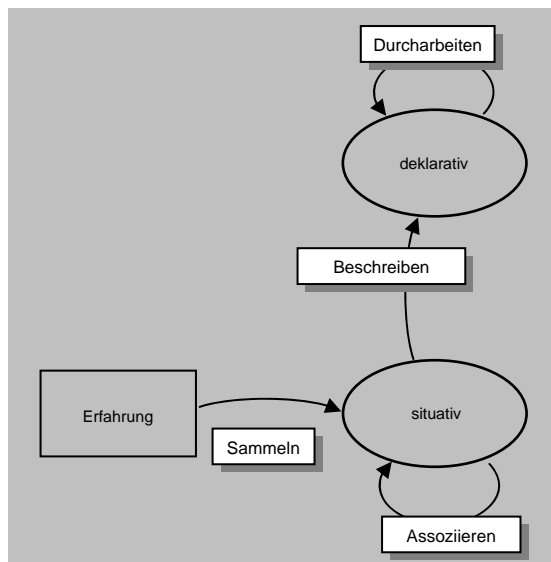


Entdecken

Aus: Kaiser, H. (2005) *Wirksames Wissen aufbauen. Ein integrierendes Modell des Lernens*. Bern: h.e.p. verlag S. 79-85 (modifiziert, gekürzt und erweitert)



Die Grundidee des entdeckenden Lernens (in Reinkultur) ist, dass die Lernenden Erfahrungen sammeln und aus diesen Erfahrungen dann neue deklarative Strukturen bilden. Dies ist ein äusserst komplexer Vorgang, wie nur schon die betroffenen Lernaufgaben in der Figur oben zeigen. Zudem läuft dieser Prozess oft nicht linear ab, sondern spätere Schritte wirken auf frühere zurück.

Mit *Beschreiben* ist gemeint, dass situative Erfahrungen mit Hilfe der vorhandenen deklarativen Strukturen beschrieben werden. Dadurch entstehen aber noch keine neuen deklarativen Strukturen. Diese entstehen erst, wenn beispielsweise beim vergleichenden *Durcharbeiten* mehrere solcher Beschreibungen Regelmässigkeiten entdeckt werden, die als neues Konzept abstrahiert werden können. Manchmal werden diese Regelmässigkeiten aber erst sichtbar, wenn – auf Grund von Vermutungen – die Beschreibungen geändert werden, d.h. manchmal ist es notwendig, dass sich *Beschreiben* und *Durcharbeiten* gegenseitig aufschaukeln, bis ein interessantes, brauchbares neues deklaratives Konzept entdeckt wird.

Dass diese gelingt ist äusserst unwahrscheinlich. Für die Entwicklung viele deklarative Konzepte hat die Menschheit teilweise Jahrtausende gebraucht und es ist nicht zu erwarten, dass es Lernenden gelingt, sie innerhalb einer paar Schulstunden „nachzuerfinden“. Mehr Erfolg verspricht ein geschicktes Zusammenspiel von Instruktion und Erfahrung.

Schwierigkeiten

Die Schwierigkeiten, welche sich beim *Sammeln* und *Assoziieren* ergeben, lassen sich dort nachlesen. Sie werden durch die Einbettung in diesen Lernweg nicht kleiner.

Das Zusammenspiel der beiden anderen Lernaufgaben – *Beschreiben* und *Durcharbeiten* – kann man als *Abstrahieren* bezeichnen und dabei lassen sich folgende Schwierigkeiten ausmachen.

Grosse Komplexität der Zielstruktur

So wie beim Sammeln relevanter Erfahrungen die Grösse des Problemraums einen entscheidenden Einfluss darauf hat, wie leicht solche Erfahrungen gemacht werden, spielt

hier die Grösse des Raums aller möglichen Abstraktionen eine entscheidende Rolle. Je grösser dieser Raum ist, umso schwieriger wird es für die Lernenden, geeignete Abstraktionen zu finden. Natürlich ist auch die Grösse dieses zweiten Suchraums keine absolute Grösse, sondern sie hängt vom Vorwissen der Lernenden ab.

Für die Schwierigkeit der Abstraktionsaufgabe ebenfalls entscheidend ist, ob sich die Gesamtaufgabe in kleinere Aufgaben zerlegen lässt, so dass das Wissen inkrementell erworben werden kann. Am schwierigsten wird der Abstraktionsvorgang, wenn die einzelnen Komponenten des zu abstrahierenden Wissens so voneinander abhängen, dass sie praktisch nur gleichzeitig entwickelt werden können.

Der Raum der möglichen Abstraktionen ist unter anderem umso grösser, je komplexer die zu abstrahierende Struktur ist. Lernbarrieren, die sich aus dieser Komplexität ergeben, sind z.T. mathematisch gut untersucht. Es zeigt sich dabei, dass dem Lernen ohne spezifisches Vorwissen manchmal erstaunlich enge Grenzen gesetzt sind (vgl. 4.4.2).

Die Situation ist weniger dramatisch, wenn die Lernenden auf Grund von Vorwissen gewisse Abstraktionen bevorzugt bilden und wenn diese Vorlieben auch in die richtige Richtung gehen. Überlegungen dazu sind so alt wie Kants Apriori-Kategorien. Vorlieben helfen aber nicht nur, überhaupt eine Lösung zu finden, sondern sie bestimmen auch, welche von mehreren möglichen Lösungen bevorzugt wird. Denn mit jeder endlichen Anzahl von Beispielen sind normalerweise unendlich viele Abstraktionen verträglich.

Umstrukturierungen notwendig

Ein besonders hartnäckiges Problem ergibt sich, wenn die Gesetzmässigkeiten nur gefunden werden können, wenn die Lernenden ihre Erfahrungen zuerst umstrukturieren und/oder ergänzen müssen (vgl. 4.4.2).

Repräsentationsänderungen scheinen zu den schwierigsten Lernaufgaben zu gehören. Sie sind oft mit einem Aha-Erlebnis verbunden, wenn sich plötzlich alles so umstrukturiert, dass die Lösung mehr oder weniger direkt sichtbar ist. Solche Umstrukturierungen werden seit jeher als grosse intellektuelle Leistungen angesehen, und es gibt eine lange Tradition beschreibender Studien zum Aha-Erlebnis (vgl. Kaplan & Simon, 1990 für eine kleine Zusammenstellung).

Zu wenig vergleichbare Erfahrungen

Wie beim Assoziieren (vgl. 9.3.1), kann es auch hier geschehen, dass zu wenig vergleichbare Erfahrungen gegeben sind, um daraus Regelmässigkeiten ableiten zu können.

Hohe kognitive Belastung durch Problemlösen

Zwei weitere Schwierigkeiten ergeben sich aus der Kombination von Sammeln von Erfahrungen und Abstrahieren (Sweller, 1988). Müssen sich die Lernenden durch Problemlösen Erfahrungen beschaffen, dann bindet dieser Problemlöseprozess erstens einmal Kapazität. Dies kann im extremen Fall dazu führen, dass kaum mehr Kapazität frei bleibt, um dabei auch noch etwas zu lernen. Dies entspricht der typischen Erfahrung, dass man nach vielem Probieren plötzlich zu einer Lösung der Aufgabe gelangt, aber keine Ahnung mehr hat, wie man das Ziel erreichte. Entsprechend fehlt dann auch die Abstraktionsgrundlage, auf der Verallgemeinerungen entstehen könnten.

Durch Problemlösetätigkeit verursachter ungeeigneter Fokus

Zum Zweiten fokussiert jede Problemlösemethode auf bestimmte Aspekte der konkreten Situationen. Nicht immer sind diese Aspekte aber die, welche für einen Abstraktionsprozess relevant wären. Lernende, die noch nicht viel über ein Gebiet wissen, müssen versuchen, die Aufgaben mit allgemeinen Methoden zu lösen. Eine solche allgemeine Methode besteht darin, dass man die aktuelle Situation und die Zielsituation auf Unterschiede hin untersucht und dann versucht, eine Differenz nach der anderen zu beseitigen («means-end-analysis»

Newell & Simon, 1972). Lernende, die diese Methode anwenden, werden also vor allem auf Differenzen zwischen Situationen fokussieren und sie weniger als Ganzes betrachten. Gelingt es ihnen, die Aufgabe auf diese Art ohne grosse Stockungen zu lösen, besteht für sie auch kein Grund, sich an zurückliegende Situationen als Ganzes zu erinnern. Dies kann in einem extremen Gegensatz zu dem stehen, was für den Abstraktionsprozess notwendig ist. Damit dieser erfolgreich ist, ist es oft nötig, dass man sich an mehrere zurückliegende Situationen in ihrer ganzen Komplexität erinnert und vergleicht, unter welchen Umständen welche Aktion hilfreich war.

Hilfestellungen

Organisation der Beispiele

Lassen sich die Art der Beispiele und die Reihenfolge, in denen die Lernenden damit konfrontiert werden, beeinflussen, so kann auf diese Weise die Komplexität der Abstraktionsaufgabe wesentlich reduziert werden. Für die meisten als Computerprogramme formulierten Abstraktionsprozesse gilt, dass ihnen das Lernen bei einer bestimmten Sequenzierung der Beispiele leichter fällt. Dies dürfte auch für menschliche Lernprozesse gelten.

Menschen scheinen eine Vorliebe zu haben, als Ausgangspunkt für die Bildung von abstrakten Kategorien Merkmale zu wählen, die allen Beispielen einer Kategorie gemeinsam sind. Das Lernen fällt deshalb einfacher, wenn immer einige Beispiele zur selben Kategorie gleichzeitig präsentiert werden, als wenn die Beispiele mehr oder weniger zufällig gemischt sind (Medin, Wattenmaker & Michalski, 1987, S. 335).

Andererseits drängen sich Merkmale von Situationen unterschiedlich stark auf (cue salience), und Lernende arbeiten selbstverständlich zuerst einmal mit den für sie auffälligsten Merkmalen. So ist es auch möglich, das Lernen durch ausgewählte Beispiele zu vereinfachen, bei denen die relevanten Merkmale besonders prägnant sind. Dies lässt sich anhand eines hübschen Experiments mit dem «unvollständigen Schachbrett» illustrieren (Kaplan & Simon, 1990).

Beim «unvollständigen Schachbrett» handelt es sich um eine Denksportaufgabe. Ausgangspunkt ist ein Schachbrett, an dem zwei gegenüberliegende Ecken entfernt wurden. Die Aufgabe besteht darin, das restliche Brett so zu zersägen, dass ohne Rest lauter «Dominosteine» mit je einem schwarzen und einem weissen Feld entstehen (Versuchen Sie es!).

Im Experiment kamen zwei verschiedene Versionen des Schachbretts zum Einsatz. In einer Version war das Brett wie üblich eingefärbt, in der anderen stand auf den sonst weissen Feldern «Butter» und auf den sonst schwarzen Feldern «Brot» geschrieben. Die Unlösbarkeit der Aufgabe springt sofort ins Auge, wenn man entdeckt, dass zwei weisse bzw. zwei «Butter»-Felder weggeschnitten wurden, und dass somit zwei schwarze Felder ohne weisse Partner bzw. zwei «Brote» ohne «Butter» bleiben. Diese Entdeckung fiel den Versuchspersonen bei der zweiten Version des Bretts wesentlich leichter.

Zerlegung der Aufgabe

Wie die mathematischen Resultate von Valiant und anderen zeigen (4.4.2) zeigen, sind komplexere Strukturen bestehend aus verschachtelten UND- und ODER-Verknüpfungen grundsätzlich schwierig bis unmöglich aus Beispielen zu lernen. Vereinfachen lässt sich die Aufgabe nur, wenn jeweils einige Beispiele zusammen eine Art «Lektion» bilden und genau eine neue Verknüpfung einführen. Weiss der Lernprozess, dass die Beispiele so organisiert sind, dann kann er so gestaltet werden, dass er auch verschachtelte Strukturen nach und nach lernt (Rivest & Sloan, 1988).

VanLehn (VanLehn, 1987, 1990) glaubt beobachtet zu haben, dass Lehrmittel im Rechenunterricht genau dieses Vorgehen wählen. VanLehns Hauptbeispiel ist das

schriftliche Subtrahieren (14.7). Das Vorgehen beim schriftlichen Subtrahieren lässt sich als komplexe Prozedur beschreiben, welche die Form hat «Du musst das **und** das **oder** das **und** das **und** das ... machen». Die von VanLehn untersuchten Lehrmittel führen nun in jeder Lektion tatsächlich jeweils genau ein neues UND oder ein neues ODER ein. VanLehn vermutet deshalb, dass sich im üblichen Unterricht eine Art implizite Konvention herausgebildet hat, die er «eine Subprozedur pro Lektion» nennt. Lehrende halten sich – bewusst oder unbewusst – daran und Schüler wissen das. Dadurch wird das Lernen etwas komplexerer Strukturen wesentlich erleichtert.¹

Allerdings ist nicht gesagt, dass alle Lernenden von einer derartigen Zerlegung gleichermassen profitieren können. Pask (Pask, 1975) etwa unterscheidet auf Grund seiner Untersuchungen «Holisten» und «Serialisten». Serialisten sollten mit einem derart geordneten Aufbau des Wissens gut zurecht kommen. Holisten dürften damit aber ihre Mühe haben. Sie sind vielmehr darauf angewiesen, einmal die Aufgabe in ihrer gesamten Komplexität zu sehen, bevor sie diese im Detail analysieren können.

Vorgelöste Aufgaben

Müssen die Lernenden ihre Erfahrungen nicht selbst zusammensuchen, sondern werden sie ihnen vorstrukturiert, dann hat dies nicht nur den Vorteil, dass sich die Beispiele geeignet sequenzieren lassen, sondern die Lernenden werden auch entlastet, da die Aufgabe des Problemlösens wegfällt. Vorgelöste Beispiele können deshalb sehr wirksames «Erfahrungsmaterial» darstellen (Chi, Bassok et al., 1989; Ward & Sweller, 1990).

Dabei ist allerdings sorgfältig darauf zu achten, dass das Lesen und Verstehen der vorgelösten Aufgaben selbst nicht eine zu hohe Belastung darstellt und/oder die Aufmerksamkeit auf nicht lernrelevante Aspekte richtet (Ward & Sweller, 1990). Ein negatives Beispiel für die Verwendung vorgelöster Aufgaben sind Aufgaben der Art, wie sie typischerweise im Geometrieunterricht verwendet werden. Bei diesen Aufgaben ist die Information jeweils auf einen Text und eine begleitende Figur verteilt, und eine wesentliche Aufgabe der Lernenden besteht darin, die Information aus Text und Figur zu integrieren. Offenbar ist die damit verbundene Belastung so hoch, dass wieder kaum Lernkapazität bleibt. Vorgelöste Geometrieaufgaben sind deshalb praktisch wirkungslos. Integriert man dagegen die graphische Information in den Text, dann haben die vorgelösten Aufgaben eine deutliche Wirkung (Ward & Sweller, 1990). Dies ist konsistent mit Befunden von Zhu und Simon (Zhu & Simon, 1987), die beobachteten, dass vorgelöste konventionelle Algebraaufgaben (gesamte Information im Text) wesentlich wirksamer sind als konventionelle vorgelöste Geometrieaufgaben.

Unter gewissen günstigen Umständen kann allerdings gerade ein Kapazitätsengpass zur Komplexitätsreduktion beitragen (Newport, 1990). Dies geschieht dann, wenn die Kapazitätsreduktion nicht die relevanten, sondern irrelevante Aspekte der Aufgabe ausblendet.

Unbestimmte Ziele setzen

Die Vorgabe eines unbestimmten Ziels scheint eine Möglichkeit zu sein, ganz allgemein die durch die Problemlösefähigkeit verursachte Belastung zu reduzieren bzw. den dadurch induzierten ungeeigneten Fokus zu verhindern. In einem Experiment von Sweller (Sweller, 1988) mussten die Lernenden Trigonometrieaufgaben bearbeiten. Eine Gruppe erhielt die unspezifische Aufgabenstellung, einfach alles zu berechnen, was sich berechnen lässt. Die andere Gruppe musste bei jeder Aufgabe gezielt eine bestimmte Seite oder einen bestimmten Winkel berechnen. Die erste Gruppe mit unbestimmtem Ziel lernte schneller als die zweite.

¹ Plötzner (Plötzner, 1990) bildet auf ähnliche Art und Weise optimale Beispielsequenzen für seine Lernsimulation KAGE.