

---

# Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik

Univ.-Prof. Dr. Klaus Beck · Univ.-Prof. Dr. Klaus Breuer  
Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften

○ Reihe: Arbeitspapiere WP ○

---

22

Gerhard Minnameier

**Wie man lernt, komplex zu denken, oder:  
Was substantielle Lernfortschritte sind  
und wie man sie erzielt**

## **Herausgeber:**

Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik  
Univ.-Prof. Dr. Klaus Beck  
Univ.-Prof. Dr. Klaus Breuer  
Fachbereich 03: Rechts- und Wirtschaftswissenschaften  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
Welderweg 9  
D-55099 Mainz  
Telefon: +49 6131 392-2009; Telefax: +49 6131 392-2095  
email: beck@mail.uni-mainz.de

*Minnameier, G. (1999): Wie man lernt, komplex zu denken, oder: Was substantielle Lernfortschritte sind und wie man sie erzielt.*

## **© Copyright**

Alle Arbeitspapiere der Reihe „Arbeitspapiere WP“ sind einschließlich Graphiken und Tabellen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Microverfilmungen und Einspeicherung auf elektronische Datenträger.

**GERHARD MINNAMEIER**

**Wie man lernt, komplex zu denken, oder:  
Was substantielle Lernfortschritte sind und  
wie man sie erzielt**

# Wie man lernt, komplex zu denken, oder: Was substantielle Lernfortschritte sind und wie man sie erzielt<sup>1</sup>

## 1. *Problemstellung*

Obwohl dem Thema „Komplexität“ in der gegenwärtigen didaktischen Diskussion schon für sich genommen große Bedeutung zukommt und breite Aufmerksamkeit zuteil wird, möchte ich es zunächst gerne in einen umfassenderen Kontext einbetten, um zum einen grundlegende didaktischen Bezüge herzustellen und um zum anderen auf eine beinahe ubiquitäre Problemlage hinzuweisen. Und zwar können Sie, was den Kontext betrifft, bei den im Thema genannten Begriffen „Komplexität“ und „substantielle Lernfortschritte“ fürs erste ruhig einmal an die Diskussion um „Schlüsselqualifikationen“ denken, denn komplexes Denken darf wohl mit Recht als eine Schlüsselqualifikation angesehen werden, und umgekehrt wäre der Erwerb einer Schlüsselqualifikation sicherlich als ein substantieller Lernfortschritt zu bezeichnen.

Mit der Definition von Schlüsselqualifikationen haben wir jedoch ganz generell ein großes Problem, und das haben wir auch, wenn es um komplexes Denken bzw. eine komplexe Problemlösekompetenz geht. Schlüsselqualifikationen lassen sich nämlich schlecht fassen und immer wenn man versucht, sie in den Griff zu bekommen, so vermehren sie sich besser als einst die Kaninchen in Australien. Versucht man beispielsweise, den Begriff der Sozialkompetenz präzise zu fassen, dann gelangt man – nach einer hier beispielhaft angeführten Darstellung des Bundesinstituts für Berufsbildung – zu einer ganzen Reihe relevanter Unterkompetenzen – namentlich „Kontaktfähigkeit“, „Kommunikationsfähigkeit“, „Teamfähigkeit“, „Kritikfähigkeit“, „Konfliktfähigkeit“, „Kompromißfähigkeit“, „Durchsetzungsfähigkeit“, „Einfühlungsvermögen“ sowie die „Fähigkeit zur Selbstreflexion“.<sup>2</sup> Das sind neun an der Zahl; und wenn man jetzt fragt, was genau

---

<sup>1</sup> Leicht überarbeiteter Vortragstext (Referat gehalten am 15. Juni 1999 in Trier, anlässlich des vom Pädagogischen Zentrum, Bad Kreuznach, veranstalteten Treffens der Landesinstitute – Abteilung Berufsbildende Schule – vom 14. – 16. Juni 1999).

<sup>2</sup> Bundesinstitut für Berufsbildung: Pressemitteilung Nr. 23/1995, Berlin/Bonn: 20.07.1995.

Konfliktfähigkeit ausmacht oder z.B. Einfühlungsvermögen, dann wird sich diese Zahl wahrscheinlich schnell weiter erhöhen. Nun, wo liegt das Problem?

Das Problem, meine Damen und Herren, rührt m.E. daher, daß wir bei der Bestimmung von Schlüsselqualifikationen stets von relevanten erwünschten Verhaltensweisen ausgehen und dann nach einer Kompetenz fragen, also nach einer psychischen Disposition, die es dem Menschen erlaubt, das gewünschte Verhalten zu zeigen. Das ist bis hier hin – systematisch gesehen – noch alles vollkommen korrekt. Der kritische Punkt dabei ist aber, daß man ja noch gar nicht weiß, wie diese psychischen Strukturen beschaffen sind, die es einem letztlich erlauben, in dieser oder jener Weise kompetent zu sein. Mit dem Begriff einer „Problemlösekompetenz“ etwa wissen wir bestenfalls, wonach wir fragen, die Antwort aber kennen wir noch lange nicht. Wir können nämlich noch überhaupt nicht sagen, was jemand – salopp gesprochen – genau im Kopf haben muß, damit er kompetent ist, komplexe Probleme zu lösen. Würde man einfach antworten, man müsse über eine komplexe Problemlösekompetenz verfügen, dann machte man es sich zu einfach, denn das ist tautologisch. Worin sie besteht und worin auch andere Schlüsselqualifikationen bestehen, bleibt bei einer solchen Bestimmung stets gänzlich unerkannt.

Betrachten wir nun das Problem des komplexen Denkens bzw. komplexen Problemlösens etwas näher: Wir reden viel über komplexe Problemsituationen, komplexe Umwelten oder Lernumwelten, mit denen die Adressaten beruflicher Bildung zurechtkommen sollen – was als solches ja auch gut ist. Über das, was sie dazu „im Kopf“ haben müssen, reden wir (bislang) so gut wie nicht und in jedem Fall *viel zu wenig*. Als Pädagogen sind wir nämlich primär und – systematisch gesehen – letztlich immer an der Bildung bzw. Veränderung solcher *psychischen Dispositionen* interessiert, und soweit wir diese Dispositionen selbst außer Acht lassen, reden wir an unserer pädagogischen Hauptsache vorbei.

Demgegenüber will ich nun im folgenden aus einer eher kognitivistischen Perspektive heraus die Frage aufwerfen und zu beantworten versuchen, was jemand jeweils denken können muß, um bestimmte Klassen von Problemen lösen zu können – oder mit anderen Worten: was mehr oder weniger komplexe kognitive Strukturen sind. Eine zweite, weitergehende Frage ist dann, wie ein Individuum zu einem solchen Denken kommt bzw. wie solche substantiellen Lernfortschritte pädagogisch induziert werden können.

Diese beiden Fragen will ich im folgenden thematisieren, muß aber gleich vorausschicken, daß ich mich dabei auf prinzipielle Überlegungen beschränken muß und nur ein paar Andeutungen zur inhaltlichen Bestimmung von Komplexitätsstufen machen kann – zum einen, weil die Zeit dafür vermutlich nicht mehr reichen wird, zum anderen, weil die Forschung hier noch ganz am Anfang steht und wir bisher nur erst über punktuelle Einsichten verfügen. Soweit noch Zeit ist, kann ich darauf gerne noch eingehen. Auch ohne diese inhaltliche Konkretisierung lassen sich aus meinen Ausführungen insgesamt – soweit man ihnen grundsätzlich zustimmen kann – ein paar nicht ganz unbedeutende pädagogische Konsequenzen ableiten, zu denen ich gerne am Ende noch ein paar Worte verlieren möchte. Nun also zunächst zur ersten Frage:

## **2. Was ist Komplexität bzw. eine komplexe (kognitive) Struktur?**

Dietrich Dörner, beinahe so etwas wie der „Papst“ im Bereich der deutschsprachigen Forschung zum komplexen Problemlösen, erläutert den Komplexitätsbegriff so: „Die Komplexität eines Realitätsausschnittes ist ... um so höher, je mehr Merkmale vorhanden sind und je mehr diese voneinander abhängig sind“<sup>3</sup>. Damit geht er zunächst von Komplexität als einem Merkmal der (objektiven) Umwelt aus, die dem Individuum sozusagen als Informationsinput vorgegeben ist. Dennoch scheint diese Sichtweise den Kern der Sache nicht ganz zu treffen, denn im weiteren führt Dörner aus, daß eben *nicht* die Umwelt als solche komplex sei, sondern vielmehr deren Wahrnehmung durch eine erkennendes Subjekt: „Komplexität ist keine objektive Größe, sondern eine subjektive. Man denke beispielsweise an die alltägliche Handlungssituation des Autofahrens. Für den Anfänger ist sie sehr komplex; eine Vielzahl von Merkmalen will zugleich beachtet werden und macht das Fahren in einer belebten Großstadt zu einem schweißtreibenden Geschäft. Den erfahrenen Autofahrer hingegen läßt die gleiche Situation völlig kalt“<sup>4</sup>. Ein und derselbe Gegenstand kann also für den einen simpel, für einen anderen dagegen hochkomplex sein.

Aber – so kann man nun fragen – ist es denn sinnvoll zu behaupten, die Verkehrssituation in modernen Großstädten oder – um ein anderes Beispiel zu wählen – die Zusammenhänge im modernen Wirtschaftsleben seien *mehr* oder *weniger* komplex, je nachdem, wer sie betrachtet? Diese Deutung wird der Sache sicherlich nicht voll gerecht. Andererseits muß

<sup>3</sup> Dörner, Dietrich: Die Logik des Mißlingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen. 17. - 19. Tsd., Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1991, S. 60.

<sup>4</sup> Ebd., S. 61-62.

man natürlich auch sehen, daß selbst die scheinbar einfachsten Dinge des täglichen Lebens in den Augen etwa eines Physikers eine schier unerschöpfliche Komplexität aufweisen. Schon das Verhalten eines einzelnen Elektrons kann einen Quantenphysiker an den Rand des Wahnsinns treiben.

Nun, wenn ich es gut genug dargestellt habe, dann fragen Sie sich jetzt vielleicht, wie man aus dieser Problematik, in die ich Sie mit Dörner geführt habe, wieder herauskommt. Meine Antwort: Gar nicht so leicht! Es scheint mir hier nämlich durchaus eine Begriffsverwirrung von nicht unerheblicher Tragweite vorzuliegen, die es aufzulösen gilt. Und um dies zu tun, muß man schon ein wenig ausholen. Ich möchte allerdings gleich vorausschicken, daß ich mit Piaget der Auffassung bin, daß der Komplexitätsbegriff auf die kognitiven Strukturen bezogen werden muß und nicht auf das, was mit diesen wahrgenommen wird. Also, was ist dann Komplexität? Um diese zentrale Frage zu klären, möchte ich Sie gerne noch für einen Augenblick von den großen pädagogischen Fragen ablenken und zu einem kleinen Exkurs einladen zu der momentan viel diskutierten allgemeinen (interdisziplinären) Komplexitätstheorie, die sich mit sogenannten Selbstorganisationsprozessen fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht befaßt – und zwar in der unbelebten wie in der belebten Natur und mittlerweile eben auch mit Erfolg im Bereich der Kognitionswissenschaft. Piaget selbst hat seit Mitte der 70er Jahre immer wieder betont, er halte diese Form der Strukturbildung, wie sie vor allem von den Physikern Hermann Haken und Ilya Prigogine erforscht wurden, für das Grundprinzip, dem auch die kognitive Entwicklung folgt. Und ich möchte hier darauf eingehen, weil man daraus m.E. ein paar wesentliche Einsichten für das Verständnis unseres Denkens gewinnen kann. (Übrigens, ein wesentlicher Vorreiter für diese Komplexitätstheorie war der berühmte Wirtschafts- und Rechtswissenschaftler sowie auch passionierte Psychologe Friedrich August von Hayek.)

Was verstehen also nun zunächst Naturwissenschaftler unter einer komplexen Struktur? Sehen Sie dazu z.B. mal aus dem Fenster und betrachten Sie die Wolken am Himmel. Wir haben es hier mit ziemlich einfachen Systemen zu tun, und zwar deshalb, weil da, grob gesprochen, nicht viel Ordnung drin ist. Innerhalb der Wolken verläuft die Bewegung der einzelnen Wassermoleküle weitgehend ungeordnet, d.h. chaotisch, nicht nachvollziehbar, nicht vorherzusehen und auch so nicht replizierbar. Nun haben Sie aber bestimmt schon mal Wolken gesehen, die in einer ganz charakteristischen Streifenform angeordnet waren. Wie entsteht so etwas? Ganz einfach. Eine solche Formation entsteht dann, wenn ein vergleichsweise starkes Temperaturgefälle zwischen den Luftmassen unterhalb der

Wolkenschicht und denen oberhalb der Wolkenschicht besteht, so daß Wärme von unten durch die Wolken nach oben fließen muß. Die Streifen verdanken sich dabei einer rollenden Bewegung im Bereich der Wolken, die man im Querschnitt zu den Streifen erkennen kann (vgl. Abb. 1). Durch diese geordnete Rollenbewegung kann die warme Luft unterhalb der Wolken viel schneller nach oben und die kalte Luft nach unten transportiert werden.

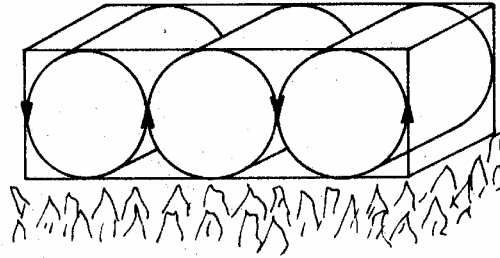


Abb. 1: Schematische Darstellung der rollenförmigen Bewegung in einer Wolkenschicht (die Flammen symbolisieren den Temperaturgradienten)<sup>5</sup>

Nach genau dem gleichen Prinzip entstehen auch die sogenannten Bénard-Zellen (vgl. Abb.2). Hier geht es um eine Flüssigkeit in einer flachen, runden durchsichtigen Dose, die wiederum von unten erhitzt wird und ab einem kritischen Temperaturgradienten plötzlich in eine geordnete makroskopische Bewegung übergeht, die Sie hier abgebildet sehen – und zwar genau dann, wenn die Wärme nicht mehr schnell genug nach oben transportiert werden kann, was durch diese geordnete Bewegung dann eben doch möglich wird.

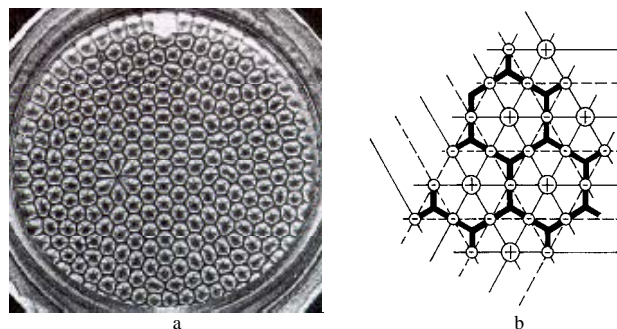


Abb. 2: Die Bénard-Zellen: a) Das typische „Bienenwabenmuster“, das sich auf Grund des Wärmetransports in einer von unten erhitzten Flüssigkeit ergeben,<sup>6</sup> b) Systematische Darstellung der Flußeigenschaften: In der Mitte der einzelnen Bénard-Zellen steigt die erwärmte Flüssigkeit auf (+), an den Rändern fällt die abgekühlte Flüssigkeit ab (-).<sup>7</sup>

<sup>5</sup> Quelle: Haken, Hermann: Erfolgsgeheimnisse der Natur – Synergetik: die Lehre vom Zusammenwirken. 2. Aufl., Frankfurt a. M.: Ullstein 1991, S. 45.

<sup>6</sup> Quelle: Prigogine, Ilya: Vom Sein zum Werden – Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. Überarb. u. erw. Neuausgabe, München: Piper 1992, S. 103.

<sup>7</sup> Quelle: Haken, a.a.O., S. 52.



An diesen, recht einfachen Beispielen werden bereits einige wichtige Dinge auch im Hinblick auf kognitive Strukturen deutlich, die sich vielleicht auf folgende Punkte bringen lassen:

1. Die streifenförmigen Wolkenformationen und die Bénard-Zellen sind *komplexe* Strukturen die aus einem *einfacheren* Ausgangszustand hervorgehen. Bemerkenswert ist dabei, daß hier Komplexität für einen *höhergeordneten* Zustand steht, und gerade nicht für einen chaotischen. *Chaotischer* war der einfachere Vorzustand, weil da sozusagen jedes Teilchen machen kann, was es will. Die landläufige Vorstellung, wonach Komplexität etwas sehr Vielfältiges, Verwirrendes, schwer zu Durchschauendes ist, paßt hier überhaupt nicht. Und wir betrachten ja auch z.B. uns Menschen als komplexe Lebewesen – aber wir sind nicht besonders komplex, weil wir besonders chaotisch sind, sondern wir sind komplex, weil wir gerade trotz zum Teil sehr heterogener Lebensbedingungen *geordnet* und sinnvoll auf diese unsere Umweltbedingungen reagieren können. Komplexität ist also ganz und gar nicht gleichzusetzen mit „Chaos“ – oder ich würde statt „Chaos“ gerne sagen: „Kompliziertheit“ –, sondern Komplexität ist vielmehr gleichzusetzen mit „Ordnung“ *angesichts* von „Chaos“.
2. Wichtig ist, daß hier sozusagen eine Störung der vorherigen Ordnung in eine neue, höhere Ordnung überführt wird. Die Ordnung eines bestimmten Niveaus wird destabilisiert und darauf aufbauend wird eine neue Ordnung höheren Grades etabliert.
3. Ein wesentliches Charakteristikum der betrachteten komplexen Strukturen ist, daß sie dynamisch sind. Dissipative Strukturen – wie sie auch genannt werden – fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht stellen *Fließgleichgewichte* dar, die von einem permanenten Transformationsprozeß leben. Solche Strukturen brauchen „Nahrung,“ die sie umsetzen können, um sich zu erhalten – genau wie wir Menschen biologische Nahrung zur Erhaltung unserer physiologischen Strukturen benötigen und ebenso Information als „geistige Nahrung“ zur Erhaltung unserer kognitiven Strukturen.
4. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, daß die Ordnung dissipativer Strukturen dadurch entsteht, daß mehr Unordnung, mehr Chaos verarbeitet wird. Die genannten Systeme – z.B. die Bénard-Zellen – werden ja mit dem, was die Thermodynamiker „Entropie“ nennen, nachgerade „bombardiert“. Der „Trick“ dabei ist nur, daß die zufließende Entropie bzw. Unordnung auch wieder um so effektiver aus dem System hinaus befördert und an die Umwelt abgegeben wird. Ein entscheidender Schritt im Hinblick auf kognitive Systeme besteht nun in der Übertragung dieses Zusammenhangs auf die Verarbeitung von Information. Ich kann es hier nicht zeigen, aber es läßt sich zeigen, daß die mathematische

bzw. kommunikationstheoretische Informationstheorie sensu Shannon und die Thermodynamik wechselseitig integrationsfähig sind und daß menschliche Informationsverarbeitung im Grunde genauso funktioniert wie die physikalischen Transformationen in den genannten Systemen. Komplex denkende Menschen können Umweltbedingungen oder Informationen, die für andere hoch verwirrend sind, sogar noch fruchtbar machen, weil es nämlich dabei um so mehr zu verstehen d.h. in eine kognitive Ordnung zu bringen gibt. Denken Sie z.B. an klimatische Zusammenhänge. Ohne Wetterbericht könnte unsereiner nur immer abwarten, wie der neue Tag wird, wir – oder wenigstens ich – könnten es nicht prognostizieren – und wenn, dann wäre es Glück. Ganz anders sieht es für einen Meteorologen aus, denn er kennt die Zusammenhänge. Und er sammelt zunächst viele Informationen von seinen Meßgeräten (wo wir noch gar nicht auf die Idee gekommen wären, so etwas zu messen), wendet darauf sein meteorologisches Wissen bzw. seine meteorologischen Theorien an und heraus kommt ein Wetterbericht. Er produziert damit viel mehr Information als Output als was er an Dateninput aufgenommen hat. Und wenn der Wetterbericht stimmt, werden seine meteorologischen Theorien verstärkt (wenn der Wetterbericht stimmt ...).

5. Mit dem Gesagten möchte ich einen Unterschied machen, den z.B. Dörner nicht gemacht hat. Und zwar möchte ich unterscheiden zwischen „Kompliziertheit“ und „Komplexität“. Kompliziertheit meint das tendenziell eher Chaotische, das man wahrnimmt und das einem kognitive Probleme bereitet. Komplexität dagegen bezeichnet den *Ordnungsgrad* der Struktur mittels derer diese Probleme gelöst werden können. Daß man diesen Unterschied bislang im allgemeinen so nicht macht – der Bremer Physikdidaktiker Stefan von Aufschnaiter, den Sie vielleicht kennen, macht ihn übrigens genauso wie ich – daß man diesen Unterschied so nicht macht, hängt vielleicht mit der englischen Sprache zusammen, über die ja viele Begriffe in die deutsche Sprache kommen. Im Englischen gibt es nämlich das Wort „complicatedness“ nicht, sondern man spricht nur von „complexity“. Allerdings haben z.B. inzwischen die beiden Biologen Stewart und Cohen, die sich auch auf dem Gebiet der Komplexitätstheorie betätigen, vorgeschlagen, zwischen „complicity“ (= Kompliziertheit) und „simplicity“ (= Komplexität) zu unterscheiden.<sup>8</sup>

Ich komme jetzt zu der Frage, wie „komplexe“ kognitive Strukturen im engeren Sinne entstehen.

---

<sup>8</sup> Stewart, Ian/Cohen, Jack: *Figments of reality – The evolution of the curious mind*. Cambridge: Cambridge University Press 1997.

### 3. *Wie entstehen komplexe kognitive Strukturen?*

James Crutchfield vom Santa Fe Institute, dem Zentrum für Komplexitätsforschung schlechthin, hat im Bereich der Künstlichen-Intelligenz-Forschung versucht, evolutionäre kognitive Prozesse zu modellieren und dabei die aus der Thermodynamik bekannten Strukturbildungen informationstheoretisch rekonstruiert.<sup>9</sup> Verarbeitet wird dann, wie eben schon gesagt, Information, und die informationsverarbeitende Struktur ist dann ein Programm bzw. – wie Mathematiker sagen würden – ein Algorithmus. Was wir Menschen auf dem Weg zu sukzessive komplexerem Denken tun, besteht im wesentlichen darin, neue Regularitäten unserer Umwelt – bzw. der per Wahrnehmung aufgenommenen Information – zu erkennen, die wir produktiv ausnutzen können. Formal ausgedrückt suchen wir nach Algorithmen zur Produktion bestimmter Informationen aus einem bestimmten Informationsinput – als Beispiel wurde bereits genannt eine Vorhersage des Wetters von morgen auf der Informationsbasis des Wetters von heute – oder man sucht nach einem informationskomprimierenden Algorithmus, der es erlaubt, das gleiche Ergebnis mit geringerem Aufwand zu erzielen – so wie z.B. die Multiplikation eine Verkürzung der multiplen Addition darstellt. Komplexere Informationsverarbeitung erlaubt hier ganz analog zu der obigen Darstellung zur Thermodynamik, mit *weniger* Aufwand *mehr* Information zu verarbeiten bzw. zu produzieren, d.h. bei vergleichsweise geringem Denkaufwand relativ viel herausfinden bzw. wissen zu können.

Wie kommt man nun von einer niedrigeren kognitiven Komplexitätsstufe zu einer höheren? Dazu muß man folgendes bedenken: Wir Menschen, ebenso wieder jeder Computer, können nicht beliebig viel Information verarbeiten, weil die Informationsverarbeitungskapazität stets beschränkt ist. Denken Sie jetzt an die Unterscheidung zwischen Kompliziertheit und Komplexität zurück. Und nehmen wir an, daß in einem bestimmten Kontext – z.B. in der Auseinandersetzung eines Schülers mit einer sogenannten „komplexen Lernumwelt“ – sukzessive immer mehr „Komplikationen“ hinzukommen, indem man immer mehr Einflußgrößen in das System einbaut. Auf Grund der beschränkten Verarbeitungskapazität wird der Schüler auf der Basis seiner aktuellen Struktur oder seines mentalen Modells – wie auch immer sie das nennen möchten – an eine Grenze stoßen, ab der er oder sie ausgelastet ist

---

<sup>9</sup> Crutchfield, James P.: The calculi of emergence: computation, dynamics and induction. Physica D, 75, 1994. S. 11-54.

und weitere, im Grunde aber relevante (!) Informationen nicht mehr berücksichtigen kann. Graphisch läßt sich dieses Eskalationsszenario (nach Crutchfield) so darstellen (vgl. Abb. 2):

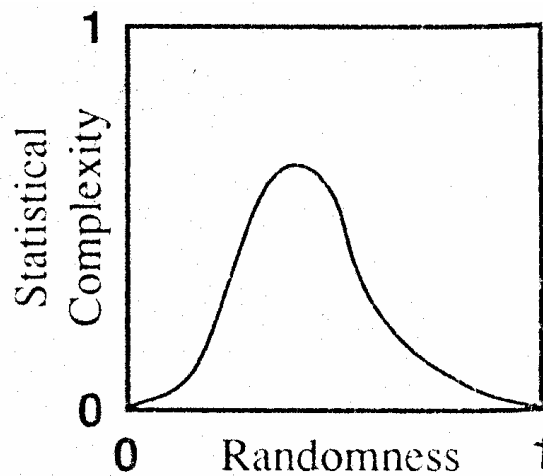


Abb. 3: „Statistische Komplexität“ (Quelle: Crutchfield, a.a.O., S. 24)

Sie sehen hier auf der Ordinate das abgetragen, was Crutchfield „statistical complexity“ nennt, wofür man im Deutschen m.E. besser Kompliziertheit sagen sollte, und die Abszisse entspricht der *wahrgenommenen* Zufälligkeit der eingehenden Information – wohlgemerkt auf der Basis eines ganz bestimmten Informationsverarbeitungsmodells. Ganz links ist nichts zufällig und alles verstanden, mithin werden keine Komplikationen wahrgenommen – die Struktur wird lediglich durch Anwendung aktualisiert. Ganz rechts ist alles zufällig. Da ist die „statistical complexity“ auch „null“, denn wo nur Zufall herrscht, gibt es nichts zu erkennen. Interessant ist der Mittelbereich, den man gewissermaßen noch nicht voll im Griff hat, der aber auch nicht zufällig zu sein scheint, sondern auf eine noch verborgene Regularität schließen läßt bzw. die Chance eröffnet, einen weiteren „informationskomprimierenden Algorithmus“ zu finden. Und am Gipfelpunkt dieser Funktion muß das Individuum sozusagen zu einer neuen kognitiven Struktur übergehen, wenn es in dieser betreffenden Umwelt noch etwas Zusätzliches herausfinden oder kognitiv beherrschen möchte. Beziehungsweise wenn es noch komplizierter wird, so verliert man immer mehr die Orientierung bis man der Lage überhaupt nicht mehr Herr ist. Und dies liegt daran, daß ein komplexer Zusammenhang, der hinter allem Durcheinander steht, nicht erkannt wird.

Hierzu ein Beispiel aus dem Englisch-Unterricht. Ein für viele Schüler offenbar großes Problem ist die Frage, in welchen Fällen der Vergangenheit Past Tense und wann Present Perfect zu verwenden ist. Man erblickt zunächst keine Regularität und versucht herauszufinden, worin sie ggf. besteht. Ein auf niedriger Komplexitätsstufe angesiedeltes

Verfahren der Ordnungsstiftung – das dann auch bei Schülern entsprechend beliebt ist – besteht in der Orientierung an sogenannten „Keywords“, also an Schlüsselwörtern, die einem anzeigen, welche Zeitform man zu verwenden hat, obwohl man eigentlich gar nicht recht weiß, warum. Was man lernt, sind Eins-zu-eins-Zuordnungen von Keywords und der entsprechenden Zeitform. So lernt man z.B., daß man in Sätzen, in denen „ago“ oder „last year“ vorkommt, immer Past Tense zu benutzen habe, und wenn etwa „since“ oder „for“ steht, dann Present Perfect verwendet werden müsse. Meistens geht das ganz gut, nur bedeuten z.B. „since“ und „for“ nicht immer das deutsche „seit“, sondern können auch ganz anders zu übersetzen sein, und dann klappt die Regel mit den Keywords natürlich nicht mehr. So kann man als Lehrer vielen Schülern ein Bein stellen. Ein weiteres Problem – und das ist nun das besonders wichtige – stellt natürlich die schiere Anzahl der Keywords dar. Sind es wenige, kommt man damit zurecht. Sind es viele und gibt es Ausnahmen, wird es irgendwann unbeherrschbar. Für eine angesagte Prüfung können sich die Schüler die betreffenden Keywords und ihre Funktion meistens noch merken, aber wehe man fragt einen Monat später noch mal nach. Ganz anders ist das bei denjenigen Schülern, die das grundlegende grammatikalische Prinzip zur Verwendung der Zeiten verstanden haben – sprich: die Regel, welche die Keywords erst zu Keywords macht. Wer diese Regeln erst einmal verstanden hat, der tut sich leicht: Er oder sie braucht sich schon mal nicht so viel zu merken (Stichwort: informationskomprimierender Algorithmus), er oder sie tappt nicht in bestimmte, vom Lehrer gestellte Fallen, weil das, was auf der Ebene von Keywords Ausnahmen bzw. Komplikationen sind – Stichwort: alternative Bedeutungen von „since“ und „for“ – das fällt auf der Ebene des grammatikalischen Hintergrunds in den Geltungsbereich der Regel – es sind dann keine Ausnahmen. Er oder sie kann darüber hinaus auch sprachliche Situationen meistern, in denen keine Keywords vorkommen – oder aber potentielle Keywords, die nur im Unterricht nicht besprochen wurden. Man sieht, die neue, abstraktere Regel ist nicht nur sparsamer, sondern greift auch viel weiter als die Keywords. Und die Schüler, die sie einmal verstanden haben, vergessen sie auch nicht mehr so leicht!

Was nun noch kurz zu diskutieren bleibt, ist die Frage, wie man derartige Übergänge pädagogisch stimulieren kann. Nach Crutchfield vollzieht sich der Aufbau komplexer kognitiver Strukturen in einer Reihe qualitativer Sprünge, wie sie auch in der Thermodynamik beschrieben werden, die dazu führen, daß mit jedem Stufenübergang mehr potentielle Information verarbeitet werden kann und die Anpassung an die Umwelt damit sukzessive verbessert wird (vgl. Abb. 4).

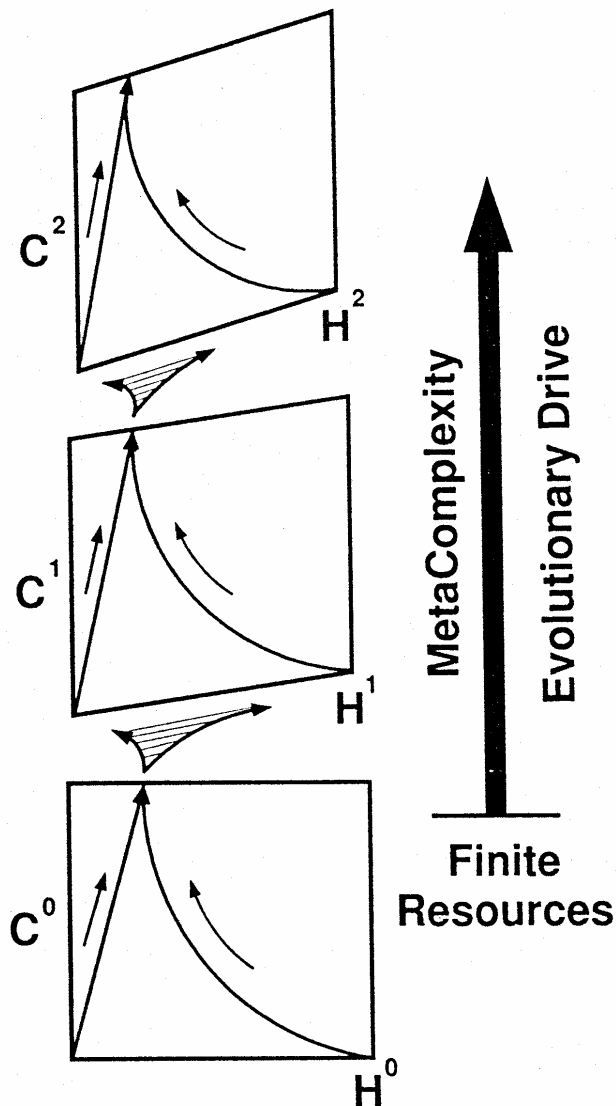


Abb. 4: Schematische Darstellung einer evolutionären Hierarchie i.S. sukzessiver komplexerer Strukturen bzw. Modelle der Informationsverarbeitung (Quelle: Crutchfield, a.a.O., 51)

Wenn substantielle Lernfortschritte der beschriebenen Art nun über solche sprunghaften Entwicklungen verlaufen, wie kann man dann als Lehrer oder Lehrerin ein Individuum auf genau den Pfad bringen, der zum kognitiven Fortschritt führt? Hierzu lassen sich m.E. die folgenden zwei Prinzipien formulieren:

1. Man muß prinzipiell versuchen, den Educanden *im Rahmen seines eigenen Denkens* in Verlegenheit zu bringen – bei ihm Probleme zu induzieren, die er zunächst noch gar nicht hat, die er aber auf der Basis seines gegenwärtigen Denkens gar nicht lösen bzw. bestenfalls als Sonderfälle oder etwas ähnliches rekonstruieren kann. Ein derartiges Problembewußtsein ist das A und O. Sie werden vielleicht sagen, das sei trivial und das

wüßten sie schon längst. Was sie – und ich – wohl aber noch nicht wissen, ist, wie die kognitive „Komplexitätslandkarte“ genau aussieht und wo sich entsprechend einzelne Schüler befinden bzw. womit man sie im Optimalfall zu konfrontieren hätte. Hierzu gibt es erste Ergebnisse, aber das meiste liegt noch vor uns. Außerdem – und das ist auch nicht trivial (zumindest heute nicht) – impliziert mein Argument eine besonders aktive Rolle der Lehrkraft bei der Probleminduktion, wohingegen heutzutage häufig gefordert wird, man möge es den Schülern überlassen, sich *ihre* Probleme selbst zu suchen. Das scheint mir viel zuwenig zielgerichtet zu sein. Jeder, der sein eigenes Lernen bewußt verfolgt hat, weiß, wie sehr es darauf ankommt, daß man die *richtigen* Fragen stellt – bzw. die Fragen *richtig* stellt. Denn in diesem Fall wird man die Antworten auch irgendwann finden.

2. Mit dem alten Handwerkerspruch „Problem erkannt, Gefahr gebannt“ könnte man die Schüler mit den pädagogisch induzierten Problemen allein lassen, in der Gewißheit, daß Wichtigste am pädagogischen Geschäft geleistet zu haben und in der Erwartung, daß die erkannten Probleme von den Schülern auch gelöst werden, soweit sie hinreichend relevant sind. Das Wichtigste ist m.E. in der Tat die Sensibilisierung für Probleme, dennoch dürfte Unterricht effektiver sein, wenn man auch die Lösungen gleich mitlieferte (einmal unabhängig von der präzisen Unterrichtsmethodik, in die man sie verpackt). Wer sich die richtigen Fragen stellt, der ist auch empfänglich für die entsprechenden Antworten. Warum sollte man die Schüler selbst suchen lassen, wie es im Rahmen von Handlungsorientierung und Konstruktivismus zum Teil gefordert wird? Jedes neue Wissen und jede Komplexitätsstufe bildet die Basis für neue Fragen. Warum jemanden zwingen, sich länger als nötig mit den alten Fragen zu beschäftigen und ihn nach etwas suchen lassen, das man ihm im Grunde regelrecht vorenthält?

### **3. Pädagogische Konsequenzen**

Mit dem eben Gesagten bin ich schon in die pädagogische Diskussion im engeren Sinne meiner Ausführungen eingestiegen. Viel will ich nicht dazu sagen, aber ein paar zentrale Überlegungen erscheinen angebracht.

Im Kontext des eben Angesprochenen möchte ich auf eine grundlegende Inkonsistenz zwischen pädagogischen Ansätzen zu Selbstorganisation bzw. Selbststeuerung und der skizzierten naturwissenschaftlichen Selbstorganisationstheorie hinweisen. Die pädagogischen Ansätze stützen sich ja auch z.T. auf das allgemeine naturwissenschaftliche Prinzip der

Selbstorganisation, meinen aber, man müsse Schüler und Schülergruppen sich viel stärker als bisher selbst organisieren lassen, dann entstünde schon etwas Sinnvolles und vielleicht sogar so etwas wie Ordnung aus dem Chaos. Es wird dabei m.E. übersehen, daß sich die von Naturwissenschaftlern beschriebenen Prozesse von Selbstorganisation – denken Sie etwas an das Entstehen der Bénard-Zellen – daß sich diese jeweils unter ganz spezifischen Umweltbedingungen, genauer: *Umwelt-Restriktionen* ereignen. Diese Selbstorganisation hat nur bedingt mit Freiheit zu tun, genau wie etwa biologische Evolution auch, die heute ebenfalls als Produkt von Selbstorganisationsprozessen begriffen wird. Es sind die Umweltbedingungen bzw. Umweltzwänge, die die Evolution antreiben, und so ist es m.E. auch beim Lernen. Es obliegt daher nach meiner Überzeugung den Schulen bzw. den Lehrkräften, solche kognitiven Restriktionen zu setzen und den Schülern – bildlich gesprochen – ganz spezifische Hindernisse in den Weg zu stellen, die sie überwinden *können* und die sie überwinden *müssen*, um damit weiterzukommen. Es geht darum, daß Schüler bestimmte Stimuli aktiv und produktiv aufnehmen, ja (!), aber freies „Agierenlassen“ ist der falsche Weg.

Selbstgesteuertes Lernen – so meine zweite These – klappt immer dann hervorragend, wenn man sich lediglich in dem Rahmen bewegt, den man kognitiv schon voll überschaut. Ein gutes Beispiel sind etwa Fortbildungen zu Anwendungsprogrammen. Wer schon hinlänglich über Microsoft Office Bescheid weiß und sich nun auf ein neues Update einstellen soll, der kann das m.E. sehr gut selbstgesteuert erledigen, denn er oder sie weiß bereits ziemlich genau, was es zu lernen gibt und verfügt schon über eine komplette kognitive Struktur, in welche die Neuerungen lediglich „eingebaut“ bzw. „einsortiert“ werden müssen. Selbststeuerung und Selbstorganisation versagen jedoch, wenn es um Probleme geht, die die Schüler so noch gar nicht haben, d.h. wenn man die Schüler zu irgendeiner neuen fundamentalen Einsicht beziehungsweise einem tieferen Verständnis von etwas bringen will, wovon sie eben noch entfernt sind! Hier ist die gezielte Stimulanz durch eine Lehrkraft m.E. unerlässlich. An der Komplexitätsfrage dürfte sich daher auch entscheiden lassen, wofür man einen Lehrer oder eine Lehrerin braucht und wofür nicht, was angesichts moderner medialer Möglichkeiten eine zentrale Frage sein dürfte. Und – nebenbei bemerkt – wenn Schüler immer schon wüßten, was es in einem bestimmten Bereich für interessante Fragen zu stellen gibt, dann wäre Erziehung ein leichtes Geschäft und dann könnte man sich tatsächlich auf eine „beratende“ Lehrerrolle beschränken. Aber die wirklich interessanten Fragen müssen halt erst entwickelt werden.



Last but not least möchte ich noch darauf hinweisen, was man gewonnen hätte, wenn man in der Frage einer stoffbezogenen Komplexitätsstufentaxonomie weiterkäme. Man hätte nichts weniger als harte Kriterien für die Beurteilung der kognitiven Leistungen von Schülern. Heute zählen wir oft nur irgendwelche Punkte und unterscheiden ansonsten zwischen „guten“ und „schlechten“ Schülern. Über wirklich klare Vorstellungen zur Beurteilung der Qualität von Schülerleistungen verfügen wir in vielen Bereichen nicht. Würden wir hier etwas vorankommen, dann könnten wir einerseits viel besser diagnostizieren und andererseits dürfte es dann z.B. nicht mehr vorkommen, daß die einen Englisch nach Keywords lernen und dabei fast die gleichen Noten bekommen, wie diejenigen, die die Regeln verstanden haben. Wir rechnen heute aus, daß letztere ein paar Aufgaben mehr richtig gelöst haben als erstere, und ignorieren die Hinweise auf gravierende Kompetenzunterschiede. – Und was speziell die sogenannte komplexe Problemlösekompetenz angeht, so gibt es dazu gegenwärtig zwar Untersuchungen, dabei werden aber meist eher willkürlich ein einfaches und ein irgendwie anspruchsvolleres Problem einander gegenüber gestellt, wobei letzteres dann als „komplex“ firmiert. Erstens hat man dabei immer nur eine kontrastierende Gegenüberstellung, aber keinen wirklichen Begriff der Komplexität als solcher (im hier verstandenen Sinn). Zweitens gewinnt man so immer nur eine dichotome Information der Art „komplexe Problemlösefähigkeit liegt vor“ bzw. „liegt nicht vor“. Unterschiedliche *Grade* bzw. *Stufen* von Komplexität können so nicht erfaßt werden. Hier gilt es m.E. weiterzuarbeiten.

## Bisher erschienen

Heft Nr. 1

Lüdecke-Plümer, S., Zirkel, A. & Beck, K. (1997). *Vocational Training and Moral Judgement – Are There Gender-Specific Traits Among Apprentices in Commercial Business?*

Heft Nr. 2

Minnameier, G., Heinrichs, K., Parche-Kawik, K. & Beck, K. (1997). *Homogeneity of Moral Judgement? - Apprentices Solving Business Conflicts.*

Heft Nr. 3

Lüdecke-Plümer, S. (1997). *Bedingungen der Entwicklung des moralischen Urteils bei angehenden Versicherungskaufleuten.*

Heft Nr. 4

Heinrichs, K. (1997). *Die „Schlüsselqualifikation“ moralische Urteilsfähigkeit – Ihre Entwicklung und Ausprägung bei kaufmännischen Auszubildenden.*

Heft Nr. 5

Beck, K. (1997). *The Segmentation of Moral Judgment of Adolescent Students in Germany – Findings and Problems.*

Heft Nr. 6

Heinrichs, K. (1997). *Betriebsbezogene moralische Urteile von Auszubildenden im Versicherungswesen – Persönlichkeitsspezifisch oder situationsspezifisch?*

Heft Nr. 7

Sczesny, Ch. (1997). *Das Lösungsverhalten bei wirtschaftskundlichen Aufgaben – Visuelle und physiologische Begleitprozesse situierter kognitiver Leistungen.*

Heft Nr. 8

Beck, K., Bienengraber, Th., Heinrichs, K., Lang, B., Lüdecke-Plümer, S., Minnameier, G., Parche-Kawik, K. & Zirkel, A. (1997). *Die moralische Urteils- und Handlungskompetenz von kaufmännischen Lehrlingen – Entwicklungsbedingungen und ihre pädagogische Gestaltung.*

Heft Nr. 9

Beck, K. (1997). *The Development of Moral Reasoning During Vocational Education.*

Heft Nr. 10

Sczesny, Ch., Lüdecke-Plümer, S. (1998). *Ökonomische Bildung Jugendlicher auf dem Prüfstand: Diagnose und Defizite.*

Heft Nr. 11

Lüdecke-Plümer, S., Sczesny, Ch. (1998). *Ökonomische Bildung im internationalen Vergleich.*

Heft Nr. 12

Beck, K., Bienengraber T., Parche-Kawik, K. (1998). *Entwicklungsbedingungen kaufmännischer Berufsmoral – Betrieb und Berufsschule als Sozialisationsmilieu für die Urteilskompetenz.*

Heft Nr. 13

Beck, K. (1998). *Wirtschaftserziehung und Moralerziehung – ein Widerspruch in sich? Zur Kritik der Kohlbergschen Moralentwicklungstheorie.*

Heft Nr. 14

Beck, K. (1998). *Moralerziehung in der Berufsausbildung?*

Heft Nr. 15

Beck, K. (1998). *Ethische Differenzierung als Grundlage, Aufgabe und Movens Lebenslangen Lernens.*

Heft Nr. 16

Parche-Kawik, K. (1998). *Wirtschaftsethik und Berufsmoral – Die Auseinandersetzung um das Leitbild für den modernen Kaufmann im Lichte empirischer Befunde.*

Heft Nr. 17

Hillen, S./ Berendes, K./ Breuer, K. (1998): *Systemdynamische Modellbildung als Werkzeug zur Visualisierung, Modellierung und Diagnose von Wissensstrukturen.*

Heft Nr. 18

Breuer, K./ Höhn, K. (1998): *Die Implementation eines Qualitätsförderungssystems für berufliche Abschlußprüfungen – Eine Interventionsstudie am Beispiel des neu geordneten Ausbildungsberufs Versicherungskaufmann/ Versicherungskauffrau.*

Heft Nr. 19

Beck, K. (1998): *Die Entwicklung moralischer Urteilskompetenz in der kaufmännischen Erstausbildung – Zur Analyse der Segmentierungshypothese.*

Minnameier, K. (1998): *Homogenität versus Heterogenität des moralischen Denkens – Wie urteilen Auszubildende im Rahmen betrieblicher Kontexte?*

Zirkel, A. (1998): *Kaufmännische Berufsausbildung und moralisches Denken – Erleben weibliche und männliche Auszubildende ihre soziale Umwelt unterschiedlich?*

Heft Nr. 20

Wuttke, E. (1999): *Lernstrategieeinsatz im Lernprozeß und dessen Einfluß auf den Lernerfolg.*

Heft Nr. 21

Beck, Klaus (1999): *Zur Lage der Lehr-Lern-Forschung - Defizite, Erfolge, Desiderate.*