exemplarischen Lernens zu unterscheiden. Bei der Form, die ich hier nicht näher betrachten will, wählt der Lehrer in Kenntnis des gesamten Sachverhaltes, ein Beispiel aus, das er den Schülern gegenüber als repräsentativ darstellt. Die Schüler erkennen den typischen Charakter in diesem Beispiel nicht selbst.

Die zweite Form des exemplarischen Lernens hat das Ziel, daß die Schüler selbst die repräsentativen Eigenschaften aus Beispielen ableiten können. Dieses Verfahren gliedert von Cube in drei Schritte, die auch in Abbildung 4 schematisch dargestellt sind:

1. Der Lehrer wählt mindestens zwei Beispiele aus, die er den Schülern darstellt. Hier fließt die Wertung des Lehrers durch die Auswahl der Beispiele ein.
2. Der Lernende arbeitet aus den Beispielen den gemeinsamen Oberbegriff heraus. Im Kontext des Lernens als Redundanzzerzeugung ist dieser Oberbegriff ein Superzeichen.
3. Das bekannte Superzeichen wird auf andere Beispiele angewendet.

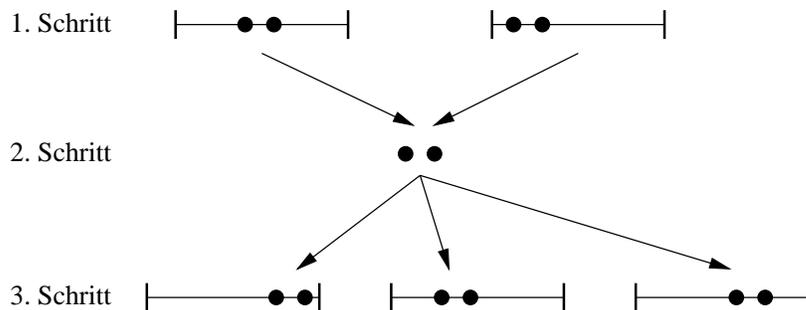


Abbildung 4: Drei Stufen im exemplarischen Lernen ([Cube68], S.212)

Vom Standpunkt der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik stellt sich nun die Frage, ob sich die Wirksamkeit der Methode durch eine wirksame Codierung der Information erklären läßt.

In Abbildung 4 läßt sich erkennen, daß dies tatsächlich so ist. Im ersten Schritt des Lernprozesses erkennt der Lernende ein typisches Muster in einer Folge von Zeichen. Durch diese Mustererkennung bildet er im zweiten Schritt ein Superzeichen, das in späteren Texten wiedererkannt werden kann. Da in den später betrachteten Texten nicht mehr jede einzelne Komponente des Superzeichens Information trägt, sondern lediglich das Superzeichen als Ganzes, sinkt die aufzunehmende Information.⁶

Von Cube belegt dies quantitativ an einem Beispiel, auf das ich hier allerdings nicht eingehen möchte, da sich die quantitativen Resultate aus der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik oft nur schwer fassen lassen (siehe dazu auch den letzten Abschnitt). Von Cube charakterisiert die exemplarische Methode als Verfahren, bei dem durch die Bildung und Anwendung von Superzeichen die Information von Zusammenhängen subjektiv herabgesetzt wird.

Er schließt mit zwei Regeln für die optimale Anwendung des Verfahrens, die er jedoch nicht quantitativ begründet:

“1. Es dürfen nur soviel verschiedene Beispieltex-te dargeboten werden, wie für das Erlernen der gemeinsamen Untertexte als Superzeichen notwen-

⁶Ein ähnlicher Mechanismus, wenngleich auch nicht im Rahmen des exemplarischen Lernens, scheint mir vorzuliegen, wenn wir, nach einiger Übung, beim Lesen Wörter als ganzes wiedererkennen, ohne sie buchstabenweise zusammenfügen zu müssen.

dig sind (je mehr Gemeinsamkeiten dabei vorhanden sind, um so stärker wirkt sich dies auf die Herabsetzung der Information aus).

- 2. Im Anschluß an die nunmehr bekannten Superzeichen sollten möglichst viele weitere Beispiele des betreffenden Sachgebietes gelernt werden, denn gerade in diesem Schritt (der Herabsetzung der Information unbekannter Texte durch eine bekannte Teilinformation) besteht das ökonomische Prinzip der exemplarischen Information” ([Cube68], S.214)*

Neben dieser Betrachtung des exemplarischen Lernens untersucht von Cube auch andere Lehrstrategien, wie zum Beispiel Lernhilfen zum Auswendiglernen eines Textes ([Cube68], S.154ff), und benutzt hier informationstheoretische Erkenntnisse zu ihrer Bewertung.

4.2 Die Optimierung von Lehrstrategien als Entscheidungsproblem

Auf Basis der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik macht von Cube Aussagen, wie Lehrstrategien optimiert werden können, beziehungsweise wie unter einer Vielzahl von erfolgversprechenden Strategien diejenige mit optimaler Wirkung zu finden sei.⁷ Dazu betrachtet er folgende Kriterien:

1. Aufwand für die Realisierung einer Strategie (Medien, Ausbilder, Geld)
2. Zeit, die für die Durchführung einer Strategie benötigt wird
3. Sicherheit, mit der eine Strategie bei möglichst vielen Adressaten zum Ziel führt

Unter allen Strategien hat diejenige den größten Nutzen, die bei einem Minimum an Zeit ein Maximum an Sicherheit bietet. Weiterhin wird gefordert, daß ein Minimum an Aufwand vorliegen soll. Um die Strategie, die diesen Ansprüchen genügt zu finden, werden Methoden der mathematischen Entscheidungstheorie benutzt.

⁷Ich gebe hier die Darstellung aus ([Martial], S. 86ff) wieder, der sich auf die vierte Auflage von “Kybernetische Grundlagen des Lehrens und Lernens” bezieht. Mir war nur die zweite Auflage des Buches zugänglich, in der von Cube keine Aussagen zur Optimierung von Lehrstrategien als Entscheidungsproblem macht.

Um die Zeit für die Durchführung einer Strategie zu ermitteln, gibt von Cube für spezielle Verfahren Rechenmethoden an.

Die Sicherheit bei der Durchführung einer Strategie wird anhand der Zahl der Rückkopplungen im kybernetischen Regelkreis gemessen.

5 Kritische Bewertung des Modells

Wer mathematischen Theorien grundsätzlich mit Skepsis begegnet, den mögen die Aussagen der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik an folgende Geschichte erinnern:

Zwei Pädagogen unternehmen eine Ballonfahrt. Plötzlich kommt dichter Nebel auf und sie verlieren die Orientierung. Nach zwei Stunden lichtet sich der Nebel ein wenig und sie sehen einen Menschen, der unterhalb des Ballons auf der Wiese steht. Sie rufen ihn an, in der Hoffnung zu erfahren, wohin der Ballon sie getragen hat: "Hallo, Sie da unten! Wo sind wir?" Der Mensch am Boden denkt kurz nach und antwortet ihnen: "In einem Ballon!". Daraufhin stöhnt einer der Pädagogen frustriert: "Ein Mathematiker!". "Woher weißt Du das?" fragt sein Kollege. "Seine Antwort war exakt, aber absolut belanglos!"

Ich denke allerdings, daß die kybernetisch-informationstheoretische Didaktik durchaus etwas dazu beitragen kann, Orientierung zu finden. Wenn man ihre Modellannahmen berücksichtigt, insbesondere die Tatsache, daß der Informationsbegriff nicht den semantischen Anteil eines Zeichens berücksichtigt, so kann sie wissenschaftliche Argumente für die Funktionsweise von Lehrstrategien liefern. Von Cubes Analyse des exemplarischen Lernens ist ein gutes Beispiel dafür.

Die Beschreibung von Erziehung als Regelkreis ist ein Möglichkeit, den Kommunikationsprozeß zu modellieren. Sie hat den Vorteil, zum einen abstrakt zu sein und somit alle Formen des Schulunterrichts zu umfassen, und zum anderen den Vergleich zu anderen kybernetischen Systemen zu ermöglichen. Die Verwendung der Informationstheorie macht es möglich quantitative Aussagen in didaktischen Zusammenhängen zu machen.

Das Fehlen des semantischen Aspektes ist aber ein wesentliches Problem. So kann ich, selbst wenn ich Rilkes "Panther" auswendig kenne, der Text also für mich den Informationsgehalt 0 hat, beim Lesen des Textes in einem Zoo durchaus noch Information erhalten. Objektiv meßbar ist diese Information

allerdings nicht.

Ein wesentliches Problem scheint mir auch in der Anwendbarkeit der Analysemethoden zu liegen. Von Cube betrachtet unter quantitativen Aspekten nur Zusammenhänge, in denen die Zeichen einer Botschaft aus einem sehr scharf begrenzten Zeichenvorrat kommen. Es sind fast ausschließlich Buchstaben in Texten. Die genaue Kenntnis des Zeichenvorrates ist eine Notwendigkeit, um Rechnungen durchführen zu können, aber im Zusammenhang mit Unterricht wohl doch eher ein Ausnahmefall.

Die qualitativen Aussagen der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik scheinen mir jedoch für alle Lernprozesse wichtig zu sein. Das Bilden und Anwenden von Superzeichen ist ein wesentlicher Aspekt menschlichen Lernens. Dies zeigt auch gerade ein Vergleich des menschlichen Lernverhaltens gegenüber dem von Maschinen. Ein wichtiger Forschungsschwerpunkt im Rahmen der Mustererkennung besteht darin, die menschliche Fähigkeit, schnell Superzeichen bilden zu können, für Maschinen nachzubilden.

Die stärkste Anwendung der Erkenntnisse kann sicher in Unterrichtsformen wie dem programmierten Unterricht stattfinden, auf die von Cube auch ausführlich eingeht. ([Cube68], S.). Hier ist die genaue Kenntnis des Zeichenvorrates am ehesten gegeben, der Unterricht läßt also auch quantitative Aussagen zu. Die Funktionsweise der menschlichen Informationsaufnahme und ihrer Verarbeitung wie sie in der kybernetisch-informationstheoretischen Didaktik modelliert wird, scheinen mir allerdings in der Betrachtung aller Lernprozesse und Lehrstrategien gewinnbringend.

Literatur

- [Britannica] Internet-Ausgabe der Encyclopaedia Britannica,
<http://www.britannica.com>
- [Brockhaus] Brockhaus-Enzyklopädie in 24 Bänden, 19. Auflage, Mannheim:
Brockhaus, 1989
- [Cover] Cover, Thomas M.; Thomas, Joy A.: *Elements in Information Theory*,
New York: Wiley Series in Telecommunications, 1991
- [Cube67] Cube, Felix von: *Was ist Kybernetik?*, Bremen: Carl-Schünemann-
Verlag, 1967
- [Cube68] Cube, Felix von: *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Leh-*
rens, 2. Auflage, Stuttgart: Ernst Klett Verlag, 1968
- [Martial] Knecht-von-Martial, Ingbert: *Theorie allgemeindidaktischer Model-*
le, Köln; Wien: Böhlau-Verlag, 1986
- [Shannon] Shannon, Claude E.; Weaver, W.: *The Mathematical Theory of*
Communication, Urbana: University of Illinois Press, 1949

Dieses Dokument ist unter der Adresse

<http://www.angelfire.com/de/waldmensch/KyberDidaktik.html>

frei zugänglich.

Axel Müller
Praunheimer Landstraße 154
60488 Frankfurt am Main
mightymueller@yahoo.de