

Peter Baumgartner
Sabine Payr

Erfinden lernen

Baumgartner, P. und S. Payr (1997). Erfinden lernen. In: Konstruktivismus und Kognitionswissenschaft. Kulturelle Wurzeln und Ergebnisse. Zu Ehren Heinz von Foersters. K. H. Müller und F. Stadler. Wien-New York, Springer. 8: 89-106.

Der ästhetische Imperativ: Willst du erkennen,
lerne zu handeln.
Der ethische Imperativ: Handle stets so, daß die
Anzahl der Möglichkeiten wächst.
So konstruieren wir aus unserer Wirklichkeit in
Zusammenwirkung unsere Wirklichkeit.
(Heinz von Foerster)¹

In diesem Artikel wollen wir der Frage nachgehen, wie Menschen neue Fertigkeiten erwerben, allmählich vom blutigen Anfänger zum versierten Experten auf einem bestimmten Gebiet werden – wie sie handeln lernen. Es geht uns dabei nicht bloß um das Einprägen von Fakten oder um das Einüben von Tätigkeiten, sondern wir wollen Lernen so umfassend verstehen, daß auch die Metaebene, „Lernen lernen“² – oder wie Bateson³ es ausdrückt „Deuterolernen“ – inbegriffen ist. Wir werden verschiedene Ansätze diskutieren und uns die Frage stellen, wie eine konstruktivistische Lerntheorie aussehen könnte. Danach wollen wir unser hypothetisches Modell, also unsere Erfindung, anhand eines konkreten Beispiels – einer Trainingssoftware auf dem Gebiet der Echokardiographie – illustrieren.

1. Drei Lerntheorien

Wie können wir uns den menschlichen Lernprozeß vorstellen? Wir wollen hier kurz skizzieren, was die drei einflußreichsten Theoriesysteme dieses Jahrhunderts – Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus – dazu sagen:

Der Behaviorismus

Behavioristische Lehrstrategien gehen davon aus, daß Lehrende wissen, was die Lernenden zu lernen haben. Lernen wird als konditionierter Reflex gesehen, der durch Adaption erworben wird. Wir müssen daher den Lernenden „nur“ den geeigneten Stimulus (Reiz) präsentieren, um ein bestimmtes Verhalten (Reaktion) hervorzurufen. Die theoretischen und didaktischen Schwierigkeiten bestehen vor allem darin, diese geeigneten Stimuli zu erforschen und sie mit adäquatem Feedback zu unterstützen, um die richtigen Verhaltensweisen zu verstärken.⁴

Der Behaviorismus ist nicht an den im Gehirn ablaufenden spezifischen Prozessen interessiert. Das Gehirn wird als „black box“ aufgefaßt, die einen Input erhält und darauf deterministisch reagiert (s. Abb. 1, links). Das Modell dieser Lerntheorie ist das Gehirn als passiver Behälter, der gefüllt werden muß. Der Behaviorismus ist nicht an bewußten (kognitiven) Steuerungsprozessen, sondern vor allem an Verhaltenssteuerung interessiert.

Der Behaviorismus ist heute stark in Mißkredit geraten. Der wesentliche Grund dafür ist, daß das Reiz-Reaktions-Schema die Komplexität der menschlichen Lernprozesse offenbar nicht erfassen kann. Menschen sind nicht nur passive Stimuli-Empfänger. In einem kleinen, begrenzten Bereich hat der Behaviorismus allerdings große Erfolge erzielt: beim Trainieren von (körperlichen) Fertigkeiten.

Zwar ging das Üben von körperlichen Verhaltensweisen oder Fähigkeiten mit der theoretischen Negation geistiger Prozesse vor sich, doch gelang es der behavioristischen Pädagogik, „spontane“ Reaktionen anzuerziehen. Ein typisches Beispiel ist das Sprachlabor, das nach dem Muster von Drill & Practice konzipiert ist. Es wird so lange geübt, bis auf einen bestimmten Stimulus quasi automatisch eine bestimmte Reaktion erfolgt. Andere Beispiele solcher Übungsmethoden sind die Fingerübungen beim Lernen von Maschinschreiben, Klavierspielen oder Jonglieren.

Wir erwähnen bewußt solche scheinbar trivialen Tätigkeiten, weil wir der Auffassung sind, daß sie ein bestimmtes Spektrum von Fähigkeiten abdecken, die in den neueren Lerntheorien meistens unberücksichtigt bleiben: die automatische, scheinbar gedankenlose, gewandte Ausführung einer Fertigkeit, das Erlernen einer Art von routinierter Geschicklichkeit, das Einüben von sogenannten „skills“.

Der Kognitivismus

Das moderne und heute wahrscheinlich dominante Paradigma des Kognitivismus betont im Gegensatz zum Behaviorismus die inneren Prozesse des menschlichen Hirns und versucht, diese Prozesse zu unterscheiden, zu untersuchen und miteinander in ihrer jeweiligen Funktion in Beziehung zu setzen. Für den Kognitivismus ist das menschliche Hirn keine „black box“ mehr, bei der nur Input und Output interessieren, sondern es wird versucht, für die dazwischenliegenden Verarbeitungsprozesse ein theoretisches Modell zu entwickeln (s. Abb. 1, Mitte).

Es gibt eine ganze Reihe unterschiedlicher Ausprägungen des Kognitivismus, auf die wir hier nicht näher eingehen können.⁵ Grob gesagt ist ihnen jedoch allen gemeinsam, daß der Prozeß des menschlichen Denkens als ein Prozeß der Informationsverarbeitung gesehen wird. Auf dieser sehr abstrakten Ebene sind menschliches Hirn und Computer äquivalent: Beide sind „Geräte“ zur Informationsverarbeitung. Daher gibt es auch einen engen Zusammenhang

zwischen Kognitivismus und dem Forschungsprogramm der „Künstlichen Intelligenz“.⁶

Obwohl sich alle Kognitivisten einig sind, daß wir die internen Prozesse des menschlichen Hirns zu studieren haben, stehen sie vor dem Problem, daß niemand in der Lage ist, den Informationsfluß im Hirn direkt zu beobachten. Selbst wenn wir in der Lage wären und es moralisch vertretbar wäre, menschliche Hirne zu öffnen, könnten wir aus der hochkomplexen und verteilten Neuronenaktivität nicht viel entnehmen. So müssen die Kognitivisten „leider“ – wie alle anderen Psychologen auch – ihre Schlüsse aus indirekter Evidenz ziehen. Eine der wichtigsten Methoden dabei ist es, adäquate Wissensrepräsentationen und Algorithmen zu finden, mit denen die Eigenheiten menschlicher Denkprozesse wie Erinnern, Vergessen oder Lernen erklärt werden können. Ein geeignetes Medium für die Untersuchung und Beforschung dieser Repräsentationen und Prozeduren ist der Computer, der damit nicht nur ein Modell, sondern auch eine wesentliche Forschungsmethode des Kognitivismus darstellt. Wenn sich ein Computerprogramm wie ein Mensch verhält, dh. wenn es zB. ähnliche Zeitunterschiede bei der Lösung verschieden schwieriger Aufgaben aufweist oder die selben Fehler wie ein Mensch macht, so wird dies als Evidenz dafür angesehen, daß die angenommenen Repräsentationen und Prozeduren psychologisch real sein könnten.

Im Gegensatz zum Behaviorismus wird das menschliche Hirn nicht mehr als bloß passiver Behälter gesehen, sondern es wird ihm eine eigene Verarbeitungs- und Transformationskapazität zugestanden. Individuellen Unterschieden in der Ausübung gewisser Funktionen wird damit weit weniger Bedeutung zugemessen, als dies noch im Behaviorismus der Fall war.

Die Art des Lernens, die im Kognitivismus im Mittelpunkt der Forschung steht, ist das Problemlösen: Es geht nicht mehr darum, auf gewisse Stimuli die (einzig) richtige Antwort zu produzieren, sondern weit allgemeiner darum, richtige Methoden und Verfahren zur Problemlösung zu lernen, deren Anwendung dann erst die (eine oder mehreren) richtigen Antworten generiert. Aus der Sichtweise vernetzter Systeme geht es auch nicht mehr darum, die eine richtige Antwort im Sinne einer Maximierung zu finden, sondern es können vielmehr verschiedene Verfahren zu optimalen Ergebnissen führen.

Eine Kritik am Kognitivismus sehen wir in der relativ geringen Rolle des Körpers. Historisch als Reaktion gegen den Behaviorismus entstanden – weshalb oft von der „kognitiven Revolution“ in der Psychologie gesprochen wird⁷ – scheint uns hier eine gewisse Überreaktion stattgefunden zu haben. So wie der Behaviorismus das körperliche Verhalten überbetont, so findet im Kognitivismus unserer Auffassung nach eine zu starke Konzentration auf geistige Verarbeitungsprozesse statt. Aus diesem Grund hat das kognitivistische Paradigma es schwer, körperliche Fertigkeiten und Fähigkeiten zu erklären bzw.

zu simulieren. „Künstliche Intelligenz“ ist relativ brauchbar beim Lösen abstrakter Probleme (zB. Schach), bei menschlichen Alltagsaufgaben (zB. gehen, Gesichter erkennen) gibt es nach wie vor große Probleme.

Aber selbst in seinem zentralen Anwendungsbereich der Verfahren und Prozeduren zur Problemlösung scheint auch das Lernmodell des Kognitivismus noch zu einfach und zu einseitig zu sein. Es geht davon aus, daß das Problem objektiv gegeben ist, repräsentiert werden kann und bloß noch seiner Lösung harret. Dies ist jedoch nicht der Fall: Probleme müssen erst einmal gesehen (konstruiert oder erfunden) werden, damit sie gelöst werden können. Gerade dieser Prozeß der Problemgenerierung wird sowohl in unserer Ausbildung als auch im Kognitivismus vernachlässigt.

Der Konstruktivismus

Dieses Manko versucht der Konstruktivismus zu umgehen. Er lehnt die Gültigkeit einer sogenannten „objektiven“ Beschreibung (Repräsentation) oder Erklärung der Realität ab. Um keine Mißverständnisse aufkommen zu lassen: Die Konzeption einer außerhalb unseres Geistes existierenden Realität „da draußen“ wird nicht verneint, sondern nur, daß diese Realität unabhängig, dh. objektiv wahrgenommen werden kann. Realität wird als eine interaktive Konzeption verstanden, in der Beobachter und Beobachtetes gegenseitig und strukturell miteinander gekoppelt sind. Sowohl Relativitätstheorie als auch Quantenmechanik sind Beispiele dafür, daß unsere Wahrnehmung beobachterrelativ ist. Auch neurophysiologische Erkenntnisse zeigen, daß unsere Sinnesorgane nicht nur die Außenwelt abbilden,⁸ sondern im Verarbeitungsprozeß bereits strukturieren und „interpretieren“.⁹

Für den Konstruktivismus ist der menschliche Organismus ein zwar energetisch offenes, aber informationell geschlossenes System, das auf zirkulärer Kausalität und Selbstreferentialität beruht und autonom strukturdeterminiert ist. Autopoietische Systeme, wie solche Systeme nach Maturana genannt werden, haben keinen informationellen Input und Output. Sie stehen zwar in einer energetischen Austauschbeziehung mit ihrer Umwelt, aber sie erzeugen selbst diejenigen Informationen, die sie im Prozeß der eigenen Kognition verarbeiten. (s. Abb 1, rechts)

Lernen wird im konstruktivistischen Ansatz daher als ein aktiver Prozeß gesehen, bei dem Menschen ihr Wissen in Beziehung zu ihren früheren Erfahrungen in komplexen realen Lebenssituationen konstruieren. Im praktischen Leben sind Menschen mit einzigartigen, nicht vorhersehbaren Situationen konfrontiert, deren Probleme nicht evident sind. Im Gegensatz zum Kognitivismus steht im Konstruktivismus daher nicht das Lösen bereits existierender, bloß zu entdeckender Probleme im Vordergrund, sondern das eigenständige Generieren von Problemen. Probleme bieten sich nicht von selbst

an, sondern müssen erst in verwirrenden, unsicheren, unvorhersehbaren und zum Teil chaotischen Situationen „erfunden“ werden. Die Leistung von Experten besteht gerade darin, daß sie einer unsicheren instabilen Situation durch die Implementierung einer gewissen Sichtweise (= Problemsicht) erst Sinn geben.

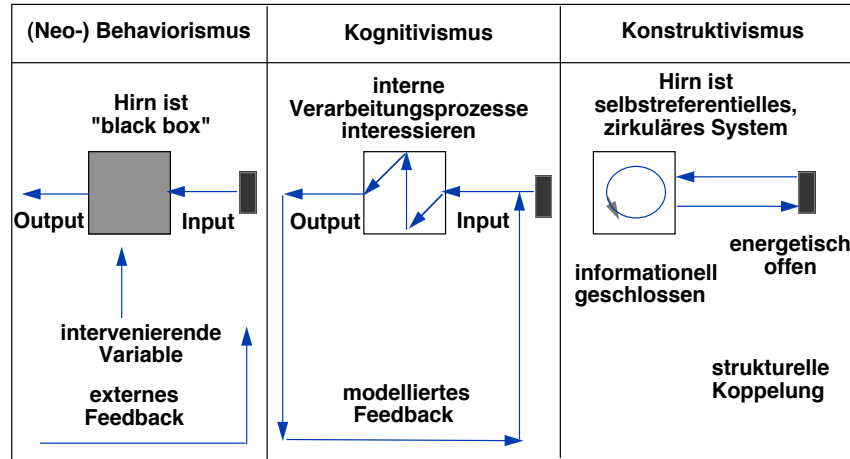


Abb. 1: Drei Theorien des Lernens (schematisch)

Lehrer - Tutor - Coach

Die verschiedenen Vorstellungen über den Lernprozeß bedeuten auch eine unterschiedliche Sichtweise des Lehrens, dh. der Art und Weise, wie Wissen und Fertigkeiten vermittelt werden sollen:

Im Behaviorismus gilt es, durch einen geeigneten Input die „richtige“ Reaktion zu erzeugen. Ein entsprechendes Feedback, das von außen konstruiert wird, soll diesen Prozeß unterstützen. Daraus ergibt sich ein autoritäres Lehrmodell: Der Lehrer „weiß“, was richtig und falsch ist, und muß Mittel und Wege finden, es dem Schüler „beizubringen“.

Im Kognitivismus nivelliert sich dieses Gefälle etwas: Lernende lösen relativ eigenständig die ihnen dargebotenen Probleme. Die Aufgaben sind aber bereits „didaktisch bereinigt“, dh. scheinbar irrelevante Faktoren werden beseitigt, die Situation wird vereinfacht und auch bereits als Problem präsentiert. Der Tutor begleitet den Lösungsprozeß, er beobachtet, aber hilft gegebenenfalls auch mit.

Im Konstruktivismus steht die eigene, persönliche Erfahrung im Vordergrund. Lernende sollen komplexe Situationen bewältigen und müssen dabei erst die notwendigen Aufgaben- und Problemstellungen generieren. Der Lehrer nimmt die Rolle eines „Coaches“ oder Moderators ein und verliert damit auch viel von seiner scheinbaren Unfehlbarkeit. So wie zB. ein Spielertrainer im Fußball auch oft danebenschießt, ja nicht einmal der beste Spieler seiner Mannschaft sein muß, so wird auch die Lehrkraft einer Kritik der praktischen Situation ausgesetzt. Ihre lehrende Funktion nimmt sie einerseits aufgrund ihrer großen Erfahrung wahr,

andererseits aber durch ihre Fähigkeit, andere beim Bewältigen von komplexen Situationen unterstützen zu können.¹⁰

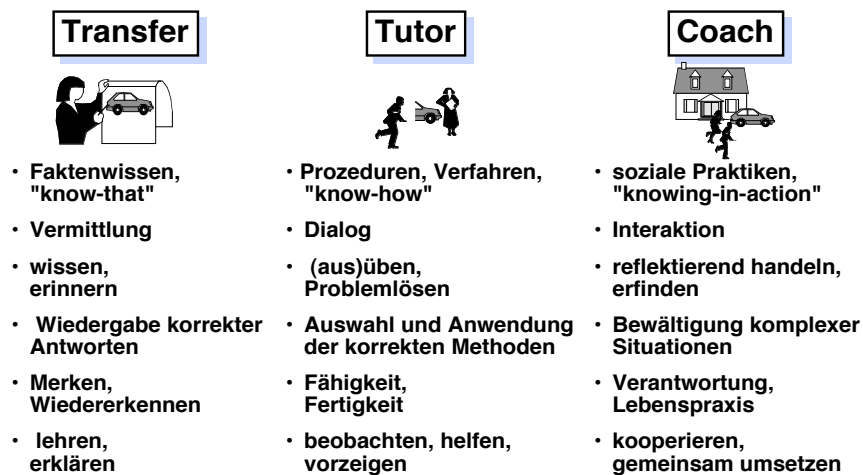


Abb. 2: Drei Modelle des Lehrens

2. Ein heuristisches Lernmodell

Lernparadigma versus Lernparadogma

Unter „Paradigma“ wird in der Wissenschaftstheorie die Verpflichtung auf ein gemeinsames System von Theorien verstanden.¹¹ Es umfaßt

- gemeinsame „metaphysische“ Auffassungen, die die bevorzugten Modelle, Analogien und Metaphern liefern (zB. das „Hirnmodell“, wie Lernen „funktioniert“, etc.)
- gemeinsame symbolische Verallgemeinerungen (Formeln)
- gemeinsame (Wissenschafts-)Werte (zB. die Rolle von Erkenntnis, Wahrheit, innere und äußere Widerspruchsfreiheit, gesellschaftliche Nützlichkeit von Wissenschaft etc.)
- vor allem aber auch gemeinsame Musterfälle, „typische“ Problemlösungen, anerkannte „Schul“beispiele.

Welche dieser drei Lernparadigmen ist nun das „richtige“, das „wahre“, bildet die Realität korrekt ab? Gerade weil wir dem konstruktivistischen Ansatz nahestehen, glauben wir, daß die Frage in dieser Formulierung nicht zulässig ist. Das würde ja gerade der Kritik des Konstruktivismus an der Abbildtheorie, wonach eine vom Subjekt unabhängige Realität in Wahrnehmung und Erkenntnis widerspiegelt dh. verdoppelt wird, widersprechen. Der Konstruktivismus muß diesen Leitsatz auch auf sich selbst anwenden, andernfalls würde er gerade den kreativen Akt der Wahrnehmung und Erkenntnis negieren und von einem hilfreichen *Paradigma* zu einem *Paradogma* verkommen.¹²

Es gibt in der Wissenschaft keine außerhalb der menschlichen Erkenntnis stehende objektive Instanz, kein „Auge Gottes“, wodurch eindeutig festgelegt werden kann, was richtig und falsch ist. Vielmehr müssen wir uns die Erkenntnis eher als den Weg eines Blinden in einem Wald vorstellen,¹³ der zwar mit der Realität „zusammenstößt“, dh. merkt, was möglich ist oder nicht, trotzdem aber nie den gesamten Wald erkennen kann. Statt von einem Abbild der Realität mit den zugehörigen Begriffen von wahr und falsch sprechen wir daher besser von Gangbarkeit, Machbarkeit, Möglichkeit oder Viabilität. „Viele Wege führen nach Rom“: Der Blinde kann auf verschiedene Art und Weise den Wald durchqueren, und jeder dieser Wege hat seine eigenen Charakteristika. Manche sind kurz (effektiv), bei anderen müssen Höhen erklommen oder Flüsse durchwaten werden.

Dieser Analogie entspricht es, daß alle drei der hier skizzierten Lerntheorien für bestimmte Teile des Weges (= Lernen) brauchbar sind. Dies wird vor allem dann deutlich, wenn wir Lernen oder Wissen nicht nur als statische Angelegenheit, sondern als dynamischen Entwicklungsprozeß betrachten. Wir gelangen damit zu einer differenzierten Sichtweise des Lernprozesses, in dem mehrere Stufen, Lernziele und Inhalte unterschieden werden. Das nachfolgende Lernmodell, das fünf Stufen vom Neuling bis zum Experten kennt, wurde von den Brüdern Dreyfus¹⁴ anhand der Sichtung vieler empirischer Studien entwickelt.¹⁵

Stufe 1 – Neuling: Der Neuling ist mit der zu lernenden Sache noch nicht vertraut und hat auch noch keine diesbezüglichen Erfahrungen. Er muß sich zuerst einige grundlegende Tatsachen und Regeln aneignen. Er kann diese Regeln aber erst unhinterfragt oder von außen gesteuert anwenden, weil er noch nicht selbst entscheiden kann, welche in einer gegebenen Situation zutreffend ist.

Stufe 2 – (fortgeschrittene) Anfängerin: Die Anfängerin beginnt, verschiedene Fälle und Situationen wahrzunehmen und die Regeln gemäß diesem Kontext anzuwenden. Die Fertigkeit wird nun mit mehr Varianten und abhängig vom Einzelfall ausgeübt, aber die Anfängerin kann noch nicht selbständig handeln.

Stufe 3 – Kompetenz: Die kompetente Person kennt die relevanten Fakten und Regeln und kann darüber hinaus bereits in einem breiten Spektrum von Fällen entscheiden, wann sie anzuwenden sind. Die kompetente Person kann daher bereits auf ihrem Gebiet selbständig handeln und alle auftretenden Probleme lösen. Kompetenz bedeutet auch bereits eigene Verantwortung, das Einnehmen eines eigenen Standpunktes und eine selbstkritische Reflexion. Allerdings werden die Entscheidungen oft mühsam und schwierig getroffen und sind noch weit von der beinahe mühelos und spontan erscheinenden „Intuition“ der „wahren Experten“ entfernt.

Stufe 4 – Gewandtheit: Auf dieser Stufe geht der Lernende von der analytischen Erfassung des Problems mit anschließender schrittweiser Anwendung von Lösungsverfahren allmählich über zu einer ganzheitlichen Wahrnehmung der

Situation. Der Fall scheint sich schließlich von selbst und schon mit seiner Lösung in seiner Gestalt dem Gewandten zu präsentieren.

Stufe 5 – Expertin: Die Expertin perfektioniert die Gestaltwahrnehmung, indem ihr die verschiedenartigsten komplexen Situationen als „Fälle“ vertraut erscheinen. Das geschieht, indem die Fähigkeit zur Wahrnehmung (bzw. Konstruktion) von Familienähnlichkeiten zwischen unterschiedlichen Erscheinungen gesteigert wird. Die „Kunst“ der Könnlerin manifestiert sich darin, daß sie aus amorphen, unübersichtlichen Situationen „Fälle“ konstruiert, die ihre eigene Lösung bereits beinhalten.

Lernen ist ein vielschichtiger Prozeß, der gegenüber dieser schematischen Darstellung noch dadurch kompliziert wird, daß diese Stufen von den Grundelementen bis zur komplexen Situation keineswegs geordnet nacheinander ablaufen (müssen). Es scheint aber so, daß Lernende selbst ihren Lernprozeß in diese Richtung steuern und sich zB. als Anfänger aus einer komplexen Situation erst einmal Elemente gerade jener Komplexität herausholen, der sie auf diesem Stand gewachsen sind (Komplexitätsreduktion).

Um deutlich zu machen, daß es sich bei der von uns vertretenen Vorstellung des Lernprozesses nicht um ein starres Ablaufmodell handelt, stellen wir die Zusammenhänge dreidimensional dar.¹⁶ Wir wollen damit einer monokausalen Auffassung des Lernens entgegenwirken (Abb. 3). Das 3D-Modell ist nicht als Entscheidungs- oder gar Vorgehensmodell zu verstehen. Es soll vielmehr als eine heuristische Hilfe in zweierlei Weise dienen: Einerseits können soziale Lehr- und Lernsituationen aus den verschiedenen Perspektiven der Handlungs-, Lehr-Lern- und Organisationsebene untersucht werden. Das Modell läßt sich aus verschiedenen Blickpunkten betrachten, drehen und wenden. Je nach Standpunkt und Blickrichtung erscheinen die Zusammenhänge in anderen Verbindungen. Andererseits hilft das Modell auch, die Fragestellungen für ein Aus- und Weiterbildungsdesign und für die Gestaltung von Lernsituationen zu konkretisieren: Was soll vermittelt werden? Auf welcher Stufe der Handlungsfähigkeit? Mit welcher Lehr- und Organisationsform? Welche Rolle spielen die Lehrenden (Lehrer, Tutor oder Coach)?

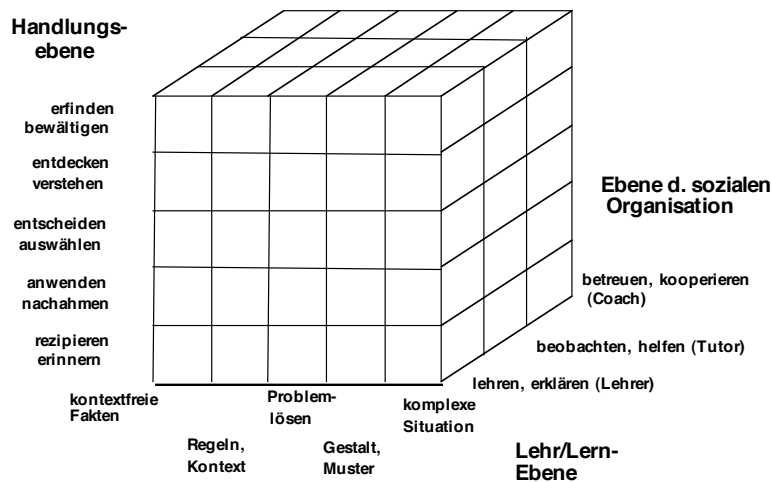


Abb. 3: Ein heuristisches Lehr- und Lernmodell

3. Fallstudie

In unserer Forschung haben wir uns vor allem mit einer Sonderform von Lernsituationen beschäftigt, nämlich mit dem Einsatz interaktiver Medien (Lernsoftware, Internet). In mehreren Arbeiten¹⁷ haben wir die Anwendung des heuristischen Lehr- und Lernmodells auf die Gestaltung und Evaluation mediengestützter Lernsituationen entwickelt. Wir haben daher eine Fallstudie aus diesem Bereich gewählt, um die praktische Umsetzung des Lernmodells zu illustrieren.

Die Erfindung des Herzens

Das im folgenden diskutierte Beispiel aus der Medizinausbildung ist die retrospektive Analyse jahrelanger Entwicklungen einer Simulationsssoftware. Es handelt sich um ein 3D-Trainingssystem für die kardiologische Ultraschalldiagnostik.¹⁸

Ausgehend von ähnlichen lerntheoretischen Vorstellungen wie wir wurde von der GMD¹⁹ eine neue Art von multimedialer Lernsoftware konzipiert, die nicht beim Vermitteln von Fakten- und prozeduralem Wissen (Know That und Know How) stehenblieb, sondern vor allem auch die höheren kognitiven (Gestaltwahrnehmung, Mustererkennung) und sensumotorischen Fertigkeiten trainieren sollte. Dieser neue Typus von Software wurde aus interaktionsanalytischen Untersuchungen von Experten der Echokardiologie entwickelt und Enabling-System („Befähigungssystem“) genannt.

Im Rahmen eines interdisziplinär angelegten Prototyping wurden Interviews mit kardiologischen Experten durchgeführt. Das Ziel war es, interaktive Computervisualisierungen für die medizinische Ausbildung zu entwickeln, die die

Lücke zwischen einer vorklinischen überwiegend theoretischen und einer praxisorientierten klinischen Ausbildung schließen hilft.

Das zentrale Problem des Anfängers besteht im Erlernen der manuellen Steuerung der Schallsonde unter Ausnutzung des aktuell dargestellten Ultraschallbilds. Um diese Auge-Hand-Steuerung auszuführen, muß der Untersucher verstehen, welche Herzteile aufgrund der momentanen Schallkopfstellung beschallt werden. Dazu benötigt er eine detaillierte bildlich räumliche Vorstellung über den Aufbau und die Lage des Herzens. Erst mit Hilfe dieser mentalen, räumlichen Vorstellung wird es ihm möglich zu antizipieren, auf welche Weise sich das Ultraschallbild verändert, wenn er bestimmte Handbewegungen ausführt.

Das Problem besteht nun darin, daß noch niemand ein voll funktionsfähiges Herz untersucht und analysiert hat. Beim Anschluß der Herz-Lungenmaschine fällt das Herz zusammen, dh. ein pumpendes 3D-Herz kann nur aus einem realen (aber toten) 3D-Herzen und der Analyse von – für den Laien – kryptischen 2D-Bildern aus der Echokardiografie erschlossen werden.

Wir wollen diesen Aspekt der „Konstruktion des Herzens“ anhand eines Experteninterviews²⁰ illustrieren, in dem der Experte (E) Anweisungen gibt, wie das Zusammenspiel zwischen Chordae (Bändern), Papillarmuskeln und Herzkammer, das verhindert, daß die Herzklappe sich auf die „falsche“ Seite öffnet, im Modell darzustellen sei.

E: Es könnte theoretisch sein, daß – wenn die Klappe aufgeht – die Chordae erschlaffen. Verstehen Sie, was ich meine?

N: Ja. Natürlich, ja, ja.

E: Daß sie, daß sie durchhängt. So'n bißchen, daß man sie so'n bißchen krümelig zeigt, wenn die aufgeht. Aber die Chordae sind nun nicht dafür da, – sozusagen – in Diastole was zu steuern, nur in Systole. Aber sobald die Klappe beginnt, sich zu schließen, ja?, werden die Chordae wieder gespannt.

N: Mhm, mhm.

E: Und dann bewegen sich die Papillarmuskeln in dem Maße, in dem sich die Chordae bewegen. Mit anderen Worten, die Ventrikel wird kürzer, dadurch wird der Abstand... äh die Ventrikel wird kürzer, die Klappe muß zubleiben. Theoretisch würde die Klappe jetzt nach hinten durchschlagen, weil die Chordae gleichlang bleiben muß. Mit anderen Worten, in dem Maß, in dem die Ventrikel kürzer wird, müssen die Papillarmuskeln auch kürzer werden, um das Gespann zu halten.

N: Ja

E: Wichtig ist, daß in Diastole die Chordae schlaff sind. Wie so'n Zügel am Pferd, der ganz locker ist, 'n bißchen wellig würd ich die zeichnen in Diastole. Das wär toll. Dann ist die Sache also echt realistisch. Hat keiner so richtig gesehen bisher, aber so muß man sich das vorstellen.

N: Mhm.

E: Man sieht halt im Echo, wenn man in kurzer Achse ist, sieht man die Chordae als Punkte. Sieht man, wie die hin- und herfliegen, flippeln in Diastole, in Systole sind die ganz stramm.

Der Echosimulator (EchoSim)

Das Lernsystem EchoSim unterstützt Medizinstudenten dabei, die praktische Durchführung von Ultraschalluntersuchungen am Herzen zu erlernen. In der simulierten Untersuchungssituation üben die Lernenden die Handhabung des Schallkopfes und sehen die damit erzeugten Ultraschallbilder. Zusätzliche grafische Hilfsmittel wie Umrißlinien (Abb. 4a) und die parallele Darstellung der Schallebene am 3D-Herzmodell (Abb. 4b) unterstützen beim Aufbau mentaler Modelle, die für die Erzeugung und Interpretation realer Ultraschallbilder notwendig sind. Die tutoriellen Komponenten des Systems demonstrieren die Durchführung von Untersuchungsschritten zu speziellen medizinischen Problemen, die auch gleich in der Simulation ausprobiert und trainiert werden können.

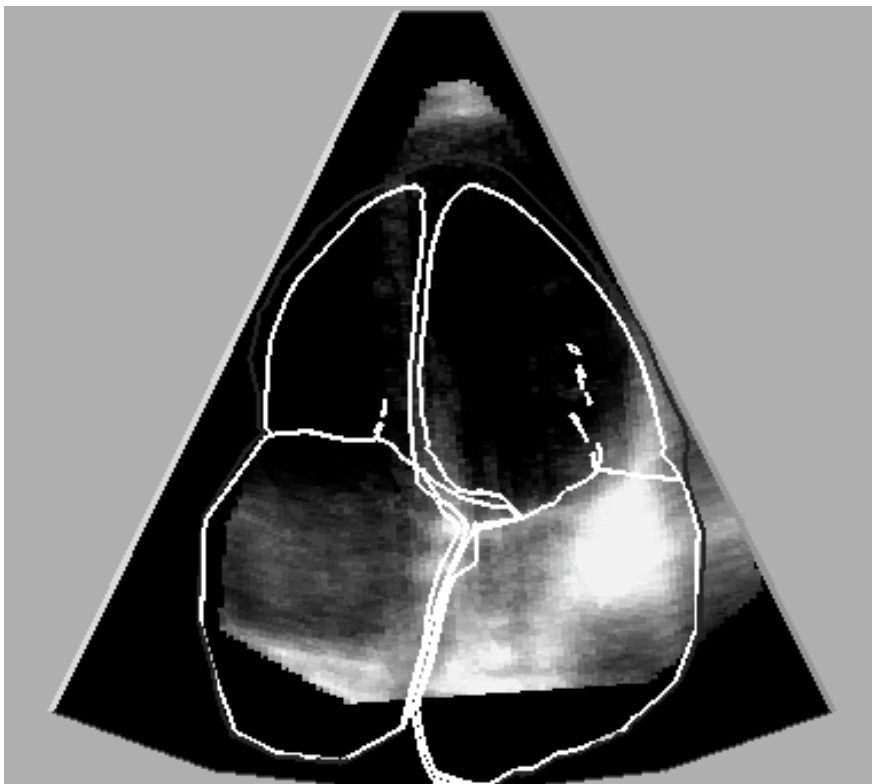


Abb. 4a: Ultraschallbild mit Umrißlinien

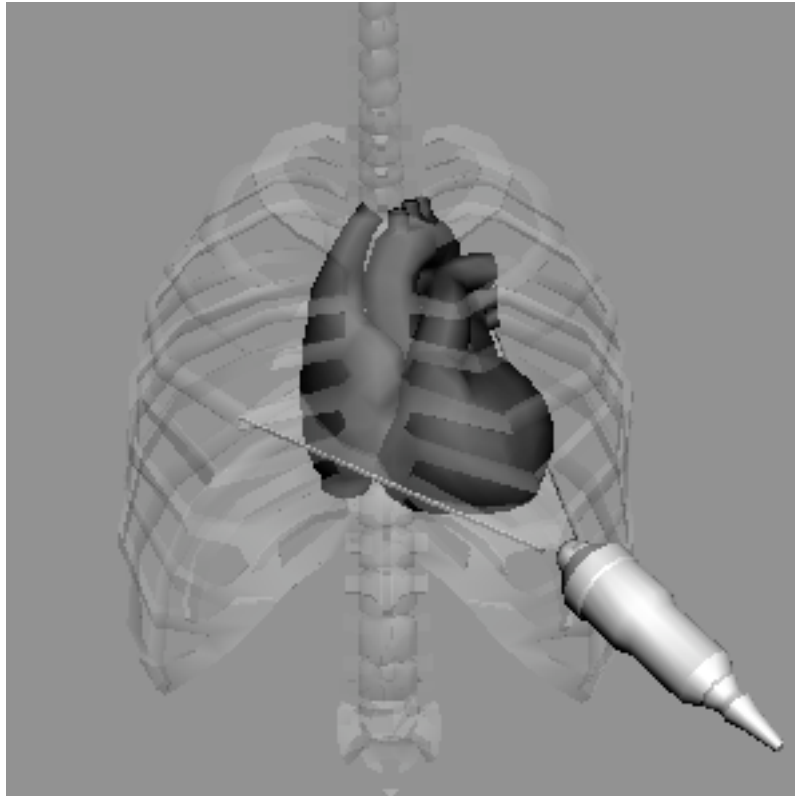


Abb. 4b: Darstellung der Schallebene im 3D-Herzmodell

Im Gegensatz zu traditioneller Software, die überwiegend die Lernstufen 1 bis 3 unseres Modells abdeckt, zielen Enabling-Systeme wie EchoSim vor allem auf die Stufen 4 und 5 ab. Zu Anschauungszwecken bringen wir jedoch aus dem Bereich der Echokardiografie auch Beispiele der ersten 3 Stufen, auch wenn diese Aufgaben möglicherweise von anderer Software adäquater gelöst werden. (Die Ziffern in der Klammer kennzeichnen die entsprechenden Zellen – x,y,z – in unserem heuristischen Modell.)

Stufe 1: Neuling: „know that“/erinnern:

Im Modul „EchoTutor“ können Erklärungen von Fakten und medizinischen Termini abgerufen werden (1,1,1)

Stufe 2: Anfänger: „know how“/erinnern:

Im „EchoTutor“ werden die einzelnen Schritte der Durchführung einer Untrallschalluntersuchung der Standardansichten sowie der mentalen Rotation durch eine Animation vorgezeigt (2,1,1). Auch wenn hier bereits Arbeitsweisen und Verfahren gelernt werden, handelt es sich doch immer noch um theoretisches Wissen: um „Wissen,wie“, das nicht mit „Können“ zu verwechseln ist.²¹

Stufe 3: Kompetenz: Problemlösen/auswählen, anwenden, entscheiden

Der Programmmodul „EchoSim“ trainiert mittels eines Dummy-Patienten, dh. eines neben dem Computer liegenden Plastikmodells, das Positionieren des

Ultraschall-Transducers (Abb. 5). Damit soll die Auge-Hand-Koordinierung praktisch geübt werden, um vom theoretischen „Wissen, wie“ zum „Können“ zu gelangen. Im Programm wird die vom Schallkopf an das Programm übermittelte Position, Drehwinkel, Rotation etc. in Animationen übersetzt. Durch dieses ständige visuelle Feedback wird der Kalibrierungsprozeß, der nicht mehr bloß theoretisch zu erlernen ist, körperlich angeeignet. Diese Stufe verlangt bereits die selbständige Entscheidung aus einer Menge von praktischen Erfahrungen bzw. Untersuchungsstrategien. Mit dem Echosimulator „EchoSim“ können typische diagnostische Sichtweisen und Ultraschalldarstellungen am praktischen Anschauungsmaterial geübt werden. Der Lernende beginnt nicht nur erste eigene Erfahrungen zu sammeln, sondern auch ein Repertoire an Lösungsmöglichkeiten (Standardsichten) aufzubauen, der Problematik gemäß auszuwählen und auszuführen. (3,2-3,2)



Abb. 5: Training der Ultraschalluntersuchung mit „EchoSim“

Stufe 4: Gewandtheit: Gestalt- und Mustererkennung/anwenden, auswählen, entscheiden, entdecken, bewältigen

Im Modul „4D Heart Explorer“ wird Studenten die Möglichkeit gegeben, die dynamische Anatomie des Herzens zu explorieren. Im Programm lassen sich detailreiche Visualisierungen des schlagenden Herzens in Form interaktiver Animationen (QuickTime-Movies) aufrufen. Die im Programm vorgesehene visualisierte Animation des Herzens, die sowohl Rotation, verschiedene Darstellungsmodi als auch unterschiedliche Geschwindigkeiten der Animation erlaubt, unterstützt die Studenten beim Aufbau mentaler Modelle der Herzfunktion. Durch die Wahl verschiedener Transparenzgrade und Detaildarstellungen können Außen- und Innenstruktur des Herzens, die Kammer-, Klappen- und Hämodynamik (Blutfluß) intuitiv erkundet werden.

Durch das Aufnehmen der generierten animierten Sequenzen können Studenten ihre Aktivitäten nicht nur im Ergebnis (Bilder), sondern auch als Prozeß analysieren und evaluieren. Die Aufnahmen können in verschiedenen Darstellungsmodi und aus verschiedenen Winkeln betrachtet und eingehend untersucht werden. Besondere typische Fehler, wie zB. die Vermischung von Schwenks und Drehungen, die zu einem Verlust der räumlichen Orientierung führen, können so systematisch bearbeitet und überwunden werden. Auf dieser Stufe stehen bereits der Gesamtzusammenhang („Gestaltwahrnehmung“) und das implizite, dh. nicht verbalisierte Wissen²² im Vordergrund (Gewandtheit). (4,2-5,2-3).

Stufe 5: Expertise: Familienähnlichkeit/konstruieren, handeln, entwickeln, erfinden. In „EchoSim“ sollen auch einmal Ultraschalldaten von realen Patienten eingespielt werden. Damit wird der Aufbau eine Datenbank möglich, die wichtige pathologische Herzmodelle in 3D-Darstellung mit echten Patientendaten kombiniert. Studenten können so in einer Umgebung lernen, die äußerst praxisnahe ist und nicht nur ein abstraktes „Normherz“ zur Grundlage hat. Studenten sollen lernen, aus vielen – im Detail sehr unterschiedlichen Fällen – die ihnen innewohnenden Ähnlichkeiten (Familienähnlichkeiten) herauszuarbeiten. Familienähnlichkeit ist die Bezeichnung für die Erscheinung, daß wir in der Lage sind, Kategorien zu bilden, die nicht durch Mengen gemeinsamer Eigenschaften definiert sind. Die zusammengehörigen Dinge ähneln sich vielmehr wie die Mitglieder einer Familie, wobei der Fall eintreten kann, daß entfernte Verwandte (dh. Extremfälle) kein einziges Merkmal gemeinsam haben und trotzdem wie über viele Glieder eine Kette hinweg zusammengehören.²³ Der Übergang vom Lernenden zum Könnler auf dieser Stufe (Expertentum) ist auch in der Software fließend, da sie auf dieser Ebene zum Werkzeug für die Diagnose wird (bzw. weiterentwickelt werden soll). (5,3-5,3)

Lernen am Modell – Modelle zum Lernen

Auf dieser Stufe angekommen, werden die Lernenden schließlich auch die Grenzen der Softwaremodelle erkennen. Was ihnen im Lernprozeß als „das Herz“ schlechthin und als Realität erschienen ist, entpuppt sich aufgrund der Vielfalt der Erfahrungen und der nun erlangten Selbständigkeit in der Problemfindung als eine Illusion. Denn wie zu Beginn dieser Falldarstellung gesagt, beruht die Simulation eines Herzens beim lebenden Menschen auf den mentalen Modellen der Ärzte und Fachleute (also auf Erfindungen). Die Software kann das Herz nur so konstruieren, wie dies die Experten für sich und ihre Studenten tun.

Der Student wird, wenn er langsam zum Experten reift, erkennen, daß es sich hier um eine Erfindung handelt – und vielleicht Anlaß haben, sie in Frage zu stellen und ihr eine bessere Erfindung entgegenzuhalten. Der Zyklus des Lernprozesses vom Neuling zum Experten wurde vollständig durchlaufen und kann von neuem beginnen: Erfinden – Lernen – Erfinden.

Anmerkungen:

- ¹ Heinz von Foerster, „Über Konstruieren von Wirklichkeiten“, in: S. J. Schmidt (Hrsg.), *Wissen und Gewissen*, Frankfurt/M.: Suhrkamp 1993, S. 25-49.
- ² Heinz von Foerster, „Erkenntnistheorien und Selbstorganisation“, in: S. Schmidt (Hrsg.), *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*. 2. Aufl. Frankfurt/M.: Suhrkamp, 1987, S. 133-158.
- ³ Gregory Bateson, *Ökologie des Geistes*. 2. Aufl. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1988.
- ⁴ vgl. John Broadus Watson, *Behaviorism*. New York: Norton 1930. B. F. Skinner, *The Behavior of Organisms. An Experimental Analysis*. New York: Appleton-Century-Crofts 1938. *The Technology of Teaching*. New York: Appleton-Century-Crofts 1968.
- ⁵ zu den verschiedenen Richtungen des Kognitivismus vgl. Peter Baumgartner, Sabine Payr (Hrsg.), *Speaking Minds. Interviews with Twenty Eminent Cognitive Scientists*. Princeton, NJ: Princeton University Press 1995.
- ⁶ Um nur einige „klassische“ Beispiele zu nennen: Allen Newell, Herbert Simon, „GPS: A Program That Simulates Human Thought“, in: E. A. Feigenbaum, J. Feldman (Hrsg.), *Computers and Thought*, New York: McGraw-Hill, 1963, S. 279-296. Donald A. Norman, David E. Rumelhart and the LNR Research Group, *Explorations in Cognition*, San Francisco: Freeman 1975. Roger C. Schank, *Conceptual Information Processing*, Amsterdam: North Holland 1975. Roger C. Schank, Robert P. Abelson, *Scripts, Plans, Goals and Understanding*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum 1977. Roger N. Shepard, Lynn A. Cooper, *Mental Images and their Transformation*, Cambridge, MA: MIT Press 1982. Zur Einführung und Übersicht zB. John R. Anderson, *Kognitive Psychologie. Eine Einführung*, Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft 1988. Howard Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, New York: Basic books 1985. Neil A. Stillings, Mark H. Feinstein, Jay L. Garfield et al., *Cognitive Science. An Introduction*. Cambridge, MA: MIT Press 1987. Zur Kritik an der Künstlichen-Intelligenz-Forschung: Hubert L. Dreyfus, *Die Grenzen der künstlichen Intelligenz. Was Computer nicht können*. Königstein/Ts.: Athenäum 1985. John R. Searle, *Geist, Hirn und Wissenschaft. Die Reith Lectures 1984*. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1986. Francisco J. Varela, *Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik. Eine Skizze aktueller Perspektiven*. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1988.
- ⁷ Howard Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, a. a. O.
- ⁸ Michael Polanyi, *Personal Knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy*, Chicago: University of Chicago Press 1962.
- ⁹ vgl. zB. Humberto R. Maturana. Francisco Varela, *Der Baum der Erkenntnis*. Heinz von Foerster, „Erkenntnistheorien und Selbstorganisation“, a. a. O. Gregory Bateson, *Geist und Natur. Eine notwendige Einheit*. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1987. *Ökologie des Geistes*, a. a. O.
- ¹⁰ Donald A. Schön, *The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action*. New York: Basic Books 1983. *Educating The Reflective Practitioner. Toward a New Design for Teaching and Learning*. San Francisco: Jossey-Bass 1987.
- ¹¹ Thomas S. Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1976.
- ¹² Josef Mitterer, *Das Jenseits der Philosophie. Wider das dualistische Erkenntnisprinzip*. Wien: Passagen 1992.
- ¹³ Ernst von Glasersfeld, „Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs von Objektivität“, in: H. v. Foerster, E. v. Glasersfeld, P. M. Hejl et al. (Hrsg.), *Einführung in den Konstruktivismus*, München: Piper 1992, S. 9-39.
- ¹⁴ Hubert L. Dreyfus, Stuart E. Dreyfus, *Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition*. Reinbek b. Hamburg: Rowohlt 1987. Vgl. die ausführliche Darstellung und Diskussion in: Peter Baumgartner, *Der Hintergrund des Wissens*. Klagenfurt: Kärntner Druck- und Verlagsgesellschaft 1993.
- ¹⁵ Um hier geschlechtsspezifische Auslegungen ebenso zu vermeiden wie schwerfällige Schreibweisen, wird in dieser Darstellung beliebig zwischen der weiblichen und männlichen Form hin- und hergewechselt.
- ¹⁶ Vgl. die umfassende Darstellung in Peter Baumgartner, Sabine Payr, *Lernen mit Software*. Innsbruck: Studienverlag 1994.
- ¹⁷ zB. Peter Baumgartner, Sabine Payr, „Learning as Action: A Social Science Approach to the Evaluation of Interactive Media“ in: Patricia Carlson, Fillia Makedon (Hrsg.), *Educational*

Multimedia and Hypermedia, Proceedings of ED-MEDIA 96, Boston, MA, June 17-22, 1996, Boston: AACE 1996, S. 31-37. „Der Computer als Lernmedium - was leistet die Software?“ in *Praxis Schule* 5-10, 3, 1995, S. 37-40. *Lernen mit Software*, a. a. O. Peter Baumgartner, „Didaktische Anforderungen an (multimediale) Lernsoftware“ in: Ludwig J. Issing, Paul Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia*, Weinheim: Psychologie-Verlags-Union 1995, S. 241-252.

¹⁸ Gernoth Grunst, Thorsten Fox, Klaus-Jürgen Quast, Dirk A. Redel, „Szenische Enablingsysteme – Trainingsumgebungen in der Echokardiographie“, in: *Der GMD-Spiegel*, Nr. 2/3, 1996, S. 31-33. Thomas Berlage, Gernoth Grunst, „CardiAssist: Developing a support platform for 3D ultrasound“ in: G. Otto (Hrsg.), *Proceedings of the 9th Microgravity Summer School „Space and Telemedicine“*, Attendorn (BRD), 4.-7. Juli 1995, DLR 1995, S. 95-104. Thomas Berlage, Thorsten Fox, Gernoth Grunst et al., „Supporting Ultrasound Diagnosis Using an Animated 3D Model of the Heart“ in: *Proceedings of IEEE Multimedia Computing and Systems*. Hiroshima, 17.-21. Juni 1996. IEEE Computer Society 1996, S. 34-40.

¹⁹ GMD – Forschungszentrum Informationstechnik; die Software wurde am Institut für Angewandte Informationstechnik unter der Leitung von Gernoth Grunst entwickelt.

²⁰ aus Gernoth Grunst et al., „Szenische Enablingsysteme“, a. a. O., S. 31.

²¹ vgl. Gilbert Ryle, *Der Begriff des Geistes*, Stuttgart: Reclam 1969.

²² vgl. Michael Polanyi, *Implizites Wissen*, Frankfurt/M.: Suhrkamp 1985. Peter Baumgartner, *Der Hintergrund des Wissens*, a. a. O.

²³ Ludwig Wittgenstein, *Philosophische Untersuchungen*, Werkausgabe Bd. 1, Frankfurt/M.: Suhrkamp 1984. Vgl. dazu auch Peter Baumgartner, *Der Hintergrund des Wissens*, a. a. O.