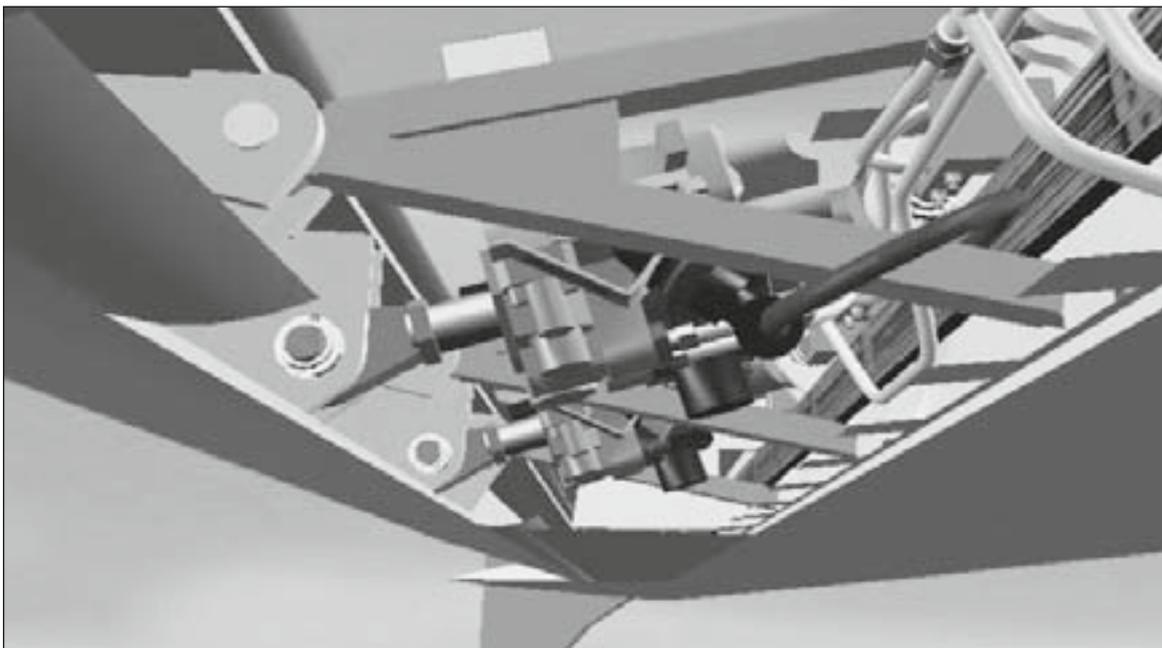


# Lernen & lehren

Elektrotechnik-Informatik und Metalltechnik

## Schwerpunktthema

## Lernen in virtuellen und realen Arbeitsumgebungen



*Eberhard Blümel/Klaus Jenewein/  
Michael Schenk*

**Virtuelle Realitäten als Lernräume –  
Zum Einsatz von VR-Technologien  
im beruflichen Lernen**

*Jürgen Roßmann/Ulrich Karras/  
Oliver Stern*

**Virtuelle Lernumgebungen für die  
Automatisierungstechnik  
– Potenziale der 3-D-Simulations-  
technik**

*Bernard Robben/*

*Daniel Cermak-Sassenrath*

**Situiertes Lernen in Mixed-Reality-  
Lernräumen**

---

## Impressum

„lernen & lehren“ erscheint in Zusammenarbeit mit der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik-Informatik e. V. und der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Metalltechnik e. V.

Jetzt auch im Internet unter [www.lernenundlehren.de](http://www.lernenundlehren.de).

Herausgeber: Gottfried Adolph (Köln), Klaus Jenewein (Magdeburg), Jörg-Peter Pahl (Dresden),  
A. Willi Petersen (Flensburg), Georg Spöttl (Bremen), Bernd Vermehr (Hamburg)

Beirat: Josef Berghammer (München), Klaus Dähnhardt (Erfurt), Falk Howe (Bremen), Claudia Kalisch  
(Rostock), Rolf Katzenmeyer (Dillenburg), Manfred Marwede (Neumünster), Rainer Petersen  
(Hamburg), Peter Röben (Heidelberg), Reiner Schlausch (Flensburg), Friedhelm Schütte (Berlin),  
Ulrich Schwenger (Köln), Thomas Vollmer (Hamburg), Andreas Weiner (Hannover)

Schriftleitung: Volkmar Herkner (Flensburg), Carsten Wehmeyer (Neumünster)

Kommentar: Gottfried Adolph

Heftbetreuer: Willi Bruns, Klaus Jenewein

Redaktion: lernen & lehren

c/o Prof. Dr. Volkmar Herkner  
Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat),  
Universität Flensburg, 24943 Flensburg  
Tel.: 04 61 /8 05-21 53  
E-Mail: [volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de](mailto:volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de)

c/o Dr. Carsten Wehmeyer  
Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat)  
Universität Flensburg, 24943 Flensburg  
Tel.: 04 61 /8 05-21 57  
E-Mail: [wehmeyer@biat.uni-flensburg.de](mailto:wehmeyer@biat.uni-flensburg.de)

Alle schriftlichen Beiträge und Leserbriefe bitte an eine der obenstehenden Adressen.

Layout: Brigitte Schweckendieck

Verlag, Vertrieb und  
Gesamtherstellung: Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG  
Postfach 15 59, D-38285 Wolfenbüttel  
Telefon: 0 53 31 /80 08 40, Telefax: 0 53 31 /80-08-58

Bei Vertriebsfragen (z. B. Adressenänderungen) den Schriftwechsel bitte stets an die Geschäftsstelle der BAG richten.

**Wolfenbüttel 2009**

**ISSN 0940-7440**

**97**

# lernen & lehren

## Elektrotechnik-Informatik/Metalltechnik

### Inhaltsverzeichnis

Didaktische Reduktion . . . . . 2

*Gottfried Adolph*

Editorial . . . . . 3

*Willi Bruns/Klaus Jenewein*

Zum Begriff der virtuellen Arbeitswelt . . . . . 5

*Willi Bruns*

#### **Schwerpunktthema: Lernen in virtuellen und realen Arbeitsumgebungen**

Virtuelle Realitäten als Lernräume . . . . . 6

*Eberhard Blümel/Klaus Jenewein/Michael Schenk*

Situiertes Lernen in Mixed-Reality-Lernräumen. . . . . 13

*Bernard Robben/Daniel Cermak-Sassenrath*

Virtuelle Lernumgebungen für die  
Automatisierungstechnik . . . . . 18

*Jürgen Roßmann/Ulrich Karras/Oliver Stern*

#### **Praxisbeiträge**

Qualifizierung von technischen Fachkräften in der  
Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln  
mit Methoden der Virtual Reality . . . . . 26

*Jürgen Beuting/Tina Haase/Wilhelm Termath*

Lernen an realen Anlagen in  
virtuellen Lernortstrukturen . . . . . 33

*Dieter Müller/Hartmut Rosch*

#### **Forum**

Handlungssystematischer Berufsschulunterricht  
in der vollzeitschulischen Assistentinnen- und  
Assistentenausbildung . . . . . 40

*Axel Grimm/Bert Wieser*

#### **Mitteilungen, Hinweise**

Berufsarbeit von morgen in  
gewerblich-technischen Domänen . . . . . 47

20. Fachtagung im April 2010 in Heidelberg . . . . . 47

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren . . . . . 48

Ständiger Hinweis und Beitrittserklärung . . . . . 49

### **Schwerpunkt**

## **Lernen in virtuellen und realen Arbeitsumgebungen**

Gottfried Adolph

## Didaktische Reduktion

Es ist üblich geworden, die Menschheitsgeschichte in Zeitalter zu gliedern: Steinzeit, Bronzezeit, Eisenzeit. Heute leben wir im Zeitalter der Wissenschaften. So wie das Leben in der Bronzezeit von den Bronzewerkzeugen geprägt war, so wird das Leben heute von den Wissenschaften geprägt. Deshalb sagen wir, wir leben in einer Wissensgesellschaft.

Je mehr Wissen die Wissenschaften hervorbringen, umso komplexer wird das Wissen über unsere Welt. Mit dem Wahrnehmen der Komplexität wächst aber auch das „noch nicht Wissen“. Jede neue Erkenntnis hat in der Regel mehr Fragen als Antworten zur Folge. Dadurch entstehen immer neue Spezialisierungen. Spezialisierungen bringen neue Spezialisten hervor. Diese Spezialisten entwickeln Begriffe und Benennungen, die nur von der jeweiligen Community verstanden werden. Hieraus erwächst ein großes Problem. Eine Gesellschaft, die ihre Wissensschaffler nicht mehr versteht, nicht weiß, womit sie sich beschäftigen und worüber und wovon sie sprechen, kann den Wissenschaftsprozess weder politisch kontrollieren noch strukturieren. Damit würde sie aufhören, Wissensgesellschaft zu sein.

Es ist deshalb nicht weiter erstaunlich, dass sich überall Aktivitäten entwickeln, die sich unter dem Schlagwort „Verständliche Wissenschaft“ zusammenfassen lassen. Vereinigungen gründen sich, Preise werden ausgeteilt. Universitäten organisieren Kinder-Unis. Der Markt der Wissenschaftszeitungen wächst und wächst. (Gerade erst bringt „Hörzu“ eine „Wissens-Hörzu“ auf den Markt. Rundfunk- und Fernsehveranstaltungen produzieren immer mehr Wissenschaftssendungen.) Von den Nobelpreisträgern wird erwartet, dass sie ihre preisgekrönten Arbeiten in einem Festvortrag allgemeinverständlich darstellen.

Der Prozess des Verständlichmachens wird als Vereinfachung verstanden: „Schwieriges muss vereinfacht werden, damit es allgemein verständlich

wird.“ Dabei darf aber der Sachverhalt oder die Aussage über einen Sachverhalt nicht verfälscht werden. Wer je damit beschäftigt war, weiß, dass das sehr schwierig ist.

Mit dem Problem der didaktischen Vereinfachung quälen sich Schuldidaktiker, solange es Schulen gibt. Zwischen den heute so virulent werdenden außerschulischen Bemühungen um Verständlichkeit und den schulischen besteht ein struktureller Unterschied. Im Schulischen geht es mehr um die Reproduzierbarkeit des Gelernten in Prüfungen. Eine didaktische Vereinfachung soll hier vor allem bewirken, dass ein Sachverhalt oder eine Aussage zu einem Sachverhalt besser und leichter im Gedächtnis haften bleibt. Davon sind die außerschulischen Bemühungen befreit. Dort geht es weniger um das Behalten als um das Verstehen.

Im Bereich der Berufsschuldidaktik hat die didaktische Vereinfachung eine besondere und eigenartige Ausprägung erfahren. 1967 setzte GUSTAV GRÜNER den Begriff „didaktische Reduktion“ in die (didaktische) Welt. Obwohl dieser Begriff in der allgemeinen Schuldidaktik keinen Eingang gefunden hat, taucht er in der ersten und zweiten Stufe der Berufsschullehrer-Ausbildung immer wieder auf. Warum ist das so? Warum spricht man, wenn es um Verständlichkeit durch Vereinfachung geht, im beruflichen Bereich von Reduktion, im Außerberuflichen und Außerberuflichen aber nicht?

Das Wort „Reduktion“ hat viele, sehr unterschiedliche Bedeutungen. Was hat GRÜNER darunter verstanden? Liest man seine Veröffentlichung, so erkennt man sehr schnell, dass es hier im Kern um Minderung und Verdünnung des Lehrstoffes geht. Es geht um Verringerung der Komplexität, um Auswahl von Einzelaspekten und um Einschränkung des Gültigkeitsumfanges von Aussagen.

Als GRÜNER 1967 den Begriff „didaktische Reduktion“ in die Welt setzte,

war die Bildungslandschaft eine völlig andere als heute. Erst zwei Jahre nach GRÜNERS Publikation veröffentlichte RALF DARENDORF den berühmt gewordenen Titel „Bildung ist Bürgerrecht“. Als Metapher für die Bildungsbenachteiligung der so genannten unteren Klasse und dort besonders der Mädchen prägte er den Sammelbegriff „katholisches Arbeitermädchen vom Lande“.

„Warum soll sich unsere Tochter durch ein Studium quälen, wenn sie ja doch heiratet?“ So sagte, dachte und handelte man.

In ihrem Selbstverständnis hatte sich die berufliche Schule in der Dualität von höherer Bildung und Volksbildung eingerichtet. Sie stellte sich dabei in die Tradition eines Begabungsdenkens, das theoretische und praktische Begabung gegenüberstellte. Wer theoretisch begabt war, besuchte die „Höhere Schule“, die anderen gingen in einen Beruf. Dem praktisch Begabten unterstellte man eine spezifische Art und Weise des Denkens. Es war weniger abstrakt, dafür anschaulich und konkret. Es war die Denkweise des einfachen Mannes.

Die zur Zeit GRÜNERS Veröffentlichung praktizierte Unterrichtsmethode war der lehrerzentrierte Frontalunterricht; deshalb auch die zentrale Bedeutung des Unterrichtsstoffes. Im Kern ging es darum, einen Sachverhalt oder ein System von Aussagen durch Ausdünnen so zu vereinfachen, dass er zum „Unterrichtsgegenstand“ werden konnte. Dabei dachte man nicht an den einzelnen Schüler, sondern an die Klasse, „vor der der Lehrer stand“ und vor der er „bestehen musste“.

Die Vorstellung, dass der Lehrer vor der Klasse steht, ist für die Art des Unterrichtens entscheidend. Wer vor der Klasse steht, kann sich nicht um den Einzelnen bemühen. Wer vor der Klasse steht, stellt sich bei seinen Überlegungen zu seinem Unterricht einen Durchschnittsschüler vor. Das Problem dabei ist, dass es diesen nicht gibt. In jeder Klasse gibt es Schüler mit relativ

großen Vorkenntnissen und solche mit wenigen oder sehr wenigen Kenntnissen. Richtet der Lehrer sich mit seinem „Stoff“ an die „guten“ Schüler, langweilen sich die „Schwächeren“. Richtet er sich an die „Schwachen“, geht es umgekehrt. Weil es bei der didaktischen Reduktion um die stoffliche Vereinfachung für eine Schulklasse geht, muss sie konsequenterweise auf einen durchschnittlichen Schüler ausgerichtet sein. Schon aus diesem Grunde handelt es sich bei der didaktischen Reduktion um ein zweifelhaftes Verfahren.

Neben diesem Argument gegen die Sinnhaftigkeit einer didaktischen Reduktion gibt es ein noch weitaus schwergewichtigeres. Die Vorstellung, Sachverhalte so (didaktisch) reduzieren zu müssen, dass sie für den „einfach denkenden Menschen“ zugänglich werden, hat eine gefährliche Konsequenz zur Folge. Werden komplexe Sachverhalte in ihrer Komplexität reduziert, geht es um eine Vereinfachung, die zur Einfalt führt. Komplexe Sachverhalte aus didaktischen Gründen zu reduzieren, bedeutet, die Welt einfacher zu machen, als sie ist. Wer aber in einer komplexen Welt nur über ein einfaches, schlichtes Weltbild verfügt, ist jeglicher politischer Verführung hilflos ausgeliefert. Dann laufen die Einfältigen denen zu und schließlich nach, die ihnen einfache Lösungen für scheinbar einfache Probleme versprechen. Eine größere Gefahr für eine freiheitliche Demokratie ist kaum vorstellbar.

Worauf es dagegen ankommt ist, dass jeder Lernende erkennt, dass es weder für technische noch für wirtschaftliche, noch für politische Probleme einfache Lösungen gibt. Worauf es ankommt ist, didaktische Mittel und Wege zu finden, die das Komplexe und Komplizierte als Komplexes und Kompliziertes begreifbar machen. Das ist außergewöhnlich schwierig. Es gibt wohl nichts Schwierigeres, als Kompliziertes so zu vereinfachen, dass es als Kompliziertes verstanden wird. Wer als didaktisches Leitziel Bildung im Kopf hat, muss sich dieser Schwierigkeit stellen.

Der Erkenntnisweg zu neuem Verstehen geht nur über das schon Verstandene. In der Regel führen Analogien zum ersten Verständnis des „bisher nicht Verstandenen“ („Das ist hier so wie ...“). Kommt es durch eine zutreffende Analogie zum ersten Begreifen, erfüllt es den Denkenden mit Freude. In diesem Sinne macht Wissen glücklich, ist Wissen Glück. Deshalb liegt genau hier der Quellbereich für Neugier und Interesse. Nicht Motivierungskünste eines Lehrers führen dahin, sondern das Erlebnis eigenen Begreifens.

Bei allen Unterschieden unter Lernenden, und die sind gewiss groß, verfügt jeder über einen Schatz von schon Verstandenem. Bei dem einen sind es nur einige Kupfermünzen, beim anderen Silberlinge und beim dritten Gold und Edelsteine. Weil die Unterschiede in einer Klasse so groß sind, ist gutes Unterrichten so schwierig. Die Analogie, die dem einen weiterhilft, stürzt

den anderen in große Verwirrung. Deshalb sind nur solche Unterrichtsmethoden fruchtbar, die Differenzierungen ermöglichen. Es sind die Methoden, in denen der Lehrende nicht vor, sondern in der Klasse steht und in denen auch Schüler vom Mitschüler lernen können. Wenn es ums Begreifen geht, kann mancher Schüler sich besser in den anderen, der nicht begreifen kann, „hineinfühlen“, als das ein noch so guter Lehrer je tun könnte.

Das Konzept der in den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts entwickelten didaktischen Reduktion hatte nur die ganze Klasse und den Unterrichtsstoff im Blick. Der lehrerzentrierte Frontalunterricht war die Methode schlechthin. Erste Versuche von Gruppenunterricht wurden als äußerst exotisch wahrgenommen. In vielen beruflichen Bildungsgängen ist das heute ganz anders. Die Trennlinie zwischen Allgemeinbildung und Berufsbildung verläuft nicht mehr zwischen den Schulformen. Wenn es um didaktische Vereinfachung geht, geht es nicht um Reduzierung von Stoff, sondern um Hilfen zum Verstehen schwieriger Zusammenhänge. In der Regel ist das nur durch ein Mehr an Stoff möglich. Die didaktische Reduktion ist das Kind einer vergangenen Zeit, in der Berufsbildung die Allgemeinbildung des einfachen Mannes oder des „katholischen Mädchens vom Lande“ war.

---

*Willi Bruns/Klaus Jenewein*

## Editorial

Zum Lernen in der Arbeit ist in den vergangenen zwei Jahrzehnten viel geschrieben worden. Das Interesse an dem Thema ist vor dem Hintergrund der speziellen Situation der deutschen Berufsausbildung gut verständlich, gilt doch das hierzulande übliche duale System als die klassische Form des

Lernens „in“ der Arbeit. Und dieses System erzeugt weltweite Aufmerksamkeit dadurch, dass in unserem Land die Betriebe sowohl für die wirtschaftliche Absicherung der Berufsausbildung sorgen als auch für die inhaltliche Ausrichtung der Berufsbilder, die sich damit unmittelbar am betrieblichen Bedarf orien-

tieren. Letztlich wird dem Prinzip auch dadurch Rechnung getragen, dass sich das Lernen im Unterricht der berufsbildenden Schulen an betrieblichen Handlungsfeldern orientieren und mithilfe von Lernsituationen ausgestaltet werden soll, die sich aus betrieblichen Aufgaben heraus definieren.

Dabei wurde in der Fachdiskussion zu wenig beachtet, dass das Lernen in Arbeitsprozessen häufig an erhebliche Grenzen stößt. Die moderne Produktion setzt heute Produktionsmittel mit Investitionen in einer Größenordnung ein, in der Fehler in der Bedienung oder in der Instandhaltung zu gravierenden Folgekosten führen. Dies erlaubt in vielen Betrieben kaum noch, Anfänger an diesen Produktionsmitteln und im Produktionsprozess lernen zu lassen. Hinzu kommt, dass berufliche Arbeitsprozesse häufig mit Gefahren verbunden sind, die eine unmittelbare Nutzung der Systeme für berufliches Lernen extrem erschweren. Moderne Fertigungssysteme entziehen sich oftmals fast vollständig der Anschauung und Einflussmöglichkeiten von Lernenden. Personen, die Fehler machen könnten, haben in der modernen Produktion an vielen Stellen keinen Platz. Und Produktionsmittel, mit denen viel Geld verdient werden muss, um hohe Investitionen zu rechtfertigen, stehen für das Lernen oft nicht zur Verfügung. Vor allem stehen sie nicht im Unterrichtsraum der berufsbildenden Schulen für Lernzwecke herum (und wenn doch, dann sind sie in den Schulen oftmals veraltet, da es sich selbst die mit einem relativ hohen Budget ausgestatteten berufsbildenden Schulen häufig nur exemplarisch leisten können, aktuelle technische Ausstattung anzuschaffen und instand zu halten).

Von der beruflichen Praxis oftmals noch unbemerkt, hat sich durch die ingenieurwissenschaftliche Forschung eine rasante Entwicklung in der Informationstechnologie vollzogen. Aktuelle computergestützte Systeme basieren auf virtuellen Abbildern von teilweise hoch komplexen Arbeitsumgebungen. Sie lassen sich bereits heute auf handelsüblicher Hardware in einer Auflösung darstellen, mit der reale Systeme bis hinein in das kleinste Element abgebildet werden können. Über Transparenzen besteht die Möglichkeit, in virtuelle Systeme „hineinzuschauen“ und sich über Einbaulagen von Einzelteilen bis hinunter zur Schraube, über Funktionszusammenhänge einzelner Subsysteme und über den Ablauf von Fertigungsprozessen zu informieren, die man in der Realität gar nicht mehr zu sehen bekommt. Über den „Einbau“ so genannten prozeduralen Wissens in eine virtuelle Welt sind zu-

dem komplexe Arbeitsaufgaben wie Montage- und Demontagevorgänge oder Fehlersuchalgorithmen vollständig abbildbar. Und erste komplexe Systeme lassen es bereits zu, dass Lerner vollständige Arbeitsaufgaben in einer virtuellen Welt bearbeiten und hieran lernen können. Dies geschieht im Unterricht, zu Hause, mit einem unterstützenden PC-System am Rande der betrieblichen Ausbildung, obwohl das Betriebsmittel, dessen Montage sie gerade erlernen oder in dem sie soeben einen Fehler suchen, in der realen Welt im Produktionsbetrieb steht und für den Unterricht, in dem augenblicklich gelernt werden soll, gar nicht verfügbar ist.

Bildet das Lernen in virtuellen Welten folglich einen Schlüssel für ein in Zukunft verbessertes arbeitsorientiertes Lernen, z. B. als Grundlage für die Ausgestaltung der lernfeldorientierten Rahmenlehrpläne in den neuen Berufen? Erhalten wir neue Chancen für das Lernen und Unterrichten von morgen? Diesen Fragen wird sich im vorliegenden Heft gewidmet. In verschiedenen Beiträgen zum Schwerpunktthema werden aktuelle Entwicklungen vorgestellt. Zum einen werden der momentane Stand und konzeptionelle Überlegungen für den Einsatz virtueller Realität in Lehr- und Lernprozessen behandelt. Zum anderen sollen Beispiele gegeben werden, in welchen technisch-beruflichen Einsatzfeldern bereits mit virtueller Technik gearbeitet wird. Mit Praxisbeiträgen wird unseren Lesern dargestellt, wie bereits heute in virtueller Realität ausgebildet wird, was z. B. im Instandhaltungstraining an Hochspannungsbetriebsmitteln gezeigt werden kann. Herausgeber und Autoren erhoffen sich durch diesen Heftschwerpunkt, dass ein zukunftsweisendes Thema für die Diskussion und Anwendung in den berufsbildenden Schulen erschlossen wird und hier das Nachdenken darüber anstößt, wie mit virtuellen Systemen das berufliche Lehren und Lernen weiterentwickelt werden kann.

Aus solchen Entwicklungen ergeben sich Fragen, die unser Selbstverständnis als Berufspädagogen tangieren. Ob denn – so wurde der Autor kürzlich bei einem Vortrag von einer Schulleiterin gefragt – bitte auch deutlich gemacht werden könne, was denn solche neuen

Entwicklungen für eine berufliche Bildung in der Tradition KERSCHENSTEINERS bedeuteten? Die Antwort liegt nicht unmittelbar auf der Hand. In unserem Kulturkreis liegt das Lernen in der Arbeit in der Tradition etwa von JOHANN HEINRICH PESTALOZZI, der vor 200 Jahren die Diskussion um das Lernen mit Kopf, Herz und Hand angestoßen und in dessen Folge KERSCHENSTEINER vor jetzt 100 Jahren seine Überlegungen zur Arbeitsschule vorgestellt hat. Auch von vielen Reformpädagogen aufgegriffen, geht es überall um die Verbindung des Kopfes – also der kognitiven Entwicklung – mit dem eigenen Tun und der Wahrnehmung mit möglichst allen Sinnen; etwas, wofür doch eine virtuelle Welt gerade nicht steht. Oder etwa doch?

Die Schulleiterin, nach Vortrag und Diskussion um ein Schlusswort gebeten, antwortete sinngemäß: Doch, einen solchen Zusammenhang könne sie sich jetzt wohl vorstellen. Herausgeber, Schriftleiter und Heftbetreuer hoffen, dass auch die Beiträge des vorliegenden Heftes dies deutlich machen. Ebenso hoffen wir, für unsere Leser ein interessantes Themenheft zusammengestellt zu haben – und wir würden uns freuen, wenn sich die Leser an der berufspädagogischen Diskussion über die Konsequenzen dieser neuen Entwicklungen beteiligen.

Willi Bruns

## Zum Begriff der virtuellen Arbeitswelt

Der Begriff „virtuelle Arbeitswelt“ verlangt nach einer Erklärung, scheint er doch je nach wissenschaftlich-technischem Hintergrund des Lesers widersprüchlich in sich zu sein. Dem theoretisch gebildeten Ingenieur ist der Begriff „virtuelle Arbeit“ von D’ALEMBERT’s Prinzip der virtuellen Arbeit her bekannt. Er bezeichnet ein mächtiges abstraktes, gedankliches Variationsverfahren zur Bestimmung energetisch stabiler Zustände. Der gebildete Arbeitswissenschaftler verbindet mit Arbeitswelt sofort auch den Begriff der Lebenswelt, also etwas reich an sinnlicher, vielschichtiger und konkreter Erfahrung. Kann diese Welt vorgestellt, scheinbar sein?

In dem Maße, in dem das gedankliche Experimentieren externalisiert wurde, also konkrete Gegenstände oder Computerprogramme als Modelle der realen Welt ein systematisches und kommunikatives Scheinhandeln erlaubten, sprach man eher von Simulation.

Durch die Informatisierung und computergestützte Automatisierung vieler Arbeitsprozesse kommt mit dem Begriff „virtuell“ eine neue Nuance ins Spiel. Das Vortäuschen, so tun als ob, die Kapselung eines Bereichs gegenüber einem anderen, die Bedeutung wohl definierter Schnittstellen nicht nur zwischen Mensch und Maschine, sondern auch zwischen Funktionsblöcken der Maschinen gewinnen an Bedeutung. Wir finden den Begriff „virtuell“ plötzlich in zahlreichen technischen Konzep-

ten: virtueller Speicher, virtueller Prozessor, virtuelle Verbindung, virtuelles Fertigungsgerät, virtuelle Realität usw. mit unterschiedlicher Betonung von Abstraktion und Konkretisierung. Bei dem virtuellen Fertigungsgerät (VMD) der digitalen Fabrik geht es um eine Integration der abstrakten Fertigungs-Funktionalität, die dann von verschiedenen konkreten Maschinen realisiert werden kann. Demgegenüber ist das Konzept der virtuellen Realität gerade nicht Abstraktion, sondern die möglichst echt wirkende Vortäuschung einer realen Welt, die „Schein“-Erzeugung mit dem Ziel, den Benutzern ein „Eintauchen“ in eine solche Scheinwelt zu ermöglichen. Verkürzt könnte man sagen, im ersten Fall wird Maschinenverhalten formalisiert und mathematisiert für den Umgang mit anderen Maschinen, im zweiten Fall wird Verhalten von Menschen und Maschinen konkret erlebbar, veranschaulicht und „emotionalisiert“ – zwei unterschiedliche Zielsetzungen, die Ähnlichkeit haben mit den von F. BÖHLE geprägten Begriffen des objektivierenden und subjektivierenden Arbeitshandelns.

Das Tätigkeitsfeld der Erstellung dieser virtuellen Realitäten mit ihren vielfältigen Bestandteilen (Produkten, Hilfsmitteln, Akteuren), die immer genauer die reale Arbeits- und Lebenswelt abzubilden versuchen, bildet selbst inzwischen einen nicht mehr zu übersehenden Arbeitsmarkt nicht nur für Informatiker. Interessanterweise verschwimmen in diesen virtuellen Welten die Grenzen zwischen Nutzern und Entwicklern, Lehrenden und Lernenden.

Wenn wir das Thema „Lernen in virtuellen und realen Arbeitswelten“ ansprechen, müssten wir eigentlich zweierlei im Sinn haben:

1. die virtualisierte, also abgebildete Arbeitswelt, die für den Umgang mit realen Objekten vorbereiten und qualifizieren soll,
2. die Arbeit an dem Bau dieser virtuellen Welten nicht nur mit Informatik-Werkzeugen, sondern auch mit Qualifikationen der jeweiligen Zieldomäne, der Ästhetik im Design-Bereich, der Architektur und Regionalplanung im Baubereich, der Fertigungstechnik in der digitalen Fabrik etc.,

also ein Lernen in und für virtuelle und reale Arbeitsumgebungen. Dabei wird in zunehmendem Maß auch die Frage interessant, wie reale Komponenten mit virtuellen gekoppelt werden, also Virtualität in Realität und Realität in Virtualität integriert werden können. Hierauf wird in verschiedenen Beiträgen dieses Heftes besonders eingegangen.

Für das vorliegende Heft haben wir uns bei der Auswahl auf den ersten Bereich beschränkt, also dem Lernen „in“ virtuellen und realen Arbeitsumgebungen. Dies entspricht dem aktuellen Bedarf in der beruflichen Bildungspraxis. Betrachtet man die enormen kreativen Leistungen von freiwilligen „Usern“ in der Schaffung und Veränderung virtueller Spiel- und Arbeitswelten, so wird deutlich, dass der zweite Aspekt zukünftig nicht zu vernachlässigen sein wird.

Eberhard Blümel/Klaus Jenewein/Michael Schenk

# Virtuelle Realitäten als Lernräume

## Zum Einsatz von VR-Technologien im beruflichen Lernen

In dem Beitrag wird in einer theoretischen Perspektive die Frage behandelt, ob und in welchem Umfang virtuelle Realität (VR) in berufliche Lehr- und Lernprozesse Einzug halten wird und was von diesen neuen Entwicklungen bereits heute geleistet werden kann. Hierfür wird zunächst eine Beziehung zum Stand der aktuellen technikdidaktischen und berufspädagogischen Diskussion hergestellt. Es wird dargelegt, welchen bildungspolitischen Anforderungen die berufliche Didaktik heute gegenübersteht und mit welchen Problemen arbeitsprozessorientiertes Lernen im Unterricht berufsbildender Schulen konfrontiert ist. Auf dieser Basis wird untersucht, ob mit dem Lernen in virtueller Realität – hierzu werden einige Systeme und aktuelle Technologien vorgestellt – neue Antworten auf diese Probleme zu erwarten sind.

### Heutiges Verständnis des beruflichen Lernens

In der beruflichen Bildung sind hinsichtlich der didaktischen Gestaltungsprinzipien in den vergangenen zwanzig Jahren weitgehende Veränderungen zu verzeichnen. Diese gehen – ausgehend von den Kognitionswissenschaften – mit einem veränderten Lernbegriff einher. Aus heutiger Sicht kann gesagt werden, dass behavioristische Lerntheorien – wie sie etwa zu Zeiten der lernzielorientierten Didaktik international en vogue waren – in der Berufsbildungsdiskussion keine Rolle mehr spielen. Lernen wird heute

- vorwiegend unter der Perspektive der Kompetenzentwicklung auf der Grundlage individueller Handlungserfahrung betrachtet (vgl. hierzu Beiträge zur Kompetenzdiskussion etwa in der Berufspädagogik von BADER (1990) oder in der beruflichen Weiterbildung von ERPENBECK/HEYSE (2009));
- als Ergebnis eines Interiorisationsprozesses beschrieben (vgl. hierzu die Theorien von GALPERIN (1969) oder von AEBLI (1990); beide Autoren begreifen Handlungserfahrungen als Ausgangspunkte der kognitiven Entwicklung, die sich durch den Prozess der „Verinnerlichung“ herausbildet, als dessen Ergebnis sich die Handlungsschemata, Operationen und Begriffe entwickeln (AEBLI nennt folglich sein Standardwerk „Denken – Ordnen des Tuns“);
- als Aufbau eines im beruflichen Kontext relevanten Handlungswissens verstanden, das als eine

Einheit von zwei Wissensarten begriffen werden muss, die ANDERSON (1996) mit den Begriffen „deklaratives Wissen“ (vereinfacht ausgedrückt: erklärendes Wissen oder Sachwissen) und „prozedurales Wissen“ (Wissen, das auf Handlungsabläufe – sogenannte Prozeduren – bezogen ist) beschreibt.

Dieser Zusammenhang wurde am prägnantesten auf den Punkt gebracht von HANS AEBLI. Als Grundsatz seiner pädagogischen Psychologie hat er als Kerngedanken formuliert: Handeln bildet den Ausgangspunkt für die Entwicklung des Denkens (vgl. AEBLI 1990, S. 179).

Während die kognitionspsychologischen Ansätze insbesondere von der Betrachtung individueller Aneignungstheorien ausgehen, hat sich im amerikanischen Raum eine intensive Diskussion um das Schlagwort des „situated learning“ (im deutschsprachigen Raum auch als situiertes Lernen bekannt) herausgebildet. Hier ist charakteristisch, dass sich die Theorie des situierten Lernens nicht auf die Frage des Aufbaus von kognitiven Strukturen beschränkt, sondern in Bezug auf den Lernenden eine Wechselbeziehung zwischen internen (Kognition) und externen (Situation) Prozessen betrachtet wird. Hierbei bezieht sich „Situation“ sowohl auf die materielle als auch soziale Umwelt des Lernenden, und es wird umso mehr von einer Lernhaltigkeit ausgegangen, wenn der situative Bezug zur späteren Berufs- und Arbeitswelt hergestellt werden kann (vgl. hierzu etwa die Arbeiten von LAVE/WENGER, z. B. 1991). In der amerikanischen wissenschaftlichen Diskussi-

on wurden hieraus verschiedene Gestaltungskonzepte für das (insbesondere berufliche) Lernen entwickelt, zu nennen sind Veröffentlichungen zu den Schlagworten „Anchored Instruction“, „Cognitive Flexibility“ und „Cognitive Apprenticeship“, wobei letzteres stark an das handwerkliche Lernen erinnert. Zu den aus diesen Konzepten resultierenden Gestaltungsprinzipien situierter Lernumgebungen existieren auch im deutschsprachigen Raum diverse Veröffentlichungen (vgl. z. B. GERDS 2006, S. 376 f.).

Bei unseren Lesern ist bekannt, was die Kultusministerkonferenz aus diesen Theorien gemacht hat. In der Rahmenvereinbarung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen für die Berufsschule wird als Zielsetzung für deren Bildungsarbeit die Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz als „die Bereitschaft und die Fähigkeit des Einzelnen, sich in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen sachgerecht, durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten“ (KMK 2007, S. 10), formuliert. Dazu weist die KMK auf folgenden Sachverhalt hin: Die Berufsschule müsse „den Unterricht an einer für ihre Aufgabe spezifischen Pädagogik ausrichten, die Handlungsorientierung betont“ (ebd.). Das durch die KMK seit 1997 in die berufspädagogische Diskussion eingebrachte Lernfeldkonzept betont zudem das Situationsprinzip, also die Orientierung des beruflichen Unterrichts an Arbeitsprozessen. Hierzu wird herausgearbeitet, die Bildungsarbeit der Berufsschule orientiere sich an betrieblichen Handlungsfeldern („Situationen, die für die Berufsausübung bedeutsam sind (Lernen für Handeln)“

– ebd., S. 12), die umgesetzt werden in Lernfelder und Lernsituationen („exemplarische curriculare Bausteine, in denen fachtheoretische Inhalte in einen Anwendungszusammenhang gebracht werden sollen“ – ebd., S. 18). Konsequenter sind die Prinzipien des situated learning in den europäischen Berufsbildungssystemen wohl kaum umgesetzt worden wie hier.

Schauen wir uns einige Lernfelder am Beispiel des Mechatronikers – erster nach diesem Prinzip neu geordneter Ausbildungsberuf – an, so wird deutlich, dass sich diese unmittelbar auf betriebliche Arbeitsprozesse beziehen. „Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen“, „Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen“ oder „Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung“ sind typische Lernfelder aus dem Rahmenlehrplan für die Berufsschule, die verdeutlichen, dass deren Bildungsarbeit auf die in der Berufsausübung charakteristischen technischen Systeme und auf die an ihnen anfallenden Tätigkeiten fokussiert. Tatsächlich sind jedoch viele dieser Systeme am Lernort Berufsschule nicht oder nur in einer idealisierten Form als Experimental- und Anschauungssystem vorhanden, da schulische Lernorte i. d. R. kaum in der Lage sind, die Komplexität der Berufs- und Arbeitswelt und der hier eingesetzten Systeme adäquat abzubilden (vom Problem der raschen Überalterung einer einmal angeschafften Lernumgebung ganz abgesehen).

Dies kann in der Berufsausbildung des deutschen dualen Systems vielleicht noch mit der Annahme hingenommen werden, dass deren Unterricht auf Handlungserfahrungen Bezug nehmen kann, die in den betrieblichen Ausbildungs- und Arbeitsprozessen erworben werden. Doch auch im betrieblichen Umfeld besteht eine Reihe von Problemen mit dem Lernen in der Arbeit. Bedingt durch eine hochgradige Komplexität der hier eingesetzten Systeme sind diese häufig für Lernprozesse nur bedingt nutzbar:

– Mechatronische Arbeitssysteme sind oftmals durch hohe Komplexität gekennzeichnet, deren Einsatz i. d. R. an dynamische Vorgänge gebunden und von einem hohen

Vernetzungsgrad gekennzeichnet ist. Darüber hinaus sind „reale“ Arbeitssysteme häufig mit „unsichtbaren“ Vorgängen – also mit Vorgängen, die sich der menschlichen Wahrnehmung verschließen – verbunden und, bedingt durch Bauart und Arbeitssicherheitsbestimmungen, häufig völlig unanschaulich, etwa wenn Fertigungssysteme nur in einem vollständig eingehauten Zustand aufgebaut sind und sich die eigentlichen Fertigungsvorgänge nicht einmal mehr betrachten lassen.

- Darüber hinaus existieren ebenfalls Restriktionen für die Möglichkeit des Einsatzes mechatronischer Arbeitssysteme für das berufliche Lernen. Lernhandlungen sind – wenn sie einmal ausgeführt worden sind – i. d. R. irreversibel (und damit bei Fehlern mit Gefahren verbunden), sie verursachen wenig kalkulierbare Folgekosten und sind darüber hinaus wegen der schwierigen Systemverfügbarkeit bei üblicherweise gegebenen zeitlichen und örtlichen Restriktionen nur erschwert zu organisieren.

Das Ergebnis: Lernen an „realen“ mechatronischen Arbeitssystemen ist oft nur eingeschränkt, manchmal auch gar nicht möglich. Dies gilt insbesondere dann, wenn kleine und mittlere Unternehmen hochgradig spezialisiert sind und die für eine Berufsausbildung gewünschte inhaltliche Breite mit ihrer Auftragslage und ihren Arbeitsprozessen nur eingeschränkt abdecken. Hiermit stellt sich aber eine entscheidende Frage: Auf welche Erfahrungen soll der Unterricht in der Berufsschule dann aufbauen?



Abb. 1: Beispiel für ein Virtual-Reality-Szenario aus der Fabrikplanung (Foto: D. MAHLER/ FRAUNHOFER IFF)

Es kann also festgestellt werden: Es gibt eine ganze Reihe von Problemen mit dem Lernen in der Arbeit. Vor diesem Hintergrund wird die Frage behandelt: Können virtuelle Arbeitssysteme zukünftig helfen, das berufliche Lernen in technischen Arbeitsfeldern zu unterstützen? Und wenn ja: In welchem Verhältnis stehen zukünftig Lernprozesse in virtueller Realität zum Lernen in realen Arbeitsprozessen? Und: Können eigentlich Kompetenzen, die in virtuellen Lernumgebungen erworben werden, auf reale Arbeitssituationen übertragen werden?

### Zur Technologie von interaktiven Virtual-Reality (VR)-Systemen

Virtuelle Realität ist heute in der industriellen Produktion allgegenwärtig (s. Abb. 1). Es ist zu verzeichnen, dass sich die virtuelle Darstellung von technischen Systemen immer mehr durchsetzt und dass hierbei unterschiedliche Phasen im Lebenszyklus technischer Systeme erfasst werden. Interessant ist dabei, dass sich durch die weitgehende Informatisierung der industriellen Produktion einmal vorhandene Daten im Sinne einer digitalen Prozesskette umfassend nutzen lassen und hierüber Systemdaten, die für die Erstellung von VR-Systemen verwendet werden, beim Konstruktions- und Fertigungsprozess technischer Systeme sozusagen abfallen. Heute kann in vorhandenen Entwicklungsumgebungen aus vorliegenden 3D-CAD-Datenbeständen eine sogenannte „virtuelle Wissensbasis“ erstellt werden, deren Inhalt eine VR-Systemnutzung in ganz unterschiedlichen Arbeitsprozessen ermöglicht (s. Abb. 2). Dies geht vom Design Review, über den Funktionstest – beides funktioniert bereits in einem Stadium der Systementwicklung, in dem ein tatsächlich gefertigter Prototyp noch gar nicht existiert –, über die Arbeitsvorbereitung und die technische Dokumentation. Darüber hinaus werden VR-Systeme heute in Assistenzsystemen und visuell-interaktiven Reparaturanleitungen für die Instandhaltung verwendet, da man hier mit den klassischen, auf technischen Zeichnungen und textuellen Darstellungen beruhenden Dokumentationsarten längst am Ende ist.



Abb. 2: Virtual-Reality-Systementwicklung (Fotos/Bilder: FRAUNHOFER IFF)

Aktuell bearbeitet wird die Frage der Nutzungsmöglichkeit von VR-Systemen für berufliches Lernen. Neue Entwicklungen, etwa auf Basis der Virtual-Reality-Entwicklungsumgebung des Fraunhofer Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) Magdeburg, ermöglichen dabei die Programmierung umfangreicher interaktiver VR-Szenarien. Ausgangslage für das Entwicklungsprinzip (s. Abb. 3) bilden Produkt- und Prozesskenntnisse, wobei letztere in Zusammenarbeit mit betrieblichen Experten erhoben werden (vgl. das Konzept der Experten-Facharbeiter-Workshops als Grundlage für die Entwicklung arbeitsprozessorientierter Curricula, z. B. KLEINER U. A. 2002 oder SCHEMME 2006) und über sogenannte „Drehbücher“ in das spätere Szenariokonzept einfließen. Die aus den CAD-Daten erstellte virtuelle Datenbasis wird dann mit einem Autorensystem aufbereitet, um beispielsweise durch farbliche Hervorhebungen anschauliche Systemstrukturen zu entwickeln, die eine gute Orientierung in virtuellen Systemen ermöglichen. Mithilfe des Szenariokonzepts werden nun typische Arbeitsaufgaben als Szenarien entwickelt, deren Ablauf durch einen „Scenario Player“ in Form einzelner Handlungsschritte reproduzierbar abgelegt wird.

Diese Szenarien bilden die Grundlage für den Einsatz von VR-Systemen im Experiment und im Training, wobei Kennzeichen der entwickelten Systeme ist, dass sich diese interaktiv – d. h. durch den Lerner gesteuert – einsetzen lassen. Die mit dem System erzielten Erfahrungen bei der Aus- und Weiterbildung des Personals fließen wiederum in einer Feedback-Schleife zurück und werden für das Re-Design der Systeme verwendet. Interessant ist hierbei, dass sich mit diesen Entwicklungen sehr gut deklarative Wissensbestandteile mit prozeduralem Wissen – also Kenntnissen in Bezug auf die Bearbeitung von konkreten Ar-

beitsvorgängen – verbinden lassen. So kann der Lernende beispielsweise in der Flugzeuginstandhaltung mit dem „Aircraft Maintenance Manual“ arbeiten, sich im virtuellen System orientieren und die komplette Prozedur von Instandhaltungsaufgaben abarbeiten. Er erhält dabei gleichzeitig Informationen beispielsweise zur Benennung von Systemelementen und zu deren Funktion (vgl. Abb. 9, 10).

Bezüglich der Interaktivität unterscheidet das VR-System drei verschiedene Modi (Abb. 4). Im Präsentationsmodus ist die schrittweise Darstellung von komplexen Abläufen reproduzierbar

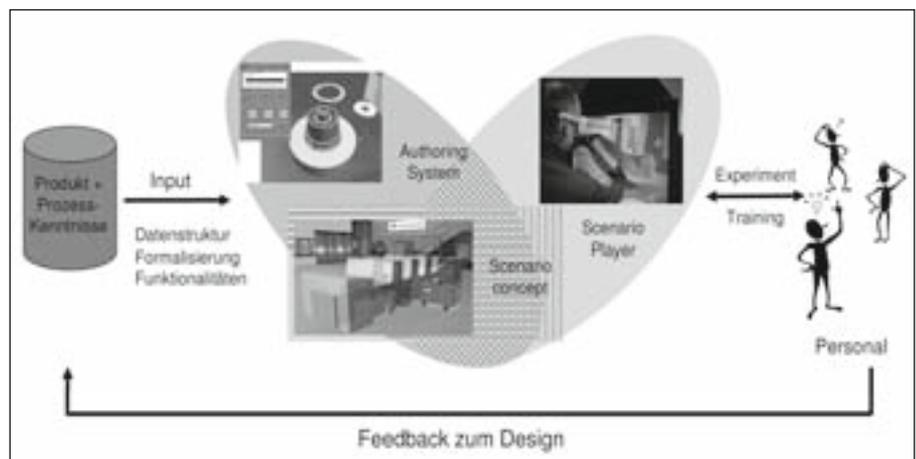


Abb. 3: Prinzip der Entwicklung interaktiver Virtual-Reality-Systeme (Fotos/Bilder: FRAUNHOFER IFF)

und beispielsweise hervorragend für den Lehrereinsatz nutzbar, damit eine Einführung in die Ablaufstrukturen von betrieblichen Arbeitsprozessen in einem realistischen Szenario gezeigt werden kann. Der geführte Modus ermöglicht es dem Lernenden, eine Aufgabe mit unterschiedlichen Schritten selbst abzuarbeiten, er wird aber mit Informationen des Systems geführt und erhält zu seinen Arbeitsschritten konkrete prozedurale Anweisungen. Bei Systemen und Aufgabenstellungen, bei denen sich dies anbietet, wird darüber hinaus der so genannte freie Modus aufgenommen, bei dem der Lerner konkrete Arbeitsvorgänge mit dem System selbstständig abarbeiten kann, ohne durch ergänzende Informationen und Anweisungen unterstützt zu werden. Dies ist ein Modus, der beispielsweise in Prüfungssituationen gut einsetzbar ist.

Eine weitere Besonderheit der aktuellen Entwicklungen liegt darin, dass sich über verschiedene Schnittstellen-systeme heutige VR-Systeme mit realen Systemen zu verschiedenen Repräsentationsformen von gemischten Welten, in der Literatur als Mixed Reality bekannt, verbinden lassen (s. Abb. 5). Dabei entsteht ein von MILGRAM und KISHINO (1994) beschriebenes Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum, in dem verschiedene Formen gemischter Realitäten unterschieden werden können, die heute unter dem Schlagwort „Augmented Reality“ entwickelt und erforscht werden.

In Anlehnung an MILGRAM und KISHINO ist es hier sinnvoll, zwei Grundrichtungen von gemischten Welten zu unterscheiden: Als Augmented Vir-

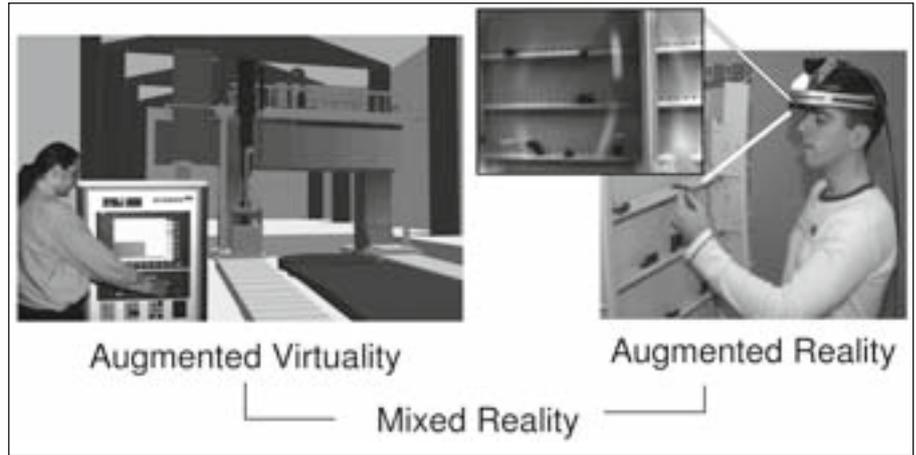


Abb. 5: Ausprägungen innerhalb des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums von MILGRAM/KISHINO (1994) (Fotos: FRAUNHOFER IFF)

tuality (erweiterte Virtualität) werden komplexe VR-Systeme mit realen Komponenten verbunden. So kann beispielsweise eine Koppelung einer realen CNC-Steuerung mit einer virtuellen Fertigungsstrecke erfolgen (Abb. 5, links), mit der an der realen Steuerung eingegebene CNC-Programme virtuell „abgearbeitet“ werden können. Demgegenüber steht in diesem Kontinuum der Begriff „Augmented Reality“ (erweiterte Realität) für die Anreicherung realer Umgebungen mit VR-Elementen. Einsatzbereiche sind beispielsweise ergänzende Informationen, die über Head Mounted Displays eingespiegelt werden, zur Unterstützung logistischer Aufgaben oder von komplexen Instandhaltungsaufgaben (zur Bewertung unterschiedlicher VR/AR-Technologien für den Einsatz in arbeitsbezogenen Qualifizierungsprozessen s. BLÜMEL 2007).

### Potenziale des VR-Einsatzes in beruflichen Lernprozessen aus techniddidaktischer Sicht

Es wurde bereits ausgeführt, dass das Lernen im Arbeitsprozess mit einer ganzen Reihe von Problemen verbunden ist, die einer Gestaltung effektiver und handlungswirksamer Lernprozesse die Grundlage entziehen. Können mit virtueller Realität neue Potenziale des Lernens in der Arbeit besser erschlossen werden? Zur Bearbeitung dieser Frage wird hier von Merkmalen ausgegangen, die DÖRNER bereits 1987 für das Lernen in Arbeitsumgebungen aufgestellt hat, obwohl seinerzeit das Thema „Virtualität“ im Zusammenhang mit Arbeits- und Lernumgebungen noch gar nicht diskutiert worden ist.

Demnach unterscheidet DÖRNER in Bezug auf Lernprozesse unterschiedliche Merkmale von Realitätsbereichen, und zwar in Bezug auf

- Sachverhaltsmerkmale, hier sind für unseren Anwendungsfall die Merkmale Komplexität, Dynamik, Vernetztheit und Transparenz relevant;
- Merkmale in Bezug auf Lernhandlungen in diesen Realitätsbereichen, hier sind vor allem Reversibilität, Kosten-, Zeit- und Ortsabhängigkeit relevant.

In Bezug auf Sachverhaltsmerkmale für das Lernen in virtuellen Arbeitsumgebungen bestehen erhebliche Möglichkeiten der Verbesserung von Interaktion und Wahrnehmung (s. Abb. 6): Komplexität lässt sich didaktisch

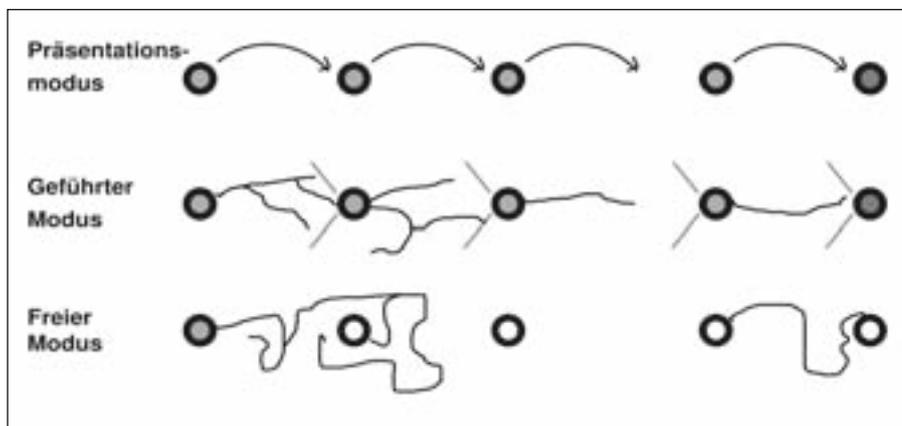


Abb. 4: Repräsentationsformen des prozeduralen Wissens in drei unterschiedlichen Modi

Sachverhalte	Reale Arbeitsumgebung (RA)	Virtuelle Arbeitsumgebung (VA)	Didaktische Konsequenzen
<b>Komplexität</b>	immer 100 % - Reduzierung oft unmöglich	immer < 100 % - Reduzierung i. d. R. möglich	didaktische Reduktion komplexer Umgebungen
<b>Dynamik</b>	Einflussnahmemöglichkeiten stark begrenzt	prinzipiell unbegrenzte Einflussnahme	Anschaulichkeit durch Zeitraffung und -streckung
<b>Vernetztheit</b>	oft unanschaulich und begrenzt beeinflussbar	Vernetzungsgrad beeinflussbar	gezielte Orientierung an Lernvoraussetzungen
<b>Transparenz</b>	Abhängig von Sichtbarkeit und Zugänglichkeit	Zugänglichkeit und Sichtbarkeit künstl. erweiterbar	bessere Verständlichkeit und Anschaulichkeit

Abb. 6: Sachverhaltsmerkmale für das Lernen in realen und virtuellen Arbeitsumgebungen im Vergleich

reduzieren und so an Lerngruppen mit unterschiedlichen Eingangsvoraussetzungen anpassen; Dynamik ist grundsätzlich beeinflussbar, sodass sich in realen Arbeitsumgebungen erschwert wahrnehmbare Abläufe durch Zeitraffung und -streckung für Lernprozesse erschließen lassen; durch die gezielte Auflösung von Vernetzungen und den gezielten Einsatz von Transparenzen lassen sich erhebliche Verbesserungen für Verständlichkeit und Anschaulichkeit erzielen.

Hoch bedeutsame Potenziale weist die Gegenüberstellung von Lernhandlungen in realen und virtuellen Arbeitsumgebungen aus (Abb. 7). Zu-

nächst ist hier wesentlich, dass Lernprozesse in virtuellen Systemen grundsätzlich reversibel sind – im Gegensatz zu den heute üblichen realen Arbeitsumgebungen ermöglicht das Lernen in virtuellen Arbeitsumgebungen wieder die Berücksichtigung eines alten didaktischen Prinzips, des Lernens aus Fehlern. Während die Kostensituation beim Einsatz virtueller Arbeits- und Lernsysteme im Einzelfall betrachtet werden muss, sprechen verschiedene Aspekte jedoch dafür, die Potentiale virtueller Systeme sorgfältig zu prüfen: Lernprozesse lassen sich mit einem kalkulierbaren Kostenrahmen und ohne Gefahrenpotenzial initiieren und organisieren. Virtuelle Arbeitssysteme

sind grundsätzlich zeit- und ortsunabhängig verfügbar und unterliegen daher nicht den beim Lernen in der Arbeit üblichen teilweise erheblichen zeitlichen und örtlichen Restriktionen. Schließlich wird ein handlungs- und erfahrungsbezogenes Lernen in Repräsentationsformen von Technik, die eng an die berufliche Wirklichkeit angelehnt sind, gerade in unterrichtlichen Lernsituationen und damit insbesondere in den berufsbildenden Schulen mit Lernformen möglich, die in der Vergangenheit nur sehr eingeschränkt denkbar waren. Hinzu kommt noch ein weiterer Aspekt: Durch die Individualisierung von Lernzeiten und Lernorten bestehen wesentlich weiter gehende Möglichkeiten, auch in einem arbeitsprozessorientierten Lernkonzept auf die individuellen Rahmenbedingungen der Lernenden einzugehen, als dies derzeit noch denkbar ist. Die hier aufgezeigten Potenziale verbessern nachhaltig die Möglichkeiten für eine effektive Kompetenzentwicklung.

**Beispiele für interaktive VR-Arbeitssysteme**

Inzwischen liegt eine Vielzahl von VR-Arbeitssystemen vor, die potenziell für Ausbildungszwecke nutzbar sind. An ausgewählten Beispielen soll dies illustriert werden.

Erstes Beispiel ist ein virtuelles Generatormodell (Abb. 8). Hier ist gut zu erkennen, wie mit der Schaltung von

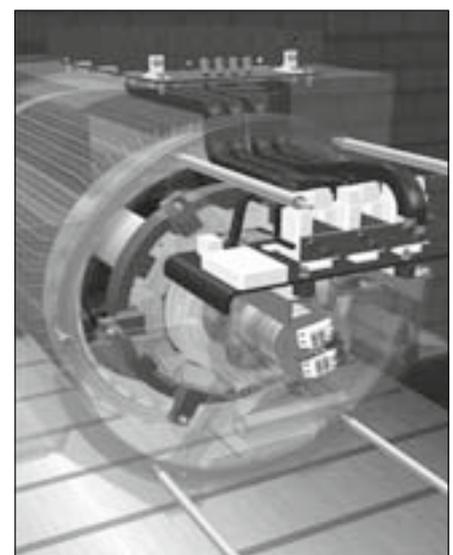


Abb. 8: Virtuelles Modell eines Generators (Bild: FRAUNHOFER IFF)

Lernhandlungen	Reale Arbeitsumgebung (RA)	Virtuelle Arbeitsumgebung (VA)	Didaktische Konsequenzen
<b>Reversibilität</b>	selten ohne Folgen (Kosten, Zeit, Material) möglich	immer ohne Folgen möglich	Lernen aus Fehlern möglich
<b>Kostenabhängigkeit</b>	Lernhandlungen verursachen immer Kosten	geringer Nutzungs-, hoher Entwicklungsaufwand	je nach Teilnehmerzahl und Anwendungsfall
<b>Zeitabhängigkeit</b>	Arbeitsprozess und -system z. T. nur begrenzt verfügbar	Prinzipiell unbegrenzte Verfügbarkeit	Individualisierung u. Flexibilisierung von Lernzeiten und Lernorten
<b>Ortsabhängigkeit</b>	immer abhängig von Arbeitsumgebungen		

Abb. 7: Lernhandlungen in realen und virtuellen Arbeitsumgebungen im Vergleich

Transparenzen die Einbaulage einzelner Systemelemente sichtbar gemacht werden kann. Entsprechende Untersuchungen bieten sich z. B. für die Montageausbildung und für die Instandhaltungsausbildung an. In dem Modell kann eine Verbindung deklarativer und prozeduraler Wissens Elemente geschaffen werden, mit deren Hilfe sich sowohl die Systemfunktion als auch die Systemstruktur sowie Demontage- und Montageprozeduren hervorragend darstellen lassen. Darüber hinaus sind entsprechende VR-Modelle auch für die unterrichtliche Einführung in Aufbau und Funktionsweise elektrischer Motoren und Generatoren sehr gut geeignet, vermitteln sie doch Einblicke in die behandelten Systeme, die ansonsten nur mit sehr aufwändigen Demontageaufgaben zu bewerkstelligen wären und durch technische Zeichnungen nur unzureichend zu ersetzen sind. Zudem besteht die grundsätzliche Möglichkeit, die Funktionsweise der einzelnen Systemelemente im Generatorbetrieb zu zeigen und hiermit deren funktionales Zusammenwirken anschaulich darzustellen.



Abb. 9: Blick in die Querruderanlage des VR-Systems A320 (Bild: FRAUNHOFER IFF)

Ein zweites Beispiel – ein virtueller Airbus A320 – wird bereits in der Instandhaltungsausbildung eingesetzt. Es sind die hydraulischen Servoantriebe der Querruderanlage dargestellt (Abb. 9; vgl. auch JENEWEIN/SCHULZ 2007), für die als Ausbildungsaufgabe eine vollständige Demontageprozedur durchgeführt werden soll. Dabei ist charakteristisch, dass der Lerner am VR-System direkt das vollständig abgelegte „Aircraft Maintenance Manual“ zuschalten kann, da alle Arbeiten auch am realen Flugzeug unter Berücksichtigung der hier festgelegten Prozeduren erfolgen müssen.

Das dritte Beispiel gibt einen Einblick in Instandhaltungsarbeiten im Heck-



Abb. 10: Instandhaltungsarbeiten im Heck des VR-Systems A320 (Bild: FRAUNHOFER IFF)

bereich des A320 (Abb. 10). Sehr schön ist zu sehen, wie die Einbaulage verschiedener Subsysteme dadurch erkundet wird, dass die jeweils nicht benötigte Systemumgebung transparent geschaltet ist. Dies ist eine Prozedur, die sich mit jedem Element des Flugzeugs durchführen lässt und so ermöglicht, dass die Einbaulage und das Zusammenwirken einzelner Teilkomponenten am VR-System nachvollzogen werden können.

### Aktuelle Fragen für eine auf VR-Umgebungen bezogene Lernforschung

Während bereits eine Vielzahl von virtuellen Systemen entwickelt worden ist und für die Gestaltung von Lernprozessen genutzt werden kann, existiert dennoch eine Reihe von Fragen, für die belastbare Antworten nur in Ansätzen vorliegen. Einerseits sind VR-Systeme heute auf handelsüblicher PC-Hard-

ware einsetzbar, sodass davon ausgegangen werden kann, dass praktisch jede berufliche Bildungseinrichtung, die eine marktübliche Notebook- oder PC-Ausstattung mit guter Grafikkarte vorhält, über die erforderlichen Voraussetzungen für das Lernen mit virtuellen Arbeitssystemen verfügt. Dennoch ergeben sich gerade hier hoch interessante Forschungsfragen.

Aus der Wahrnehmungsforschung wissen wir, dass die Lernhaltigkeit einer virtuellen Umgebung umso intensiver ist, je mehr der Lerner in der Lage ist, in eine künstliche Welt „einzutauchen“, d. h., sich selbst als Teil einer künstlichen Welt zu erleben. Ein solcher Sachverhalt wird mit dem Begriff „Immersion“ beschrieben. Aus Untersuchungen ist bekannt, dass dieser Prozess umso intensiver ist, je mehr Interaktionsmöglichkeiten zwischen dem Lernen und der virtuellen Welt bestehen. Ebenso ist bekannt, dass unterschiedliche Formen virtueller Räume die Wahrnehmung in erheblichem Umfang beeinflussen.

So gibt es mehrere Visualisierungsformen im Virtual Development and Training Centre Magdeburg (als ein durch die Fraunhofer Gesellschaft eingerichtetes Entwicklungs- und Forschungszentrum für virtuelle Technologien – [www.vdvc.de](http://www.vdvc.de)), die heute für die Erforschung von VR-Systemen zur Verfügung stehen (s. Abb. 11). Während einerseits alle virtuellen Systeme mit einfachen Bildschirm/Beamer-Projektionen eingesetzt werden können, existieren



Abb. 11: Unterschiedliche Visualisierungsumgebungen für Virtual-Reality-Systeme (Fotos: FRAUNHOFER IFF)

tieren inzwischen Visualisierungstechniken, mit denen in stereoskopischen Darstellungen ein räumlicher Eindruck von dreidimensional programmierten virtuellen Szenarien hergestellt wird. Diese Technik geht vom „immersiven Ingenieurarbeitsplatz“ bis hin zur sogenannten „Cave“ (Cave Automatic Virtual Environment), in der sich ein oder mehrere Personen in einem nach einer Seite offenen Raum aufhalten können und sich somit innerhalb einer virtuellen Szene bewegen, wobei ein Eintauchen in die virtuelle Szene durch eine stereoskopische Darstellung unterstützt wird. In beiden Fällen wird eine dreidimensionale Wahrnehmung durch mit Polarisationsfiltern ausgestattete 3D-Brillen unterstützt. Diese Visualisierungsformen werden ergänzt durch ein Großprojektionssystem im so genannten Elbe Dom, in dem sich eine Gruppe von Lernern sozusagen mitten in einem VR-Szenario aufhalten und mit dem System interagieren kann (s. ebenfalls *Abb. 11*).

Während heute VR-Entwicklungen auf einfachen PC-Arbeitsplätzen und Beamer-Projektionssystemen problemlos eingesetzt werden können, ist weitgehend offen, in welchem Umfang hoch immersive VR-Umgebungen für die Gestaltung von Lernprozessen tatsächlich verbesserte Lernergebnisse erbringen. Darüber hinaus ist ebenfalls unklar, mit welchen Techniken eine intuitive Interaktion mit virtuellen Arbeitsumgebungen auch für Lerner möglich ist, die – und das ist in der heutigen Berufsbildung die Regel – keine Experten im Umgang mit IT-Systemen sind. Eines der aktuellen Forschungsprojekte befasst sich daher mit der Frage: Inwieweit erleichtern hoch immersive Lernumgebungen eine Wahrnehmung und Orientierung in komplexen virtuellen Arbeitssystemen, und welche Interaktionstechniken sind hier für den „normalen“ Lerner geeignet (vgl. HUNDT/JENEWEIN 2009)? Empirische Ergebnisse der experimentell angelegten Forschung werden hier im Laufe des Jahres 2010 vorliegen.

## Schlussbemerkung

Zusammenfassend kann ausgesagt werden: Beim derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Diskussion geht niemand davon aus, dass sich durch virtuelle Systeme das Lernen im realen

Arbeitsprozess vollständig ersetzen lässt. Allerdings wird durch den aktuellen Forschungsstand deutlich, dass sich das arbeitsprozessorientierte Lernen mit einer Ergänzung durch VR-basierte Lernformen über die in der heutigen Arbeitswelt üblichen umfangreichen Restriktionen hinwegsetzen kann und hiermit wesentliche Verbesserungen für die Gestaltung beruflicher Lehr- und Lernprozesse zu erwarten sind.

Virtuelle Realität wird das berufliche Lehren und Lernen in den kommenden Jahren erheblich verändern. Eine Zielsetzung für die aktuelle technikdidaktische Forschung muss hier sein, neue Methoden für den Einsatz von VR-Technologien in beruflichen Lernprozessen zu entwickeln und zu erproben. Gerade die berufsbildenden Schulen können durch solche Entwicklungen nachhaltige Unterstützung erfahren durch

- die Nutzung von virtuellen Arbeitssystemen in vielen Bereichen der Technik, in denen reale Systeme nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen,
- den Erwerb von Handlungserfahrungen mit interaktiven VR-Systemen, in denen ein Schlüssel zur Verbindung von deklarativem und prozeduralem Wissen und zum Erwerb beruflichen Handlungswissens liegt – ein Prozess, der einerseits für den Erwerb beruflicher Handlungskompetenz unabdingbar ist, gleichzeitig aber in den berufsbildenden Schulen oftmals nur wenig effektiv hergestellt werden kann,
- eine neue Form der Medienunterstützung in den technischen Unterrichtsfächern, mit der mit neuen Handlungs- und Lernmöglichkeiten ein neuer Zugang zu beruflichen Arbeitsprozessen erschlossen werden kann.

## Literatur

- AEBLI, H. (1990): Zwölf Grundformen des Lehrens. Stuttgart.
- ANDERSON, J. R. (1996): The Architecture of Cognition. Mahwah, NJ.
- BADER, R. (1990): Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz in der Berufsschule. Zum Begriff „Berufliche Handlungskompetenz“ und zur

didaktischen Strukturierung handlungsorientierten Unterrichts. Soest.

- BLÜMEL, E. (2007): Stand und Entwicklungstrends des Einsatzes von VR/AR-Techniken für Qualifizierung und Training im Arbeitsprozess. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen. Dortmund. S. 241–244.
- DÖRNER, D. (1987): Problemlösen als Informationsverarbeitung. Stuttgart.
- ERPENBECK, J./HEYSE, V. (2009): Kompetenztraining. 64 modulare Informations- und Trainingsprogramme für die betriebliche, pädagogische und psychologische Praxis. Stuttgart.
- GALPERIN, P. J. (1969): Die Entwicklung der Untersuchungen über die Bildung geistiger Operationen. In: HIEBSCH, H. (Hrsg.): Ergebnisse der sowjetischen Psychologie. Stuttgart. S. 367–405.
- GERDS, P. (2006): Gestalten und Evaluieren von berufsqualifizierenden Bildungsprozessen. In: RAUNER, F. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsforschung. Bielefeld. S. 368–378.
- HUNDT, D./JENEWEIN, K. (2009): Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität – Psychologische Korrelate und exemplarisches Forschungsdesign. Institut für Berufs- und Betriebspädagogik der Otto-von-Guericke-Universität (= IBBP-Arbeitsberichte Nr. 67), Magdeburg; zum Download unter [http://www.ibbp.uni-magdeburg.de/forschung/ibbp\\_forschungsberichte.html](http://www.ibbp.uni-magdeburg.de/forschung/ibbp_forschungsberichte.html) (zuletzt geprüft am 29.11.2009).
- JENEWEIN, K./SCHULZ, T. (2007): Didaktische Potenziale des Lernens mit interaktiven VR-Systemen, dargestellt am Training des Instandhaltungspersonals mit dem virtuellen System „Airbus A320“. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Kompetenzentwicklung in realen und virtuellen Arbeitssystemen. Dortmund. S. 323–326.
- KLEINER, M. U. A. (2002): Curriculum Design I – Arbeitsaufgaben für eine moderne Beruflichkeit. Konstanz.
- KMK (2007): Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes

für anerkannte Ausbildungsberufe. Bonn. September 2007.

LAVE, J./WENGER, E. (1991): Situated learning: Legitimate peripheral participation. New York.

MILGRAM, P./KISHINO, F. (1994): A taxonomy of mixed reality and virtual display. In: IEICE Transactions on Information Systems, Vol. E77-D, No. 12, December 1994. S. 1321–1329.

SCHEMME, D. (2006): Geschäfts- und arbeitsprozessorientierte Berufsbildung (GAB). IN: RAUNER, F. (Hrsg.): Handbuch Berufsbildungsfor- schung. Bielefeld. S. 524–532.

*Bernard Robben/Daniel Cermak-Sassenrath*

## Situiertes Lernen in Mixed-Reality-Lernräumen

Mixed-Reality-Lernräume lassen sich durch ein bestimmtes Verhältnis des virtuellen Raumes der digitalen Medien mit dem Raum physikalischer Gegenstände und realer Orte charakterisieren. Dafür wird eine technisch flexible und lose Kopplung physikalischer und virtueller Gegenstände vorgeschlagen. Propagiert werden keine neuen Schnittstellen oder Geräte, sondern das Konzept eines Lernraums wird beleuchtet, das mit den sich herausbildenden digitalen Medien auf neue Art und Weise umgeht. Mit einfacher Schnittstellentechnik soll es leichte, aber doch stets bewusst wahrnehmbare Übergänge zwischen virtuellen und realen Sphären des Lernraums geben. Von entscheidender Bedeutung ist, dass die Kontrolle nicht bei der Technik, sondern bei den Lernenden liegt.

### Konzeptioneller Entwurf

Traditionelle Produktions- und Arbeitsweisen, die durch den direkten und sinnlichen Umgang mit materiellen Gegenständen geprägt sind, verlieren in der modernen Wissensgesellschaft an Bedeutung. An ihre Stelle treten virtuelle Werkzeuge, Werkstoffe und Maschinen. Geplante Systeme werden im Computer entworfen, simuliert und dort getestet. Die so erzeugte simulierte Wirklichkeit ist jedoch stets in Bezug zur realen Welt zu setzen. Lernende sind deshalb zunehmend in einen Lernraum von so genannten Mixed Realities versetzt. Dieser ist durch das Wechselverhältnis des virtuellen Raums der digitalen Medien mit dem Raum physikalischer Gegenstände und realer Orte geprägt. Im sozialen Raum der durch Regeln und Arbeitsteilung bestimmten Gemeinschaft entstehen so neue Abläufe nach Regeln, welche erstens wahrzunehmen und zweitens zu lernen sind. Das Lernen mit elektronischen Medien oder virtuellen Werkzeugen einerseits und das Lernen am realen Objekt in der stofflichen Welt andererseits scheinen jeweils nach verschiedenen Mustern abzulaufen und gegensätzliche Lernkulturen zu repräsentieren. „Das Konzept der Mixed-Reality ermöglicht es, diesen Gegensatz zu überwinden: es löst

die ursprüngliche Trennung von Realem und Virtuellem auf und ermöglicht deren gegenseitige Verknüpfbarkeit und Abbildung.“ (MÜLLER 2005, S. 301) Mixed-Reality-Lernumgebungen reduzieren anders als Virtual-Reality-Systeme die Sinne der Lernenden nicht auf den audiovisuellen Bereich, sondern es soll möglich sein, in einer alle Sinne umfassenden Umgebung intuitiv experimentieren zu können.

Dieser Vorteil der engen Kopplung zwischen real-stofflichen und virtuellen Modellen mündet zum einen bei manchen Mixed-Reality-Lernumgebungen aber in einem zu starren Design, das für einen speziellen Fall gestaltet wird und sich nur schwer an unterschiedliche Szenarien anpassen lässt. Zum anderen werden die Lernenden durch eine enge computer-gestützte Kopplung in ein technisch geprägtes Korsett gepresst, das ein flexibles und kreatives Herangehen an Lernaufgaben erschwert. In der Gestaltung der vorhandenen Teile wird dabei nicht nur die Lösung vorge- nommen, sondern auch schon der Lösungsweg. Eine Übertragung von Kompetenzen, Vorgehensweisen und Werkzeugen oder eine Kopplung an andere Systeme ist in der Regel nicht vorgesehen und de facto oft ausgeschlossen.

Deshalb wird ein Konzept der losen Kopplung zwischen physikalischen und digitalen Bereichen vorgeschlagen. Wie in traditionellen Mixed-Reality-Lernumgebungen ermöglicht es Kopplungen zwischen physikalischen und virtuellen Gegenständen, aber nicht als starres Design für eine bestimmte Lernumgebung mit festgelegter Konfiguration, sondern für einen Lernraum, in dem viele unterschiedliche Konfigurationen von virtuellen und realen Gegenständen hergestellt werden können.

Einerseits führt dies zu technisch flexiblen und leicht zu realisierenden Szenarien, andererseits – und das scheint am wichtigsten – werden so vielfältige didaktisch sinnvolle Lernszenarien realisiert. Lernen beruht immer auf einer Bewältigung von Differenz, aus der (aktiven) Überführung einer unbekannteren Situation in ein Modell, das für Lernende verständlich und begreifbar ist.<sup>1</sup> Eine besondere Herausforderung stellt hierbei das Erlernen von abstraktem Sachverhalten und die Bewältigung des Prozesses der Abstraktion selbst dar.<sup>2</sup> Oder in den Worten von Visionären des Lernens mit Computern ausgedrückt: “What counts is your mental world of interests, dreams and fantasies, which are often very far removed from everyday life. The key

educational task is to make connections between powerful ideas and passionate interests" (PAPERT/MINSKY/KAY 2005, p. 37). SEYMOR PAPERT hat dafür die Idee vom „Konstruktionistischen Lernen“ ausgearbeitet, ein auf dem Konstruktivismus basierender Ansatz, der das Lernen als aktiven Aufbau von Wissensstrukturen begreift. Wissen wird durch die Lernenden hergestellt, nicht von den Lehrenden vermittelt. Der Konstruktivismus geht davon aus, dass dieser Aufbau von Wissensstrukturen dann besonders gut gelingt, wenn die Lernenden mit äußerlich sichtbaren, wahrnehmbaren Objekten arbeiten, selbst etwas herstellen, etwas konstruieren.

Deshalb erscheinen Lernumgebungen sehr problematisch, in denen der Computer als automatisches System wahrgenommen wird, das den Lernenden wiederkehrende grundlegende Aufgaben algorithmisch abnimmt, ihnen dabei aber auch die Orientierung und das Gefühl für die Sache vorenthält. Stattdessen wird für die Realisierung von situiertem Lernen plädiert, bei dem Lernende den Computer bewusst als Medium zur Unterstützung von Abstraktionsprozessen in konkreten Situationen benutzen, die sie selbst schaffen und weiterentwickeln. Im Idealfall thematisieren Lernende explizit

- die Differenz zwischen simulierten digitalen Welten und realem Verhalten in der physikalischen Umwelt,
- die Funktionsweise des Mediums Computer selbst und
- den Übergang zwischen unterschiedlichen Repräsentationen von Modellen.

In dem hier vorgestellten Konzept wird also eine flexible und lose Kopplung zwischen realen und virtuellen Gegenständen vorgeschlagen. Das heißt, im Lernraum beschränkt sich das Computer-System auf die Bereitstellung von unterschiedlichen medialen Repräsentationen, die in einer vorliegenden Lernsituation interessant sein können. Technisch ist die Kopplung auf das Erkennen von Markern zur Identifizierung von Gegenständen beschränkt. Je nach Lerngruppe können Lernende zumindest einen Teil der Kopplung auch selbst realisieren (Abb. 1).<sup>3</sup>



Abb. 1: Lernende arbeiten im Mixed-Reality-Lernraum

### Lernende als Initiativgeber

Alles, was (Computer-)Technik in dem vorgeschlagenen Konzept für den Lernenden leistet, ist die unterschiedliche Darstellung der in einer konkreten Lernsituation interessierenden Dinge. Dagegen hat die Zusammenführung der verschiedenen Medien, die Anwendung der bereitgestellten Daten, der Bezug auf eine bestimmte Anforderung, das Erkennen von Zusammenhängen und die Interpretation der konkreten Situation stets der Mensch zu leisten. Dies ist keine Frage einer technischen Limitierung, sondern das eigene Herstellen von solchen Verbindungen ist essenzieller Teil des Lernens.

Im Technikunterricht gilt es, (Bau-) Teile und ihre Funktionen zu verstehen. Es gilt, medial angebotene Informationen auszuwählen und auf die konkret vorliegende Situation zu übertragen. Lernende müssen den Erfolg der eigenen Aktionen überprüfen. Sie dürfen nicht von einem Gerät abhängig werden, sondern sollten lernen, mit technischen Artefakten auf ihre eigene Weise umzugehen, mit verschiedenen Medien spielen können. In einem solchen Konzept sind Lernende keine Anwender von Geräten. Stattdessen setzen sie Technik zum Verständnis und zur Lösung von Problemen ein. Sie nähern sich unklaren Situationen – und das sind offene Problemstellungen für Lernende stets – neugierig und fragend, erste Informationen sammelnd. Anstatt gleich auf eine bestimmte Lösung zu zielen, experimentieren sie zum Beispiel mit technischen Baukästen, um sich an Gegenstand und Thema heranzutasten.

Wie ein solches konstruktionistisches Lernkonzept mit dem Ansatz der losen Kopplung von realen und virtuellen Gegenständen im Mixed-Reality-Lern-

raum verbunden werden kann, sei an einem ersten Beispiel erklärt: Ein Handy<sup>4</sup> zeigt, wenn es über einen Teil einer Schaltung wie einen Motor gehalten wird, neben statischen Angaben wie Leistung oder maximale Drehzahl auch dynamische Informationen zum aktuellen Zustand und Prozessverlauf an. Je nach Teil der Schaltung umfassen diese Angaben etwa die Stromstärke, die Spannung, die Batterie-Ladung, die Drehzahl, den Luftdruck, die Lage von mechanischen Teilen, die Stellung von Schaltern und den Schaltplan. Die Teile der Schaltung werden optisch durch Markierungen oder per Funk durch RFID-Chips identifiziert, die internen Daten werden über Funk übertragen. Denkbar ist auch der Einsatz von elektrischen Steckverbindungen (Abb. 2).

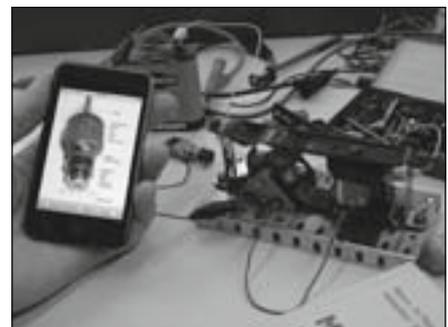


Abb. 2: Elektromotor – MÄRKLIN Baukasten

Auf diese Weise wird mit einfachen Mitteln eine Beziehung zwischen realen Bauteilen und abstrakten Repräsentationen hergestellt, die schrittweise einen Aufbau von mentalen Modellen über die Problemstellung ermöglicht, welche zu einem immer komplexeren abstrakten Verständnis führt. Die in einem solchen Prozess des Experimentierens unvermeidlichen und stets auftretenden Brüche zwischen unter-

schiedlichen Repräsentationen werden nicht umgangen, technisch gelöst oder vor den Lernenden versteckt, sondern ihnen werden verschiedene computergestützte Werkzeuge und Methoden an die Hand gegeben, mit denen sie mit den Brüchen umgehen und sie als Teil der Erfahrung akzeptieren und produktiv nützen. Es wird keine vollständige Automatisierung angestrebt, sondern die Integrationsleistung erbringen die Experimentierenden selbst. Vorgeschlagen wird mit dem Ansatz der losen Kopplung also nicht die Entwicklung eines weiteren Systems, sondern ein Konzept für den Einsatz verschiedener vorhandener Techniken, die der jeweiligen Lernsituation angemessen collageartig in Bezug gesetzt werden. Da bei diesem Vorgehen Lernende die (Computer-) Technik selbst gestalten oder zum Teil sogar modifizieren, lernen sie sowohl etwas über das von ihnen zu lösende Problem als auch über das Medium, das sie zur Lösung einsetzen. Damit unterscheidet sich das Konzept deutlich von allen Ansätzen, bei denen gefordert wird, dass das Medium transparent sein sollte. Die Grenze zwischen mechanischen oder elektrischen Bauteilen und dem Computer wird nicht aufgelöst, sondern die Bauteile bleiben Teile, der Computer bleibt Computer, Medien (wie Beschreibungen, Schaltpläne, Fotos, Videos) bewahren sich ihren stets fragmenthaften Charakter. In dem Modell ist die Schnittstelle nicht transparent, sondern mit sichtbaren Brüchen behaftet, die nicht versteckt, sondern als zu lernende Differenz deutlich werden.

## Ansätze der Realisierung

### Umsetzung in Lernszenarien

Eine Realisierung ist technisch vorstellbar mit handelsüblichen Baukästen (etwa FISCHER, KOSMOS, LEGO, MÄRKLIN). Diese bilden abgeschlossene Systeme mit zwar hoher interner Integration, aber mit nur schwacher Verbindung nach außen. Hier gilt es Beziehungen herzustellen, die exemplarisch erläutert werden. Die im Folgenden angeführten Beispiele stellen den praktischen Bezug des vorgestellten Konzepts zu verschiedenen Lernsituationen her. Alle Lernszenarien sind auf selbstständige Gruppenarbeit mehrerer Lernender und auf kooperative Zusammenarbeit hin orientiert. Sie folgen dem Leitbild,

dass Lernende voneinander lernen, sich ergänzen und gegenseitig helfen. In einem solchen Prozess ist die Eigeninitiative aller Teilnehmenden stark gefordert, nicht das Verfolgen eines durch das Medium vorbereiteten oder gar vorgeschriebenen Wegs. Jeder Lernende kann dabei eine andere Art der medialen Darstellung wählen oder sich weitere Informationen vom Computer anzeigen lassen. Der durch die gemeinsame Arbeit und die bereitgestellten Daten angestoßene Austausch soll die eigene Erfahrung ergänzen und helfen, sie in bekannte Zusammenhänge einzuordnen. Konkrete Aufgaben können das Erkunden, die Reparatur oder der (Um-)Bau etwa eines elektrischen Schaltkreises, einer mechanischen Maschine oder eines vertrauten Geräts wie einer Kaffeemaschine oder eines Toasters sein. Im Folgenden werden mögliche Szenarien der losen Kopplung, gegliedert nach unterschiedlichen Metaphern für die Lösung von Aufgaben, beschrieben.

### Röntgenblick

Die Metapher des Röntgenblicks bezeichnet Medien, die einen virtuellen Blick ermöglichen, wie es drinnen oder dahinter aussieht. Ermöglicht werden soll ein Hineinschauen der Lernenden in Maschinen, ohne dass diese zuvor auseinandergenommen werden. Das Zerlegen von mechanischen Teilen führt oft dazu, dass die Funktionszusammenhänge der Elemente nur noch schemenhaft erkennbar sind. Dargestellt wird dazu eine Maschine etwa als einzelne 3D-Ansicht oder auch als Überlagerung mit der Ansicht der gegenständlichen Maschine. Je nach gewähltem Blickpunkt und Entfernung werden andere Teile der Maschine durchsichtig und geben den Blick auf ansonsten verdeckte oder schwer zugängliche Bereiche frei. Die Anzeige der Lage der inneren Teile der Maschine wird dabei laufend aktualisiert (Abb. 3).

Die Interaktion der Teilnehmer beschränkt sich auf das Einstellen der gewünschten Ansicht und das Einblenden von bestimmten Bauteilgruppen (Befestigungen, Motor, Ölkreislauf, Elektrik etc.). Eine mögliche Anwendung ist die Wartung oder Reparatur von Geräten. Während etwa Checklisten mit Angaben zum richtigen Abschalten, Öffnen, Anfahren etc. expli-

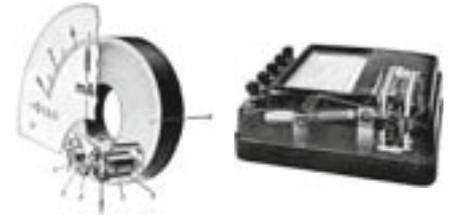


Abb. 3: Schnittdarstellung eines Amperemeters und ein Lichtmarken-Leistungsmesser mit eingezeichnetem Strahlengang (MÄRKLIN 1957, S. 114)

zite Handlungsanweisungen enthalten, die in bestimmten Situationen schnell effektive Ergebnisse zeigen, erlauben sie aber durch ihre Spezialisierung kaum den Aufbau von universellen Kompetenzen der Lernenden und entziehen ihnen die Initiative und auch die Verantwortung für ihre Arbeit. In bestimmten Fällen (etwa vor dem Abheben von Flugzeugen) mögen solche Vorgehensweisen sinnvoll (und vorgeschrieben) sein, in einer Lernsituation verhindern sie allerdings die Identifikation der Lernenden mit ihrer Tätigkeit, die aber einen wesentlichen Beitrag zum individuellen Lernen leistet.

### Stethoskop

Mit der Metapher des Stethoskops sind Medien gemeint, die Artefakte quasi abhören wie ein Arzt seinen Patienten. Diese Metapher ist abstrakter als die des Röntgenblicks, ist auch nicht strikt auditiv zu verstehen, sondern allgemeiner als Diagnoseinstrument. Lernende können die internen Zustände von mechanischen oder elektronischen Bauteilen herausfinden und beurteilen, indem sie diese „abhören“. Klassische Realisierungen des Stethoskops sind Messgeräte. Mixed-Reality-Realisierungen wären virtuelle Messgeräte, die mit realen Situationen verbunden und interpretiert werden. Über das übliche Messen der Stromstärke oder des Widerstands hinaus werden dazu beispielsweise die Drehzahl eines Elektromotors oder die momentane Lage von Getrieberädern angezeigt, während das Gerät läuft. Es kann dann auf das Anhalten eines mechanischen oder elektronischen Prozesses verzichtet werden, das die gemachten Beobachtungen erschweren oder sogar wertlos machen kann. Auch können Veränderungen und

Experimente vorgenommen werden, deren Folgen sofort überprüfbar sind. Verborgene Vorgänge im Innern einer Maschine genauso wie in einer chemischen Lösung müssen Lernende nicht mehr nach einem Lehrbuch ohne eigene Überprüfung hinnehmen und auswendig lernen, sondern sie können sie selbst erkunden und diskutieren. Ursachen und Folgen werden anhand der vorliegenden Materialien und der eigenen Arbeit ersichtlich.

Ein mögliches Szenario ist eine Lernsituation, in der die Lernenden in kleinen Gruppen Elektromotoren verschiedener Bauart überholen. Um zunächst das Prinzip zu verstehen, sind schematische Darstellungen aufzurufen. Diese sind dann über Zeichnungen oder Fotos mit den vorliegenden Teilen zu vergleichen und zu identifizieren. Schließlich können Aufbau und Zusammenwirken am gegenständlichen Modell nachvollzogen werden.

Abb. 4: Experimentieren mit einer



Batterie

Ein anderes Szenario wäre das Verstehen von Batterien. Batterien sind heute in der Regel nicht zu öffnen oder sogar bereits wartungsfrei. Oft ist es Lernenden deswegen völlig unklar, welche internen Vorgänge ablaufen. Anweisungen zum Umgang und zur Pflege von Batterien müssen ohne eigene Kenntnis der internen Abläufe als gegeben hingenommen, auswendig gelernt und schematisch befolgt werden. Zuweilen resultiert aus Unverständnis aber auch innere Ablehnung und aus der mangelnden Verknüpfung mit eigenen Erfahrungen das Vergessen. Normalerweise wird niemand ermutigt, Batterien zu öffnen; und dies hat ja einerseits gute Gründe, andererseits hülfe es zunächst auch nicht unbedingt weiter, die Einzelteile

zu betrachten. Um den chemischen Prozess zu verstehen, der in Batteriezellen abläuft, kann also ein exemplarischer Versuch aufgebaut werden, an dem der ablaufende chemische Prozess beobachtet werden kann. Nichtsichtbare Vorgänge lassen sich in einem Mixed-Reality-Szenario ergänzend per Handy anzeigen (s. Abb. 4). Ein gegenständliches oder virtuelles Schnittmodell lässt sich öffnen und betrachten, um die Übertragung auf den alltäglichen Anwendungszusammenhang (wie etwa Autobatterien) anzustoßen.

### Identifikation

Die technische Identifikation von Bauteilen durch den Computer ermöglicht dem Lernenden einen leichten Zugang zu Informationen über deren Funktionsweise. Diese kann in Fotos, schematischen Darstellungen, der Angabe technischer Daten, Klartext-Beschreibungen, Bildern und/oder Aufgaben-/Anwendungsbeispielen abgelegt sein. Da diese Identifikation eine Relation zu digitalen Informationen realisiert, ermöglicht sie Lernenden viel mehr als die bloße Identifizierung eines unbekanntes technischen Elements. Der Computer schafft etwa durch Suchfunktionen oder digitale Darstellungen in hypertextartigen Strukturen Bezüge zu Informationen über die Verwendungs- und Funktionsweise der Bauelemente. Wenn der Lernende in dieser Weise etwa einen pneumatischen Zylinder identifiziert hat, liefert zum Beispiel die DERIVE-Umgebung<sup>5</sup> inhaltlich passende Übersichten pneumatischer Bauteile, ermöglicht aber auch einen strukturellen Blick ins Innere des Zylinders, wodurch seine Funktionsweise mithilfe von computeranimierten Darstellungen sichtbar wird (Abb. 5). Wenn Auszubildende auf einem Modelltisch eine pneumatische Schaltung aufzubauen versuchen, können sie diese gleichzeitig am Computer in einem Editor konstruieren und simulieren. Aus der Differenz zwischen der realen – mit unübersichtlichen Schlauchverläufen und Anschlüssen – und der virtuellen Schaltung – mit normgerecht schematisierten Bauteilen und übersichtlichen Anschlüssen – lässt sich viel lernen, was in der jeweiligen Sphäre allein nicht wahrzunehmen oder zu erkennen ist. Die Widerständigkeit des Materials und die vielfältige Wahrnehmbarkeit der

Druckluft lassen sich im Virtuellen nur sehr beschränkt nachbilden, während die virtuelle Ebene vielfältige abstrakte Darstellungen generieren kann, die ein kognitives Verständnis der Schaltung ermöglichen, das sich aus der Anschauung des Realen allein niemals gewinnen lässt.



Abb. 5: Darstellungen eines einfach wirkenden Zylinders

Die technische Kopplung zwischen der realen und der virtuellen Sphäre bleibt – anders als in einem integrierten Konzept der Kopplung, bei dem auch der Energiefluss simuliert wird (BRUNS/YOO/KLEIZA 2008) – lose. Zum einen wird sie über die Identifizierung von Elementen durch Marker hergestellt, zum anderen einfach durch die räumliche Gestaltung des Lernszenarios. Die digitale computergenerierte Darstellung der Schaltung (s. Abb. 6) wird nicht im Büro oder im Klassenraum erstellt und analysiert, sondern in einer Werkstatt-Umgebung neben den realen Elementen platziert. Auf diese Weise wird die Differenz greifbar. Prinzipiell kann der Lernraum auch in die Fabrik, das heißt in die tatsächliche Produktionsstätte verlegt werden. Ob das sinnvoll ist, hängt von den Gegebenheiten realer Produktion ab.<sup>6</sup>

### Strategisches Spiel

Ein Spiel wie „Risiko“ funktioniert nur mit einer Gruppe von Teilnehmern, das heißt mit mehreren Spielern, in diesem Fall zwei bis sechs. In Erweiterung des bekannten Brettspiels findet eine bewusste Unterscheidung statt zwischen digitalen Informationen, die einem bestimmten Spieler zur Verfügung stehen oder eben nicht zur Verfügung stehen. Die Spieler sehen nur genaue Informationen über das Gebiet, das ihre Truppen auch tatsächlich kontrollieren sowie (in geringerem Maße) über die direkt angrenzenden Gebiete. Dabei

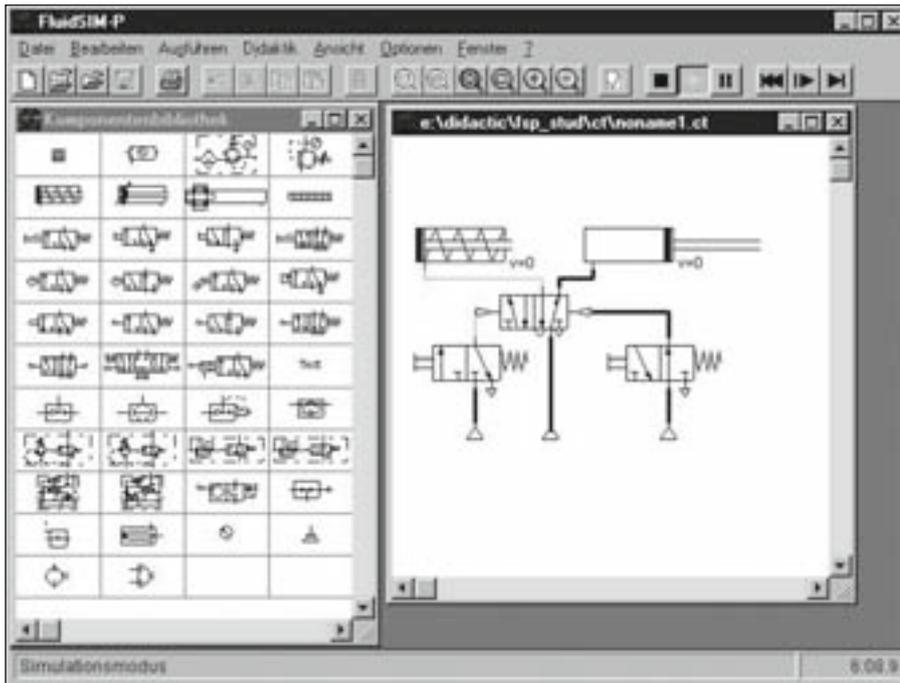


Abb. 6: Ein Simulator für pneumatische Schaltungen

bleibt die physikalische Landkarte leer. Per Handy werden Angaben zu den eigenen Armeen, die vor den anderen Spielern geheim gehalten werden, wie etwa die Anzahl, der Zustand, die verfügbaren Typen, angezeigt (s. Abb. 7).

Die Hauptinteraktion spielt sich nach wie vor zwischen den Spielern ab, und die Geräte sind kein Ersatz für die anderen Spieler. Das Spiel ist noch immer nur mäßig komplex (verglichen etwa mit Echtzeit-Computerstrategiespielen) und bleibt in erster Linie ein Brettspiel. Die Zusatzinformationen sind allerdings relevant für das Spiel und nicht nur überflüssige Ausschmückung.

Dieses spielerische Szenario kalkuliert genau mit den technischen Möglichkeiten, die oben für verschiedene



Abb. 7: Risiko

Lernsituationen beschrieben sind, und fordert den sozialen Umgang miteinander heraus. Er soll durch die Technik nicht ersetzt oder überflüssig gemacht werden, sondern gegenüber klassischen Lerntechniken intensiviert und auf einen selbst kontrollierten und intrinsisch motivierten Gruppenprozess fokussiert werden, in den sich alle Beteiligten ganz einbringen können.

Das Spiel „Risiko“ dient hier nur als Beispiel, um einige der sozialen Auswirkungen andeuten zu können, die mit dem vorgeschlagenen Konzept verbunden sind. Viele weitere Spiele mögen sich anbieten und ebenso oder besser Lernsituationen schaffen, in denen die Lernenden spielerisch mit den vorliegenden Medien und den interessierenden Inhalten umgehen können. Hingewiesen sei auf den seit einiger Zeit wieder stark zunehmenden Diskurs um computergestützte Lernspiele unter der Bezeichnung serious games (Material dazu findet sich unter <http://edweb.sdsu.edu>). In dem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob sich Spiele überhaupt auf diese Weise für das Lernen instrumentalisieren lassen. Bisher gibt es offenbar nur sehr wenige Projekte, die beiden Seiten gerecht werden.

## Ausblick

Im Konzept des situierten Lernens in Mixed-Reality-Lernräumen werden abstrakte physikalische oder chemische Zusammenhänge nicht aus Lehrbüchern gelernt, sondern auf konkrete Szenarien in Anwendungssituationen bezogen. Damit Lernenden je nach Situation die benötigte Information im angemessenen Abstraktionsniveau zur Verfügung gestellt werden kann, wird eine flexible und lose Kopplung physikalischer und realer Gegenstände vorgeschlagen. Solche lose Kopplung basiert technisch auf der eindeutigen Kennzeichnung der verwandten Bauteile und deren Erkennung durch die benutzten Geräte. Dies lässt sich technisch durch eine explizite Markierung der Teile (durch Barcodes, RFID-chips oder Ähnliches) erreichen. Die dafür eingesetzte Technik (wie Funk, Video, elektrischer Kontakt) ist jeweils auf die vorliegende Situation abzustimmen. Das hier diskutierte Modell ist nicht auf bestimmte Geräte (etwa Handys) festgelegt, sondern benutzt bestehende Standard-Technik. Eingesetzt werden können alle Arten von interaktiven Anzeigegegeräten, wie Bildschirme von PC, Laptops, PDAs oder Beamer, die auf Wände oder Tische projizieren, wobei mehrere Lernende gemeinsam etwas sehen oder sich gegenseitig zeigen können. Lose Kopplung ermöglicht die Realisierung vielfältiger Anwendungsszenarien mit Standardtechnik unter der Kontrolle und der Organisation der Lernenden selbst. Sie verorten das zu Lernende in bekannten Zusammenhängen und erwerben gleichzeitig einen souveränen Umgang mit Medien.

## Anmerkungen

- 1 Ausnahmen sind Situationen, in denen es um reines Training geht, wie etwa bei Fahrzeug-Simulatoren.
- 2 Eine avancierte und weiter ausdifferenzierte Lerntheorie liefert hierzu das Konzept „Lernen durch Expansion“ von YRJÖ ENGSTRÖM (1999).
- 3 Eine Reihe von Beispielen mit relativ einfachen Lösungen findet sich in O’SULLIVAN/IGOE (2004).
- 4 Wenn hier oder im Folgenden von Handys oder PDAs gesprochen wird, sind prinzipiell alle Arten von digitalen hand-held devices wie

Handys, PDAs, Tablet PCs gemeint.

- 5 DERIVE: distributed real and virtual learning environments for mechatronics and teleservice, <http://www.derive.uni-bremen.de> (letzter Zugriff: 30.03.09)
- 6 Die Frage, wie eng das Lernszenario an den realen Anwendungskontext heranrücken kann, ist im Rahmen dieses Aufsatzes nicht zu behandeln. Wegen der immer stärkeren Durchdringung aller Orte mit vernetzter Informationstechnik lässt sich aber vermuten, dass prinzipiell zum Beispiel auch Lern- und Ar-

beitsszenarien immer enger verflochten werden.

### Literatur

- BRUNS, F. W./YOO, Y./KLEIZA, K. (2008): Einheitliches Konzept für die Verbindung digitaler und physikalischer Modelle mit Hyper-Bonds. DFG-Abschlussbericht VEDIP, artecLab Paper 13. Bremen.
- ENGESTRÖM, Y. (1999): Lernen durch Expansion. Marburg.
- MÄRKLIN, T. F. W. (1957): Bauanleitungsheft zum Kasten Elex 1053. Göppingen.

MÜLLER, D. (2005): Zwischen Realem und Virtuellem – Mixed-Reality in der technischen Bildung. In: LEHMANN, K./SCHETSCHKE, M. (Hrsg.): Die Google-Gesellschaft. Bielefeld. S. 299–304.

O’SULLIVAN, D./IGOE, T. (2004): Physical Computing – Sensing and Controlling the Physical World with Computers. Boston.

PAPERT, S./MINSKY, M./KAY, A. (2005): What Have We Learned from Our Past? A Conversation. Communications of the ACM, Vol. 1. S. 35–38.

---

Jürgen Roßmann/Ulrich Karras/Oliver Stern

## Virtuelle Lernumgebungen für die Automatisierungstechnik Potenziale der 3-D-Simulationstechnik

Im Gegensatz zum Ausbildungsbereich sind Simulationssysteme in der industriellen Praxis heute in großen Unternehmen Stand der Technik. Die Möglichkeiten solcher Softwarepakete zum realitätsnahen virtuellen Umgang mit komplexen mechatronischen Systemen sollen nun verstärkt auch für einen kostengünstigen und motivierenden Einstieg in die Automatisierungstechnik genutzt werden.

Der Einsatz der 3-D-Simulation in der Ausbildung bietet dabei nicht nur eine hervorragende Unterstützung von Lernprozessen, sondern konfrontiert den Schüler<sup>1</sup> auch mit einem Werkzeug, das speziell im Umfeld der Automobilindustrie längst zum Standard herangereift ist. Zur Vorbereitung der Inbetriebnahme oder der Programmierung einer Fertigungsanlage ist dort aus terminlichen Gründen zumeist die reale Anlage noch nicht verfügbar. Daher wird ein virtuelles Modell programmiert und die Inbetriebnahme an dieser virtuellen Anlage mithilfe der Simulation durchgeführt. Die Umsetzung auf die reale Anlage kann dann in einer deutlich kürzeren Zeit erfolgen, sodass oft allein schon diese Zeitersparnis die Zusatzkosten für die virtuelle Anlage mehr als ausgleicht. Ähnliche Zeit- und Kostenersparnisse lassen sich auch im Ausbildungsbereich erzielen, wenn Methoden der virtuellen Produktion eingesetzt werden.

### Motivation

Praktische Übungen sind ein wesentlicher Bestandteil der Aus- und Weiterbildung in den verschiedenen Teildisziplinen der Automatisierungstechnik. Dabei haben sich sehr viele unterschiedliche, zum Teil auch verwandte Ausbildungs- und Studiengänge etabliert, z. B. in den Bereichen Robotik, Produktionstechnik und Mechatronik (Elektrik, Mechanik, Steuerungstechnik usw.). Um dieses ganze Spektrum

mit Lernsystemen abdecken zu können, ist ein interdisziplinärer Ansatz notwendig, der die großen Niveauunterschiede – z. B. zwischen Berufsschulen und Universitäten – angemessen berücksichtigt.

Ein großer Teil der Ausbildung in diesen Disziplinen findet heute anhand von in Hardware aufgebauten Übungsanlagen statt. Dieser Ansatz bringt eine Reihe von wesentlichen Problemen mit sich:

- Die hohen Anschaffungskosten für solche Anlagen führen dazu, dass sie bei den Bildungsträgern nur in sehr kleinen Stückzahlen verfügbar sind, sodass für den einzelnen Schüler nur relativ wenig Übungszeit zur Verfügung steht. Außerdem haben sie lange Standzeiten, sodass sie aufgrund des schnellen Fortschritts in diesem Bereich oft nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik sind.

- In vielen Übungsszenarien werden spezielle (günstige) „Ausbildungskomponenten“ eingesetzt, was einen Transfer des erarbeiteten Wissens in die industrielle Praxis mitunter schwierig macht.
- Die geringe Komplexität solcher Anlagen verhindert eine vielfältige Nutzung, insbesondere im Hinblick auf die immer wichtiger werdende interdisziplinäre Ausrichtung von modernen Ausbildungs- und Studiengängen.
- Die mit realer Hardware einhergehenden Sicherheitsbestimmungen führen zu einem hohen Einführungsaufwand, um Schäden an Mensch und Maschine auszuschließen. Diese Zeit fehlt für die eigentlichen praktischen Übungen an den Geräten.
- Der Wartungsaufwand ist oft so hoch, dass Fehlerszenarien kaum geübt werden, da der dafür jeweils notwendige Umbau der Anlagen für jeden Schüler in der gegebenen Zeit nicht durchführbar ist.

Eine mögliche Alternative ist der Einsatz von Simulationssoftware, die in großen Unternehmen – insbesondere in der Automobilindustrie – inzwischen zum Stand der Technik gehört. Hier sind aber vor allem die beiden folgenden Problemstellungen zu beachten:

- Die Erstellung geeigneter Simulationsmodelle ist sehr zeitaufwändig und meist nur von Experten zu bewerkstelligen. Dies führt zu einer hohen Einstiegshürde im Bereich der Ausbildung.
- Aktuelle Simulationssysteme sind in der Regel nicht in der Lage, alle für die Ausbildung notwendigen Details geeignet virtuell abzubilden. Dadurch können sie keinen vollständigen Ersatz für den Umgang mit realer Hardware bieten.

Eine geeignete synergetische Kombination aus realen und virtuellen Übungsszenarien sollte jedoch dazu in der Lage sein, diese Probleme zum größten Teil zu lösen. Insbesondere ein nach dem Baukastenprinzip entworfenes System, in dem Hardware-systeme und vorkonfektionierte Simulationsmodelle variabel miteinander kombiniert werden können, bietet hier

einen erfolgversprechenden interdisziplinären Ansatz. Ein solcher Systembaukasten muss allerdings durch umfangreiche Lernmaterialien didaktisch unterstützt werden und dahingehend offen und erweiterbar sein, dass einfach zusätzliche individuelle Lernszenarien erstellt werden können.

### Verbindung von Realität und Simulation

Wer sich mit Lehrplänen von Teildisziplinen der Automatisierungstechnik befasst, erkennt schnell, dass die zu bearbeitenden Projekte und Aufgaben idealerweise an mechatronischen Systemen im Sinne komplexer Anlagen aufzubereiten sind. Die Firma FESTO Didactic hat schon vor einigen Jahren mit dem Ansatz der modularen Produktionssysteme (MPS) ein Ausbildungskonzept geschaffen, das diese Ansprüche hardwareseitig bereits erfüllt. Es enthält viele moderne mechatronische Subsysteme wie z. B. Roboter und SPSen und bildet zahlreiche Funktionen nach, die sich in modernen Fertigungs-, Montage- oder Verpackungslinien finden lassen. Die Hardware dieses Systems besteht aus Industriekomponenten und bietet damit optimale Voraussetzungen für den Transfer in die berufliche Praxis.

Zur Vermittlung der Lerninhalte kann ein Ausbilder heute unter zahlreichen Methoden wählen – vom konservativen Frontalunterricht bis hin zum multimedialen E-Learning. Die praxisnahe Anwendung dieses theoretischen Wissens ist im Rahmen der Ausbildung jedoch oft nur schwierig umzusetzen. Hier ist die These „Learning by Doing“ unstrittig dahingehend, dass die Tätigkeit am industrienahen Ausbildungssystem ein Muss ist, um im doppelten Sinne Technik zu begreifen. Es ist jedoch unrealistisch anzunehmen, dass jedem Schüler die geeignete Hardware im notwendigen Umfang zur Verfügung gestellt werden kann, da die Kosten hierfür viel zu hoch sind. Um diese didaktische Lücke zu schließen, wurde das 3-D-Echtzeitsimulationssystem CIROS so erweitert, dass ein realistischer Umgang mit allen ausbildungsrelevanten mechatronischen Systemen in Form virtueller Modelle gewährleistet werden kann. Anschließend wurden für alle verfügbaren realen Ausbildungssysteme Simulationsmodelle erstellt,

die sich in den wesentlichen Eigenschaften (Elektrik, Mechanik usw.) und im Verhalten mit der realen Hardware decken.

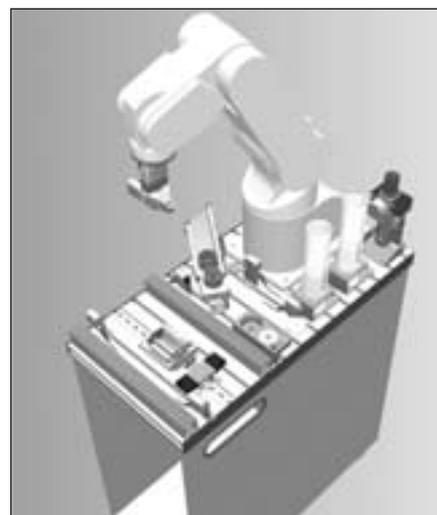
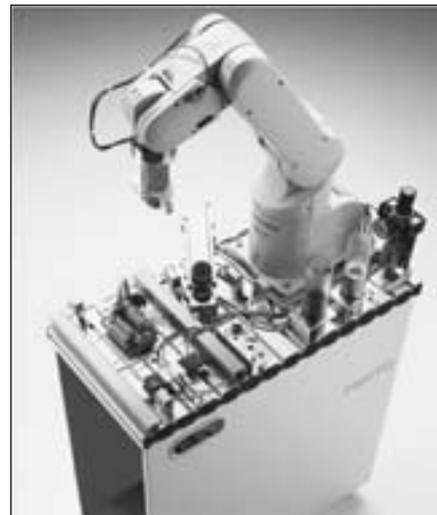


Abb. 1: Reales (oben) und virtuelles (unten) Ausbildungsszenario

Der Lernende übt mit dem virtuellen Modell, das sich in Funktion und Verhalten von der realen Anlage kaum unterscheidet (Abb. 1), sodass die anhand der Simulation erarbeiteten Kenntnisse direkt in die Praxis umgesetzt werden können. Wesentlich hierbei ist, dass die korrekten mechanischen, elektrischen und steuerungstechnischen Details der Anlage in Echtzeit simuliert werden und sowohl Schüler als auch Lehrer während der laufenden Simulation mit der Anlage interagieren können.

Ein auch unter Kostenaspekten wichtiger Gesichtspunkt dieses Konzepts ist die Möglichkeit, ausgewählte Teile einer realen Arbeitsumgebung durch ein virtuelles Abbild ersetzen zu können (Hardware-in-the-Loop). Dies ermöglicht außerdem, benutzerspezifische Übungsszenarien zu gestalten, für die eine reale Arbeitsumgebung gar nicht oder nur in Teilen verfügbar ist. Die so aufbereiteten Übungseinheiten können von den Schülern dann auch außerhalb der Unterrichtszeiten zur Vorbereitung von Lerninhalten genutzt werden.

**Eigenschaften der virtuellen Lernumgebung**

**Anforderungen an virtuelle Lernumgebungen**

Das hier vorgestellte Konzept basiert auf einem industriellen 3-D-Simulationssystem für die digitale Fabrik. Dadurch können nicht nur Robotersysteme, Sensoren und technische Prozesse simuliert werden, sondern vollständige komplexe Fertigungslinien, die sonst für die Ausbildung nicht zur Verfügung stehen. Eine so leistungsfähige Basis ist notwendig, um die Lerninhalte realitätsgetreu vermitteln zu können, d. h.,

- Komponenten (z. B. Magazinschieber, Schwenkarm, Drehtisch, Bandsystem, Handlingsystem, Roboter) und ihre reale Funktionalität zu begreifen,
- Verdrahtungen mit Aktoren und Sensoren durchzuführen,

- Komponenten zu bewegen oder einzelne Prozessschritte auszuführen und
- SPS- oder Roboterprogramme zu erstellen und im Ablaufverhalten zu testen (z. B. korrektes funktionales Verhalten, korrekte Interaktionen mit Sensoren, Kollisionsprüfung).

Ziel der virtuellen Lernumgebung ist es, nicht nur eine Animation von Prozessvorgängen zu zeigen, sondern die reale Hardwareumgebung im fast wörtlichen Sinn begreifbar zu machen. Dies erfordert eine sehr realistische und detailgetreue 3-D-Darstellung und Simulation, um ein effizientes „Learning-by-Doing“-Szenario für den Schüler zu ermöglichen. Der Auszubildende kann sich damit individuell so vorbereiten, dass die Umsetzung an der realen Hardwareumgebung lediglich die Form eines Abschlusstests hat. Um diesem Anspruch gerecht werden zu können, wurden in das Basissimulationssystem unter anderem die folgenden Module integriert:

- Mehrrobotersimulation mit den originalen Mitsubishi MELFA-BASIC IV Roboterprogrammen,
- SPS-Simulation mit den originalen Siemens STEP7 Steuerungsprogrammen,
- Transportsimulation (Werkstückträgertransfersysteme, Teilemagazine usw.),
- Sensor- und Aktorsimulation bis hin zu Kamerasystemen zur Objekterkennung,

- Ankopplung realer Steuerungen über verschiedene Schnittstellen wie z. B. OPC (OLE for Process Control) sowie
- Betrieb der simulierten Anlage mit dem originalen Bediensystem (Human-Machine-Interface, HMI).

Über die realitätsgetreue Simulation hinaus ist es in einem Lernsystem nötig, dem Schüler Interaktionsmöglichkeiten mit dem virtuellen Modell bereitzustellen, die der Bedienung der realen Anlage weitestgehend entsprechen. Zu diesem Zweck existieren folgende Möglichkeiten (vgl. Abb. 2):

- Originale Interaktionselemente wie Schalter oder Taster werden im 3-D-Modell virtuell nachgebildet und können während der laufenden Simulation bedient werden.
- Die elektrischen Verbindungen können in Ihrem Verlauf verfolgt werden. Zusätzlich kann das E/A-Verhalten mittels entsprechender Anzeigen beobachtet und von Hand beeinflusst werden.
- Mechanische Komponenten können „von Hand“ bewegt und dabei kinematische Beschränkungen und Geschwindigkeiten eingestellt werden.
- Einzelne Automatisierungskomponenten wie z. B. Sensoren können ausgerichtet und justiert werden.

**Störungssimulation**

Zur Wartung und Überwachung eines mechatronischen Systems ist eine praxisorientierte Fehlersuche und Feh-

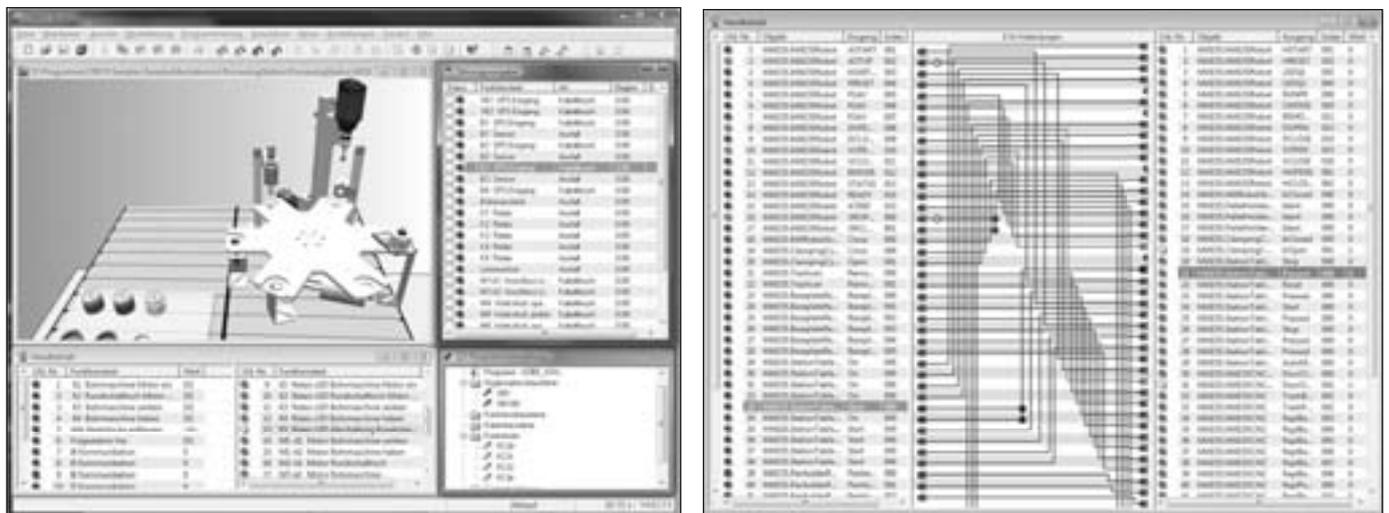


Abb. 2: Bedienoberfläche (links) und elektrische Verbindungen (rechts)

lerbehebung unbedingt erforderlich. Zu diesem Zweck wurde die Simulationssoftware so erweitert, dass der Ausbilder umfassende Möglichkeiten erhält, Fehlerszenarien zu definieren und den Schülern zur Bearbeitung vorzugeben. Die Maßnahmen zur Fehleridentifikation können anschließend vom Ausbilder ausgewertet werden, sodass gleichzeitig auch eine Bewertung der erreichten Lernfortschritte unterstützt wird. An ausgewählten Beispielen kann dann gezielt eine Fehlersuche und praktische Fehlerbehebung erfolgreich an der Hardwareanlage erfolgen.

Der Lehrer ist in der Lage, Störungen im Anlagenbetrieb oder während der Inbetriebnahme – wie z. B. Kabelbruch, fehlerhafte elektrische Verbindungen oder Ausfall von Sensoren – zur Simulationszeit in die Lernszenarien einzuspeisen, um sie anschließend vom Lernenden analysieren und beheben zu lassen (Abb. 3, links). Diese in der beruflichen Praxis häufig benötigten Fähigkeiten lassen sich in klassischen Lernumgebungen in der Regel nur sehr schwer trainieren, da eine Rückkehr zum fehlerfreien Anlagenzustand mit erheblichem Aufwand und oft auch

mit hohen Kosten verbunden ist. Das Protokoll der Schüleraktivitäten unterstützt den Lehrer bei der Bewertung des Lernfortschritts (Abb. 3, rechts).

### Aufbau und Einsatz der Lernszenarien

#### Allgemeine Grundsätze zum Aufbau der Lernszenarien

Im Rahmen der Umsetzung des oben beschriebenen Konzepts wurde der interdisziplinäre Baukasten „CIROS Automation Suite“ mit über 60 Lernszenarien entwickelt, die jeweils aus einem Simulationsmodell sowie einer oder mehreren Hardwarekomponenten bestehen und didaktisch aufeinander aufbauen. Damit können die unterschiedlichen Ausbildungsdisziplinen für das gesamte Komplexitätsspektrum unterstützt werden (s. Abb. 4). Auf diese Weise kann jeder Ausbilder aus der zur Verfügung stehenden Bandbreite die für seine Zielgruppe passenden Inhalte auswählen und frei miteinander kombinieren. Zusätzlich wurden Modellierungswerkzeuge integriert, die es dem Anwender erlauben, beliebige eigene Lernumgebungen zu gestalten.

Id	Benennung	Funktionsort	Status	Ergebnis	Erreicht
27	Temperatursensoren	Stoppert 040 2 Sensor Teil auf Vorkühleranlage	Ausfall	0,00	
28	Temperatursensoren	Stoppert 040 1 Sensor	Ausfall	0,00	
29	Temperatursensoren	Stoppert 040 2 Zähler	Ausfall	0,00	
30	Temperatursensoren	Stoppert 040 1 Sensor Vorkühleranlage bei Stopper	Ausfall	0,00	
31	Temperatursensoren	Stoppert 040 2 Sensor Stop	Ausfall	0,00	
32	Temperatursensoren	Stoppert 040 2 Sensor Teil auf Vorkühleranlage	Ausfall	0,00	
33	Temperatursensoren	Stoppert 040 1 Sensor	Ausfall	0,00	
34	Temperatursensoren	Stoppert 040 2 Zähler	Ausfall	0,00	
35	Temperatursensoren	Stoppert 040 1 Sensor Vorkühleranlage bei Stopper	Ausfall	0,00	
36	Temperatursensoren	Stoppert 040 2 Sensor Stop	Ausfall	0,00	
37	Temperatursensoren	Stoppert 040 2 Sensor Teil auf Vorkühleranlage	Ausfall	0,00	
38	Temperatursensoren	Stoppert 040 1 Sensor	Ausfall	0,00	
39	Verriegelung	Handhaben 182	Ausfall	0,00	
40	Verriegelung	Handhaben 181 Zähler 2 Achse	Ausfall	0,00	
41	Verriegelung	Handhaben 181 Zähler 1 Achse	Ausfall	0,00	
42	Verriegelung	Handhaben 181 SPS-Eingang	Ausfall	0,00	
43	Verriegelung	Handhaben 182 Relechtschalter	Ausfall	0,00	
44	Verriegelung	Handhaben 182 SPS-Eingang	Kabelbruch	0,00	
45	Verriegelung	Handhaben 181 Relechtschalter	Ausfall	0,00	
46	Verriegelung	Handhaben 181 SPS-Eingang	Kabelbruch	0,00	
47	Verriegelung	Handhaben 181 Handhabung bei Verriegelungsbau	Kabelbruch	0,00	
48	Verriegelung	Handhaben 180 Handhabung bei Verriegelungsbau	Kabelbruch	0,00	
49	Verriegelung	Handhaben 171 Hand	Ausfall	0,00	
50	Verriegelung	Handhaben 172 Schloß	Schloß defekt	0,00	
51	Verriegelung	Handhaben 173 Schloß	Schloß defekt	0,00	
52	Verriegelung	Handhaben 201 Zähler 2 Achse	Ausfall	0,00	
53	Verriegelung	Handhaben 201 SPS-Eingang	Kabelbruch	0,00	
54	Verriegelung	Handhaben 202 SPS-Eingang	Kabelbruch	0,00	
55	Verriegelung	Handhaben 201 Zähler 1 Achse	Ausfall	0,00	
56	Verriegelung	Handhaben 201 Zähler	Ausfall	0,00	
57	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
58	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
59	Verriegelung	Handhaben 201 Zähler	Ausfall	0,00	
60	Verriegelung	Handhaben 201 SPS-Eingang	Kabelbruch	0,00	
61	Verriegelung	Handhaben 201 Zähler 1 Achse	Ausfall	0,00	
62	Verriegelung	Handhaben 201 Zähler 2 Achse	Ausfall	0,00	
63	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
64	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
65	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
66	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
67	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
68	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
69	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
70	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
71	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
72	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
73	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
74	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
75	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
76	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
77	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
78	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
79	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
80	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
81	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
82	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
83	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
84	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
85	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
86	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
87	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
88	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
89	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	
90	Verriegelung	Handhaben 210 Schloß	Schloß defekt	0,00	

Id	Datum	Uhrzeit	Funktionsort	Kompensation
1	27.05.2008	13:18:37	1V5 Schlauch	Schlauch defekt
2	27.05.2008	13:18:47	1V5 Schlauch	Keine Störung
3	27.05.2008	13:18:56	1V5 Schlauch	Schlauch defekt
4	27.05.2008	13:19:01	2V2 Schlauch	Schlauch defekt
5	27.05.2008	13:19:04	Luftkissenrutsche	Ausfall
6	27.05.2008	13:20:25	3M1 Luftkissenrutsche ein	Kabelbruch
7	27.05.2008	13:20:30	1M2 Hebelzylinder nach oben	Kurzschluss gegen Spannung
8	27.05.2008	13:20:33	1M1 Hebelzylinder nach unten	Kabelbruch
9	27.05.2008	13:20:39	3M2 Luftkissenrutsche ein	Keine Störung
10	27.05.2008	13:20:43	1M2 Hebelzylinder nach oben	Kabelbruch
11	27.05.2008	13:21:23	85 SPS-Eingang	Kabelbruch
12	27.05.2008	13:21:26	181 SPS-Eingang	Kabelbruch
13	27.05.2008	13:21:28	182 SPS-Eingang	Kabelbruch
14	27.05.2008	13:21:31	181 SPS-Eingang	Kurzschluss gegen Spannung
15	27.05.2008	13:21:34	85 SPS-Eingang	Kurzschluss gegen Spannung
16	27.05.2008	13:21:37	85 SPS-Eingang	Keine Störung
17	27.05.2008	13:22:01	181 SPS-Eingang	Keine Störung
18	27.05.2008	13:22:34	182 SPS-Eingang	Keine Störung
19	27.05.2008	13:22:38	2V2 Schlauch	Keine Störung
20	27.05.2008	13:22:39	1M2 Hebelzylinder nach oben	Keine Störung
21	27.05.2008	13:22:41	1M1 Hebelzylinder nach unten	Keine Störung
22	27.05.2008	13:23:06	1M1 Hebelzylinder nach unten	Kabelbruch
23	27.05.2008	13:23:08	1M2 Hebelzylinder nach oben	Kabelbruch

Abb. 3: Störungsvorgabe (oben) und Störungsprotokoll (unten)

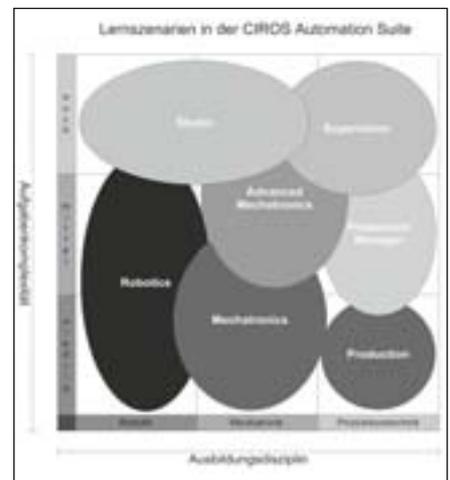


Abb. 4: Abdeckung von Lerninhalten

Der Automation Suite liegt ein Konzept der offenen Lernumgebung zugrunde, also ein durch Konstruktivismus geprägter freier Lernansatz. Das heißt, verschiedene Arbeitsmittel wie Grundlagenwissen, Lexikon, Simulationen und reale Hardware sind verfügbar, wobei diese Mittel frei zusammengestellt und eingesetzt werden können. Diese offene Struktur wurde auch bei der

Gestaltung des Grundlagenwissens umgesetzt, das in einem interaktiven, multimedialen Wissensinformationssystem abgelegt ist. Der Inhalt ist dabei in einzelnen Informationseinheiten aufbereitet, die aus Texten (Konzepte, Erklärungen, Vorschriften, Beispiele usw.), Grafiken, Videos und Animationen bestehen, die alle miteinander durch Hyperlinks vernetzt sind.

Ein wesentlicher Vorteil des hier vorgestellten Ansatzes neben der Kostenersparnis ist, dass die Schüler gut vorbereitet an der wenig vorhandenen Hardware erscheinen und diese so effizient nutzen können. Sie sind nicht nur theoretisch, sondern auch handlungsorientiert mit dem System vertraut. Sie können sich so auf die zentralen Dinge konzentrieren, die reale und virtuelle Welt trotz aller Detailtreue noch voneinander trennen, z. B.:

- Wie lässt sich ein Sensor mit entsprechenden Werkzeugen einstellen?
- Welche Sicherheitsmaßnahmen sind bei der mechanischen Verdrahtung zu beachten?
- Wie lässt sich ein Roboter mit dem originalen Handbediengerät bewegen?
- Wie lassen sich Teilkomponenten des Systems aus- und einbauen?

Damit reduziert sich der notwendige Zeitaufwand für den ersten Lernschritt an der Hardware ganz erheblich. Die Folge ist, dass trotz aller Zeitengpässe ein Ablauf organisiert werden kann, bei dem jeder Schüler die Hardware-spezifika vollständig begreift.

Ein zentrales Element der CIROS Automation Suite bilden dabei die vorbereitete Arbeitszellenbibliotheken für die verschiedenen Bereiche der Robotik, Mechatronik und Produktionstechnik. Die Robotik-Bibliothek enthält z. B. vordefinierte robotergestützte Arbeitszellen mit einer jeweils zugehörigen technischen Dokumentation. Diese Bibliothek soll zwei Ziele erfüllen:

- Zur Präsentation von Anwendungsbeispielen soll jede Arbeitszelle eine Beispiellösung enthalten, die der Lehrer zur Veranschaulichung vorstellen und erläutern kann.
- Die Arbeitszellen sollen den Schülern als Grundlage dienen, um Pro-

jektaufgabenstellungen zu lösen, d. h., in der Simulation alle Schritte vom Teachen der Positionen bis zur Erstellung des Roboterprogramms und der kompletten Inbetriebnahme sowie dem Test in der Anwendung durchzuführen. Hierbei liegen die vorbereiteten Beispielprogramme dem Schüler nicht vor.

Um diese flexible Nutzung der Bibliotheken zu ermöglichen, wurden zwei Zugriffsmodi realisiert. Einerseits kann nur lesend auf die Arbeitszellen zugegriffen werden (Präsentationsdarstellung), andererseits hat der Lehrer die Möglichkeit, den Schülern die Zellen entsprechend seiner Anforderungen so aufzubereiten, dass jeder Schüler diese Zellen in seinem persönlichen Arbeitsbereich öffnen und kontinuierlich weiterbearbeiten kann.

### Robotik

Für die Robotik-Ausbildung wurden industrielle Anwendungsszenarien analysiert und in Form von Arbeitszellen für verschiedene Anwendungsbereiche (wie z. B. Handhabung, Palettieren, Montage, Werkstückbearbeitung, Schweißen usw.) didaktisch aufbereitet. In immer komplexer gestalteten Arbeitsumgebungen sollen damit die folgenden Fertigkeiten vermittelt werden:

- Verständnis des Aufbaus von Robotern und ihrer Kinematik (z. B. Konfiguration, Singularitäten usw.),
- Verfahren mittels Handbediengerät und Teachen von Positionen,
- Programmierung von robotergestützten Prozessen mit Erreichbarkeitsprüfung und Kollisionserkennung,
- Kommunikation zwischen Robotern, peripheren Feldgeräten und Sensoren sowie
- Optimierung von Zykluszeiten.

Auch ein reales Ausbildungssystem aus dem Bereich der robotergestützten Montage von Kleinteilen kann durch ein zugehöriges Simulationsmodell dargestellt werden (s. Abb. 5). Dieses Szenario enthält neben dem Roboter noch einige typische periphere Einrichtungen, die mithilfe der elektrischen Verbindungen durch ein Roboterprogramm gesteuert werden. Hierzu gehören u. a. Magazine, Schieber und Rutschen für den Werkstücktransport,



Abb. 5: Reales (oben) und virtuelles (unten) RobotikszENARIO

diverse Sensoren sowie eine pneumatisch angetriebene Prüfeinrichtung.

### Mechatronik

Die industrielle Entwicklung der letzten Jahre ist unter anderem bestimmt durch einen immer höheren Grad der Automatisierung, immer komplexere Arbeitsprozesse und schnellere Arbeitsabläufe. Hierzu gehören hohe Maschinenwirkungsgrade ebenso wie die Verringerung von Stillstandzeiten, die Optimierung von Anlagen und kontinuierliche Verbesserungsprozesse. Damit ergeben sich für alle diejenigen, die im direkten Kontakt zu einer Anlage stehen, zum Teil völlig neue Anforderungen. Der Bediener übernimmt kleinere Wartungsarbeiten und eventu-

ell Reparaturen, ebenso der Einrichter. Der mechanische Instandhalter muss in der Lage sein, elektrische und elektronische Steuerungstechnik so weit zu verstehen, dass er Rückschlüsse auf Mechanik, Pneumatik und Hydraulik ziehen kann. Umgekehrt benötigt der Elektriker auch Kenntnisse über pneumatische und hydraulische Aktorik.

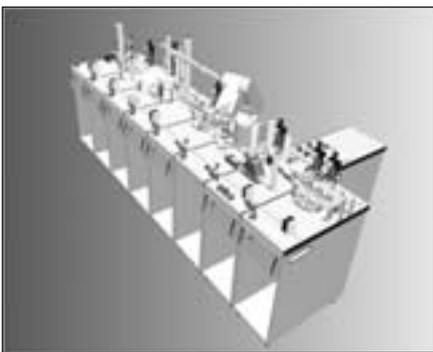
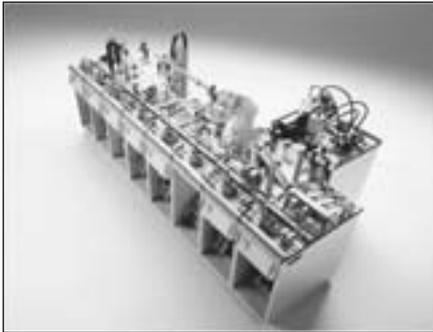


Abb. 6: Reale (oben) und virtuelle (unten) mechatronische Anlage

Ein wesentliches Ziel war es deshalb, ein Werkzeug zu schaffen, mit dessen Hilfe Kenntnisse und Fähigkeiten in den Bereichen Technologie sowie Anlagenwissen und Systemverständnis erworben und vertieft werden können. Für den Bereich Mechatronik wurden dabei Prozessmodelle zu unterschiedlich komplexen Anlagen aus dem Produktionsbereich erstellt. Zum Beispiel können sieben SPS-gesteuerte Fertigungsmodule zu einer Gesamtanlage kombiniert werden (s. Abb. 6). Mit den zur Verfügung stehenden Basis-szenarien und den daraus erstellbaren komplexen Anlagen sollen folgende grundlegende Fähigkeiten und das zugehörige methodische Vorgehen geübt werden:

- SPS-gesteuerte Anlagen in ihrer Funktionsweise und Systemstruktur zu analysieren und zu verstehen,
- SPS-Programme für immer komplexer werdende Anlagen zu erstellen und zu testen,
- verteilte Anlagen zu bedienen, zu beobachten und zu vernetzen,
- Anlagenteile mittels Hardware-in-the-Loop mit realen SPSen in Betrieb zu nehmen sowie
- systematische Fehlersuche als Teil von Instandhaltung an Anlagen durchzuführen.

### Produktionstechnik

Im Bereich der Produktionstechnik können komplette Fertigungslinien mit vorkonfigurierten Automatisierungszellen wie z. B. zur Montage, CNC-Bearbeitung, Lagerung oder Qualitätsprüfung individuell zusammengestellt und mit Materialflusssystemen verbunden werden. Die Aufgabenstellungen orientieren sich an betrieblichen Handlungsabläufen und zielen auf eine Ganzheitlichkeit des Lernprozesses, um Methodenkompetenz und Handlungskompetenz zu verbessern. Damit sollen Lerninhalte aus den folgenden Bereichen bearbeitet und vermittelt werden:

- Aufbau und Funktionsweise von Produktionslinien,
- Bedienen und Beobachten von Fertigungsanlagen,
- Struktur und Funktionsweise von flexiblen Fertigungssteuerungen,
- Definition von Abläufen für die Steuerung der Produktionslinie,
- Programmierung von Fertigungssteuerungen mittels Prozessplänen,
- Optimierung des Materialflusses,
- Produktionsdatenbanken als Teil einer „digitalen Fabrik“ (Betriebsdatenerfassung, Produkt-, Auftrags- und Lagerverwaltung) sowie
- Grundfunktionen eines Produktionsplanungssystems (z. B. Serienfertigung, Batch-Prozesse und Einlastung von Einzelaufträgen).

Die simulierte Fertigung (Abb. 7, rechts) der aufgebauten Produktionslinien verhält sich wie die reale Fertigung (Abb. 7, links) der Produktions-

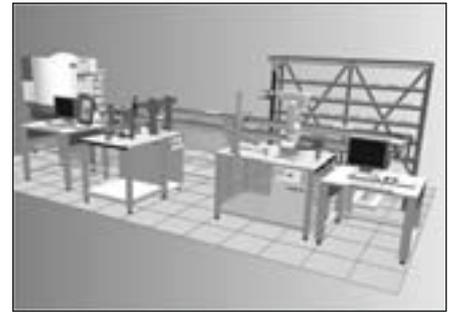


Abb. 7: Reale (oben) und virtuelle (unten) Produktionslinie

linie. Durch die Analyse des Verhaltens der Anlage in der Simulation wird für den Anwender sofort sichtbar, ob er die Produktionslinie korrekt konfiguriert und programmiert hat. Auch die Wirkung von Fehlbedienungen ist sichtbar, ohne dass Schaden an der Produktionslinie entsteht. So kann der Anwender selbstständig Rückschlüsse ziehen und auswerten sowie seine Kenntnisse und Fähigkeiten an einer Vielzahl von möglichen Produktionslinien verbessern.

### Einsatzbeispiele aus der Praxis

#### Erstellung spezifischer Ausbildungsszenarien

Mit der CIROS Automation Suite sind außergewöhnliche Nutzungsszenarien möglich. Das gesamte Einsatzspektrum des Systems ist aufgrund seiner offenen Struktur sehr breit, insbesondere was die Standardnutzung im Unterricht mit den vorbereiteten Szenarien anbelangt. Im Rahmen einer engen Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Bildungsträgern weltweit werden außerdem ständig neue Einsatzfelder untersucht und erschlossen.

Für die Mechatronikausbildung stellt die CIROS Automation Suite eine spezielle Bibliothek mit vordefinierten SPS-gesteuerten Automatisierungssys-

temen zur Verfügung, die vorwiegend dem mechatronischen Übungssystem MPS („Modulare Produktionssysteme“) der Firma Festo Didactic entnommen sind. Viele Berufsschulen und Ausbildungseinrichtungen besitzen aber bereits vorbereitete eigene Hardwaresysteme. Es stellt sich damit die Frage, wie die spezifischen Ausbildungssysteme in die Simulationsumgebung integriert werden können. Zu diesem Zweck stellt die Automation Suite ein sehr umfangreiches Werkzeug zur Modellierung von 3-D-Simulationen bereit. Je nach Komplexität erfordert die Erstellung eines neuen virtuellen Modells eine tiefgehende Einarbeitung in das Softwaresystem.

Der Fachbereich Steuerungstechnik der Berufsbildenden Schulen BBS II in Osnabrück hatte für die Ausbildung systematisch ein dreiachsiges Handlingsystem und eine zugehörige umfangreiche Unterrichtssequenz zur Steuerungstechnik entwickelt. Es stellte sich jedoch schnell heraus, dass eine erfolgreiche Umsetzung dieses Lehransatzes nur möglich ist, wenn für jeweils maximal drei Schüler ein solches Handlingsystem verfügbar ist. Aus Kosten- und Aufwandsgründen entstand deshalb die Idee, dieses Hardwaresystem in CIROS als neues didaktisches Übungsmodell zu integrieren. Es entstand ein 3-D-Simulationsmodell (Abb. 8).

Die ersten Modellierungsschritte wurden dabei von Mitarbeitern des Fachbereichs selbstständig durchgeführt. Für die Mechanismen zur Positionie-

rung der Achsen und zur Integration der Steuerungsschnittstelle leistete ein Spezialist der Festo Didactic die notwendige Unterstützung. Als Ergebnis dieser Bemühungen hat jetzt jeder Schüler das virtuelle Handlingsystem an seinem Arbeitsplatz im Zugriff, wobei die gesamte Funktionalität, die auch das Hardwaresystem bereitstellt, abgebildet ist. Zusätzlich ist es möglich, die vorhandene reale SPS zur Steuerung des virtuellen Systems einzusetzen.

**Lehrerfortbildung im Bereich Robotertechnik**

Trotz aller Bemühungen der Industrie, die industrielle Robotertechnik als Teil der beruflichen Lehrpläne des Mechatronikers, Industriemechanikers oder Elektrotechnikers für die Automatisierungstechnik zu etablieren, fehlt aufgrund der Komplexität die breite Akzeptanz, dieses Thema in die Unterrichtsgestaltung aufzunehmen. Mit der BBS II Osnabrück hat die Festo Didactic einen ersten Partner gefunden, um systematisch praxisorientierte Lehrerfortbildungen in diesem Bereich durchzuführen. Der Gesamtkurs besteht dabei aus zwei Teilen:

- Grundlagenkurs Robotik (zwei bis drei Tage) und
- Aufbaukurs Robotik (zwei Tage).

Die Zielsetzung des Grundlagenkurses ist es dabei, den Lehrern einen Leitfaden an die Hand zu geben, der es ermöglicht, eine handlungsorientierte Vermittlung von Grundlagen der Ro-

botertechnik für Berufsschüler zu realisieren. Der Aufbaukurs soll einen besonderen Schwerpunkt in der industriellen Robotertechnik weiter vertiefen, wobei vorrangig bislang die beiden Themenstellungen

- Einsatz von Bildverarbeitung und
- Integration von SPS-Steuerungssystemen

behandelt worden sind. Dieses Konzept wurde vor vier Jahren entwickelt, und es haben inzwischen zwölf Kurse mit insgesamt ca. 140 Teilnehmern stattgefunden. Zur Sicherstellung der praxisnahen Arbeit mit Industrierobotern wurden von den Firmen Mitsubishi Electric und Festo Didactic drei Roboterstationen und eine Anlage mit Bildverarbeitung bereitgestellt (s. Abb. 9).



Abb. 9: MITSUBISHI ROBOTER RV-3SB mit integrierter Bildverarbeitung

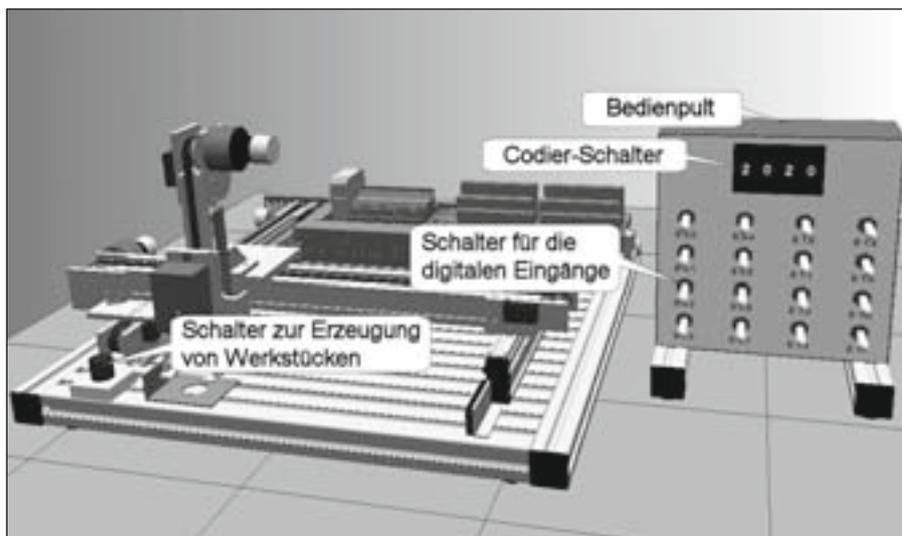


Abb. 8: Virtuelles Modell des 3-Achsensystems mit Bedienpult

Die didaktische Herausforderung für die Lehrer ist es, das Thema „Robotik“ unter der Rahmenbedingung einer Klassenstärke von 20 bis 30 Schülern zu vermitteln. Es ist dann unmittelbar klar, dass hierbei ein reales technisches System nur als Demonstrationsumgebung oder zum Abschluss eines wohlgeplanten Inbetriebnahme-projekts dienen kann. Die notwendige Vorarbeit kann nur über die Nutzung von virtuellem Lernen erfolgen. Zum Einsatz kommen hierbei die folgenden Softwaremedien:

- Lernsequenzen aus dem WBT Handhabungstechnik („Web Based Training“),
- Online-Tutorial der CIROS Automation Suite,

- Simulationssystem CIROS Robotics als Teil der CIROS Automation Suite.

Bei der Durchführung der Fortbildungen haben sich zahlreiche didaktische Zusatzanforderungen an das Simulationssystem ergeben, die in der aktuellen Version nunmehr alle eingearbeitet sind.

### Einsatz außerhalb der Unterrichtszeiten

Eine zunehmend wichtige Anforderung ist es, dass die Schüler Aufgabenstellungen auch zu Hause weiterbearbeiten können. Im Idealfall hat der Schüler dabei die Simulationsumgebung auch am PC-Arbeitsplatz zu Hause verfügbar. Heute kann man davon ausgehen, dass die meisten Schüler hinreichend gut ausgestattete PC mit Internetanschluss besitzen. Daher wurde bei der CIROS Automation Suite ein neues Lizenzierungskonzept realisiert, das die Heimarbeit für Schüler und Lehrer gleichermaßen möglich macht.

Die Software kann auf jedem Rechner in der Schule oder auf einem privaten Schülerrechner installiert werden. Dabei erfolgt die Lizenzierung zum Starten der Software über einen Lizenzserver in der jeweiligen Schule. Dieser Lizenzserver kann sowohl von jedem Rechner im Schulnetzwerk erreicht werden als auch von jedem Rechner, der über einen VPN-Zugang („Virtual Private Network“) via Internet zum Lizenzserver verfügt. Hierzu wird eine Managementsoftware bereitgestellt, die es der Schule erlaubt, zeitlich den Zugang für jeden Schüler zu regeln. Eine solche Form der Softwarebereitstellung hat sich bereits in mehreren Schulen erfolgreich bewährt und so zu einer deutlichen Verbesserung der Lern- und Lehrergebnisse beigetragen.

### Gemeinsame Ressourcennutzung

Die Universitäten in Moskau, Sankt Petersburg, Omsk (alle Russland) und Sevastopol (Ukraine) suchten nach einer Möglichkeit, die Anzahl ihrer Ausbildungsanlagen zu erhöhen. Jede einzelne Einrichtung verfügte über eine kleine Anzahl solcher Gerätschaften, wollte ihren Studierenden jedoch die Möglichkeit bieten, unterschiedliche Aufgaben an einer Vielzahl von Übungsumgebungen zu bearbeiten.

Da eine direkte gemeinsame Nutzung der vorhandenen Ressourcen aufgrund der großen Entfernungen nicht machbar war, sollten die Universitäten die entfernten Automatisierungsstationen in Form von virtuellen Simulationsmodellen einsetzen. Zusätzlich wurden weitere Anlagen rein virtuell zur gemeinsamen Verwendung aufgebaut.



Abb. 10: Studierende aus Sevastopol (oben) und Moskau (unten) mit Trainingsszenarien

Die Kooperationspartner richteten dann Online-Lehrveranstaltungen zwischen den beteiligten Universitäten ein. Im Rahmen dieses Projekts mit dem Namen „Synergie“ bearbeiteten die Studierenden an jedem Partnerinstitut Steuerungsprogramme für unterschiedliche Automatisierungsstationen und prüften diese mithilfe der Simulationsmodelle in der CIROS Automation Suite (Abb. 10).

Die Simulationssoftware versetzte die Studierenden dabei in die Lage, ihre Roboter- und SPS-Programme in einer realistischen 3-D-Umgebung ablaufen zu lassen, wobei sie auf den integrierten virtuellen Steuerungen simuliert wurden. Im nächsten Schritt wurden die Programme auf eine reale SPS übertragen, die mittels OPC an das Simulationsmodell angeschlossen war, sodass die reale Hardware die virtuelle Anlage steuerte. Diese gradu-

elle Substitution garantierte, dass die erstellten Steuerungsprojekte ohne Sicherheitsrisiko auf die realen Anlagen übertragen werden konnten.

Nachdem die Steuerungen in der virtuellen Umgebung so verifiziert waren, wurden sie über das Internet zu den realen Automatisierungsstationen bei den anderen Universitäten geschickt. Dort liefen die Programme auf den realen SPSen ab und steuerten dabei die realen Anlagen. Als Ergebnis wurden auf den Anlagen Protokolle erzeugt, die zusammen mit einem Video der laufenden Station an den jeweiligen Programmierer zurückgesendet wurden. Auf diese Weise waren die Studierenden in der Lage, mit einer Vielzahl von Automatisierungsstationen unterschiedlicher Ausprägung zu arbeiten und so wertvolle Zusatz Erfahrung zu sammeln.

Das Projekt war so erfolgreich, dass die Kooperationspartner beschlossen, das Online-Lernen fortzusetzen und derartige Lehrveranstaltungen regelmäßig anzubieten. Um die Anzahl der zu bearbeitenden Aufgabenstellungen weiter zu erhöhen, werden hierbei zusätzliche virtuelle Anlagenmodelle auf Basis der Szenarien in der CIROS Automation Suite verwendet. Außerdem wird das Simulationssystem nun auch im Rahmen von Abschlussarbeiten eingesetzt. In einer Diplomarbeit wurde z. B. eine Produktionslinie mit einer CNC-Maschine und einer Presse zur Herstellung von Teilen für Vakuumleistungsschalter simuliert und detailliert untersucht.

### Zusammenfassung

Das virtuelle Lernen kann über die verschiedenen Teildisziplinen der Automatisierungstechnik (Produktionstechnik, Maschinenbau, Mechatronik, Robotik usw.) hinweg für alle Aus- und Weiterbildungsniveaus durchgängig eingesetzt werden. Ein wesentlicher Aspekt des vorgestellten Konzepts ist dabei die nahtlose Integration von detailgenauer 3-D-Simulation mit den entsprechenden realen Arbeitsumgebungen, sodass die virtuell erworbenen Kenntnisse direkt in die Praxis übertragen und dort verifiziert werden können.

Die mit diesem hybriden Ansatz erzielbaren Synergieeffekte aus virtuellem

und klassischem Lernen beschränken sich nicht nur auf eine erhebliche Kostenersparnis bei der Anschaffung des Lernmaterials. Zusätzlich führt die konsequente Anwendung zu einer wesentlich effizienteren Nutzung der vorhandenen Hardware-Ressourcen, da der jeweils notwendige Einführungsaufwand erheblich reduziert wird, und die Schulung an der realen Anlage auf die nicht simulierbaren Details konzentriert werden kann.

Die Möglichkeit zur Nutzung der virtuellen Lerninhalte auch außerhalb der Unterrichtszeiten führt zu einer weiteren Verbesserung der Qualität der Lehre. Dieses „Blended Learning“ – ein Methodenmix aus E-Learning und Präsenzlernen – verbindet die Stärken beider Lernformen. Im Gegensatz zu reinen Internet-Angeboten sind die Lerninhalte exakt auf die Schüler ausgerichtet und können durch die Lehrer modifiziert werden. Der Lerner ist bei

Bedarf aber dennoch unabhängig von Zeit und Raum und kann das Lernen selbst steuern – sowohl in der Tiefe als auch im Umfang.

### Anmerkung

- 1 Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der Regel nur die männliche Personenbezeichnung verwendet. Die weiblichen Personen sind stets mitgemeint.

---

Jürgen Beuting/Tina Haase/Wilhelm Termath

## Qualifizierung von technischen Fachkräften in der Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln mit Methoden der Virtual Reality

Das Technik Center Primärtechnik plant und steuert Instandhaltungsarbeiten an Hochspannungsbetriebsmitteln für den gesamten Hochspannungsnetzservice des RWE. Es werden Strategien für die Instandhaltung und zur Störungsprävention erarbeitet sowie Präventiv- und Instandhaltungsmaßnahmen geplant und durchgeführt.

Die Qualifizierung der Instandhaltungsfachkräfte erfordert eine möglichst praxisorientierte Methodik zur Vorbereitung auf die verantwortliche Durchführung der Instandhaltungsarbeiten. Funktionen und Wirkungsweisen der Betriebsmittel, z. B. in Leistungsschaltern mit hohen elektrischen Spannungen oder in Großtransformatoren, sind in der Realität jedoch nicht sichtbar bzw. nur in ihren Auswirkungen erfahrbar.

In einer virtuell-interaktiven Lernumgebung können die relevanten technischen Abläufe und physikalischen Prozesse so visualisiert werden, dass sie zusammen mit der Darstellung und Einübung von Arbeitsschritten eine wesentliche Verbesserung der Lernerfolge erwarten lassen. In dem Beitrag werden die Anforderungen an die Qualifizierung der Fachkräfte skizziert und Potenziale innovativer Lernumgebungen auf Basis der Virtual Reality (VR) für die berufliche Weiterbildung aufgezeigt.

### Ausgangslage

#### Anforderungen an die Qualifizierung von Fachkräften in der Instandhaltung

Die Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln erfordert auf der Basis einer soliden Ausbildung in einem elektrotechnischen Beruf Fachkenntnisse der Gerätefunktionen, der Grunddaten und Grenzwerte sowie fundiertes Erfahrungswissen zur Beurteilung von Befunden der Zustandserfassung sowie zur Definition und Erklärung des Handlungsbedarfes. Messgeräte und Spezialwerkzeuge müssen fachgerecht eingesetzt werden, die Messwerte sind auszuwerten

und zu interpretieren. Nicht zuletzt muss der Allgemeinzustand der Geräte hinsichtlich der Betriebssicherheit beurteilt werden können.

Die auf die jeweilige Spezifikation der Transformatoren und Schaltgeräte abgestellten Schulungskonzepte und Curricula sind auf die intensive Vermittlung der erforderlichen theoretischen Grundkenntnisse, der allgemeinen Grundkenntnisse der Gerätefunktionen, der Grunddaten, der Grenzwerte und Gefahren sowie der Erkennung von Gerätefehlern ausgerichtet. In einem je nach Gerätetyp abgestuften System von Schulungen im Umfang von insgesamt ca. 15 bis 25 Tagen werden in einem berufsbegleitenden

Zyklus von sechs bis zwölf Monaten diese Kenntnisse anhand von Präsentationen, Lehrfilmen, Anschauungsobjekten wie Mustern und Materialproben sowie praktischen Übungen an Modellen vermittelt. Die sichere Bearbeitung der Instandhaltungsaufgaben erfordert aber über das umfassende Fachwissen hinaus die Einübung von Arbeitsprozeduren und die selbstständige Lösung auftretender Probleme. Deshalb wird die Qualifizierungsphase durch eine intensive Anleitung der Mitarbeiter am Arbeitsplatz ergänzt. Damit wird deutlich, welcher Stellenwert der fachpraktischen Seite der Weiterbildung zukommt, zumal für die Teilnahme am Schulungsprogramm eine mehrjährige

Tätigkeit in der Instandhaltung vorausgesetzt wird.

Diese Praxisorientierung wird allerdings dadurch erschwert, dass es nicht möglich ist, die funktionalen Vorgänge in den Betriebsmitteln in der Realität zu beobachten. Deren Verständnis erfordert von den Fachkräften ein hohes Maß an technischem Wissen, Abstraktionsfähigkeit und Vorstellungsvermögen. Aufgrund der über Jahrzehnte währenden Betriebsdauer der Anlagen und der relativ langen Zyklen von Instandhaltung und Zustandserfassung zwischen 2 und 16 Jahren ist es von herausragender Bedeutung, das im Zuge der jahrelangen Arbeit an den Betriebsmitteln erworbene Erfahrungswissen der Fachkräfte für das Unternehmen zu erschließen und für nachrückende Mitarbeiter ebenso wie für die Weiterentwicklung von Instandhaltungsanleitungen und Schulungsunterlagen nutzbar zu machen. Exemplarisch kann verdeutlicht werden, wie die Funktionalität eines Hochspannungsleistungsschalters mit der Technologie der Virtual Reality dargestellt werden kann (s. Abb. 1). In der aktivierten Lernumgebung wird der Schaltvorgang von der Einschaltfeder im Antrieb über das Schaltgestänge im Grundgerüst bis zur Schaltkammer in der Polsäule nachvollzogen.



Abb. 1: Leistungsschalter in der Darstellung der Virtual Reality

Insbesondere diese begleitende arbeitsplatznahe Qualifizierung bedeutet einen hohen Aufwand an Personal und Zeit. Hinzu kommt, dass die im Einsatz befindlichen Betriebsmittel aus Sicherheitsgründen und wegen der Integration in überregionale bzw. internationale Strukturen der Energienetze

kaum für Schulungszwecke genutzt werden können. Die unabdingbare strikte Beachtung aller einschlägigen Sicherheitsregeln erschwert ebenfalls ein realitäts- und arbeitsprozessnahes Üben.

### Qualifikationen und Kompetenzen

Die skizzierten Rahmenbedingungen machen deutlich, dass die qualifikatorischen Anforderungen an die Fachkräfte weit über das Curriculum des technischen Fachwissens hinausgehen. Das Verfügen über umfangreiches und interdisziplinäres Fachwissen ist eine Grundvoraussetzung für die Aufgabenbewältigung und muss laufend aktualisiert werden. Hinzu kommt jedoch die Notwendigkeit, ökonomische, ökologische und juristische Aspekte einzubeziehen. Die Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams verweist auf Anforderungen wie Teamfähigkeit und Verantwortungsbewusstsein.

Wegen der besonderen Bedeutung der Kooperation über Disziplinen und Hierarchieebenen hinweg soll im Folgenden auf den Kompetenzbegriff eingegangen werden, weil damit die besonderen Anforderungsmerkmale der Instandhaltung präziser zu fassen sind.

Die deutsche Kultusministerkonferenz hat Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Berufsschulen vorgelegt, die im Rahmen der dualen Berufsausbildung für alle Lernorte einen verbindlichen Rahmen darstellt (KMK 2007). Demnach steht die Entwicklung von Handlungskompetenz im Zentrum berufspädagogischen Handelns, die sich in den Dimensionen Fachkompetenz, Humankompetenz und Sozialkompetenz entfaltet. Sie wird verstanden als Bereitschaft und Befähigung des Einzelnen, sich in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen sachgerecht durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten.

In einer Studie zur Kompetenzentwicklung in Zeiten der Nutzung von modernen Kommunikationstechnologien (ERPENBECK/SAUTER 2007), insbesondere den unter dem Schlagwort des Web 2.0 zusammengefassten vielfältigen Entwicklungslinien, bezeichnen die Autoren in Auswertung einer Vielzahl von definitorischen Ansätzen

Kompetenzen als „Dispositionen zur Selbstorganisation“. Damit sind die inneren Voraussetzungen zur Regulation einer Tätigkeit gemeint. Als selbst organisiert wird jedes Handeln in offenen Problem- und Entscheidungssituationen charakterisiert (ebd.).

Die Relevanz dieser Diskussion für die Definition eines Qualifikationsprofils in der Instandhaltung wird deutlich, wenn der Kompetenzbegriff von Merkmalen, wie Fertigkeiten, Fähigkeiten, Wissen und Qualifikationen, abgegrenzt wird.

Der Erwerb von Fertigkeiten ist weniger von Begabung oder Talent abhängig, sondern mehr von der Übung bestimmter Tätigkeiten. Sie sind unmittelbar handlungszentriert, erfordern nur eine geringe Bewusstseinskontrolle und beschränken sich auf eher stereotypische berufliche Handlungsbereiche.

Mit Fähigkeiten werden psychische Bedingungen und lebensgeschichtlich erworbene Eigenschaften bezeichnet, die den Tätigkeits- und Handlungsvollzug steuern.

Als Qualifikationen werden definierte Komplexe von Kenntnissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten bezeichnet, die für die anforderungsorientierte Ausübung beruflicher Tätigkeiten erforderlich sind.

Mit Hinweis auf eine Arbeit von WEINERT (2003) belegen ERPENBECK/VON ROSENSTIEL die Einbettung des Kompetenzansatzes in den Bereich der Selbstorganisation. Das Kompetenzkonzept soll angewandt werden:

- im Hinblick auf die erfolgreiche Bewältigung komplexer, selbst organisiertes Handeln voraussetzender Anforderungen,
- wenn für die Bewältigung dieser Anforderungen sowohl kognitive, d. h. fachlich-methodische, motivationale (personale), willensmäßige (aktivitätsbezogene) als auch sozial-kommunikative (aktivitätsbezogene) Komponenten gehören,
- wenn der Komplexitätsgrad der Anforderungen so hoch ist, dass sie ohne selbst organisierte Handlungsstrategien nicht bewältigt werden können,
- wenn Lernprozesse, insbesondere Formen des informellen und implizierten

ten Lernens im Prozess der Arbeit, zu den unabdingbaren Voraussetzungen der Aufgabenbewältigung gehören.

Die Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln erfordert von

Im Sinne der ACT\*-Theorie von ANDERSON (1996) ist die Aneignung dieses auf den Arbeitsprozess bezogenen, prozeduralen Wissens in Ergänzung zum deklarativen Wissen über Fakten und Sachverhalte ein allmählicher Prozess, vermittelt in konkreten

### Lösungsansatz: virtuell-interaktive Lernumgebungen

#### Interaktionskonzepte und Benutzeroberfläche

Der Erwerb handlungsorientierter Problemlösekompetenzen erfordert die Bewältigung realer Aufgabenstellungen. Im Zusammenhang mit der Bearbeitung von Instandhaltungsaufgaben stellt sich jedoch das oben skizzierte Problem der Verfügbarkeit der Betriebsmittel. Zur Lösung dieses Problems hat sich das Technik Center Primärtechnik der RWE Rhein-Ruhr (TCP) entschieden, seinen Mitarbeitern und Schulungsteilnehmern die Bearbeitung realer Arbeitsaufgaben durch den Einsatz virtuell-interaktiver Modelle der Betriebsmittel zu ermöglichen.

Das zusammen mit dem TCP und weiteren Industriepartnern entwickelte interaktive Lernsystem wird sowohl von den Teilnehmern in der Aus- und Weiterbildung als auch von den Servicetechnikern innerhalb ihres Arbeitsprozesses genutzt und versteht sich daher zum einen als Lernsystem, zum anderen aber auch als technische Infrastruktur für den Transfer von erfahrungsbasiertem Wissen. Diese Vielzahl möglicher Anwendungsszenarien und Anwender erfordert eine einfach zu

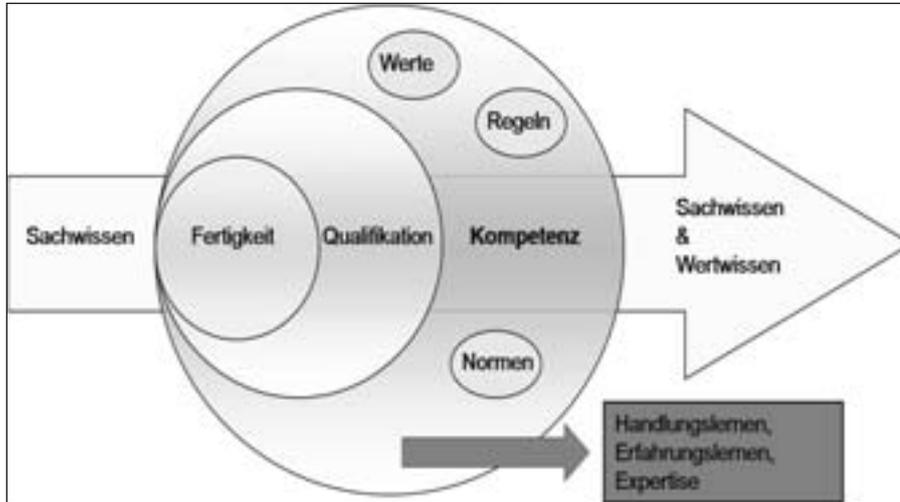


Abb. 2: Vom Wissen zur Kompetenz (nach ERPENBECK/SAUTER 2007)

den technischen Fachkräften häufig die verantwortliche Beurteilung von Betriebszuständen, Messdaten oder Fehlerbildern. Neben einer qualifizierten Analyse sind auch die richtigen Konsequenzen z. B. aus Fehler- und Schadensmeldungen oder Wartungsprotokollen zu ziehen. Die Mitarbeiter sind gefordert, situativ Entscheidungen zu treffen und entsprechende Ermessensspielräume wahrzunehmen. Für dieses verantwortliche, problemlösende Handeln ist über die fachlichen Wissensaspekte hinaus die handlungsleitende Verinnerlichung betrieblicher Werte, Normen und Regeln von herausragender Bedeutung (Abb. 2). Die Förderung von Kompetenz vollzieht sich in der beruflichen Handlungssituation, in der mehr oder weniger expliziten Reflexion von Erfahrung.

Aus den genannten Sachverhalten ergeben sich Konsequenzen für die Aus- und Weiterbildung in der Instandhaltung. Das Handeln in beruflichen Instandhaltungssituationen erfordert seitens der Fachkraft sowohl geeignete Qualifikationen als auch die Kompetenzen zur umfassenden und vollständigen Bearbeitung eines Auftrages.

Handlungssituationen (FLETCHER 2005, S. 155). Für die Gestaltung von Weiterbildungsmaßnahmen stellt sich damit die Aufgabe, auch in einer überwiegend seminaristischen Lernsituation eine realitätsnahe Bearbeitung von Arbeitsprozessen zu ermöglichen.

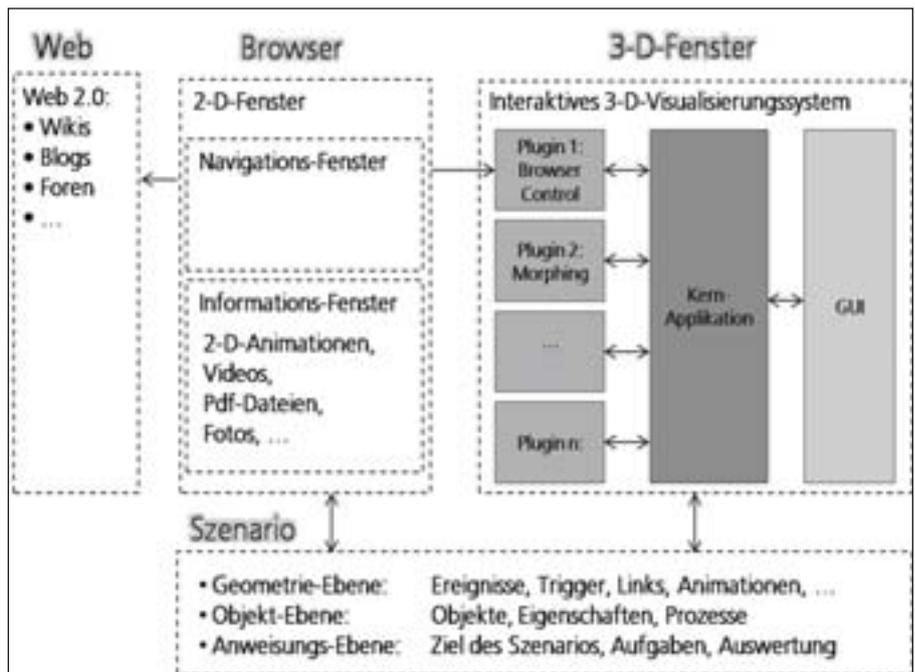


Abb. 3: Systemarchitektur der Benutzeroberfläche

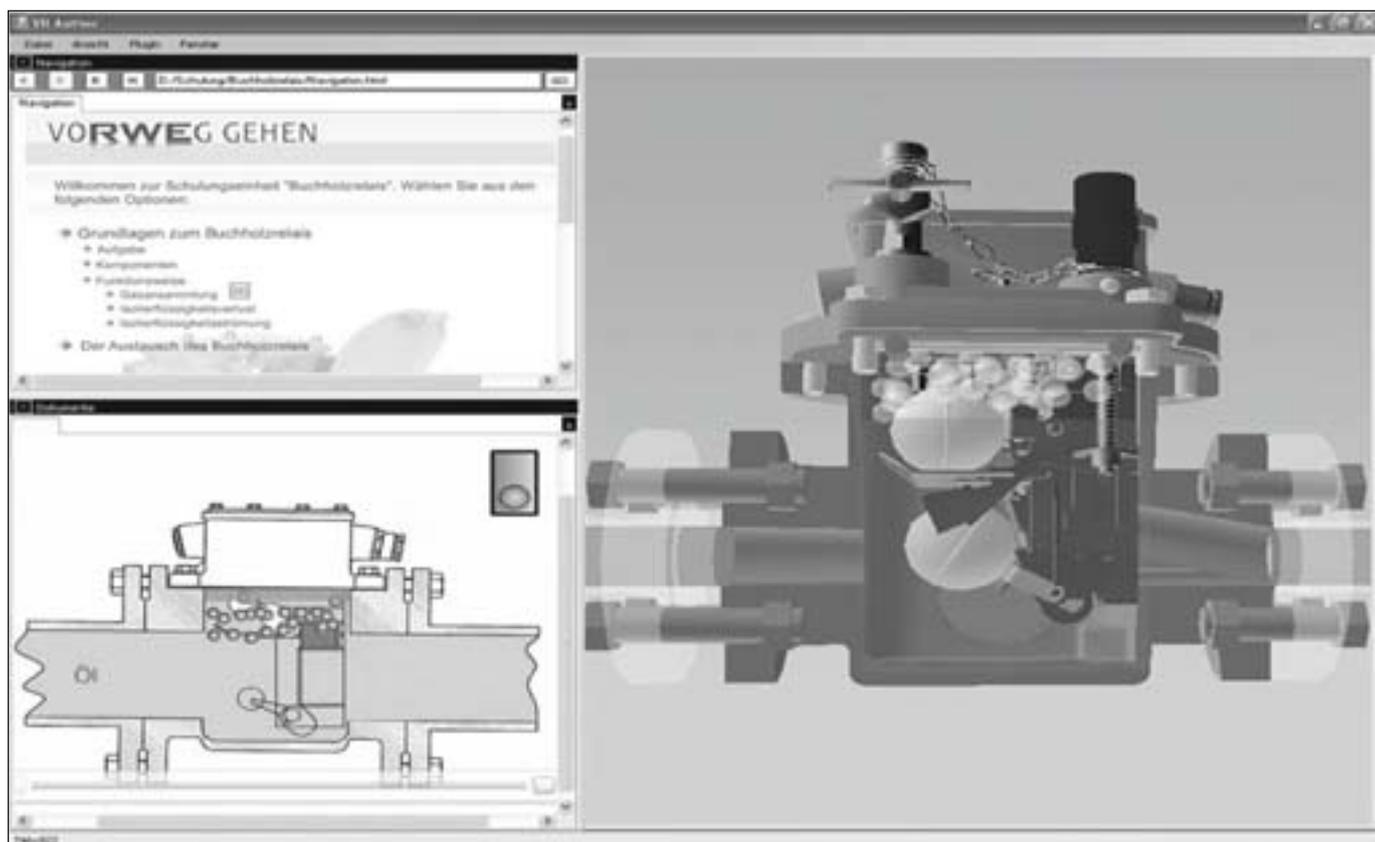


Abb. 4: Konkretisierung der Systemarchitektur am Beispiel eines Buchholzrelais

nutzende, selbsterklärende Bedienoberfläche sowie die Verwendung intuitiv nutzbarer Interaktionstechniken.

Für die Gestaltung der Bedienoberfläche wurde folgender dreiteiliger Aufbau gewählt:

- Navigations-Fenster,
- Informations-Fenster,
- 3-D-Fenster (s. Abb. 3).

Die Anordnung dieser Fenster und ihrer Inhalte lässt sich entsprechend der gestellten Anforderungen flexibel gestalten. Der hier vorgestellte Aufbau hat sich in der praktischen Anwendung als sehr praktikabel erwiesen.

#### Navigations-Fenster

Das Navigations-Fenster ist in der linken oberen Ecke der Anwendung positioniert und beinhaltet das Inhaltsverzeichnis. Es ermöglicht den Zugriff auf alle im Szenario vorhandenen Funktionen. Die Inhalte des Navigationsfensters werden mit html und flash

realisiert und ermöglichen so eine einfache Handhabung, auch für Computer-Laien.

#### Informations-Fenster

Das Informations-Fenster ist in der linken unteren Ecke der Anwendung angeordnet. Es ist für die Anzeige ergänzender Informationen in Form von Dokumenten, Fotos, Videos oder 2-D-Animationen vorgesehen. Das Fenster kann herausgedockt werden und ermöglicht es, Inhalte im Vorbild anzusehen, was insbesondere für das Betrachten von pdf-Dokumenten sehr nützlich ist.

#### 3-D-Fenster

Das 3-D-Fenster ist auf der rechten Seite der Anwendung, gegenüber dem Navigations- und Informations-Fenster, angeordnet. Es beinhaltet die 3-D-Visualisierung der Szene, in welcher der Nutzer interaktiv navigieren und interagieren kann.

Um einen reibungslosen Informationsaustausch zwischen den Fenstern zu ermöglichen, wurde eine direkte Kommunikation zwischen allen Fenstern realisiert. Diese ermöglicht zum einen das Aktivieren von Aktionen in der 3-D-Szene aus einem der 2-D-Fenster heraus. Zum anderen können Informationen vom 3-D-Fenster an die 2-D-Fenster zurückgegeben werden. Dies kann z. B. für die Anzeige aktueller Werte und Zustände, basierend auf durchgeführten Aktionen in 3-D, genutzt werden.

Am Beispiel der Darstellung der Gasansammlung in einem Buchholzrelais (s. Abb. 4) wird die Struktur deutlich. Im Navigationsfenster links oben werden die einzelnen Schritte der Lerneinheit angesteuert. Im Navigationsfenster links unten wird in einer 2-D-Animation die Gasansammlung im Relais symbolisch dargestellt. Im 3-D-Fenster auf der rechten Seite wird der Gasfluss im teiltransparenten Relais mit den Auswirkungen auf die Schwimmer bis zur Kontaktauslösung gezeigt.

**Orientierung am Modell der vollständigen Handlung**

**Analyse der Ausgangssituation**

Mit dem Einsatz situationsbezogener Lernaufgaben im Lehrgang sollen vollständige berufstypische Aufgaben bearbeitet werden. Das entspricht dem didaktischen Leitprinzip des Lernens durch die Bearbeitung vollständiger Handlungen.

Zunächst analysieren die Anwender die Ausgangssituation durch das Beschaffen von Informationen und das Sichten der Arbeitsunterlagen. In diesem Beispiel wurde die Checkliste des Herstellers zur Durchführung der Inbetriebnahme eines Betriebsmittels um eine Informationsspalte ergänzt (Abb. 5). Die Teilnehmer können zu jedem Arbeitsschritt anhand unterschiedlicher Medien ergänzende Informationen abrufen.

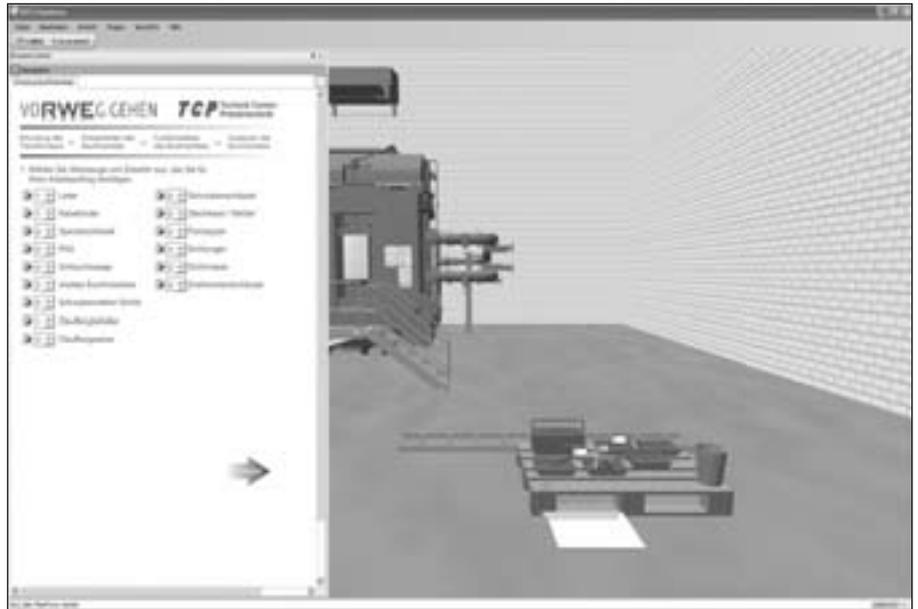


Abb. 6: Werkzeugauswahl für den Austausch des Buchholzrelais am Großtransformator

**Checkliste zur Inbetriebnahme**

Leistungsschalterdaten			
Typ / Serien-Nr.:			
Kunde:			
Anlage:			
Inbetriebnahme			
Nr.	Auszuführende Arbeit	Info	
1	Sicherheitshinweise gründlich gelesen und verstanden	①	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Sicherheitshinweise Umgang mit SF6 gründlich gelesen und verstanden	①	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Dichtewächter elektrisch angeschlossen	① ②	<input type="checkbox"/>
4	Schaltpunkte des Dichtewächters überprüft	① ②	<input type="checkbox"/>
5	Visuelle Prüfung der Polsäulen durchgeführt	②	<input type="checkbox"/>
6	SF6-Verrohrung an den Polsäulen angeschlossen	① ②	<input type="checkbox"/>
7	SF6-Gas auf Nenndruck gemäß Leistungsschild aufgefüllt	① ②	<input type="checkbox"/>
8	Dichtstellen der SF6-Verrohrung mit SF6-Lecksuchgerät geprüft	②	<input type="checkbox"/>
9	Widerstand der Antikondensationsheizung geprüft	①	<input type="checkbox"/>
10	Versorgungs- und Steuerkabel angeschlossen	①	<input type="checkbox"/>
11	Je 5 EIN- und AUS-Schaltungen ferngesteuert ausgeführt	① ②	<input type="checkbox"/>
12	Laufzeit des Aufzugsmotors gemessen	① ②	<input type="checkbox"/>
13	Schaltkammerwiderstand gemessen (>100A DC)	① ②	<input type="checkbox"/>
14	Einschalteigenzeit [ms] geprüft	① ②	<input type="checkbox"/>
15	Ausschalteigenzeit [ms] geprüft	① ②	<input type="checkbox"/>
16	Handbetätigung EIN/AUS geprüft	① ②	<input type="checkbox"/>
17	Pumpverhinderung geprüft	① ②	<input type="checkbox"/>
18	Funktionssperre geprüft	①	<input type="checkbox"/>
19	Zählerstand des Schaltspielzählers protokollieren	① ②	<input type="checkbox"/>
20	Prüf- und Messmittel entfernt	①	<input type="checkbox"/>
21	Rahmen schließen	①	<input type="checkbox"/>

Abb. 5: Checkliste zur Orientierung über die Arbeitsaufgabe

**Auswahl benötigter Werkzeuge, Materialien und Hilfsmittel**

Der nächste Schritt der Arbeitsplanung dient der Auswahl aller für den Arbeitsauftrag benötigten Werkzeuge, Materialien und Hilfsmittel (Abb. 6). Für die ausgewählten Utensilien muss zusätzlich die benötigte Anzahl vermerkt werden. Bereits in diesem Schritt muss sich der Lernende intensiv mit der ihm gestellten Aufgabe auseinandersetzen und hinsichtlich der erforderlichen Werkzeuge und Hilfsmittel Entscheidungen treffen.

Im ersten Durchgang vergessene Werkzeuge werden später in der Arbeitsplanung bzw. -durchführung nicht zur Verfügung stehen bzw. müssen nachgeordert werden.

**Auswahl und Benennung notwendiger Arbeitsschritte**

Ausgehend von einer Visualisierung der Best-Practice-Lösung des Arbeitsprozesses kann der Lernende verschiedene Arbeitsschritte als 3-D-Animation anschauen. Diese Arbeitsschritte sind nicht benannt. Es können auch falsche Arbeitsschritte integriert werden (s. Abb. 7).

Der Lernende hat die Aufgabe, für jeden gesehenen Schritt zu entscheiden, ob dieser ein Teilschritt des zu

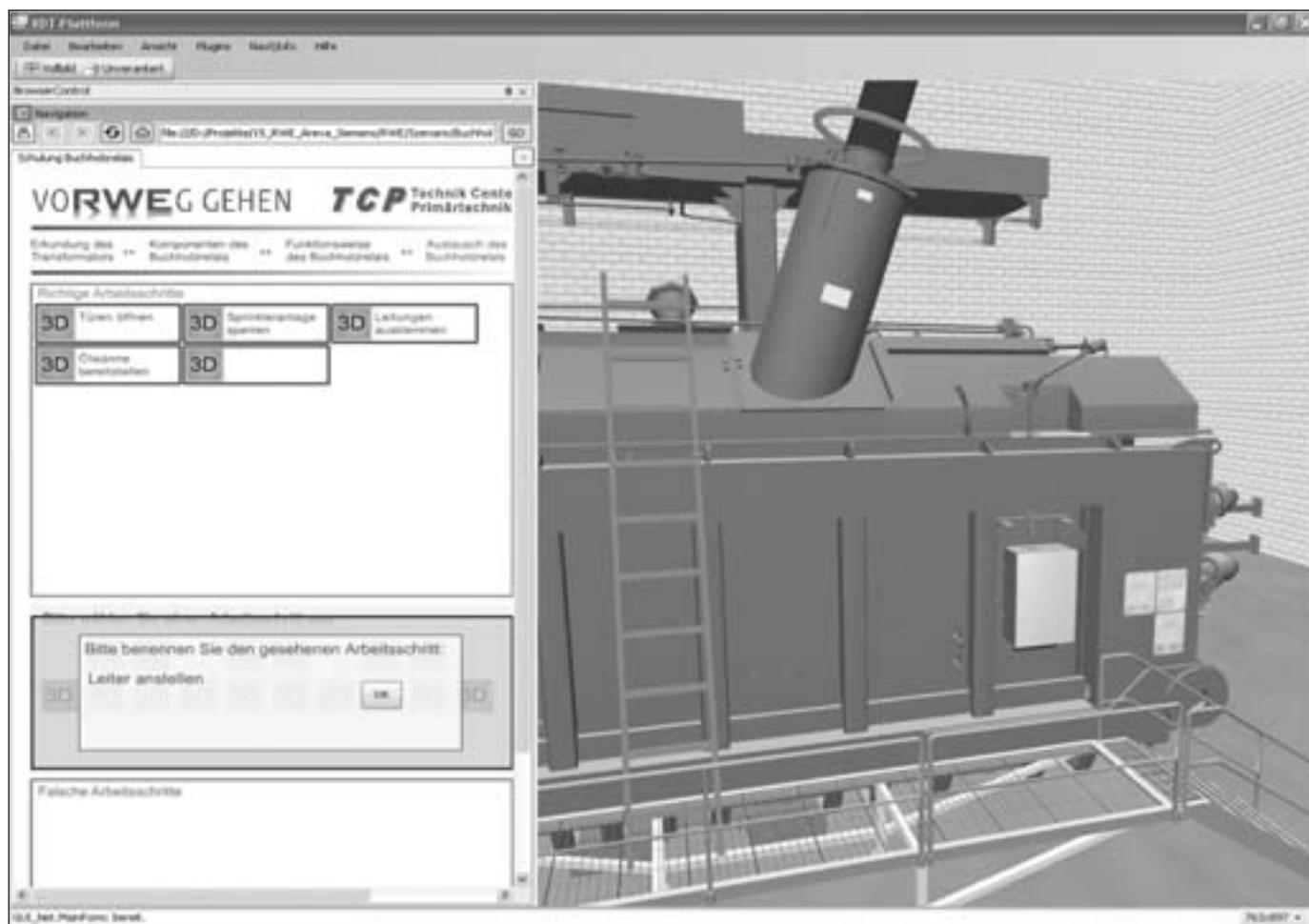


Abb. 7: Benennen der Arbeitsschritte für den Austausch des Buchholzrelais am Großtransformator

planenden Arbeitsprozesses ist oder ob es sich um einen falschen Arbeitsschritt handelt. Sowohl der richtige als auch der falsche Arbeitsschritt müssen dann benannt werden. Diese Eingabe entspricht einem offenen Antwortformat. Anhand der vergebenen Bezeichnung können die Arbeitsschritte später in einer Reihenfolge sortiert werden. Im Ergebnis dieser Teilaufgabe hat der Lernende eine Menge von Teilschritten identifiziert, die für den durchzuführenden Arbeitsprozess notwendig sind.

#### Bestimmen der Reihenfolge der ausgewählten Arbeitsschritte

Die zuvor ausgewählten Arbeitsschritte müssen nun in die richtige Reihenfolge gebracht werden. Der Nutzer bekommt die Schritte in Form von Textbausteinen präsentiert, die er nun per Drag & Drop in die richtige Reihenfolge sortieren muss (Abb. 8).

#### Durchführen des geplanten Arbeitsablaufes

In Form eines geführten Modus kann der geplante Arbeitsablauf nun selbst

durchgeführt werden. Der Nutzer bekommt die von ihm gewählte Schrittbezeichnung in jedem Arbeitsschritt eingeblendet und muss den Schritt mithilfe einfacher Interaktionen (Dop-

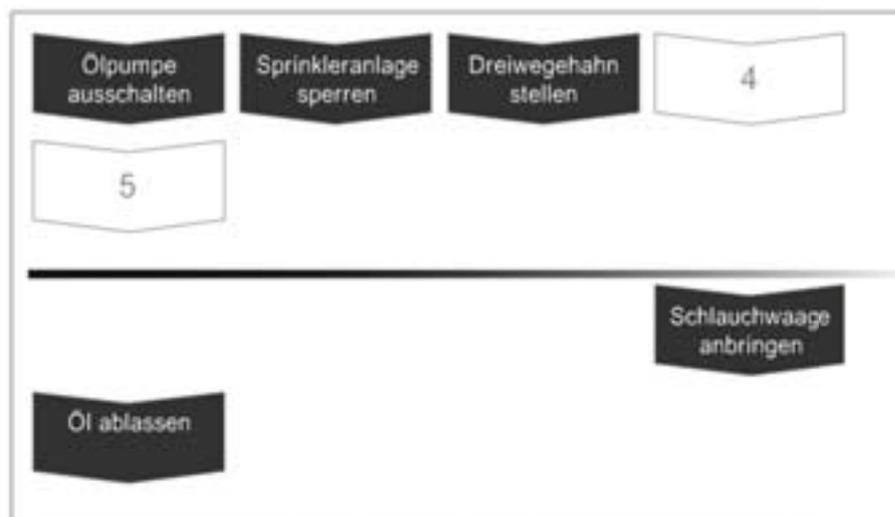


Abb. 8: Bestimmen der Reihenfolge der Arbeitsschritte für die Vorbereitung des Buchholzaustausches

pelklick auf benötigte Bauteile und Hilfsmittel) selbst durchführen. Wurden Werkzeuge nicht ausgewählt, stehen diese auch für den durchzuführenden Arbeitsschritt nicht zur Verfügung. Sind Arbeitsschritte nur dann durchführbar, wenn zuvor bereits andere Schritte ausgeführt wurden, dann wird das System diese Abhängigkeit erkennen und dem Nutzer ggf. eine entsprechende Rückmeldung geben. Der Nutzer kann dann zu den vorherigen Teilaufgaben zurückkehren, dort seine Eingaben korrigieren und den Arbeitsprozess erneut durchführen.

**Lernerfolgskontrolle**

Um den eigenen Lernerfolg bewerten zu können, werden auch Methoden der Selbstlernkontrolle eingesetzt. Sie geben dem Lernenden eine unmittelbare Rückmeldung zu seiner erbrachten Leistung. Innerhalb der beschriebenen Anwendung werden diese Tests vom Autor der Lernaufgaben erstellt.

Bei den Verfahren der Selbstlernkontrolle wird zwischen offenen und geschlossenen Antwortformaten unterschieden (s. Abb. 9).

Für die Nutzung in Computer-basierten Systemen sind geschlossene Antwortformate wie z. B. Multiple Choice Tests, Drag&Drop-Aufgaben und Zuordnungsaufgaben am besten geeignet, weil diese selbstständig und unmittelbar vom Rechner ausgewertet werden können.

Innerhalb der realisierten Lernumgebung werden derzeit die folgenden geschlossenen Antwortformate angeboten:

- Multiple Choice Test: ein klassischer Multiple Choice Test mit mindestens einer richtigen Antwort.
- Drag & Drop Aufgabe: Der Nutzer muss per Drag & Drop zusammengehörende Paare zuordnen. Solche Paare können z. B. Bauteile und ihre Benennung sein.
- Zuordnungs-Aufgabe: Der Nutzer hat die Aufgabe, Textfelder, Bilder o. Ä. in eine geforderte Reihenfolge zu bringen.

Für die Nutzung in Präsenz-Schulungseinheiten haben sich freie Antwortformate ebenfalls als nützlich erwiesen, weil sie das Erarbeiten und Formulieren eigener Lösungen fördern. Dies erfordert jedoch ein manuelles Abgleichen der Lösungen, um den Lernenden eine Rückmeldung geben zu können. Für den Einsatz der Anwendung als Selbstlernsystem sind diese Formen der Selbstlernkontrolle daher nur bedingt geeignet.

Abschließend wird die Bearbeitung der Lernaufgabe reflektiert, z. B. hinsichtlich von Alternativen in der Reihenfolge der Arbeitsschritte, in der Durchführung der Teilaufgaben oder Alternativen in der Auswahl der Werkzeuge.

Die erarbeitete Lösung wird hierzu mit der im Präsentationsmodus hinterlegten Vorgehensweise verglichen.

Hier kommt es immer wieder zu wertvollen Anregungen von erfahrenen Mitarbeitern zur Fortentwicklung der gezeigten Musterlösung.

**Bisher vorliegende Einsatz Erfahrungen in der betrieblichen Weiterbildung**

Die dargestellten Lernumgebungen werden derzeit in Qualifizierungsmaßnahmen für Fachkräfte in der Montage und Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln eingesetzt.

Erste Rückmeldungen der Seminarteilnehmer sind weit überwiegend positiv. Sowohl der funktionale Aufbau als auch die Handhabung des Szenarios werden als sinnvoll und geeignet wahrgenommen. Der Lernerfolg im Sinne des besseren Verständnisses der Betriebsmittelfunktionen sowie die Vorbereitung auf die Bearbeitung der Montageprozesse werden in der direkten Befragung zum Abschluss der Seminareinheit als wesentlich größer gegenüber dem Einsatz herkömmlicher Medien eingeschätzt.

Das Lernszenario wurde in Lerngruppen von ausgebildeten Fachkräften mit mindestens einer elektrotechnischen Ausbildung und teilweise mehrjähriger Berufserfahrung eingesetzt.

**Ausblick**

Das hier vorgestellte 3-D-Lernsystem wird im industriellen Einsatz sowohl als Wissensbasis als auch als Schulungsmedium genutzt. In Form einer Wissensbasis hält es für den Nutzer die Visualisierung von Best-Practice-Lösungen in Form eines Präsentationsmodus bereit. Im Kontext von Seminaren und Schulungen kann der Nutzer das System interaktiv für die Erarbeitung und Durchführung von Arbeitsaufträgen nutzen. Hier ermöglichen der geführte und der freie Modus das Lernen durch eigenes Handeln sowie das Lernen aus Fehlern.

Weitere Arbeiten werden sich verstärkt mit der Evaluierung der eingesetzten Lösungen beschäftigen, um sowohl quantitative als auch qualitative Aussagen zu deren Potenzial machen zu können.

Demnach lassen sich die Vorteile des Lernens mit VR-Technologien auch



Abb. 9: Antwortformate für die rechnergestützte Lernerfolgskontrolle

und insbesondere für die Instandhaltung von Hochspannungsbetriebsmitteln bestimmen.

- Mit der didaktischen Reduktion können komplexe Arbeitssysteme entsprechend den individuellen Voraussetzungen sowie dem Lern- und Erkenntnisfortschritt sukzessive ausdifferenziert werden.
- Die im Bereich von Millisekunden ablaufenden Schaltvorgänge in Schaltgeräten können mit dem Instrument der Zeitstreckung anschaulich dargestellt werden, die Veränderungen in der Ölfüllung eines Großtransformators bis zur Auslösung des Buchholzrelais können mit dem Zeitraffer von Wochen, Monaten oder Jahren auf wenige Minuten konzentriert werden.
- Die Reversibilität von Lernhandlungen, d. h. insbesondere das Lernen aus Fehlern, ist gefahrlos möglich.
- Zur Vorbereitung auf einen konkreten Arbeitsauftrag kann der

Lerner individuell, zeit- und ortsunabhängig den entsprechenden Arbeitsprozess im virtuellen System durcharbeiten.

Das Technik Center Primärtechnik beabsichtigt, das Potenzial der VR-Technologie für die Weiterbildung weiter auszuschöpfen. Zusammen mit den Herstellern der Betriebsmittel und deren Zulieferern werden die Lernumgebungen im Sinne einer Entwicklungspartnerschaft weiterentwickelt. Aus der Gesamtheit der Instandhaltungsprozesse werden dazu Lernaufgaben abgeleitet und als Qualifizierungseinheiten ausgestaltet. Das Erfahrungswissen der langjährig beschäftigten Monteure bildet dabei eine wesentliche Quelle des prozeduralen Wissens und der beruflichen Handlungskompetenz.

### Literatur

ANDERSON, J. R. (1996): *The Architecture of Cognition*. Mahwah, NJ.

ERPENBECK, J./SAUTER, W. (2007): *Kompetenzentwicklung im Netz – Blende Learning mit Web 2.0*. Köln.

FLETCHER, S. (2005): *Förderung der Problemlösefähigkeit zum Konstruieren – Gestaltung von Lernprozessen mithilfe eines wissensbasierten Lernsystems*. Bielefeld.

KMK (2007): *Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe*. Bonn.

WEINERT, F. E. (2003): *Concept of Competence: A conceptual clarification*. In: RYCHEN, D./SALGANIK, M. L. (Hrsg.): *Defining and selecting key competences*. Kirkland 2001. S. 45–65; zitiert nach: ERPENBECK, J./VON ROSENSTIEL, L. (Hrsg.): *Handbuch Kompetenzmessung – Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis*. Stuttgart.

*Dieter Müller/Hartmut Rosch*

## Lernen an realen Anlagen in virtuellen Lernortstrukturen – dargestellt am Beispiel der Steuerung von Solaranlagen

Die Vernetzung virtueller Lernorte mit realen Maschinen, Anlagen oder Prozessen stellt vielfältige pädagogische, technische und organisatorische Anforderungen. Diese bildeten im EU-Projekt „MARVEL“ den Ausgangspunkt für ein Bildungsnetzwerk von realen und virtuellen Umgebungen. In dem Beitrag wird beschrieben, wie eine solche Lernumgebung im Rahmen des Projektes realisiert wurde. Dokumentiert werden Erfahrungen, die in verschiedenen unterrichtsbezogenen Fallstudien gesammelt werden konnten.

### Einleitung

Die Aus- und Weiterbildung in modernen Berufen ist mit innovativen Qualifikations- und Kompetenzanforderungen konfrontiert. Das damit verbundene Ziel, Inhalte der Berufsbildung stärker handlungsorientiert auszurichten, erfordert eine möglichst enge Verzahnung von Theorie und Praxis. Dabei gewinnen zunehmend vernetzte

Lernorte (Berufsschulen, Ausbildungsbetriebe, überbetriebliche Bildungseinrichtungen und Hochschulen) an Bedeutung, weil sie den strukturellen und didaktisch-methodischen Ansprüchen eher gerecht werden als traditionelle Lernortstrukturen (DEHNBOSTEL 2007). Da die Qualität vernetzter Lernorte wesentlich durch die Zusammenarbeit der Beteiligten konstituiert wird, werden zunehmend auch virtuelle Lernorte

in bestehende Netzwerke integriert. Räumliche Distanzen können so besser überwunden und die Kooperation zwischen den beteiligten Einrichtungen technisch unterstützt werden (WILBERS 2002). Virtuelle Lernorte auf der Basis von web-basierten Lernplattformen bieten Möglichkeiten, Materialien und Ressourcen an unterschiedlichen Lernorten zeitlich flexibel zur Verfügung zu stellen und unterstützen sogar

weltweit verteiltes Lernen in kooperativen Lernräumen (DAWABI 2004). Ein noch weitergehendes Konzept ist die Kopplung virtueller Lernorte mit realen Maschinen, Anlagen, Prozessen oder Laboreinrichtungen über das Internet. Virtuelle Lernorte, die mit realen auf diese Weise kombiniert oder gekoppelt werden, eröffnen neue Szenarien für kooperatives Lernen, erfordern aber auch neue technische Konzepte und Lösungen, die über gängige E-Learning-Ansätze hinausgehen. Hierzu soll im vorliegenden Beitrag exemplarisch eine Fallstudie aus dem EU-Projekt „MARVEL“ beschrieben werden. Im Zentrum steht dabei die Konzeption und Realisierung einer Lernumgebung, die die Steuerung und Überwachung einer realen Solaranlage über das Internet ermöglicht und in eine virtuelle Lernortstruktur eingebunden ist.

## Lernen und Experimentieren an realen technischen Anlagen im Internet

### Internet-Technologien in industriellen Anwendungen

War die Nutzung des Internets früher nur in Büroräumen üblich, findet es heute zunehmend auch in industriellen Anwendungen Verbreitung. Insbesondere der Einsatz von Ethernet und TCP/IP als Kommunikationsstandard zwischen Komponenten von Automatisierungssystemen hat erheblich an Bedeutung gewonnen (ZVEI 2003). Der Webbrowser als universelle Bedienschnittstelle für automatisierte Geräte, Maschinen und Anlagen wird inzwischen von zahlreichen Systemen unterstützt. Automatisierungssysteme integrieren Webserver und ermöglichen damit einen Online-Zugriff auf die Steuerung von Anlagen (NEUMANN 2007). Durch den Einsatz des Internets sind ausgewählte Funktionen für vielfältige Aufgaben z. B. in der Fernwartung realisierbar (BORGMEIER 2002). Mit internetbasierten Technologien lassen sich Prozesse nicht nur überwachen, eine direkte Interaktion (Teleoperation) des Anwenders mit der Maschine ist über beliebige Entfernungen möglich.

Konzepte und Technologien, die den Fernzugriff über das Internet auf reale Maschinen, Anlagen oder Laboreinrichtungen von verschiedenen Orten

erlauben, eröffnen auch vielfältige Perspektiven für die Lernortkooperation zwischen unterschiedlichen Bildungsinstitutionen. Die Ausbildung an realen Systemen ist für jede Bildungseinrichtung mit hohen Kosten verbunden. Dazu gehören beispielsweise Kosten für die Beschaffung, für die Wartung und den Betrieb. Häufig sind auch solche Anlagen und Labore im Bereich der Mechatronik, Produktions- oder Verfahrenstechnik so komplex, dass sie von einer Bildungseinrichtung allein im Lehrbetrieb nicht effektiv eingesetzt werden können. Es besteht deshalb ein prinzipielles Interesse, derart aufwändige Lernressourcen z. B. im Rahmen von Lernortkooperationen oder Bildungsnetzwerken gemeinsam zu nutzen. Kerngedanke ist dabei, an verschiedenen Lernorten vorhandene Anlagen zur Verfügung zu stellen oder Laborversuche anzubieten, die dann übergreifend zeit- und ortsunabhängig genutzt werden können.

Idealerweise sollte das Lernen und Experimentieren an realen technischen Anlagen im Internet mit virtuellen Lernplattformen kombiniert werden. Diese dienen dann dazu, den Zugriff auf Realsysteme zu koordinieren und begleitende Online-Materialien zur Verfügung zu stellen. Auch lassen sich auf diese Weise CSCL (engl.: computer-supported cooperative/collaborative learning)-Werkzeuge einbinden, um kooperatives Lernen zwischen verteilten Lernorten zusätzlich zu unterstützen (HAAKE u. A. 2004). Die Kopplung virtueller Lernorte mit realen Maschinen, Anlagen, Prozessen oder Laboreinrichtungen über das Internet eröffnet interessante Lernszenarien, die in der Ausbildung von Automatisierungstechnikern, Mechatronikern und Fachkräften anderer Hochtechnologiebereiche gefordert werden. Beispiele sind: Ausbildung für Teleservice, Arbeit in gemischt virtuell-realen Umgebungen, computergestütztes kollaboratives Lernen oder standortübergreifende Teamarbeit.

### Anforderungen

Die Kopplung einer realen Anlage mit einer virtuellen Lernplattform und der Einsatz einer solchen Umgebung innerhalb eines virtuellen Bildungsnetzwerkes stellen vielfältige Anforderungen an die Realisierung.

**Prozesskopplung und Teleoperation:** Der Fernzugriff über das Internet auf reale Maschinen oder Anlagen erfordert eine Prozesskopplung zwischen dem jeweiligen Realsystem und der virtuellen Umgebung bzw. Bedienschnittstelle. Erforderlich sind hierfür Softwaretreiber und spezielle Hardwarekomponenten zur Kommunikation mit den angeschlossenen, realen Automatisierungsgeräten.

**Telepräsenz:** Lernende sollten einen möglichst hohen Realitätseindruck von der entfernten Anlage bekommen, wenn sie diese für Lernaufgaben nutzen. Das beinhaltet eine realitätsnahe Repräsentation aller beteiligten Komponenten in ihrem äußeren Erscheinungsbild und in ihrem Verhalten. Durch Übertragung zusätzlicher sensorischer Informationen (z. B. Geräusche, Kräfte) sollten Benutzer das Gefühl bekommen, in der entfernten Anlage oder dem Labor präsent zu sein. Je sensorisch reichhaltiger sich die Schnittstelle zur entfernten Umgebung zusammensetzt, umso höher ist das Präsenzerleben und umso geringer ist die Barriere zwischen Eingabe- und Ausführungsraum in der Wahrnehmungswelt des Benutzers (DEML 2004).

**Zugriffsverwaltung und Sicherheit:** Es ist erforderlich, dass nur autorisierte Benutzer einen Online-Zugang zur Anlage erhalten. Wenn die Anlage aus der Ferne genutzt wird, müssen zusätzliche technische Maßnahmen getroffen werden, damit keine Sicherheitsprobleme oder technische Beschädigungen auftreten. Zudem ist eine Terminverwaltung sinnvoll, damit potenzielle Nutzer die Anlage für eigene Übungen und Experimente im Voraus reservieren können.

**Plattformabhängigkeit der Client-Software:** Die einzusetzende Client-Software sollte plattformunabhängig sein, um die Systemvielfalt in der freien Lehre zu unterstützen. Es sollte im Idealfall lediglich ein Standard-Webbrowser benötigt werden. Insbesondere sollte die Installation von zusätzlichen Softwarekomponenten vermieden werden. Wird zusätzliche, eventuell spezielle Software notwendig, so sollte die Installation einfach und ohne besondere Betriebssystemkenntnisse durchführbar sein.

**Technische Randbedingungen:** Die Nutzungsakzeptanz von realen Anlagen in virtuellen Lernortstrukturen hängt ganz wesentlich davon ab, ob der Aufwand im Vorfeld oder während des Einsatzes im Unterricht gering gehalten werden kann. Deshalb sollte keine spezielle Hardware erforderlich sein, sondern es sollten handelsübliche Computer zum Einsatz kommen können. Diese werden von den meisten Lernenden ohnehin benötigt und sind daher in der Regel privat oder in Rechnerpools der jeweiligen Bildungseinrichtung vorhanden.

## Aufbau des MARVEL-Solarlabors

### Überblick

Die oben genannten Anforderungen bildeten im Projekt „MARVEL“ den Ausgangspunkt für die Konzeption und Realisierung eines Netzwerkes von realen Produktionsanlagen und technischen Laboren, die einen flexiblen Online-Zugriff von unterschiedlichen Lernorten aus ermöglichen. Dazu wurden verschiedene Lernumgebungen für folgende Bereiche implementiert:

1. Tele-Konfiguration und -Programmierung eines Industrieroboters,
2. Internetgestützte Installation und Inbetriebnahme einer elektropneumatischen Steuerung,
3. Prozesssteuerung und -überwachung einer Solaranlage über das Internet,
4. Teleservice (E-Maintenance) bei modularen Produktionssystemen.

Anhand von einzelnen Fallstudien wurden verschiedene Lernszenarien erprobt. Dabei wurde auch untersucht, inwieweit es möglich ist, verteilte Real-systeme mit virtuellen Lernplattformen zu kombinieren und innerhalb einer Kooperation zwischen verschiedenen Bildungseinrichtungen einzusetzen (MÜLLER 2005). Im Folgenden soll das Fallbeispiel „Prozesssteuerung und -überwachung einer Solaranlage über das Internet“ etwas genauer beschrieben werden, weil an diesem Beispiel recht anschaulich gezeigt werden kann, welche technischen Voraussetzungen nötig sind, um eine solche Lernumgebung in eine virtuelle Lernortstruktur einzubinden und pädagogisch zu nutzen.

Die Solaranlage wurde von einem Projektpartner, der Berufsbildenden Schule II in Delmenhorst („Kerschensteiner-Berufsschule“), in das MARVEL-Projekt eingebracht und entsprechend weiter entwickelt (HOELL/MARTENS 2005). Bei der Anlage handelt es sich um ein thermisches Solarsystem, bestehend aus vier kommerziellen Kollektoreinheiten und zwei 500 Liter großen Speichertanks für Warmwasser sowie dazugehörige Versorgungs- und Prozesstechnik. Die Kapazität der Anlage ist so ausgelegt, dass sie maximal vier Labore und eine Ausbildungswerkstatt komplett mit Warmwasser versorgen kann. Vorwiegend wird sie aber als Schulungsanlage für Unterrichtszwecke in der Steuerungs-, Prozess- und Versorgungstechnik eingesetzt. Darüber hinaus dient die Anlage als Anschauungsobjekt, um die umweltschonende und effiziente Solartechnik zu demonstrieren sowie die Leistungsfähigkeit und das Langzeitverhalten verschiedener Kollektorsysteme zu vergleichen (Abb. 1).

Im Projekt „MARVEL“ wurde die vorhandene Anlage so erweitert, dass diese auch aus der Ferne programmiert, bedient und überwacht werden kann (MÜLLER 2005). Ventile, Pumpen, Sensoren können angesteuert werden, um das Verhalten der Anlage über das Internet zu beeinflussen oder Messdaten zu erfassen. Hierzu wurde die

Anlagensteuerung um ein internetfähiges Kopplungsmodul auf der Basis des SCADA (Supervisory, Control and Data Acquisition)-Systems „Simatic WinCC“ (2009) ergänzt. Die so gewählte Lösung erlaubt es, dass die Automatisierungsfunktionen (Signalverarbeitung, Steuerungsfunktionen) lokal auf dem Automatisierungsgerät der Anlage verbleiben und weiterhin durch die vorhandene speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) realisiert werden. Damit ergeben sich keine prinzipiellen Änderungen in der Anlagenstruktur. Die eigentliche Verbindung der Realanlage erfolgt über einen SCADA-Server (vgl. hierzu die späteren Ausführungen). Eine Prozessvisualisierungs- und Bedienschnittstelle zur Beobachtung oder Steuerung der Solaranlage kann von jedem internetfähigen Rechner aus aufgerufen werden; erforderlich sind dafür ein Webbrowser sowie ein spezielles Softwaremodul (Plug-in). Aus Sicherheitsgründen wurde allerdings noch eine Zugriffsverwaltung implementiert, um nur autorisierten Nutzern den Zugriff auf die Anlage zu erlauben. Die so gefundene Lösung ermöglicht damit beispielsweise Lerngruppen einer kooperierenden Bildungseinrichtung den Fernzugriff auf die Anlage, um das Systemverhalten bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu beobachten, Prozessinformationen zu



Abb. 1: Solaranlage mit Übungslabor

analysieren, Umgebungsdaten (z. B. Sonneneinstrahlung oder Wetterdaten) herunterladen oder auch in den Anlagenprozess aktiv einzugreifen.

Das Lernen und Experimentieren mit der realen Anlage wird durch die Bereitstellung von zusätzlichen digitalen Lernmaterialien über die Lernplattform „MOODLE“ (DOUGIAMAS/TAYLOR 2003) unterstützt. Die virtuelle Lernumgebung integriert verschiedene Medien (z. B. virtuelle Handbücher, Videos, Übungsbeispiele) und Webdienste (Web Services), die den Zugriff auf die Realanlage steuern und überwachen. Zusätzlich wurde ein Videokonferenzsystem eingesetzt, um die Kommunikation zwischen Lernenden (Remote-Rechner) und Solarlabor zu unterstützen. Zum Empfang des Video- und Audiostreams wurde ein konfigurierbares Video-Konferenzsystem auf der Basis von Flash Video genutzt. Später im Verlaufe des Projektes wurde hierfür auch die Software „Skype“ eingesetzt. Die Anlagenstruktur des MARVEL-Solarlabor wurde im Verlaufe des Projektes weiterentwickelt (Abb. 2). Eine webbasierte Bedienschnittstelle der Solaranlage (Abb. 3) ermöglicht u. a. eine Prozessvisualisierung und das Durchführen von Videokonferenzen.

Mit dem Einsatz des MARVEL-Solarlabor lassen sich zahlreiche Lernszenarien realisieren, die für die Ausbildung von Facharbeitern, Technikern und Ingenieuren in der Automatisierungs- und Solartechnik relevant sind.

In „MARVEL“ wurden dazu verschiedene Unterrichtsprojekte realisiert. Einige Beispiele sind:

- konstruktives Kennenlernen der Anlage,
- Ermittlung der Sensoranordnungen und der Steuerungskonfiguration,
- Ermittlung der Leistung des Systems bei unterschiedlichen Steuerungsparametern,
- aktives Eingreifen in den Anlagenprozess und Änderung von Steuerungsprogrammen,
- Projektierung und Test einer optimalen Konfiguration,
- Optimierung von Steuerungsparametern,
- Hochladen von SPS-Programmen in die Steuerung der Anlage,

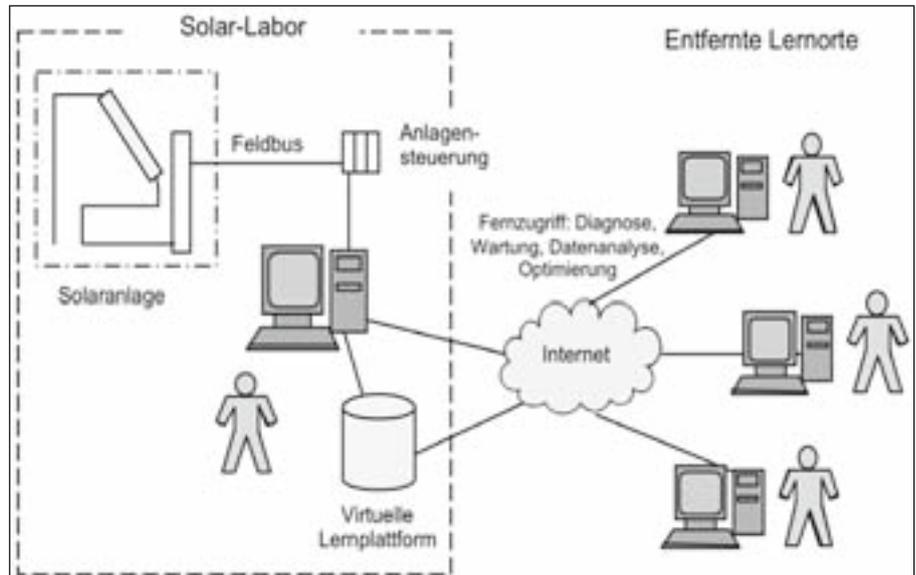


Abb. 2: Anlagenstruktur des MARVEL-Solarlabor im Lernortverbund

- Ermittlung der Leistungsfähigkeit und des Langzeitverhaltens verschiedener Kollektortypen.

Typischerweise wurden die Lerneinheiten mit kooperierenden Lerngruppen durchgeführt. Dies fördert Teamarbeit, welche neben anderen eine wesentliche Anforderung an die Fähigkeiten eines Facharbeiters, Technikers oder Ingenieurs ist.

### Systemarchitektur

Kernstück des MARVEL-Solarlabor ist ein SCADA-Server, der die reale Solaranlagensteuerung über ein Kopplungsmodul mit dem Internet verbindet. Dazu verwaltet das SCADA-System eine Prozessdatenbank, in der alle relevanten Prozessinformationen aus der Anlage zur Analyse und Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Der SCADA-Server kann auch Daten in das Automatisierungsgerät, in diesem Fall eine Simatic S7 SPS-Steuerung, zurückschreiben, um das Verhalten der Anlage von außen gezielt zu beeinflussen. Das SCADA-System ist in eine Client-Server-Struktur eingebunden und erlaubt ausreichend viele Web-Clients, von denen bis zu 20 gleichzeitig aktiv sein können. Über eine Standard-Webbrowser-Konfiguration lässt sich auf die Anlage zugreifen. Die Benutzerverwaltung der Bedienplätze ist in den Datenbestand der Anlage vor Ort einbezogen und wird über die Lernplattform „MOODLE“

gesteuert. Unterschiedliche Berechtigungsstufen regeln, wer welche Zugriffsrechte hat, beispielsweise wer also nur anzeigen, aber nicht bedienen kann. Hinzu kommt die Unterstützung gängiger Sicherheitsmechanismen: Router, Firewall, Proxy-Server, Verschlüsselung und VPN-Technologien.

Softwaretechnisch basiert das System auf verschiedenen Komponenten, die hierarchisch in mehreren Ebenen gegliedert werden können. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Koppelstellen Mensch-Anlage/Maschine und Mensch-Prozess. Über diese Koppelstellen kann der Benutzer in das System oder einen Prozess eingreifen. Entsprechend entsteht eine typische Struktur mit vier Hauptebenen (Abb. 4), die relativ selbstständig und somit auch getrennt funktionsfähig sind:

- Bedienebene: Schnittstelle zum Benutzer, Interaktion und Kommunikation mit der Realanlage (Teleoperationen), Nutzung der virtuellen Lernplattform (MOODLE);
- Serverebene: Verwaltung und Bereitstellung der Prozessdaten und der virtuellen Lernplattform für autorisierte Nutzer;
- Steuerungsebene: Überwachung und Steuerung der Solaranlage;
- Feldebene: Kopplung des Prozesses mit der Anlagensteuerung (SPS) via Sensoren, Ein-/Ausgabeschnittstellen und Feld-Busse.

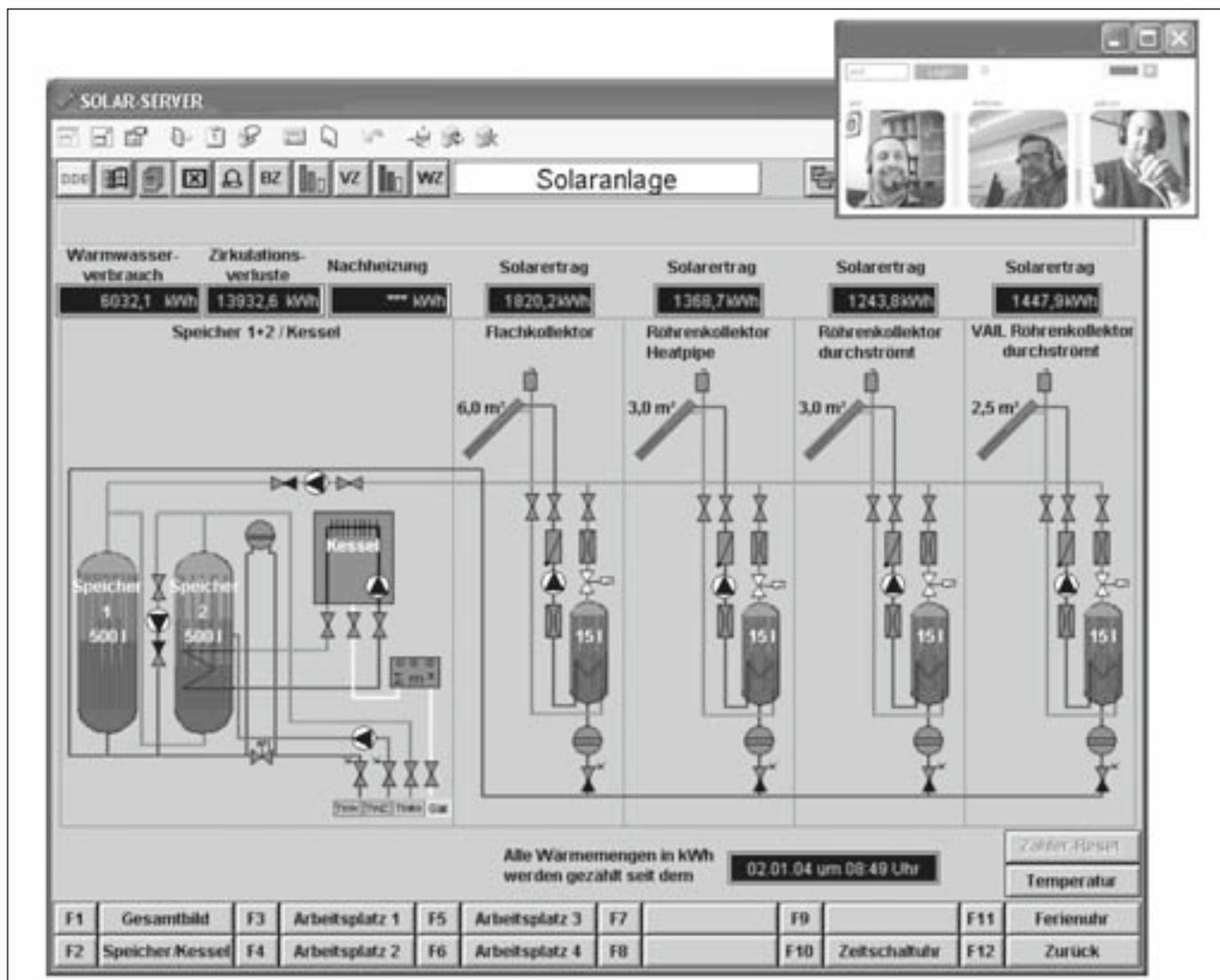


Abb. 3: Bedienschnittstelle der Solaranlage mit Prozessvisualisierung und Videokonferenzsystem

## Erfahrungen

Die Solaranlage nahm nach einer Implementierungs- und Testphase von ca. einem Jahr den vollständigen Betrieb auf. Zu Anfang traten einige technische Hürden auf, die aber durch das hohe Engagement der beteiligten Projektpartner überwunden werden konnten. Dazu bot „MARVEL“ einen guten Rahmen, um Probleme gemeinsam zu erörtern und nach Lösungen zu suchen. Für die Anlagenerweiterungen (Hard- und Software für das SCADA-System und die virtuelle Lernplattform) waren zusätzliche Investitionen erforderlich, die teilweise auch durch Sponsoring und Spenden gedeckt werden konnten. Nach den anfänglichen Startschwierigkeiten läuft nun die Anlage im 24-h-Betrieb mit einer

sehr hohen Verfügbarkeit von ca. 98 Prozent.

Im Rahmen des Projektes „MARVEL“ wurde auch eine Online-Evaluierung durchgeführt, um mehr Erkenntnisse darüber zu bekommen, inwieweit die gesetzten Ziele erreicht werden konnten. Dazu wurde ein Fragebogen entwickelt und bei verschiedenen Unterrichtsprojekten eingesetzt (Abb. 5). Auf einer Bewertungsskala von 1 („poor“) bis 5 („excellent“) konnten Nutzer eigene Bewertungen sowie auch Vorschläge für Verbesserungen abgeben. Die Untersuchung umfasste in erster Linie Fragen zur Usability (Gebrauchstauglichkeit), um die vom Nutzer erlebte Nutzungsqualität bei der Interaktion mit dem System herauszufinden.

Im Mittelpunkt standen dabei Kriterien wie Nutzerzufriedenheit der gesamten Lernumgebung (z. B. Attraktivität), Effizienz des Systems bei der Interaktion mit dem System (z. B. sensorisches Feedback bei Teleoperationen) und Effektivität zur Lösung einer gegebenen Lernaufgabe. Um grob abzuschätzen, welchen Einfluss die Lernumgebung auch auf den Kompetenzzuwachs des Lerners hat, wurde eine Selbsteinschätzungsskala verwendet, die als übergeordnetes Einteilungsschema in der Ausbildung von Technikern und Ingenieuren auch im Europäischen Kontext Akzeptanz findet. Dieses Schema ist angelehnt an eine Studie über technische Labore von MA und NICKERSON (2006) und differenziert zwischen den vier Kompetenzbereichen „Conceptual Understanding“, „Design Skills“, „So-

cial Skills“ und „Professional Skills“. Aus zeitlichen Gründen, wurde in der Evaluation eine vergleichende Bewertung mit anderen Lernumgebungen oder Bildungsmaßnahmen nicht vorgenommen.

Der Fragebogen wurde insgesamt in vier Unterrichtsprojekten eingesetzt. Beteiligt waren drei kooperierende Einrichtungen aus dem Projekt „MARVEL“, und zwar Berufsschüler der Kerschensteiner-Berufsschule in Delmenhorst, Schüler des Higher Technical Instituts (HTI) in Nicosia (Zypern) und Trainees aus dem West Lothian College (WLC) in Schottland. Zusätzlich wurden während einer Pilotphase auch Informatikstudenten der Universität Bremen befragt. Der Fragebogen wurde jeweils online über die vorhandene MOODLE-Lernplattform zum Ende jedes Unterrichtsvorhabens zur Verfügung gestellt und von den Teilnehmern beantwortet.

Im Ergebnis wurde die Benutzbarkeit des Systems von den meisten (ca. 80 %) als recht gut bewertet. Sehr positiv wurde die Qualität der Prozessvisualisierung eingeschätzt. Kritisch bewertet wurde, dass die Ursachen einer Fehleingabe (z. B. bei der Parametrierung der Steuerung) vom System nicht ausreichend transparent waren oder sensorisch nicht verständlich zurückgemeldet wurden. Sehr gut angenommen wurde die eingesetzte Lernumgebung „MOODLE“, weil hierdurch zusätzliche Selbstlernmaterialien zur Verfügung standen. Das eingesetzte

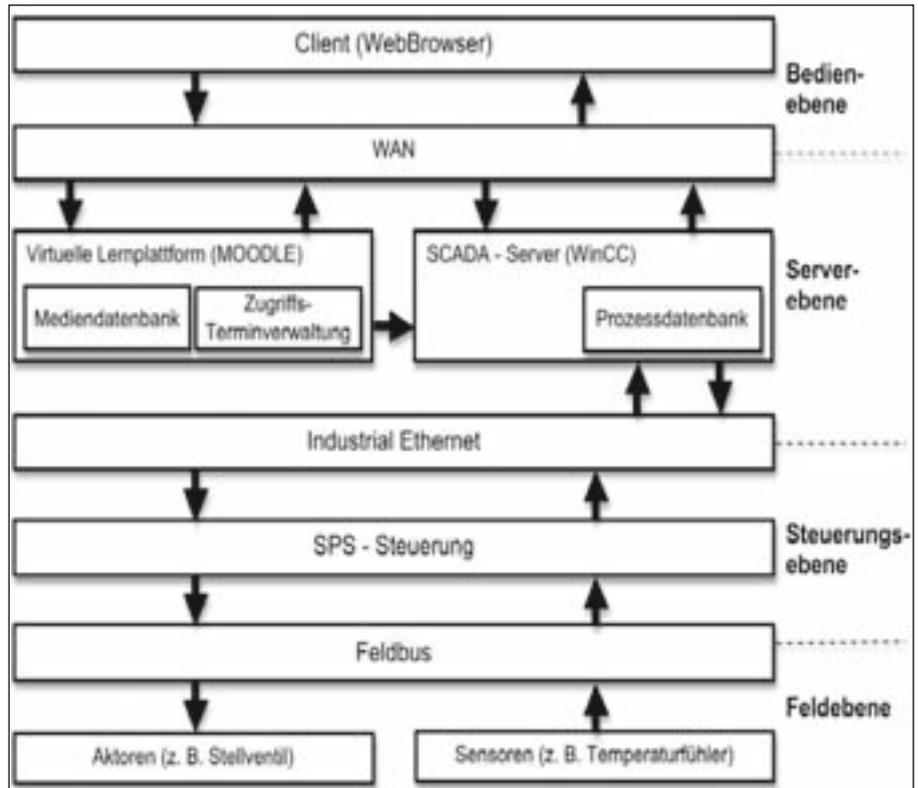


Abb. 4: Softwarearchitektur

Video-Konferenzsystem wurde gern genutzt, wobei Lerner äußerten, dass dabei der Audio-Chat-Kanal wichtiger ist als das Kamerabild.

Insgesamt ergab sich bei der Auswertung für einzelne Fragen (insbesondere zum Aspekt der Kompetenz) eine große Streuung, die darauf schließen lässt, dass Lernen und Experimentieren mit einem Realsystem im Internet

bei unterschiedlichen Lernern (Berufsschüler bis Studenten) möglicherweise auf recht unterschiedliche individuelle Voraussetzungen trifft. Dies meint die fachlichen Kenntnisse, mehr aber noch die Fähigkeiten, die erforderlich sind, um mit digitalen Medien kompetent umzugehen.

Ein grundlegendes Problem bei der durchgeführten Evaluation besteht darin, dass es prinzipiell schwierig ist, universelle Aussagen zu treffen. Dafür müssen sicherlich weitere und vor allen Dingen viel umfassendere Evaluationen folgen, die sehr speziell Aspekte des Lernens mit gemischten Lernumgebungen und Telepräsenzsystemen untersuchen.

Was die technische Umsetzung betrifft, zeigte sich im Verlauf des Projektes „MARVEL“, dass eine webbasierte SCADA-Umgebung eine Lösung darstellt, die einen nicht unerheblichen Implementierungsaufwand erfordert. Dafür erhält der Nutzer ein komplexes, auf industriellen Komponenten basierendes System, das hohe Sicherheitsstandards erfüllt und deshalb auch bei der Prozessüberwachung von großen Industrieanlagen Verwendung findet. Auf dem Markt verfügbare SCADA-

**Online Course Evaluation Form**

The purpose of this survey is to help us understand how well the online delivery of the Solar Energy e-Learning Laboratory and the associated course enabled you to learn.

Each of the 28 statements that follow asks about your experience in this course. Please fill in the empty boxes by inserting the number corresponding to your experience next to each statement (1 = Poor, 2 = Fair, 3 = Good, 4 = Very Good, 5 = Excellent, N.A = "Don't know").

1 = Poor, 2 = Fair, 3 = Good, 4 = Very Good, 5 = Excellent, N.A = "Don't know"

Ease of accessing the solar energy e-learning lab website	□
Ease of navigating the solar energy e-learning lab website	□
I could register with no trouble	□

Abb. 5: Fragebogen (Ausschnitt) für die Evaluation der Solaranlage

Systeme bedingen kostspielige Softwarepakete, die in der Regel wesentlich mehr Funktionalitäten bieten, als der Nutzer tatsächlich benötigt. Dies macht es für eine einzelne Bildungseinrichtung schwierig, eine Anlage, wie hier beschrieben, aufzubauen. Ein derartiges Vorhaben, eingebunden in ein kooperatives Bildungsnetzwerk, erscheint allerdings sinnvoll und realisierbar.

## Fazit und Ausblick

Mit dem Internet entstehen neue, virtuelle Lernorte außerhalb der traditionellen Bildungsinstitutionen, die eine gewisse Unabhängigkeit des Lernens von Ort und Zeitpunkt ermöglichen. Dabei ergeben sich zahlreiche Gelegenheiten, um den Informations- und Wissensaustausch zwischen verteilten Lernorten effektiver zu gestalten. Vielfältige Lernszenarien sind denkbar, wie beispielsweise lernortübergreifende Bereitstellung von didaktischen Materialien, telekooperatives Lernen im Lernortverbund oder kooperative Weiterbildung von Lehrkräften. Darüber hinaus ermöglicht das Internet den Datenaustausch mit entfernt stehenden technischen Realsystemen (z. B. Maschinen, Produktionsanlagen oder Laboreinrichtungen).

In diesem Beitrag wurde beschrieben, wie eine solche Lernumgebung realisiert werden kann, die virtuelles Lernen mit Lernsituationen verknüpft, die im Zusammenhang mit realen Prozessen stehen. Reale Lernwelten werden dabei in zwei Richtungen ergänzt. Einerseits werden Lernressourcen, die als virtuelle Medien existieren, mit realen Lernorten kombiniert oder verknüpft. Virtuelle Lernorte werden andererseits mit Realsystemen so angereichert, dass diese in reale Umgebungen integriert werden. Innerhalb von virtuellen Lernortstrukturen können auf solche Weise reale Produktionsanlagen oder Labore, die an unterschiedlichen Bildungsinstitutionen oder Unternehmen vorhanden sind, gemeinsam genutzt werden. Dabei haben Lernende die Möglichkeit, digitale Medien mit realen Prozessdaten so zu kombinieren, dass möglichst authentische, prozessnahe Lernsituationen entstehen.

## Literatur

- BORGMEIER, A. (2002): Teleservice im Maschinen- und Anlagenbau. Anwendung und Gestaltungsempfehlungen. Wiesbaden.
- DAWABI, P. (2004): Virtuelle kooperative Lernräume. In: HAAKE, J./SCHWABE, G./WESSNER, M. (Hrsg.) (2004): CSCL-Kompendium. Lehr- und Handbuch zum computerunterstützten kooperativen Lernen. München/Wien. S. 118–126.
- DEHNBOSTEL, P. (2007): Verbünde und Netzwerke als Lernortkooperationen in modernen Berufen. In: BRUHNE, A./HERBOLD, I./WEINER, A./WICHMANN, C. (Hrsg.): Aus- und Weiterbildung in Hochtechnologieberufen. Tagungsband des niedersächsischen Ausbildungsnetzwerks mst-bildung. Aachen. S. 16–30.
- DEML, B. (2004). Telepräsenzsysteme: Gestaltung der Mensch-System-Schnittstelle. Dissertation. Universität der Bundeswehr. München.
- DOUGIAMAS, M./TAYLOR, P. (2003): Moodle: Using Learning Communities to Create an Open Source Course Management System. In: LASSNER, D./McNAUGHT, C. (Hrsg.): Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2003. Chesapeake, VA. S. 171–178.
- HAAKE, J./SCHWABE, G./WESSNER, M. (Hrsg.) (2004): CSCL-Kompendium. Lehr- und Handbuch zum computerunterstützten kooperativen Lernen. München/Wien.
- HOELL, W./MARTENS, H. (2005): Remote Process Control of a full-scale Solar Heating System. Learning Environment Design, Course Notes and Evaluation. In: MARVEL-Final Report. Bremen.
- MA, J./NICKERSON, J. V. (2006): Hands-on, Simulated and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review. ACM Computing Surveys, (38:3) Article No. 7, S. 1–24.
- MÜLLER, D. (Ed.) (2005): MARVEL – Mechatronics Training in Real and Virtual Environments. Concepts, Practices, and Recommendations, Impuls Vol. 18, published by Nationale Agentur für Bildung in Europa beim BIBB. Bremen.
- NEUMANN, P. (2007): Communication in Industrial Automation. What is going on? In: Control Engineering Practice, Vol. 15, Issue 11. S. 1332–1347.
- SIMATIC WinCC (2008): Prozessvisualisierung mit Plant Intelligence. [http://www.automation.siemens.com/hmi/html\\_00/products/software/wincc/](http://www.automation.siemens.com/hmi/html_00/products/software/wincc/) (letzter Zugriff: 15.3.2009).
- WILBERS, K. (2002): Die Schule im regionalen Berufsbildungsnetzwerk – Ganzheitliche Gestaltung einer proaktiven Institution in den flexiblen institutionellen Arrangements eines regionalen Berufsbildungsnetzwerks. In: BLK (Hrsg.): Kompetenzzentren in regionalen Berufsbildungsnetzwerken – Rolle und Beitrag der beruflichen Schulen. Bonn. S. 101–121.
- ZVEI (Hrsg.) (2003): Ethernet in der Automation. Studie über Systemvergleich der Ethernet-Kommunikationskonzepte für die Automation industrieller Anlagen vom Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

Axel Grimm/Bert Wieser

# Handlungssystematischer Berufsschulunterricht in der vollzeitschulischen Assistentinnen- und Assistentenausbildung Hardwareseitige Fehlerdiagnose an PC

Auch in vollzeitschulischen Ausbildungsgängen ist ein Unterricht möglich, der sich an einer beruflichen Handlungssystematik orientiert. In diesem Beitrag wird exemplarisch aufgezeigt, wie eine fachdidaktische Umsetzung für handlungssystematischen Unterricht unter Anwendung der Handlungsregulationstheorie entwickelt werden kann.

## Vorbemerkung

Die berufspädagogische Diskussion um die Systematik des Unterrichts gewinnt in Bezug auf vollzeitschulische Bildungsgänge eine neue Dimension. Der fehlende duale Partner und damit die fehlende Orientierung an einer beruflichen Systematik stellen an den Lernort Berufsschule erweiterte Anforderungen.

Die Planung von Lehr-Lernarrangements für den berufsbezogenen Unterricht orientiert sich entweder eher an der Fachsystematik oder eher an einer beruflichen Handlungssystematik. Das Lernen unter Anwendung beider Systematiken sollte für Auszubildende der dualen Ausbildung aufgrund ihrer Sozialisation in Schule und Beruf möglich sein. Von diesen Voraussetzungen kann bei vollzeitschulischen Berufsausbildungen nicht ausgegangen werden. Eine berufliche Handlungssystematik erschließt sich den vollzeitschulischen Berufsschülerinnen und Berufsschülern in vielen Fällen aufgrund der fehlenden beruflichen Realität nur unzureichend und kann deswegen auch nur schwer in ein Selbstkonzept integriert werden.

Während bei der dualen Ausbildung die jeweilige Tendenz und Stärke der vorgesehenen Systematik meist durch das berufspädagogische Selbstverständnis der Lehrkräfte geprägt ist, stellt sich die Problemlage für das Lehrerhandeln in vollzeitschulischen Bildungsgängen anders dar. Für handlungssystematischerorientierte Lehr-Lernarrangements im vollzeitschulischen Berufsschulunterricht bedarf es nicht

nur der Integration, sondern zunächst auch der Erfassung der beruflichen Handlungssystematik. Das folgende Beispiel zeigt auf, wie berufliche Handlungen und Prozesse in Bezug auf die Themenstellung des Unterrichtsvorhabens „Hardwareseitige Fehlerdiagnose an PCs“ rezipiert und aufbereitet werden können. Die Rezeption versteht sich als Erfassung und Dokumentation themenspezifischer, berufsorientierter Handlungssequenzen.

## Ausgangsbedingungen

Die hier in Teilen dokumentierte Unterrichtsplanung ist im Rahmen einer Prüfungsarbeit zum Zweiten Staatsexamen durchgeführt worden. Die Schülerinnen und Schüler befanden sich im zweiten Schulhalbjahr der vollschulischen Berufsausbildung „Staatlich geprüfte Technische Assistenten/Assistentinnen für Elektronik und Datentechnik“. Die Assistentinnen- und Assistentenausbildung in Berlin wird integrativ durchgeführt. Das bedeutet, die zweijährige vollschulische Berufsausbildung und die einjährige Fachoberschule können nur gemeinsam besucht werden. Die Auszubildenden erhalten am Ende ihrer Ausbildungszeit den Nachweis einer qualifizierten Berufsausbildung und die Fachhochschulreife. Das Thema „Hardwareseitige Fehlerdiagnose an Personal Computern“ ist curricular im Lernfeld 4 „Informationstechnische Systeme“ verankert. Die Schülerinnen und Schüler haben bereits im vorausgegangenen Unterricht Kompetenzen zu Bereichen wie beispielsweise Überprüfung eines IT-Systems, VDE 0701, VDE 0702, Peripheriegeräte und Kundenberatung entwickeln können. Die

Planung bezieht sich daher weniger auf einen Anfangsunterricht, sondern dient der Vertiefung, Anwendung und dem Transfer von z. T. bereits vorhandenem Wissen.

## Handlungssystematik in berufspädagogischen Lehr-Lernarrangements

Im Sinne eines kompetenzorientierten Unterrichts steht bei der Planung von handlungssystematischem Unterricht eine andere Fragestellung bezüglich der Intentionen im Vordergrund. Hier soll nicht nur eine Verschiebung von Input-Orientierung hin zur Output-Orientierung geschehen, sondern eine Intentionsverlagerung auf die Performanz, die Schülerinnen und Schüler während des Unterrichtsgeschehens zeigen, und ein erhofftes Outcome in späteren beruflichen Anwendungssituationen. Für das diesbezügliche Lehrerhandeln bedeutet der Perspektivenwechsel, dass der Ausgangspunkt der Überlegungen für einen handlungssystematischen Unterricht nicht mehr die Frage „Was soll gelernt werden?“ lautet, sondern was getan werden soll, um etwas Bestimmtes zu erreichen (vgl. TENBERG 2006).

Oft werden die Zusammenhänge der Handlungssystematik und der Handlungsorientierung verwechselt bzw. synonym benutzt. Handlungsorientierung (vgl. CZYCHOLL 2006) ist innerhalb der Berufspädagogik kein fest definierter Begriff. Sie umfasst eine ganze Reihe von Unterrichtsstrukturen, wie z. B. komplexe Aufgabenstellungen, Selbststeuerung und Freiheitsgrade, unterstützende Lehrerrolle, integra-

tive und offene Leistungsfeststellung, kooperatives und kommunikatives Lernen und eben ein handlungssystematisches Vorgehen (vgl. RIEDL 1998). Demnach stellt die Handlungssystematik eine mögliche Bedingung für handlungsorientierten Unterricht dar. Eine berufliche Handlungssystematik im Unterricht grenzt sich zuallererst von der traditionellen Fachsystematik, die als „von Klein nach Groß“ oder „von den physikalischen Grundlagen hin zu Komplexerem“ beschrieben werden kann, ab. Handlungssystematischer Unterricht wird in Anlehnung an DEWEY (1859–1952) gerne am Modell der vollständigen Handlung unter Bezugnahme auf Real-Situationen, beispielsweise auf Kundenaufträgen, durchgeführt.

Eine schulische Aufgabenstellung kann dann als handlungssystematisch strukturiert bezeichnet werden, wenn die auf eine berufliche Handlung bezogenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten integrativ erlernbar gemacht werden. Berufliche Handlungssituationen lassen sich beispielsweise mithilfe der Handlungsregulationstheorie erfassen (vgl. OESTERREICH 1981; SCHELLEN 1995; TENBERG 2006). Durch die Handlungsregulationstheorie können die für die Bewältigung einer komplexen Aufgabenstellung nötigen Teilhandlungen ermittelt und aufgliedert werden. Die Teilhandlungen werden in ihrer hierarchisch-sequentiellen Organisation dargestellt. „Grundgedanke der Theorie ist, dass das Wesentliche beim Handeln seine Regulation ist. Die Handlungsregulation äußert sich in der Bildung von Zielen und untergliederten Teilzielen, die schließlich durch einzelne Bewegungshandlungen erreicht werden.“ (SCHELLEN 1995, S. 21) Die Handlungsregulationstheorie findet in unterschiedlichen Forschungsgebieten Anwendung und hat wie jede Theorie eine eingeschränkte Erklärungsreichweite. Für die berufspädagogische Domäne steht die Erfassung einer beruflichen Handlungssystematik im Kontext von Beruf und Lernen im Vordergrund. Am Beispiel der „Hardwareseitigen Fehlerdiagnose an PCs“ soll im Folgenden die hierarchisch-sequentielle Organisation des Handelns dargestellt werden.

Die Ebenen der Handlungsregulation lassen sich auf fünf reduzieren (vgl. SCHELLEN 1995):

Ebene 1: Sensumotorische Regulation,

Ebene 2: Handlungsplanung,

Ebene 3: Teilzielplanung,

Ebene 4: Koordination mehrerer Handlungsbereiche,

Ebene 5: Schaffung neuer Handlungsbereiche.

#### *Ebene 1: Sensumotorische Regulation*

In der unteren ersten Ebene, der sensumotorischen Regulation, werden Abfolgen von Arbeitsbewegungen mit einem über die Sinne geleiteten Bewegungsprogramm reguliert. Beim Erstellen des Bewegungsprogramms bedarf es keiner Planung oder keines gedanklichen Durchspielens möglicher Vorgehensweisen vor ihrer Ausführung.

Beispiel: Einbau eines Netzteils im PC

In vorgefertigte PC-Gehäuse werden bei der Produktion Netzteile eingebaut.

1. Gehäuse öffnen,
2. Netzteil in der richtigen Lage einbauen und befestigen,
3. Kabelbaum im Gehäuse montieren,
4. Anschluss der Leitungsstecker auf dem Mainboard fügen,
5. Gehäuse schließen.

Das Beispiel verdeutlicht: Das Ergebnis der Arbeit wird durch bereits häufig getätigte und überaus gleichförmige Abfolgen von Arbeitsbewegungen erbracht (vgl. SCHELLEN 1995).

#### *Ebene 2: Handlungsplanung*

In der zweiten Ebene, der Handlungsplanung, werden Abfolgen unterschiedlicher Bewegungsprogramme selbst geplant, da die Vorgehensweise nicht von vornherein völlig festlegbar ist.

Beispiel: Einbau der Netzteile in unterschiedliche PC-Gehäuse verschiedener Hersteller

1. Mechanismus suchen, um das Gehäuse zu öffnen,

2. Lage für Lage den Einbau des Netzteils suchen, es einbauen und befestigen,

3. Kabelbaum in geeigneter Lage im Gehäuse montieren,

4. Anschluss der Leitungsstecker auf dem Mainboard fügen,

5. Gehäuse durch spezifischen Mechanismus schließen.

Das Beispiel verdeutlicht: Für die Ebenen der Handlungsplanung müssen unterschiedliche Bewegungsprogramme variabel miteinander kombiniert werden. Das Arbeitsprogramm ist wie bei der Ebene der sensumotorischen Regulation alleine nicht zu verwirklichen.

#### *Ebene 3: Teilzielplanung*

In dieser Ebene wird die Arbeitstätigkeit bereits komplex gestaltet. Die Teilzielplanung besteht aus mehreren Komponenten. Es erfolgt zuerst eine Unterteilung der Tätigkeit in sinnvolle Zwischenergebnisse oder Teilziele. Die Abfolge der Teilziele wird vorgenommen und für die darunter liegende Ebene der Handlungsplanung eine Vorgehensweise für die Arbeit entworfen. Nach der Ausführung dieser Handlungsplanung werden, zurück auf der Ebene der Teilzielplanung, weitere gedachte Teilziele überprüft oder gegebenenfalls korrigiert.

Beispiel: Instandsetzung eines Hardware-schadens im PC

1. Fehlersuche, inklusive Prüfung und Ausbau von Teilen zur Fehlerdiagnose,
2. Ausbau beschädigter Teile und deren Prüfung,
3. Feststellung von Typ und Spezifikation der Teile bei Neubestellung,
4. Instandsetzung oder Neubestellung der beschädigten Teile,
5. Einbau der neuen oder instand gesetzten Teile.

Der genaue Inhalt späterer Teilarbeitstätigkeiten kann oft erst bestimmt werden, wenn frühere Schritte abgeschlossen sind. So kann der Schritt 4 erst durchgeführt werden, wenn die Prüfung im Schritt 2 ergeben hat, ob das Bauteil überhaupt instand gesetzt werden kann.

Das Beispiel verdeutlicht: Das Ergebnis der Arbeitsaufgabe steht vorab nicht im Einzelnen fest. Teilziele sind zunächst nur grob ermittelbar, sodass vor der Arbeitsausführung und Präzisierung der Teilziele auf Ebene 3 eine vollständige Handlungsplanung auf der Ebene 2 nicht erstellt werden kann (vgl. SCHELTEN 1995).

#### *Ebene 4: Koordination mehrerer Handlungsbereiche*

Auf dieser Ebene der Koordination mehrerer Handlungsbereiche müssen mindestens zwei nebeneinander existierende Teilzielplanungen der Ebene 3 aufeinander abgestimmt werden. Dabei kann das Ergebnis eines Teilziels das Ergebnis des anderen Teilziels beeinflussen. Teilzielplanungen sollen sich gegenseitig ergänzen und nicht behindern.

Beispiel: Ein Kunde möchte seinen PC aufrüsten. Eine zweite Festplatte soll eingebaut, in einem RAID-Verbund eingebunden und in zwei Partitionen unterteilt werden. Weiterhin sollen die Grafikkarte und der Arbeitsspeicher durch leistungsstärkere Komponenten erneuert werden. Während das Errichten eines RAID-Verbundes und die Partitionierung der Ebene 3 mit verschiedenen Teilzielplanungen zuzuordnen ist, müssen bei dem Einbau der zweiten Festplatte, des Arbeitsspeichers und der Grafikkarte verschiedene Handlungsbereiche miteinander koordiniert werden.

Das Beispiel verdeutlicht: Auf der Ebene der Handlungsplanung müssen unterschiedliche Teilzielplanungen koordiniert werden. Das Ergebnis der Arbeit ist voneinander abhängig und kann variieren. Der mehrere Bereiche umfassende Arbeitsvorgang muss gesteuert werden (vgl. SCHELTEN 1995).

#### *Ebene 5: Schaffung neuer Handlungsbereiche*

Die primäre Zielvorgabe steht auf der obersten Ebene der Handlungsregulation. Soll diese Ebene erweitert werden, geht es um die Planung neuer Arbeitstätigkeiten. In der Produktion können so neue Möglichkeiten geschaffen werden. Das Ergebnis der Arbeitsaufgabe ist zu diesem Zeitpunkt offen. Teilzielplanungen werden erprobt und können in bestehenden Produktions-

bereichen eines Unternehmens in neuer Form ergänzt oder mit einbezogen werden.

Beispiel: Die Geschäftsführung einer Firma ist mit der Produktivität der bestehenden IT-Anlage unzufrieden. Lösungsansätze sollen vorgelegt und Kostenvoranschläge eingeholt werden. Folgende Projekte könnten infrage kommen: Aufrüsten der alten PC-Hardware im Unternehmen, Anschaffung neuer Personalcomputer, Optimierung von Datenbanken, Aufbau eines leistungsstärkeren Intranets, Anschaffung neuer Software und Migration in der bestehenden Datenstruktur des Unternehmens.

Das Beispiel verdeutlicht: Welche Lösung oder welche Lösungen als Ergebnis der Arbeitsaufgabe letztendlich umgesetzt werden, bleibt offen. Teilzielplanungen müssen erst erprobt werden, wobei verschiedene Handlungsbereiche untereinander zu koordinieren sind. Der Zeit- und Kostenfaktor sowie Arbeitsaufwand spielen bei der Entscheidungsfindung in Unternehmen eine erhebliche Rolle.

Die KMK-Vorgaben (2000) erwarten, dass sich beruflicher Unterricht stärker an den Prozessen beruflicher Tätigkeiten orientieren soll, um den fortschreitenden Veränderungen der Arbeits- und Geschäftsprozesse gerecht zu werden. Zur Umsetzung kann die Handlungsregulation als entsprechendes Hilfsmittel genutzt werden.

Die Erfassung der Handlungsregulation lässt sich für die geplante Unterrichtsreihe aus dem Fünf-Ebenen-Modell der Handlungsregulation herleiten. Das Modell von SCHELTEN wird dabei auf vier Ebenen reduziert. Die Ebene der Teilziel- und Handlungsplanung wird durch die vorhandenen Hardwarekomponenten und möglichen Prüfvorgänge beschrieben. Diese beiden Ebenen bilden den Schwerpunkt des Handlungsregulationsschemas für die Unterrichtsreihe.

Die Inhalte des Handlungsregulationsschemas der Ebenen II und III werden in der folgenden Sachstruktur und didaktischen Reduktion ausführlich dargestellt. Die Ebene I, welche die sensorische Regulation beschreibt, kann nicht für jede einzelne Handlung einer Handbewegung erfasst und ge-

plant werden. Auf dieser Ebene müssen die Auszubildenden situativ entscheiden, welche Handlung durchgeführt werden muss. Auf der Ebene IV steht die Zielvorgabe eines funktionstüchtigen bootfähigen Personal Computers. Für die geplante Unterrichtsreihe hilft das Handlungsregulationsschema den vollschulischen Auszubildenden, die Praxisferne zu überwinden, da strukturiertes und strategisches Handeln sehr gut geplant, abgestuft, visualisiert und damit transparent dargestellt werden kann.

### **Erfassung der beruflichen Handlungs-systematik „Fehlerdiagnose“**

Die Entwicklung eines Modells der Handlungsregulation nach dem hier vorgestellten Konzept lässt sich für den zu planenden Unterricht auf die ersten drei Ebenen, sensorische Regulation, Handlungsplanung und Teilzielplanung reduzieren. Die über der Teilzielplanung stehende Ebene der Koordination mehrerer Handlungsbereiche umfasst nur einen Handlungsbereich. Als Zielformulierung für diese Ebene soll die Beseitigung des hardwareseitigen Fehlers stehen. Da der PC modular aus verschiedenen Komponenten (Baugruppen) aufgebaut ist, können die hier auf gleicher Ebene liegenden Teilziele untergliedert und abgearbeitet werden. Der Begriff „Hardware“ (englisch „Metallwaren“) umfasst alle physischen Bestandteile eines IT-Systems. Die Hardware eines Personal Computers kann in einzelne Hardwarekomponenten untergliedert werden. Dabei befinden sich diese Komponenten im Inneren des Gehäuses. Für die Unterrichtsplanung sind folgende Komponenten relevant:

- Netzteil mit Lüfter,
- Motherboard mit Steckplätzen,
- Speicherbausteine (Arbeitsspeicher),
- Festplatte,
- CD-ROM/DVD-ROM-Laufwerk,
- Gehäuse mit Lautsprecher,
- Prozessor (CPU) mit Lüfter,
- Grafikkarte,
- Diskettenlaufwerk,
- Leitungen und Steckverbindungen.

Diese Komponenten sollten bereits als Lerngegenstand durch den vorausgehenden Unterricht den Schülerinnen und Schülern bekannt sein. Hardwareseitige Fehler im PC können damit auf eine oder mehrere der hier dargestellten Komponenten zurückgeführt werden. Dabei können drei Zustände auftreten: Die Komponente funktioniert fehlerfrei, die Komponente funktioniert nicht oder die Komponente funktioniert fehlerhaft, ähnlich dem im Volksmund bekannten Wackelkontakt. Dabei sind Abhängigkeiten und Interdependenzen der Komponenten untereinander zu beachten und bedingen eine hierarchische Ordnungsstruktur mit horizontaler und vertikaler Untergliederung. Ein Beispiel für die horizontale Gliederung in der hardwareseitigen Fehlerdiagnose könnte sich wie folgt darstellen. Das Netzteil befindet sich mit allen anderen oben aufgeführten Hardwarekomponenten auf einer Ebene, genießt aber die höchste Priorität. Das wird bei genauerer Betrachtung des Netzteils verständlich, denn ohne Spannungsquelle funktionieren alle weiteren Komponenten im PC nicht. Hier besteht also eine Abhängigkeit aller Komponenten zum Netzteil. Weitere Komponenten weisen nur zum Teil Interdependenzen auf. Eine Abhängigkeit liegt beispielsweise zwischen der CPU und dem Mainboard vor. Beide Komponenten funktionieren nur ordnungsgemäß, wenn jede für sich fehlerfrei arbeitet. Hingegen liegt bei der Festplatte und der Grafikkarte keine Abhängigkeit vor, da beide Komponenten unabhängig voneinander funktionieren können. Die genannten Beispiele verdeutlichen, wie komplex sich eine Fehlersuche gestalten kann. Auf eine differenzierte Darstellung aller möglichen Kombinationen wird deshalb an dieser Stelle verzichtet.

Aus der zwölfjährigen Berufserfahrung des Mitautors WIESER, die in dem Bereich der System- und Netzwerkadministration gesammelt werden konnten, lässt sich feststellen, dass sehr oft Fehler in den Speicherbausteinen auftreten, die nicht zu einem Totalausfall, sondern zu sporadischen Programmfehlern führen. In der Häufigkeit folgen Fehler der Festplatte, der optischen Laufwerke und des Netzteils. Diese Fehler können für ein Unterrichtsarrangement realitätsnah nachgebildet werden. Zur Prüfung der Speicherbau-

steine und der Festplatte werden bootfähige Datenträger genutzt, auf denen sich spezielle Diagnoseprogramme befinden.

Bei der Fehlerdiagnose ist es wichtig, analytisch und strukturiert vorzugehen. Ein Handlungsregulationsschema (s. Abb. 1) bietet hier eine Möglichkeit, systematisch vorzugehen und den Fehler einzugrenzen. Ist die Fehlerquelle gefunden, dann wird die entsprechende Hardwarekomponente ausgebaut oder repariert. Eine Instandsetzung lohnt sich aus wirtschaftlichen Gründen allerdings nur bei kleineren Fehlern, die an Leitungen oder Steckverbindungen auftreten. Alle anderen Komponenten werden bei einem Defekt einfach ausgebaut und durch Neuteile ersetzt. Gerade hier erweist sich die modulare Bauweise des PCs als ein großer Vorteil. Ein weiterer Vorteil der modularen Bauweise wird deutlich, wenn die Leistungsfähigkeit des Systems nicht mehr ausreicht. Unter Umständen ist es sinnvoll, eine oder mehrere Komponenten einfach auszutauschen. Man spricht dann allgemein vom „Aufrüsten“ eines PCs. Dabei ist zu beachten, welchem Zweck der PC dienen soll. Bei Anwendungen, die auf große Datenbanken zugreifen, lohnt es vor allem, den Arbeitsspeicher, die Festplatte und die CPU gegen leistungsfähigere Komponenten auszutauschen. Bei Computerspielen steht hingegen die Grafikkarte an erster Stelle. Die Vorteile der modularen Bauweise der Personal Computer hat gegenüber den Heimcomputern, wie dem Commodore

re C64 aus den 1980er-Jahren, wesentlich zur Verbreitung beigetragen. Zur Fehlerdiagnose werden daher die Ebenen 1 bis 4 der Handlungsregulation benötigt.

Aus dem Handlungsregulationsschema (s. Abb. 1) wird deutlich, wie komplex eine Darstellung der möglichen Handlungen sein kann. Eine vollständige Darstellung aller möglichen Kombinationen scheint hier nicht praktikabel. Gerade auf der unteren Ebene, bei der viele Handlungen durchgeführt werden müssen, ist eine Planung für jeden einzelnen Schritt nicht möglich. Für die Umsetzbarkeit im Unterricht muss also eine didaktische Reduktion stattfinden.

### Unterrichtliche Umsetzung

Für eine Umsetzung des handlungssystematischen Modells der Handlungsregulation, wie es hier dargestellt ist, muss im Unterricht eine didaktische Reduktion auf der Ebene II (Handlungsplanung) und Ebene III (Teilzielplanung) stattfinden.

Die Ebene II wird auf die Punkte „Sichtprüfung“, „mechanische Prüfung“, „elektrische Prüfung“ und „Funktionsprüfung“ reduziert und der Reihenfolge nach horizontal strukturiert. Die dargestellte Reihenfolge ist sinnvoll, bleibt aber in der Planung und Entscheidung den Arbeitsgruppen überlassen.

Die Ebene III lässt sich auf die im PC vorhandenen Komponenten reduzie-

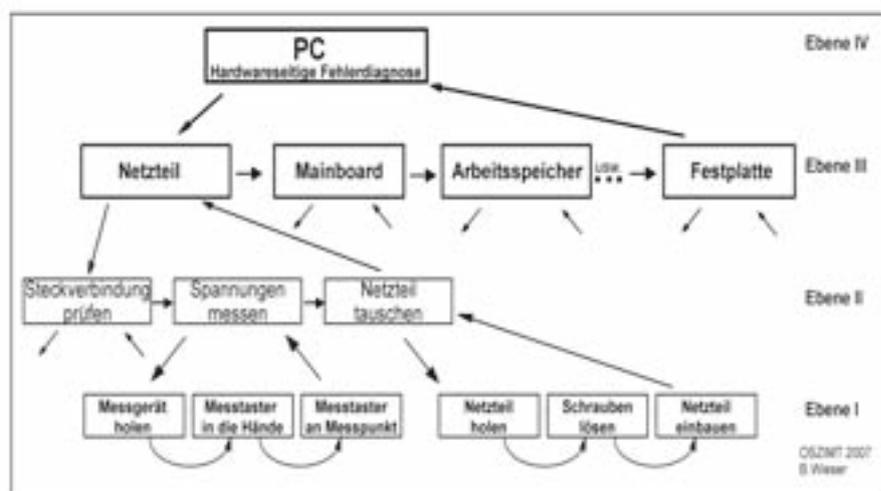


Abb. 1: Handlungsregulationsschema zur „Hardwareseitigen Fehlerdiagnose an PC“

ren. Eine vertikale Strukturierung ist bei der Komponente des Netzteils nötig, da eine Abhängigkeit zu allen anderen Hardwarekomponenten im PC vorliegt. Das Netzteil genießt daher eine höhere Priorität. In welcher Reihenfolge die folgenden weiteren Komponenten auf der horizontalen Ebene geprüft werden, bleibt auch hier in der Planung

und Entscheidung den Gruppen überlassen. Kommt es nach der Kontrolle zu einer positiven Bewertung und die Hardwarekomponente funktioniert fehlerfrei, wird zur nächsten eigenständig gewählten Komponente auf dieser Ebene gewechselt. Jede Komponente wird separat bearbeitet. Danach erfolgt ein Wechsel in die zugehörigen unteren

Ebenen II und I. Anschließend wird auf die Ebene III zurückgekehrt, um eine weitere Komponente zu prüfen. Dies wird so lange durchgeführt bis die Fehlerquellen gefunden wurden und zur Ebene IV zurückgekehrt werden kann. Die Ebene IV versteht sich als ein bootfähiger fehlerfreier PC.

### Handlungsentwurf

Phase/ Zeit	Didaktische Funktion	Unterrichtsorganisation/ Unterrichtsinhalte	Medien	Sozial- und Aktionsform
Phase I 08:00	Hinführung	L. begrüßt die Schüler, kontrolliert Anwesenheit		LSG
15'	Problematisierung	L. stellt Arbeitsauftrag „Hardwarediagnose“ vor (Fax der Anwaltskanzlei Henningsen) L. stellt das Stundenthema und den weiteren Unterrichtsverlauf vor	Beamer	LV
08:15	Selbsteinschätzung	L. fordert Schüler auf, ihren Kompetenzstand bei der Analyse von Hardwarefehlern einzuschätzen	Evaluations-scheibe 1	EA
PÜ	L.: Die Grundlagen für eine handlungssystematische Vorgehensweise werden wir jetzt erarbeiten.			
Phase II 08:15 25'	Information	L. entwickelt an der Tafel aus dem Modell das Handlungsregulationsschema L. fordert Schüler auf, AB 1 zu lösen	TB 1	LSG
08:40 20'	Erarbeitung Sicherung	S. präsentieren Arbeitsergebnisse vor der Klasse, Ergebnissicherung an der Tafel S. vervollständigen bei Bedarf ihre Arbeitsblätter	AB 1 TB 2	PA SV EA
09:00 20'	Information	L. stellt fest, dass die erworbenen Kompetenzen zur Diagnose nicht ausreichend sind, und leitet zum AB 2 über	AB 2	LV
09:20 10'	Erarbeitung	S. bearbeiten AB 2	TB 3	PA EA
09:30		S. präsentieren Arbeitsergebnisse vor der Klasse, Ergebnissicherung an der Tafel S. vervollständigen bei Bedarf ihre Arbeitsblätter		
PÜ	L.: Eine neue Methode soll nun die Vorgehensweise der Fehlerdiagnose verdeutlichen.			
Phase III 09:45 5'	Information	L. stellt 4-Stufen-Methode am Beispiel Netzteil vor L. Informieren – Vormachen der Hardwarediagnose L. fordert die Schüler zum Aufstellen der PC auf	TB PC	LV LSG
09:50 20' 10:10	Erarbeitung	S. stellen Hardware PC (Stationen) auf S. Nachmachen und Übungsphase der Hardwarediagnose am Beispiel des Netzteils	PC	PA
PÜ	L.: Sie werden jetzt die erworbenen Kompetenzen an den Lernstationen erproben.			
Phase IV 10:10 5'	Information	L. stellt die „Methode Lernen an Stationen“ vor und leitet zum Laborauftrag über		LV
10:15 15'	Erarbeitung	L. gibt AB 3 aus S. bearbeiten AB 3 – Laborauftrag	AB 3	PA
10:30 45'	Erarbeitung	S. arbeiten selbstständig an der Lernstation (1)	PC-Station	PA
11:15	Sicherung	S. sichern Arbeitsergebnisse und stellen den ursprünglichen Zustand der Station wieder her	PC-Station Protokoll	PA
Pause				
Phase IV 11:45 45'	Information	wechseln zur nächsten Lernstation, informieren sich über die Lernstation	PC-Station	PA
12:30	Erarbeitung	S. stellen selbstständig einen Arbeitsplan auf und arbeiten an der Lernstation (2) L. gibt ggf. Hilfestellung	PC-Station	PA
	Sicherung	S. sichern Arbeitsergebnisse und stellen den ursprünglichen Zustand der Station wieder her	Protokoll	

Phase IV 12:30	Information	S. wechseln zur nächsten Lernstation, informieren sich über die Lernstation	PC-Station	PA
45'	Erarbeitung	S. stellen selbstständig einen Arbeitsplan auf und arbeiten an der Lernstation (3) L. gibt ggf. Hilfestellung	PC-Station	PA
13:15	Sicherung	S. sichern Arbeitsergebnisse und stellen den ursprünglichen Zustand der Station wieder her	Protokoll	
Pause				
Phase IV 13:30	Information	S. wechseln zur nächsten Lernstation, informieren sich über die Lernstation	PC-Station	PA
45'	Erarbeitung	S. stellen selbstständig einen Arbeitsplan auf und arbeiten an der Lernstation (4) L. gibt ggf. Hilfestellung	PC-Station	PA
14:15	Sicherung	S. beseitigen Fehler und sichern Arbeitsergebnisse	Protokoll	
PÜ	L.: Sie werden nun ihre Arbeitsergebnisse im Plenum vorstellen.			
Phase V 14:15	Sicherung	L. fordert Schüler zur Präsentation der Arbeitsergebnisse auf		LSG
15'		S. präsentieren exemplarisch Arbeitsergebnisse einiger Lernstationen vor der Klasse S. vervollständigen bei Bedarf ihre Arbeitsblätter und Protokolle	Beamer Protokolle AB 1-3	SV
14:30		L. fragt nach aufgetretenen allgemeinen Problemen S. äußern Ihre Meinung L. klärt Fragen		LSG
5'		L. fragt nach Nutzwert des erarbeiteten handlungssystematischen Regulationsschemas S. äußern ihre Meinung		
14:35	Sicherung	L. geht mit Schülern zu jeder einzelnen Lernstation S. stellen in Kurzform den Fehler und die Vorgehensweise bei der Fehlerdiagnose dar L. erläutert beobachtete Probleme und klärt Fragen	PC-Station	SV LSG
25'	Evaluation	L. fordert Schüler auf, den empfundenen Lernzuwachs an der Evaluationsscheibe zu dokumentieren		
15:00		S. kleben Bewertungspunkte auf die Scheibe	Evaluati- onsschei- be 2	EA

**Legende**

AF/SF = Aktions-/Sozialformen	Medien	Sonstige
LSG = Lehrperson-Schüler-Gespräch	OH = Overhead-Folie	PÜ = Phasenübergang
LV = Vortrag der Lehrperson	TB = Tafelbild	
SV = Schülervortrag	AB = Arbeitsblatt	
EA = Einzelarbeit		
PA = Partnerarbeit		

Abb. 2: Handlungsentwurf „Hardwareseitige Fehlerdiagnose an PCs“

Das hier dargestellte komplexe Lehr-Lernarrangement soll zur besseren Verständlichkeit der einzelnen Phasen detaillierter dargestellt werden.

*Phase 1:*

Die Hinführung zum Thema der Unterrichtseinheit erfolgt durch die Vorstellung eines Kundenauftrages. Der weitere Unterrichtsverlauf wird den Schülerinnen und Schülern transparent gemacht, und sie sollen ihren per-

sönlichen Kompetenzstand in Bezug auf die „hardwareseitige Fehlerdiagnose“ mithilfe einer Evaluationsscheibe einschätzen.

*Phase 2:*

Hier erfolgt die theoretische Erarbeitung der Grundlagen für den weiteren Unterrichtsverlauf. Das Handlungsregulationsschema wird durch die Lehrkraft eingeführt und konkretisiert. Die Auszubildenden erhalten die Möglich-

keit, durch zwei Arbeitsbögen Vorwissen und Ideen mit einzubringen. Diese Phase dient dem Strategienlernen zur Fehlerdiagnose.

*Phase 3:*

Mithilfe der 4-Stufen-Methode verdeutlicht die Lehrkraft am Beispiel des Netzteils die Vorgehensweise der Fehlerdiagnose. Die 4-Stufen-Methode wird durch die folgenden Phasen gekennzeichnet:

Stufe 1: Vorbereiten des Auszubildenden (inhaltliche und methodische Einführung),

Stufe 2: Vormachen und Erklären der Arbeitshandlung,

Stufe 3: Nachmachen und Erklären durch den Auszubildenden/die Auszubildende,

Stufe 4: Übungsphase (Handlungen durch den Auszubildenden/die Auszubildende).

*Phase 4:*

Mit der Phase 4 beginnt der schüler-selbstgesteuerte Unterrichtsanteil. Mithilfe der Methode „Stationenlernen“ durchlaufen die Schülerinnen und Schüler insgesamt vier Lernstationen, an denen sie eine hardwareseitige Fehlerdiagnose selbsttätig durchführen müssen. Hierfür werden bei insgesamt neun PC unterschiedlichste Fehler präpariert, z. B. defektes Netzteil, beim Arbeitsspeicher ist ein Speichermodul defekt, CD-ROM defekt, beide Festplatten sind als Master eingerichtet etc. In der Regel sollten zwei Fehler pro Rechner vorliegen. Für die Fehlerdiagnose stehen Prüfprotokolle in Form von Arbeitsbögen zur Verfügung.

*Phase 5:*

Die abschließende Phase dient der Ergebnissicherung und Evaluation des Unterrichtsvorhabens.

**Schlussbemerkung/  
Diskussion**

Das hier vorgestellte Unterrichtsvorhaben verdeutlicht, wie innerhalb der zweiten Phase der Lehrerbildung professionell mit aktuellen berufspädagogischen Fragestellungen umgegangen werden kann. Auch bei vollzeitschulischen Ausbildungsgängen kann ein handlungssystematischer Unterricht durchgeführt werden. Die Unterrichtsplanung ist – wie hier geschehen – zu verändern und zu erweitern. Sachanalyse und didaktische Reduktion haben unter der Maßgabe der Handlungsregulationstheorie veränderte Aufgaben zu erfüllen. Die um arbeitsprozessbezogene Strukturen erweiterte Sichtweise des Unterrichtsgegenstandes bedarf einer veränderten fachdidaktischen Transformation.

Durch die Erfassung und Nutzung einer beruflichen Handlungssystematik erhalten die vollzeitschulischen Berufsschülerinnen und Berufsschüler ein strukturgebendes Moment im Unterrichtsprozess. Dieses orientiert sich an der beruflichen Realität und soll eine Anschlussfähigkeit in Bezug auf eine spätere berufliche Tätigkeit sicherstellen. Für die planende Lehrkraft bedeutet die Auseinandersetzung mit dem Handlungsregulationsschema einerseits eine berufspädagogische Herausforderung, da die traditionelle Sachanalyse um prozessuale Aspekte erweitert werden muss, andererseits stellt das Schema einen Gewinn hinsichtlich Struktur und Artikulation des Lernprozesses dar. Für den Bereich der Fehlerdiagnose liefert das Handlungsregulationsschema einen verbindlichen arbeitsprozessorientierten Ablaufplan, der die Schülerinnen und Schüler – entgegen der oft üblichen unverbindlichen „Versuch-und-Irrtum“-Fehlerbehebung – verpflichtet. Abschließend ist anzumerken, dass die Theorie der Handlungsregulation innerhalb eines didaktischen Modells nur dann eine Anwendung finden kann, wenn – wie hier dargestellt – die Möglichkeit einer didaktischen Reduktion besteht. Eine vollständige Erfassung und Integration von Arbeitsprozesswissen stellt nicht nur aufgrund des hohen Komplexitätsgrades eine Schwierigkeit dar, sondern auch – bedingt durch neue Berufsbilder und die sich wandelnde Arbeitswelt – wegen mangelnder prozessbezogener Kenntnisse auf Seiten der Lehrkräfte.

**Literatur**

CZYCHOLL, R. (2006): Handlungsorientierung. In: KAISER, F.-J./PÄTZOLD, G. (Hrsg.): Wörterbuch Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Bad Heilbrunn. S. 271–274.

KMK (2000): Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK): Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz (KMK) für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Bonn.

OESTERREICH, R. (1981): Handlungsregulation und Kontrolle. München.

RIEDL, A. (1998): Verlaufsuntersuchung eines handlungsorientierten Elektropneumatikunterrichts und Analyse einer Handlungsaufgabe. Frankfurt a. M.

SHELLEN, A. (1995): Grundlagen der Arbeitspädagogik. Stuttgart.

TENBERG, R. (2006): Didaktik lernfeldstrukturierter Unterrichts. Hamburg.

## Berufsarbeit von morgen in gewerblich-technischen Domänen

### Forschungsansätze und Ausbildungskonzepte für die berufliche Bildung

Die Herbstkonferenz der Gewerblich-Technischen Wissenschaften und ihrer Didaktiken (GTW) fand 2009 in Bremen statt. Ausrichter war das Institut Technik und Bildung (ITB) der Universität Bremen, Veranstalter die GTW.

Aktuell sind die gewerblich-technischen Wissenschaften mit einem speziellen Spannungsverhältnis konfrontiert. Zum einen ist Facharbeit durch Zukunftstechnologien besonders gefordert, zum anderen ist die Ausbildung der Facharbeiter nicht nur durch die europäische Bildungspolitik in der Diskussion, sondern auch durch die zunehmenden Qualitätsansprüche, die in Fragen nach geeigneten Didaktikansätzen, Kompetenzmessverfahren, verbesserten Übergängen von Schule in Ausbildung und Beruf sowie optimierten Lehrerbildungsmodellen im Rahmen der Bachelor- und Masterkonzepte münden. Diese sich überlagernden Anforderungen an die gewerblich-technische Berufsbildung – aber auch darüber hinaus – ziehen großen Klärungsbedarf in Wissenschaft und Praxis nach sich.

Zentrale Fragestellungen dieses Spannungsfelds wurden an den beiden Konferenztagen mit über 160 Teilnehmern in rund 60 Beiträgen diskutiert.

Themenschwerpunkte der durchgeführten Workshops waren:

#### **Zukunftstechnologien und Facharbeit**

*Auf der Basis von zehn Vorträgen wurden Konsequenzen und Herausforderungen der Zukunftstechnologien für Facharbeit, berufliche Bildung und berufswissenschaftliche Forschung diskutiert.*

#### **Lernen in „gemischten Welten“**

*Im Workshop mit zwölf Vorträgen wurden das Lernen mit digitalen Medien sowie die Entfremdung der Arbeit durch ihre Virtualisierung thematisiert.*

#### **Übergang Schule – Ausbildung – Beruf**

*Mit dem Ziel eines verbesserten Übergangs von der Schule in Ausbildung und Beruf wurde u. a. über Methodik und Gestaltung der Berufsorientierung sowie über die Abstimmung des Lehrens und Lernens zwischen den Schulformen diskutiert.*

#### **Kompetenzmodell – Kompetenzmodellierung – Kompetenzdiagnostik**

*Neben Kompetenzmodellen im Kontext von Facharbeiterausbildung und*

*Berufsbildung standen verschiedene Ansätze und Verfahren zur Modellierung und Diagnostik von Kompetenz im Fokus des Workshops.*

#### **Lehrerbildung für berufliche Schulen im Lichte der Bachelor- und Masteransätze**

*Vor dem Hintergrund der zentralen Kompetenzbereiche sowie der wesentlichen Eckpunkte der Empfehlungen der GTW zum Studium der gewerblich-technischen Wissenschaften und ihrer Didaktiken wurden verschiedene Konzeptvorstellungen zur Lehrerbildung präsentiert und diskutiert.*

Darüber hinaus fand ein Sonderworkshop der Fokusgruppe „Beruflichkeit und Professionalisierung“ zum Thema „Dienstleistungsqualität durch professionelle Arbeit“ statt.

Alle Workshopbeiträge sind im Tagungsband dokumentiert: FENZL, C./SPÖTTL, G./HOWE, F./BECKER, M. (Hrsg.): Berufsarbeit von morgen in gewerblich-technischen Domänen. Forschungsansätze und Ausbildungskonzepte für die berufliche Bildung, Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, ISBN: 978-3-7639-4229-9 (Print); ISBN 978-3-7639-4228-2 (E-Book)

## 20. Fachtagung im April 2010 in Heidelberg:

### **Lernfelder – neue Horizonte oder Orientierungsverlust? Was die Neuordnung der Berufsbildung bewirkt hat**

Zur 20. Fachtagung der BAG Elektrotechnik-Informatik und der BAG Metalltechnik sind alle Mitglieder sehr herzlich eingeladen. Die Veranstaltung findet am 23. und 24. April 2010 in Heidelberg statt und stellt mit dem Lernfeldkonzept in der Berufsbildungspraxis und -theorie besonders kontrovers debattiertes Thema in den Mittelpunkt der Betrachtungen.

Durch fast alle berufspädagogischen und didaktischen Diskussionen des vergangenen Jahrzehnts zieht sich wie ein roter Faden die Frage, wie eigentlich das gelernt wird, was tatsächlich am Arbeitsplatz seine Wirkungen entfaltet. Ein tiefer Einschnitt in den Diskurs stellte dabei die Ein-

führung des Lernfeldkonzepts dar, das ohne nennenswerte Mitnahme der Praktiker in den Lernorten „von oben“, d. h. von Seiten der Kultusbehörden, durchgesetzt wurde.

Inzwischen haben sich die Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen mit dem Lernfeldkonzept arrangieren müssen. So ist mittlerweile die Zeit reif, um nach einer Zwischenbilanz zu fragen und Perspektiven zu erörtern. Es geht z. B. darum, ob das im Arbeitsprozess Gelernte tatsächlich Bestand hat und transferierbar ist sowie wie die Komplexität beruflichen Handelns und Wissens in den Unterricht eingehen kann. Ist ein Wissen, das nicht auf dem Fundament

wissenschaftsorientierter Fächer erworben ist, überhaupt ein Wissen von Wert? Wie ist das mit der Neuordnung aufgespannte komplexe Handlungsfeld wissenschaftlich zu durchdringen?

Auf der 20. Fachtagung der beiden Bundesarbeitsgemeinschaften soll versucht werden, Antworten zu finden und neue Horizonte zu öffnen.

Bitte informieren Sie sich zu organisatorischen Aspekten wie Veranstaltungsort, Ablaufplan, Anmeldung etc. zeitnah auf den Webseiten der beiden Bundesarbeitsgemeinschaften unter <http://www.bag-elektrotechnik-informatik.de/> oder <http://www.bag-metalltechnik.net/>.

# Verzeichnis der Autorinnen und Autoren

## **ADOLPH, GOTTFRIED**

Prof. Dr., em. Hochschullehrer, Schwefelstr. 22, 51427 Bergisch-Gladbach, Telefon: (02204) 62773, E-Mail: gottfried.adolph@t-online.de

## **BEUTING, JÜRGEN**

Fachbereichsleiter Schaltgeräte, Technik Center Primärtechnik, RWE Rhein-Ruhr Netzservice, Reeser Landstr. 41, 46483 Wesel, Telefon: (0281) 201-2646, E-Mail: juergen.beuting@rwe.com

## **BLÜMEL, EBERHARD**

Dr. rer. nat., Hauptabteilungsleiter des Bereichs „Virtuelle Entwicklung und Training“, Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Postfach 14 53, 39004 Magdeburg, Telefon: (0391) 4090-110, E-Mail: eberhard.bluemel@iff.fraunhofer.de

## **BRUNS, WILLI**

Prof. Dr.-Ing., Hochschullehrer, Universität Bremen, Forschungszentrum artec, Enrique-Schmidt-Str. 7, 28334 Bremen, Telefon: (0421) 218-61850, E-Mail: bruns@uni-bremen.de

## **CERMAK-SASSENATH, DANIEL**

Dipl.-Inf., Lehrbeauftragter, Universität Bremen, Forschungszentrum Art/Work/Technology, artecLab, Enrique-Schmidt-Str. 7 (SFG), 28359 Bremen, Telefon: (0421) 218-61856, E-Mail: dace@artec.uni-bremen.de

## **GRIMM, AXEL**

StR, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Technische Universität Berlin, Institut für Berufliche Bildung und Arbeitslehre (IBBA), Franklinstr. 28/29, 10587 Berlin, Telefon: (030) 31473736, E-Mail: axel.grimm@alumni.tu-berlin.de

## **HAASE, TINA**

Dipl.-Ing., Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Geschäftsfeld Virtuell Interaktives Training, Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Postfach 14 53, 39004 Magdeburg, Telefon: (0391) 4090-162, E-Mail: tina.haase@iff.fraunhofer.de

## **HERKNER, VOLKMAR**

Prof. Dr., Hochschullehrer, Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Telefon: (0461) 805-2153, E-Mail: volkmar.herkner@biat.uni-flensburg.de

## **JENEWEIN, KLAUS**

Prof. Dr., Hochschullehrer, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Berufs- und Betriebspädagogik (IBBP), Postfach 41 20, 39016 Magdeburg, Telefon: (0391) 67-16623, E-Mail: jenewein@ovgu.de

## **KARRAS, ULRICH**

Dr., Produktmanager, Festo Didactic GmbH & Co. KG, Reehbergstr. 3, 73770 Denkendorf, Telefon: (0711) 34671334, E-Mail: dka@de.festo.com

## **MÜLLER, DIETER**

Dr., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Universität Bremen, Art-Work-Technology Lab (artecLab), Enrique-Schmidt-Straße (SFG), 28334 Bremen, Telefon: (0421) 218-61853, E-Mail: mueller@artec.uni-bremen.de

## **ROBBEN, BERNARD**

Dr., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Universität Bremen, Forschungszentrum Art/Work/Technology, artecLab, Enrique-Schmidt-Str. 7 (SFG), 28359 Bremen, Telefon: (0421) 218-61852, E-Mail: robben@artec.uni-bremen.de

## **ROSCH, HARTMUT**

Dipl.-Ing., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Universität Bremen, Art-Work-Technology Lab (artecLab), Enrique-Schmidt-Straße (SFG), 28334 Bremen, Telefon: (0421) 218-61855, E-Mail: hrosch@artec.uni-bremen.de

## **ROSSMANN, JÜRGEN**

Prof. Dr.-Ing., Hochschullehrer, RWTH Aachen, Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (MMI), Ahornstr. 55, 52074 Aachen, Telefon: (0241) 8026100, E-Mail: rossmann@mmi.rwth-aachen.de

## **SCHENK, MICHAEL**

Prof. Dr.-Ing. habil., Institutsleiter, Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Postfach 14 53, 39004 Magdeburg, Telefon: (0391) 4090-471, E-Mail: michael.schenk@iff.fraunhofer.de

## **STERN, OLIVER**

Dipl.-Inform., Abteilungsleiter, Dortmunder Initiative zur rechnerintegrierten Fertigung (RIF) e. V., Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund, Telefon: (0231) 9700782, E-Mail: stern@rif-ev.de

## **TERMATH, WILHELM**

Dipl.-Päd., Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Berufs- und Betriebspädagogik (IBBP), Postfach 41 20, 39016 Magdeburg, Telefon: (0172) 691 46 87, E-Mail: wilhelm.termath@ovgu.de; BIT e. V. – Berufsforschungs- und Beratungsinstitut für interdisziplinäre Technikgestaltung, Unterstr. 51, 44892 Bochum, Telefon: (0234) 93321-0, E-Mail: wilhelm.termath@bit-bochum.de

## **WEHMEYER, CARSTEN**

Dr., Studienrat, Walther-Lehmkuhl-Schule Neumünster, abgeordnete Lehrkraft an der Universität Flensburg, Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik (biat), Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg, Telefon: (0461) 805-2157, E-Mail: wehmeyer@biat.uni-flensburg.de

## **WIESER, BERT**

StR, Berufsschullehrer, Berufsschule Direktorat 1, Augustenstr. 30, 90461 Nürnberg, Telefon: (0911) 231-2601, E-Mail: b.wieser@b1-nuernberg.de

### Ständiger Hinweis

#### Bundesarbeitsgemeinschaft Elektrotechnik-Informatik und Metalltechnik

Alle Mitglieder der BAG Elektrotechnik-Informatik und der BAG Metalltechnik müssen eine Einzugsermächtigung erteilen oder zum Beginn eines jeden Kalenderjahres den Jahresbeitrag (zurzeit 30,- EUR eingeschlossen alle Kosten für den verbilligten Bezug der Zeitschrift *lernen & lehren*) überweisen. Austritte aus der BAG Elektrotechnik-Informatik bzw. der BAG Metalltechnik sind nur zum Ende eines Kalenderjahres möglich und müssen drei Monate zuvor schriftlich mitgeteilt werden.

Die Anschrift der Geschäftsstelle der Bundesarbeitsgemeinschaft Elektrotechnik-Informatik lautet:

BAG Elektrotechnik-Informatik

Geschäftsstelle, z. H. Frau Brigitte Schweckendieck

c/o ITB – Institut Technik und Bildung

Am Fallturm 1

28359 Bremen

Tel.: 04 21/218-49 27

Fax: 04 21/218-46 37

Konto-Nr. 1 707 532 700

Volksbank Bassum-Syke (BLZ 291 676 24).

Die Anschrift der Geschäftsstelle der Bundesarbeitsgemeinschaft Metalltechnik lautet:

BAG Metalltechnik

Geschäftsstelle, z. H. Herrn Michael Sander

c/o ITB – Institut Technik und Bildung

Am Fallturm 1

28359 Bremen

Tel.: 04 21/218-49 24

Fax: 04 21/218-46 37

Konto-Nr. 10 045 201

Kreissparkasse Verden (BLZ 291 526 70).

### Beitrittserklärung

Ich bitte um Aufnahme in die Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung

Elektrotechnik-Informatik e. V. bzw.  Metalltechnik e. V.

Der jährliche Mitgliedsbeitrag beträgt zz. 30,- EUR. Auszubildende, Referendare und Studenten zahlen zz. 17,- EUR gegen Vorlage eines jährlichen Nachweises über ihren gegenwärtigen Status. Der Mitgliedsbeitrag wird grundsätzlich per Bankeinzug abgerufen. Mit der Aufnahme in die BAG beziehe ich kostenlos die Zeitschrift *lernen & lehren*.

Name: ..... Vorname: .....

Anschrift: .....

E-Mail: .....

Datum: ..... Unterschrift: .....

Ermächtigung zum Einzug des Beitrages mittels Lastschrift:

Kreditinstitut: .....

Bankleitzahl: ..... Girokonto-Nr.: .....

Weist mein Konto die erforderliche Deckung nicht auf, besteht für das kontoführende Kreditinstitut keine Verpflichtung zur Einlösung.

Datum: ..... Unterschrift: .....

Garantie: Diese Beitrittserklärung kann innerhalb von 10 Tagen schriftlich bei der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik-Informatik e. V. bzw. der Fachrichtung Metalltechnik e. V. widerrufen werden. Zur Wahrung der Widerrufsfrist genügt die Absendung innerhalb dieser 10 Tage (Poststempel). Die Kenntnisnahme dieses Hinweises bestätige ich durch meine Unterschrift.

Datum: ..... Unterschrift: .....

Bitte absenden an:

**BAG Elektrotechnik-Informatik e. V.**, Geschäftsstelle:  
ITB – Institut Technik und Bildung, z. H. Frau Brigitte  
Schweckendieck, Am Fallturm 1, 28359 Bremen

**BAG Metalltechnik e. V.**, Geschäftsstelle:  
ITB – Institut Technik und Bildung, z. H. Herrn Michael  
Sander, Am Fallturm 1, 28359 Bremen

---

# lernen & lehren

## Eine Zeitschrift für alle, die in

betrieblicher Ausbildung,  
berufsbildender Schule,  
Hochschule und Erwachsenenbildung sowie  
Verwaltung und Gewerkschaften  
in den Berufsfeldern Elektrotechnik-Informatik und Metalltechnik tätig sind.

### Inhalte:

- Ausbildung und Unterricht an konkreten Beispielen
- technische, soziale und bildungspolitische Fragen beruflicher Bildung
- Besprechung aktueller Literatur
- Innovationen in Technik-Ausbildung und Technik-Unterricht

---

lernen & lehren erscheint vierteljährlich, Bezugspreis EUR 25,56 (4 Hefte) zuzüglich EUR 5,12 Versandkosten (Einzelheft EUR 7,68).

Von den Abonnenten der Zeitschrift lernen & lehren haben sich allein über 600 in der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Elektrotechnik-Informatik e. V. sowie in der Bundesarbeitsgemeinschaft für Berufsbildung in der Fachrichtung Metalltechnik e. V. zusammengeschlossen. Auch Sie können Mitglied in einer der Bundesarbeitsgemeinschaften werden. Sie erhalten dann lernen & lehren zum ermäßigten Bezugspreis. Mit der beigefügten Beitrittserklärung können Sie lernen & lehren bestellen und Mitglied in einer der Bundesarbeitsgemeinschaften werden.

---

### Folgende Hefte sind noch erhältlich:

- |   |  |   |
|---|--|---|
| 58: Lernfelder in technisch-gewerblichen Ausbildungsberufen | 71: Neuordnung der Elektroberufe                         | 86: Innovative Unterrichtsverfahren   |
| 59: Auf dem Weg zu dem Berufsfeld Elektrotechnik/Informatik | 72: Alternative Energien                                 | 87: Kosten, Nutzen und Qualität in der beruflichen Bildung                    |
| 60: Qualifizierung in der Recycling- und Entsorgungsbranche | 73: Neue Technologien und Unterricht                     | 88: Entwicklung beruflicher Schulen   |
| 61: Lernfelder und Ausbildungsreform                        | 74: Umsetzung des Lernfeldkonzeptes in den neuen Berufen | 89: Fachkräftebedarf im gewerblich-technischen Bereich                        |
| 62: Arbeitsprozesswissen – Lernfelder – Fachdidaktik        | 75: Neuordnung der Metallberufe                          | 90: Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung                                 |
| 63: Rapid Prototyping                                       | 76: Neue Konzepte betrieblichen Lernens                  | 91: Europa – aktuelle Herausforderungen an berufliches Lernen                 |
| 64: Arbeitsprozesse und Lernfelder                          | 77: Digitale Fabrik                                      | 92: Veränderungen in Schule und Unterricht gestalten                          |
| 65: Kfz-Service und Neuordnung der Kfz-Berufe               | 78: Kompetenzerfassung und -prüfung                      | 93: Ausbildung in der Mikrosystemtechnik: Stand – Probleme – Ausblick         |
| 66: Dienstleistung und Kundenorientierung                   | 79: Ausbildung von Berufspädagogen                       | 94: Materialbearbeitung mit Lasersystemen: Arbeits- und Ausbildungsgestaltung |
| 67: Berufsbildung im Elektrohandwerk                        | 80: Geschätzprozessorientierung                          | 95: Messen und Diagnose als Gegenstand beruflicher Arbeits- und Lernprozesse  |
| 68: Berufsbildung für den informatisierten Arbeitsprozess   | 81: Brennstoffzelle in beruflichen Anwendungsfeldern     | 96: Zweijährige Berufe  |
| 69: Virtuelles Projektmanagement                            | 82: Qualität in der beruflichen Bildung                  |   |
| 70: Modellversuchsprogramm „Neue Lernkonzepte“              | 83: Medientechnik und berufliches Lernen                 |   |
|   | 84: Selbstgesteuertes Lernen und Medien                  |   |
|   | 85: Die gestreckte Abschlussprüfung                      |   |

Bezug über: Heckner Druck- und Verlagsgesellschaft GmbH  
Postfach 15 59, 38285 Wolfenbüttel  
Telefon (0 53 31) 80 08 40 • Fax (0 53 31) 80 08 58

---

Von Heft 16: „Neuordnung im Handwerk“ bis Heft 56: „Gestaltungsorientierung“ ist noch eine Vielzahl von Heften erhältlich.  
Informationen über: Donat Verlag • Borgfelder Heerstraße 29 • 28357 Bremen • Telefon (0421) 27 48 86 • Fax (0421) 27 51 06