

Handelndes Lernen: Evaluation eines medizinischen Trainingssystems für die Echokardiographie

Peter Baumgartner & Klaus-Jürgen Quast

Peter Baumgartner (IFF, Universität
Klagenfurt)
Klaus-Jürgen Quast (ENTECC, Technopark der
GMD, St. Augustin)

**Baumgartner, P. und K.-J. Quast. 1997. Handelndes Lernen. Evaluation
eines medizinischen Trainingssystems für die Echokardiographie. In:
*LearnTec '97. Europäischer Kongreß für Bildungstechnologie und
betriebliche Bildung*, Hg. von U. Beck und W. Sommer. Karlsruhe:
Springer. 375-392.**

In diesem Beitrag wollen wir ein theoretisches Lernmodell darstellen, das sich sowohl für die Entwicklung (formative Evaluierung) als auch Ergebnisbewertung (summative Evaluierung) von computergestützten Lernsystemen eignet. Die Tragfähigkeit des Theorieansatzes wird am Beispiel der partizipativen Systementwicklung und des Einsatzes eines 3D-graphischen Trainingssystems für die kardiologische Ultraschall-diagnostik erläutert und empirisch demonstriert¹.

¹ Die in diesem Artikel beschriebene Simulationssoftware "EchoSim" wurde in der GMD – Forschungszentrum Informationstechnik am Institut für Angewandte Informationstechnik (Abteilung Mensch-Maschine-Kommunikation) unter der Leitung von Gernoth Grunst entwickelt.

Lerntheorie und Evaluation des Lernerfolges

In zunehmendem Maße wird der Computer für Lehr- und Lernzwecke eingesetzt, so daß sich die Frage nach einer pädagogischen Evaluierung der Software immer dringlicher stellt. Wir möchten dafür ein Verfahren vorschlagen, das die Frage der erziehungswissenschaftlichen Theorie in den Mittelpunkt stellt. Die von uns vorgeschlagene Evaluationsstrategie kann daher als theoriegeleitetes (“theory-driven”) Evaluationsmodell bezeichnet werden (vgl. Chen 1994).

Wir gehen dabei von der These aus, daß sich in jeder Bildungssoftware ein theoretisches Lernmodell niederschlägt. Egal ob dieser theoretische Ansatz nun von den AutorInnen auch tatsächlich expliziert worden ist oder nicht, spiegelt die Lernsoftware – angefangen vom behandelten Thema über den Aufbau bzw. die Struktur des Softwarepaketes bis hin zur Benutzeroberfläche des Lernprogramms – ein pädagogisches und didaktisches Modell wider, das in ihr implementiert wurde (vgl. ausführlich dazu: Baumgartner und Payr 1994).

Dies trifft in ganz besonderer Weise auch auf Evaluationen zu, denn: Was ist unter Lernerfolg eigentlich zu verstehen? Eines der Hauptprobleme in der medizinischen Aus- und Weiterbildung ist es ja gerade, neue theoretische Erkenntnisse mit den dazugehörigen Diagnose- und Behandlungsmethoden zu vermitteln. Dabei hat der Erwerb von körperlichen Fertigkeiten einen entscheidenden Anteil am Lernerfolg. Welchen Sinn hätte es zB. für einen Patienten, wenn sein Arzt bloß die Standardpositionen für die kardiologische Ultraschalldiagnostik weiß, aber nicht in der Lage ist, auch geeignete echokardiographische Bilder zu erzeugen? Es scheint daher einleuchtend, daß für den Lernerfolg neben der theoretischen Aneignung und Durchdringung auch Imitation, Üben und Praktizieren eine zentrale Rolle spielt. Daher muß in der Evaluation gerade dieser Aspekt der geschickten Ausführung entsprechend berücksichtigt werden.

Wie soll nun aber diese Leistung (bzw. Leistungszuwachs) gemessen werden? In den Kognitions- aber auch Sozialwissenschaften wird häufig die These vertreten, daß die Qualitätssicherung einer Handlung durch eine geeignete sprachliche Transformation überprüft werden kann. So sieht zB. Habermas (1981) in seiner bekannten “Theorie des kommunikativen Handelns” sprachliche Äußerungen (also proposi-

tional dargestelltes Wissen) grundlegender als Handlungen an, wenn er unterstellt, daß "...extraverbal ausgedrückter Sinn prinzipiell und annäherungsweise mit Worten wiedergegeben werden kann... Freilich muß nicht alles, was gesagt werden kann, auch außersprachlich ausgedrückt werden können." (Habermas 1984:12).

Unserer Meinung nach verbirgt sich jedoch hinter dieser Auffassung die weitverbreitete Verwechslung von "Wissen, wie" (*know how*) und Fähigkeit (*to be able to do*) bzw. Fertigkeit (*skill*). Die Sichtweise, daß der Lernerfolg in der Reproduktion von theoretischem (Fakten-)Wissen (= *Wissen, daß* etwas der Fall ist) besteht, greift eindeutig zu kurz. Aber auch die Vermittlung von sogenanntem prozeduralen Wissen (= *Wissen, wie* etwas gemacht wird), ist bei weitem nicht ausreichend: Eine Prozedur, Verfahren etc. zu *wissen*, heißt noch lange nicht, sie auch erfolgreich ausüben zu *können*! (Eine ausführliche philosophische Kritik dieser Annahme findet sich in Baumgartner 1993.)

Lernen als ein dynamischer Entwicklungsprozeß

Obwohl – oder besser: Gerade weil – zwischen Wissen und Können, zwischen Theorie und Fertigkeit eine komplizierte Wechselwirkung besteht, reicht eine verbale Prüfung (zB. schriftlicher Test, Interview) nicht aus. Um ein komplexes Lehr- und Lernsystem in seinen Vor- und Nachteilen einzuschätzen zu können, ist es daher notwendig, von einer monokausalen Vorstellung der Variable Lernerfolg abzugehen. 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 Dreyfus anhand der Sichtung empirischer Studien entwickelt (Dreyfus und Dreyfus 1987):

Stufe 1 – Neulinge: Sie sind mit der zu lernenden Sache noch nicht vertraut und haben auch noch keine diesbezüglichen Erfahrungen. Sie müssen sich erst die wichtigsten grundlegenden Tatsachen und Regeln abstrakt, dh. kontextfrei, aneignen. Sie können diese Regeln aber vor-

erst weder hinterfragen, noch selbst entscheiden, welche in einer gegebenen Situation anzuwenden sind.

Stufe 2 – Anfänger: Sie beginnen, verschiedene Fälle und Situationen wahrzunehmen und Regeln gemäß diesem Kontext auch anzuwenden. Die Fertigkeit wird nun mit mehr Varianten und abhängig vom Einzelfall ausgeübt, aber Anfänger können in erster Linie erst nachahmen, imitieren; für ein selbständiges, verantwortungsvolles Handeln fehlt ihnen noch die Erfahrung.

Stufe 3 – Kompetente: Sie kennen die relevanten Fakten und Regeln und können darüber hinaus bereits in einem breiten Anwendungsspektrum entscheiden, wann sie anzuwenden sind. Die kompetente Person kann daher bereits auf ihrem Gebiet selbständig handeln und auftretende Probleme lösen. Kompetenz bedeutet auch schon eigene Verantwortung, eigener Standpunkt und selbstkritische Reflexion. Kompetente Personen beginnen bereits abstrakte Vorstellungen, sog. mentale Modelle (Gentner und Stevens 1983, Johnson-Laird 1983) aufzubauen, von denen sie ihre Handlungen ableiten. Allerdings vollziehen sich diese Entscheidungen noch relativ mühsam und haben noch nicht das Niveau einer scheinbar spontanen Handlungen ("Intuition"), wie sie bei Experten oft beobachtet wird, erreicht.

Stufe 4 – Gewandte: Auf dieser Stufe gehen Lernende von der analytischen Erfassung des Problems mit anschließender schrittweiser Anwendung von Lösungsverfahren allmählich über zu einer ganzheitlichen Wahrnehmung der Situation. Der Fall präsentiert sich dem Gewandten bereits ganzheitlich. Scheinbar intuitiv werden mentale Modelle angewendet, verfeinert und komplexe Probleme damit gelöst. Erkennen und Handeln fließen ineinander, sind kaum mehr zu unterscheiden, Sprache ist nicht mehr ganz in der Lage, diese Fertigkeit adäquat zu beschreiben oder gar zu vermitteln.

Stufe 5 – Experten: Sie bewältigen scheinbar problemlos komplexe Situationen, indem sie sofort Familienähnlichkeiten zwischen unterschiedlichen Erscheinungen "sehen" bzw. konstruieren. Ihre "Kunst" manifestiert sich ua. darin, daß sie aus amorphen, unübersichtlichen Situationen "Fälle" konstruieren, die ihre eigene Lösung bereits beinhalten. Experten konstruieren sich ihre eigenen mentalen Modelle

derart, daß sich ihnen die verschiedenartigsten komplexen Situationen bereits als vertraute "Fälle" präsentieren.

Ein heuristisches Lehr- und Lernmodell

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. Wir wollen damit der bereits oben kritisierten monokausalen Auffassung des Lernens entgegenwirken.

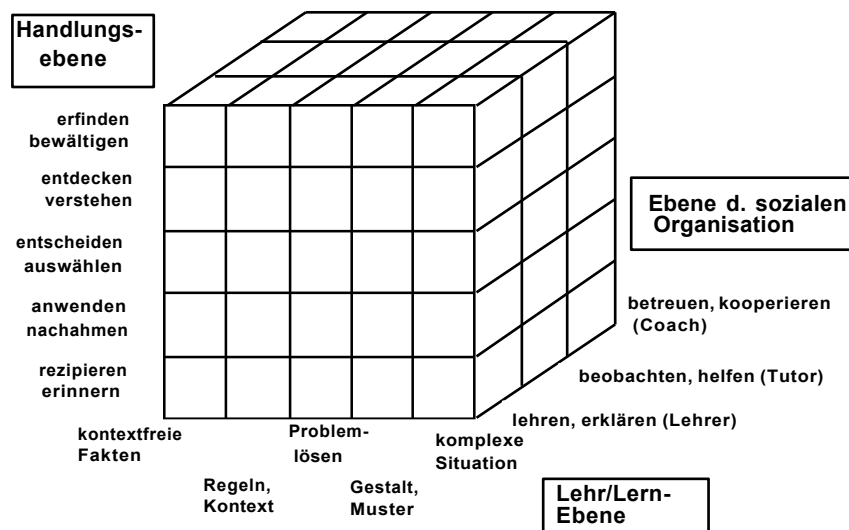


Abb. 1: Ein heuristisches Lehr- und Lernmodell

Wir möchten dieses 3D-Lehr-/Lernmodell vor allem als eine heuristische Hilfe verstanden wissen. Als Heuristik ist es kein Entscheidungsalgorithmus und gibt daher keine eindeutigen Verfahrenswege an. Entsprechend einer Unterscheidung von Shadish, Cook und Leviton (1991:62f.) ist es ein Hilfsmittel in zweierlei Hinsicht: Einerseits grenzt es das Problem bzw. die Fragestellung ein (*focusing*

device), andererseits öffnet es aber den Blick auf Varianten der Gestaltung des Lehr- und Lernsystems (*contingency device*).

Fokussierung: Unser Modell lenkt das Augenmerk auf die komplexen Zusammenhänge von Lernstufe, Lerninhalt und Lehrstrategie und hilft die Fragestellung zu konkretisieren: Was soll vermittelt werden? Auf welcher Stufe der Fertigkeiten? Mit welcher Lehrstrategie? Auf welche Zelle des Modells möchte ich mich bei der Konzeption, Entwicklung oder Evaluation konzentrieren?

Öffnung des Möglichkeitsraums: Das Modell zeigt vielfältige Möglichkeiten der Gestaltung eines Lehr- und Lernsystems an. Es können spielerisch die verschiedenen Rollen der Lehrenden als Lehrer, Tutor oder Coach, je nach der Situation und Lernstufe, durchdacht und konzipiert werden. Welche anderen Zellen des Modells können für das zu konzipierende, entwickelnde oder evaluierende Lehr-/Lernsystem zusätzlich noch gute Lösungsmöglichkeiten liefern?

Unser Modell kann daher sowohl für die Planung und Konzeption von Lernsystemen (formative Evaluierung) als auch für die ergebnisorientierte Bewertung (summative Evaluierung) verwendet werden. Das der Evaluation zugrundeliegende Theoriekonzept bestimmt nämlich Gegenstand, Zielgruppe und Perspektive (Innen- oder Außensicht, vgl. Beywl 1988) der zu wählenden Evaluationsstrategie.

	formative Evaluation (prozeßorientiert)	summative Evaluation (ergebnisorientiert)
Gegenstand	Entwicklung der Handlungskompetenz (kognitiv und körperlich)	Ergebnis der Handlungsausführung (Handlung als Produkt gesehen)
Zielgruppe	Entwickler von Lernsystemen	Anwender, Käufer, Entscheider
intrinsisch (Innensicht)	<i>Komposition</i> : Wirkungszusammenhänge, Reihenfolge und Aufbau der Komponenten der Handlungskompetenz	<i>Konsistenz</i> : Ergänzen oder widersprechen sich einzelnen Komponenten des Lernerfolges bei der Handlungsausführung?

extrinsisch (Außensicht)	<i>Folgen:</i> Auswirkungen auf die einzelnen Komponenten der Handlungskompetenz	<i>Beitrag:</i> Auswirkungen (Ergebnis) auf die Gesamtheit der Handlungsausführung
-----------------------------	--	--

Tabelle 1: Klassifikation von Evaluationsstrategien

Anforderungsanalyse (formative Evaluation)

Bedarfsanalyse und Prototyping

Die Anforderungsanalyse zielte zunächst darauf ab, das diagnostische Vorgehen von erfahrenen Ärzten bei der Durchführung einer Ultraschalluntersuchung zu studieren. Die durch Befragung und Beobachtung elizitierten Denkmodelle und -strategien bildeten die Grundlage für die Konzeption und die Realisierung der Software.

Es konnte festgestellt werden, daß ein erfahrener Arzt die im Verlauf einer Untersuchung erhobenen echokardiographischen Daten und Bilder auf dem Hintergrund figurativer Vorstellungen über den anatomischen Aufbau und die Funktionsweise des untersuchten Herzens reflektiert. Die dabei entwickelten räumlichen Hilfsvorstellungen sind Teil eines sinnbildlichen Erklärungsmodells von der Herzkreislauf-Funktion des Patienten, mit dem aktuelle Befunde und Beobachtungen in einem Gesamtzusammenhang verständlich gemacht werden können.

Diese mentalen Modelle umfassen bildliche, zum Teil abstrakte Vorstellungen über die Morphologie und das Bewegungsverhalten von Herzteilen und über gerichtete Blutströme, -geschwindigkeiten und -druckverhältnisse in den Gefäßen. Sie beinhalten zeitdynamische Funktionsbeschreibungen, in denen das Herz als eine Saug/Druckpumpe im Blutkreislauf verstanden wird. Korrekte Funktionsdenkmodelle genügen den physikalischen Gesetzen der Mechanik und Strömungslehre. Experten exothetisierten solche Denkmodelle in Ausbildungssituationen, in Diskussionen untereinander oder beim Nachfragen während eines Interviews. Diese Vorstellungen entsprechen in unserem Modell den Stufen 3-5 = Aufbau und Konstruktion mentaler Modelle und der Umgang mit ihnen.

Im weiteren Verlauf der formativen Evaluation wurden Studien mit Neulingen und Anfängern (unsere Stufen 1 und 2) durchgeführt. Wir beobachteten und dokumentierten, welche Probleme und Verständnisbarrieren auftreten, welche Hilfsmittel die Lernenden normalerweise benutzen und auf welche Weise erfahrene Experten ihr Wissen an auszubildende Ärzte weitergeben. Die Studien verdeutlichten, welche Lernstrategien erfolgreich angewendet werden und unter welchen Umständen sich zusätzliche Lernmittel und -hilfen vermutlich positiv auswirken. Das möchten wir an einem Beispiel verdeutlichen:

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, falls er bestimmte Handbewegungen ausführt.

In Ausbildungssituationen am Patienten konnte beobachtet werden, daß der erfahrene Arzt den Lernenden schrittweise durch den Untersuchungsgang führt. Der Anfänger wird aufgefordert, bestimmte Einstellungen herzustellen und zugeordnete Messungen auszuführen. Je nach Kenntnis und Fertigkeit des Unterrichteten kommt es an bestimmten Punkten zu Dialogen, die u.a. klären, welche Herzteile in der aktuellen Ansicht beschallt werden, welche Messungen in Hinblick auf potentielle Herzfehler durchgeführt werden sollten und inwiefern besondere Umstände des Meßverfahrens bzw. Einstellungen des Ultraschallgeräts beachtet werden müssen. Der Experte übernimmt die Rolle des Tutors, der beobachtet und (verbal) hilft. Ziel ist es nicht nur, von Stufe 2 (fortgeschrittener Anfänger) auf Stufe 3 (Kompetenzniveau) zu kommen, sondern auch erste Erfahrungen der Stufe 4 (Gestalt- und Mustererkennung) zu machen. In mehreren Design-Test-Redesign-Zyklen versuchten wir Hilfsmittel zu entwickeln, die vor allem diesen schwierigen Übergang von Stufe 3 zu 4 erleichtern.

“Enablingsystem” und szenische Schnittstelle

Unter “Enablingsystem” (“Befähigungssystem”) wollen wir hier eine computerbasierte Trainingsumgebung verstehen, die komplexe Fertigkeiten sowohl vermittelt als auch deren Ausführungsqualität steigern hilft (Stufen 4 und 5 unseres heuristischen Lernmodells). Zum Unterschied von traditioneller Lehr- und Lernsoftware geht es dabei also nicht in erster Linie um die Vermittlung von Sachverhalten (Fakten- oder prozedurales Wissen = “know that” bzw. “know how”) oder um den Aufbau mentaler Modelle (Stufe 3), sondern um die geschickte, gewandte, wendige, kunstfertige ... Ausübung komplexer Praktiken (“skills”, “performance”).

Von essentieller Bedeutung für ein Enablingsystem ist vor allem der Zusammenhang zwischen Sensumotorik und Erkenntnis. Wie Piaget (zB. 1980:23-34) immer wieder betont, kommt keine Erkenntnis alleine durch Perzeptionen zustande, da diese immer von Aktionsschemata begleitet sind oder, wie es Heinz von Foerster formuliert: “Der Schlüssel zur Perzeption sind nicht die Sinnesorgane allein, sondern ihr Wechselspiel mit dem Bewegungsapparat”(von Foerster 1992:76). Daraus ergab sich, daß der Aufbau eines mentalen Herzmodells mit dem Erlernen der manuellen Steuerung der Schallsonde zusammenhängt. Und umgekehrt: Die Feinmotorik der Hand (und damit die Führung der Schallsonde) kann unter Ausnutzung des aktuell dargestellten Ultraschallbildes verbessert werden.

Im Mittelpunkt der Realisierung der Trainingsumgebung steht das Konzept der *Szene*: Wir wollen dann von einer szenischen Schnittstelle sprechen, wenn Lehrinhalte in einem realen Gegenstandsbereich integriert werden und dadurch ganzheitliche Lernsituationen (Lernszenarien) entstehen. Dabei ist die Szene so aufzubauen, daß sie einerseits der Aufgabe angemessen ist (= Domain- bzw. Kontextabhängigkeit), andererseits aber auch immer eine bestimmte Sichtweise repräsentiert. Der eingenommene Standpunkt (*conceptual point of view*) erleichtert nicht nur die Orientierung, sondern ist auch eine Voraussetzung dafür, daß eine intuitive Manipulation (intuitives Handeln, Stufe 4 und 5) bzw. Gestaltung des Lernszenarios möglich wird.

Die Bedeutung der Szenengestaltung bei der Entwicklung von Enablingssystemen findet sich unabhängig voneinander in mindestens vier wissenschaftlichen Disziplinen:

- *Psychologie*: In den psychoanalytischen Studien Lorenzers (1993 und 1995) wird der Übergang von einer Freud'schen Ereignisdiagnose hin zu einer Erlebnisanalyse postuliert. Szenisches Verstehen bedeutet dann nicht nur das logische Verstehen des Gesprochenen, sondern auch das psychologische Verstehen des Sprechers, bzw. der Handlung.
- *Soziologie*: In seiner Studie über die Organisation von Alltagserfahrungen untersucht Goffman (1980) die Bedeutung von Rahmen oder Interpretationsschemata für die Handlungsorientierung. Die Aufgabe eines Interpretationsrahmens ist es, ein ansonsten sinnloses Element in eine Szene so zu integrieren, daß es damit einer sinnvollen Deutung zugänglich gemacht werden kann.
- *Philosophie*: Wittgenstein (1984a und b) betont immer wieder, daß unser Wissen ein System ist, vergleichbar einem Gebäude, das sowohl aus unwichtigen (Fassade) als auch aus wichtigen Teilen (Fundament) besteht. Die fundamentalen Wissenssätze werden jedoch nicht ausdrücklich gelernt, sondern erst *nachträglich gefunden*, wie die Rotationsachse eines sich drehenden Körpers. Wir lernen nicht einzelne Fakten, sondern das "Licht geht nach und nach über das Ganze" (der Szene) auf.
- *Wissenschaftstheorie*: Im Konstruktivismus (zB. Maturana 1987, von Foerster et al. 1992) wird Lernen als ein aktiver Prozeß verstanden, bei dem Menschen ihr Wissen basierend auf ihren früheren Erfahrungen in neuen komplexen Lebenssituationen konstruieren. Diese Situationen sind Lernszenarios, in denen Problemstellungen nicht vorgegeben werden, sondern erst entwickelt, erfunden, konstruiert werden müssen.

Realisierung eines kardiologischen "Enablingystems"

Das Trainingssystem "EchoSim" besteht aus einem Plastiktorso eines menschlichen Oberkörpers, einem Schallkopfdummy des Ultraschallgeräts, an dem ein 3D-Sensor befestigt ist, der die aktuelle Position und Orientierung eines Transducers an den Rechner weitergibt (Abb. 2).

Es werden vom System zwei unterschiedliche Visualisierungsmodi errechnet: In einer *Aufsichtsdarstellung* wird für die jeweilige Sondenstellung die räumliche Lage von Schallinstrument, Schallstrahl, Herz und Brustkorb des Patienten simuliert (Abb. 3, links).

Eine *Anschnittdarstellung* visualisiert die aktuelle Schnittlegung ähnlich einem realen Ultraschallbild. Sie zeigt in einem senkrechten Aufblick auf den Schallfächer den anatomischen Anschnitt des Herzorgans, der durch die aktuelle Stellung der Schallsonde festgelegt ist. Dabei ist der Schallfächer wie im realen Ultraschallbild so auf die Bildschirmfläche rotiert, daß schallkopfnahere Strukturen im oberen und schallkopferne Strukturen im unteren Bildbereich angezeigt werden (Abb. 3, rechts).



Abb. 2: Simulation einer Ultraschalluntersuchung

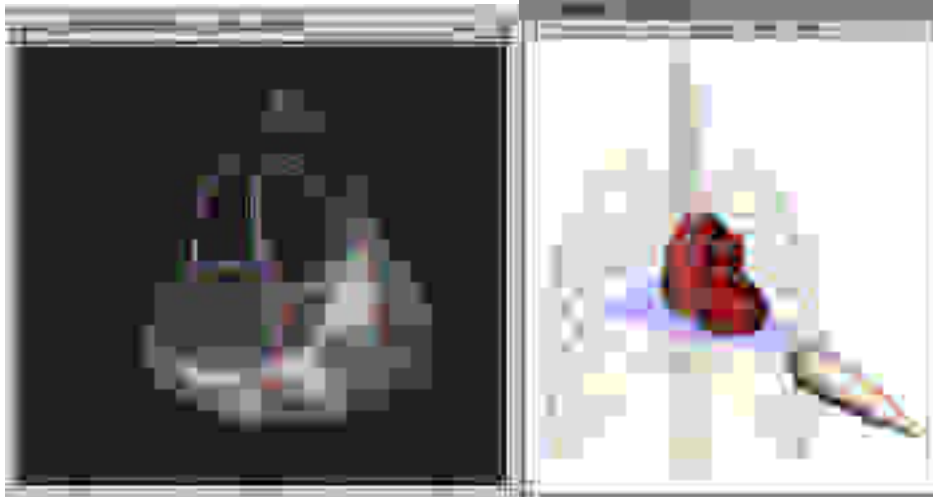


Abb. 3: Bildschirmdarstellung am Echosimulator

Das Konzept der erweiterten Realität

In diesem virtuellen Szenario läßt sich nun trainieren, wie der Schallkopf in eine untersuchungsrelevante Position gebracht werden kann. Dabei soll durch die Auge-Hand-Steuerung und den damit einhergehenden Veränderungen in der Szene – ganz im Sinne des Konstruktivismus – beim Lernenden ein mentales Herzmodell evoziert werden.

Entscheidend ist es nun, daß die Simulation nicht bloß simuliert – sonst könnte ja auch gleich direkt am Ultraschallgerät geübt werden –, sondern eine Reihe didaktischer Hilfsmittel beinhaltet, die den Lernprozeß unterstützen:

- Damit der 2D-Schallspachtel aus frei wählbaren Perspektiven betrachtet werden kann, läßt sich die Perspektive der Aufsichtsszene mittels der Maus rotieren, verschieben oder skalieren.
- Für ein tieferes Verständnis des Schallvorganges ist es wichtig zu sehen, wie die Schallstrahlen die Herzzräume durchdringen. Dies wird sowohl durch einen transparenten Visualisierungsmodus als auch durch Teilausblendungen erreicht. In Verbindung mit der bereits erwähnten Rotation, Verschiebung und Skalierung kann die Schalldurchdringung exploriert werden.

- In der Anschnittdarstellung können die Umrisse der Herzstrukturen deutlicher sichtbar gemacht werden, als dies im realen Ultraschallbild möglich ist.
- Zur besseren Orientierung werden im Anschnitt auch die “hinter” dem Schallsektor liegenden Herzsäume dargestellt und die Innenflächen der rechts- und linkssystematischen Herzteile durch Blau/Rot-Färbung markiert.
- Die rechte und linke Seite des Schallfächers wird sowohl in der Anschnitt- als auch Aufschnittdarstellung farblich markiert. Damit soll an die vollzogene Rotation und Klappung der Schallebene von Aufschnitt- in die Anschnittsebene erinnert werden.

Die erwähnten Funktionen stellen für den Lernprozeß wichtige Erweiterung des Simulationsmodells gegenüber einer realen Untersuchungssituation dar. Diese Aspekte einer “erweiterten Realität” (*augmented reality*) wurden aus der Beobachtung und Analyse realer Lernszenarios abgeleitet (Grunst et al. 1995). Dort allerdings konnte der kardiologische Experte die in der Software realisierten Hilfsfunktionen entweder nur behelfsmäßig verbalisieren oder durch Handbewegungen und Zeigen auf das Echobild umständlich und rudimentär andeuten. Im Echosimulator sind diese Hilfestellungen ständig vorhanden bzw. abrufbar. Damit wird sowohl die Orientierung am Modell als auch der Aufbau und die Integration eines eigenen mentalen Modells entscheidend erleichtert.

Arbeitet der Echosimulator mit einem “falschen” Abbild der Realität? Im konstruktivistischem Lernparadigma gibt es keine “objektive” Beschreibung (Repräsentation) der Realität. 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. Neurophysiologische Untersuchungen zeigen, daß unsere Sinnesorgane nicht nur die Außenwelt abbilden, sondern im Verarbeitungsprozeß bereits strukturieren und “interpretieren”. Und genau diese Rückkopplung zwischen Sensumotorik, Wahrnehmung/Interpretation und Erkennen macht sich das Enablingsystem für komplexe Lernprozesse zunutze. In gewisser Weise können wir daher auch sagen, daß die virtuelle Untersuchungssituation realer ist als die “normale” Realität. Augmented Reality ist eine mit Interpretations-schemata “angereicherte” Realität, die durch eine interaktive Explora-

tion konstruiert wird. Sie befindet sich daher weder “da draußen” (im Echosimulator oder in der realen Untersuchungsszene) noch im Kopf des Lernenden. Vielmehr wird sie durch die kontinuierlichen feinmotorischen Interaktionen von Hand und Auge ständig neu “geschaffen” (interpretiert oder erkannt).

Formative Evaluierung mit dem heuristischen Lehr- und Lernmodell

Zusammenfassend wenden wir nun das bereits vorgestellte heuristische Lehr- und Lernmodell für eine formative Evaluierung des Trainingssystems an. Wir analysieren (aus Platzgründen bloß exemplarisch) die verschiedenen Funktionen der Lernumgebung und fassen sie tabellarisch zusammen (siehe Tab. 2). Es geht uns dabei um Aussagen nach dem Muster: Welche Funktionen des Programms sind welcher Lernebene zuzuordnen? Wir erhalten dadurch ein qualitatives Bild über Stärken (= Zellen, wo viele Funktionen eingetragen werden) und Schwächen (Zellen mit wenigen oder keinen Funktionen) des Programms.

N	Stufe, Ziele	Beispiel: Beschreibung der Handlung	Modell x,y,z
1	<i>Neuling</i> = Faktenwissen (-> rezipieren, erinnern)	Ein Klick mit dem Mauszeiger auf ein Element der 3-D Szene zeigt den medizinischen Fachbegriff an.	1,1,1
2	<i>Anfänger</i> = prozedurales Wissen (-> rezipieren)	Wie komme ich von einer Standortansicht zur nächsten? (Visualisierung der grundlegenden Schritte)	2,1,1
3	<i>Kompetenz</i> = Problemlösung (-> anwenden -> auswählen -> entscheiden)	Echokardiologe präsentiert Problem: Welche Standortansicht ist dafür am geeignetsten und wie gut wird sie am Simulator durchgeführt?	3,2,2 3,2,3 3,3,2 3,3,3

4	<i>Gewandtheit</i> = Gestalt- und Mustererkennung (-> anwenden -> imitieren -> auswählen -> entscheiden -> entdecken -> bewältigen)	Positionieren der Schallsonde mit erweitertem visuellen Feedback üben (<i>augmented reality</i>), Aufzeichnen und detailliertes Auswerten der eigenen Versuche.	4,2,2 4,2,3 4,3,2 4,3,3 4,4,2 4,4,3 4,5,2 4,5,3
5	<i>Experte</i> = Familienähnlichkeiten (-> auswählen -> entscheiden -> verstehen -> entdecken -> bewältigen -> erfinden)	Trainieren mit aktuellen Ultraschalldaten, Einspielen von wichtigen Herzpathologien, um die Fehlererkennung zu trainieren (noch im Planungsstadium)	5,3,3 5,4,3 5,5,3

Tabelle 2: heuristisches Lehr-/ Lernmodell, formative Evaluierung (Beispiele)

Die rechte Spalte in der Tabelle zeigt recht anschaulich, daß *EchoSim* viele Funktionen für die Lernstufen 3-5 anbietet, ganz besonders jedoch in Stufe 4 seine Vorzüge entfaltet. Für Anfänger und Neulinge (Stufe 1 und 2) hingegen scheint dieses Programm weniger geeignet.

Bewertung des Lernerfolgs (summative Evaluation)

Beschreibung des Evaluationsdesigns

Ob die beschriebenen qualitativen Ergebnisse der Bedarfsanalyse (formative Evaluation/Innensicht vgl. Tab. 1) jedoch auch tatsächlich den Lernerfolg steigern (summative Evaluation, Außensicht), läßt sich dadurch nicht automatisch ableiten. Für eine diesbezügliche Aussage ist eine summative Evaluation durchzuführen: Mit einem experimentellen Vergleichstestverfahren soll festgestellt werden, ob Personen, die mit dem Echosimulator lernen, eine reale Untersuchungssituation besser meistern, als solche Personen, die sich ausschließlich mit herkömmlichen Materialien (Buch, Anschauungsmaterial etc.) vorbereiten.

Anhand der Ergebnisse eines Vortests, der sowohl den kardiologischen Kenntnisstand (Fragebogen) als auch das räumliche Vorstellungsvermögen der Versuchspersonen (Schlauchtest nach Stumpf und Fay 1983) ermittelte, wurden zwei leistungshomogene Vergleichstestgruppen (n=14) gebildet. Beide Testgruppen durchliefen eine Lerneinheit (Gruppenlernen 20 min). Eine Testgruppe benutzte den Echosimulator, während sich die andere Testgruppe ausschließlich mit herkömmlichen Materialien vorbereitete. Alle Teilnehmer wurden anschließend durch einen Leistungstest beurteilt.

Dieser Leistungstest bestand aus zwei Teilen: Einerseits wurde mittels Fragebogen Fakten (Stufe 1) und prozedurales Wissen (Stufe 2) über die Durchführung einer Ultraschalluntersuchung ermittelt. Dieses theoretische (Ablauf-)wissen wurde durch 16 Multiple-Choice-Fragen erhoben. So wurde beispielsweise gefragt:

- Wenn Sie parasternal quer auf der Höhe der Mitralklappe schallen, welche Herzstruktur ist dann oben, dh. schallkopfnah im Ultraschall-Bild dargestellt? (Antwortvorgaben: rechte Ventrikel, rechter Vorhof, Aorta, Pulmonalarterie)
- In welcher Schallkopfposition kann die Öffnungsfläche der Mitralklappe am besten beurteilt werden? (Antwortvorgaben: apikal kurze Achse, apikal lange Achse, parasternal kurze Achse, parasternal lange Achse)
- Wenn Sie parasternal längs schallen, wo ist dann die Herzspitze zu sehen? (vier Grafiken)

Andererseits gab es eine Bewertung der praktischen Fertigkeiten, indem ein medizinischer Experte das erworbene Wissen und Können der Probanden in einer realen Untersuchungssituation beurteilte. Dabei führte der kardiologische Experte ein vorgedrucktes Protokoll, wo die Leistung der Studenten auf einer Skala von 1 bis 7 mit folgenden Ausprägungen zu bewerten war:

- Wie geschickt konnte die geforderte Bildstellung erzeugt werden?
- Konnten Darstellungsveränderungen antizipiert werden?
- Konnten relevante Herzteile identifiziert und benannt werden?
- Sind die Gütekriterien von Darstellungen verstanden worden?

Kritische Analyse der Ergebnisse

Die Items beider Teile des Leistungstests (Fragebogen und Beobachtung) wurden nach thematischen Gesichtspunkten in 5 unterschiedlichen Gruppen (= "Faktoren") zusammengefaßt:

	simulatortrainiert		nicht simulatortrainiert		Fehlerwahrscheinlichkeit
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	
²					
Auswahl	0,55	0,45	-0,55	1,01	0,03
Sicherheit	0,51	1,03	-0,51	0,52	0,05
Schnelligkeit	0,74	0,40	-0,74	0,48	0,00
Führung	0,33	0,46	-0,33	1,46	0,24
Identifikation	0,31	1,12	-0,31	0,82	0,26

Tabelle 3: statistischer Vergleich der Testgruppen

Durch ein vergleichendes statistisches Mittelwertanalyseverfahren (t-Test) konnten hinsichtlich der Kriterien Auswahl, Sicherheit und Schnelligkeit signifikante Leistungsunterschiede zugunsten des Echosimulators nachgewiesen werden. Hinsichtlich der Kriterien Führung und Identifikation konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden, obwohl die simulatortrainierte Testgruppe absolut gesehen etwas bessere Ergebnisse zeigte.

Wie ist dieses z.T. widersprüchliche Ergebnis zu interpretieren? Enthusiasmus und Begeisterung der Echosimulatorgruppe hätten eigentlich ein wesentlich günstigeres Abschneiden von *EchoSim* erwarten lassen.

Die Evaluierung fand im Rahmen eines eintägigen Weiterbildungsseminars statt, damit war die persönliche Übungszeit jedes Teilnehmers am Echosimulator mit einer halben Stunde beschränkt. Es ist wahrscheinlich, daß diese Zeit nicht ausreichte, um Vorteile und Funktionsvielfalt des Echosimulators voll zur Geltung bringen zu können.

Ein anderer Grund dürfte aber in einer falschen Gruppierung der Items zu suchen sein. Als die summative Evaluierung durchgeführt wurde

². Alle Eingangsdaten wurden standardisiert, Mittelwert = 0, Standardabweichung = 0.

(1995/96), stand das hier beschriebene heuristische Lehr-/Lernmodell noch nicht zur Verfügung. Eine ausführliche retrospektive Studie dieser Evaluierung anhand des Modells zeigt, daß die Zuordnung der Items nach inhaltlich-fachlichen (dh. kardiologischen) Gesichtspunkten korrekt erfolgte, lerntheoretisch aber inkonsistent war (vgl. Tab. 4). So wurden beispielsweise Fragen zur Führung des Schallkopfes gemeinsam mit der tatsächlich beobachteten Handlung (“Sicherheit beim Positionswechsel”) gruppiert. Dieser Fehler, theoretisches Wissen mit der tatsächlich vollbrachten Leistung gleichzusetzen, wurde bei allen konstruierten Faktoren begangen. Damit wurde das theoretische *Kennen* einer Anforderung mit ihrem “*Können*”, dh. der praktischen Umsetzung, verwechselt und die Evaluation des Lernerfolgs in entwertet.

Die Ursache für die nicht signifikanten Unterschiede bei den Kriterien “Führung” und “Identifikation” kann gerade darin liegen, daß die traditionelle Lehrmethode (ohne Echosimulator) für diese Leistungen (überwiegend Ebene 1 und 2) durchaus gleichwertige Ergebnisse erzeugt. Umgekehrt wäre denkbar, daß bei einer korrekten Trennung des theoretischen und praktischen Lernerfolgs die Vorteile des Echosimulators im Bereich der Lernebenen 3 bis 5 noch deutlicher hervorgetreten wären. Dies zumindest läßt sich beim Faktor “Schnelligkeit” sagen: Da “Schnelligkeit” hauptsächlich durch eine Zeitmessung in der realen Untersuchungssituation definiert wurde (Gewandtheit, Stufe 4), zeigte sich der Echosimulator in diesem Kriterium klar und deutlich überlegen.

Zusammenfassung

Das hier vorgestellte heuristische Werkzeug kann für verschiedene Aufgaben zweckdienlich eingesetzt werden:

- Das Modell hilft Lernsituationen zu planen und gestalten, indem es auf spezielle didaktische Vermittlungsstrategien fokussiert (didaktisches Design).
- Formative und summative Evaluationen können damit geplant werden (Evaluationsdesign).
- Es hilft Stärken und Schwächen des Evaluationsdesigns zu erkennen (Evaluationsanalyse).

- Das Modell kann zur kritischen Überprüfung einer bereits durchgeführten Evaluation des Lernerfolges herangezogen werden (Ergebnisanalyse).
- Es werden didaktische Inkonsistenzen im Theorieverständnis des verwendeten Evaluationsverfahrens aufgezeigt (theoriegeleitete Evaluation).
- Schließlich und endlich verhilft das Modell zu einer differenzierten Sichtweise der Variable Lernerfolg und erleichtert eine theoretisch fundierte Ergebnisinterpretation (Theoriebildung).

Literatur

- Baumgartner, P. 1993. *Der Hintergrund des Wissens. Vorarbeiten zu einer Kritik der programmierbaren Vernunft*. Klagenfurt: Kärntner Druck- und Verlagsgesellschaft.
- Baumgartner, P. und S. Payr. 1994. *Lernen mit Software*. Innsbruck: Studienverlag.
- Beywl, W. 1988. *Zur Weiterentwicklung der Evaluationsmethodologie. Grundlegung, Konzeption und Anwendung eines Modells der responsiven Evaluation*. Frankfurt/M.: Peter Lang.
- Chen, H.-T. 1994. *Theory-Driven Evaluations*. Newbury Park: SAGE.
- Dreyfus, H. L. und S. E. Dreyfus. 1987. *Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmachine und dem Wert der Intuition*. Reinbek b. Hamburg: Rowohlt.
- Gentner, D. und A. L. Stevens, Hg. 1983. *Mental Models*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Goffman, E. 1980. *Rahmen-Analyse. Ein Versuch über die Organisation von Alltagserfahrungen*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Grunst, G., T. Fox, K.-J. Quast et al. 1995. Szenische Enablingsysteme - Trainingsumgebungen in der Echokardiographie. In: Deutscher Multimedia Kongreß '95, Hg. von U. Glowalla. Heidelberg: Springer. 174-178.
- Habermas, J. 1981. *Theorie des kommunikativen Handelns. 2 Bde.* Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Habermas, J. 1984. *Vorstudien und Ergänzungen zur Theorie des kommunikativen Handelns*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Johnson-Laird, P. N. 1983. *Mental Models*. Cambridge (MA): Harvard University Press.
- Lorenzer, A. 1993. *Intimität und soziales Leid. Archäologie der Psychoanalyse*. Frankfurt/Main: Fischer.
- Lorenzer, A. 1995. *Sprachzerstörung und Rekonstruktion. Vorarbeiten zu einer Metatheorie der Psychoanalyse*. 4. Aufl. Frankfurt/Main: Suhrkamp.
- Maturana, H. R. 1987. Kognition. In: *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*, Hg. von S. Schmidt. 2. Aufl. Frankfurt/M.: Suhrkamp. 89-118.
- Piaget, J. 1980. The Psychogenesis of Knowledge and Its Epistemological Significance. In: *Language and Learning*, Hg. von M. Piattelli-Palmarini. Cambridge (MA): Harvard University Press. 23-34.
- Shadish, W. R. J., T. D. Cook und L. C. Leviton. 1991. *Foundation of Program Evaluation. Theories of Practice*. Newbury Park: SAGE.
- Stumpf, H. und E. Fay. 1983. *Schlauchfiguren - Ein Test zur Beurteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens*. Göttingen: Hogrefe.

von Foerster, H. 1992. Entdecken oder Erfinden? Wie läßt sich Verstehen verstehen? In: *Einführung in den Konstruktivismus*, Hg. von H. von Foerster, E. von Glasersfeld, P. M. Hejl et al. München: Piper. 41-88.

von Foerster, H., E. von Glasersfeld, P. M. Hejl et al. 1992. *Einführung in den Konstruktivismus*. München: Piper.

Wittgenstein, L. 1984a. *Philosophische Untersuchungen. Werkausgabe Bd. 1*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.

Wittgenstein, L. 1984b. *Über Gewißheit. Werkausgabe Bd.8*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.