

Praxisorientierte Ingenieurausbildung durch multimedial unterstützte Laborkurse

Autoren: Sabine Merten¹⁾, Klaus-Peter Kämper¹⁾, Manfred Brill²⁾, Antoni Picard²⁾

¹⁾ Fachhochschule Aachen, Goethestr. 1, 52064 Aachen, Deutschland

²⁾ Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, Amerikastr. 1, 66482 Zweibrücken, Deutschland

Zusammenfassung

In der ingenieur-wissenschaftlichen Hochschullehre spielen die Laborpraktika seit jeher eine sehr wichtige Rolle. Die herausragende Bedeutung der Praktika als hochschuldidaktische Komponente kommt jedoch nur dann zum Tragen, wenn es gelingt die Praktika optimal vorzubereiten und anschließend in kleinen Gruppen an aktuellen Gerätschaften praxisnah durchzuführen. Diesem grundlegenden Anspruch können jedoch viele Laborpraktika aufgrund genereller Ressourcenbeschränkungen oft nicht genügen. Eine wesentliche Verbesserung ergibt sich durch die Einführung Computer-gestützter, multimedialer und interaktiver Unterrichtseinheiten für die Vor- und Nachbereitung der Praktika sowie durch telemetrische Versuchsdurchführungen, bei denen der physische Zugang zum Labor durch eine WEB -basierende Versuchsfernsteuerung vollständig ersetzt wird. Beide Ansätze sind im BMBF-geförderten Projekt „Entwicklung und Evaluation interaktiver, multimedialer Lernsoftware für technische und physikalische Praktika in Ingenieurstudiengängen“ (INGMEDIA) erfolgreich umgesetzt worden. Insbesondere für den Hochtechnologiebereich Mikrosystemtechnik (MST), der durch besonders aufwändige Laborausstattung und wertvolle Laborzeiten gekennzeichnet ist, wurde dieser „Blended Learning“- Ansatz konsequent umgesetzt: Dem realen Laborpraktikum wird ein „Virtuelles Technologielabor Mikrofertigung“ vorgeschaltet, das als eine weitgehend naturgetreue, interaktive Computersimulation der tatsächlich vorhandenen MST-Anlagen ausgeführt ist. Das „Virtuelle Technologielabor Mikrofertigung“ wird bereits erfolgreich im „Aus- und Weiterbildungsnetzwerk für Prozesstechnologien der Mikrosystemtechnik“ (*pro-mst*) eingesetzt. Trotz des noch prototypischen Entwicklungsstandes der simulierten Maschinen zeichnen sich die virtuell vorbereiteten Laborpraktika im Reinraum der FH-Kaiserslautern durch hohe Akzeptanz und signifikante Verbesserung des Lernergebnisses aus. Das Gesamtkonzept des „Virtuellen Technologielabors Mikrofertigung“ stellt auch unter betriebswirtschaftlichen Aspekten eine sehr attraktive Alternative zu konventionellen Ansätzen dar.

1. Einführung und Motivation

Die Ausbildung in Ingenieurstudiengängen an Hochschulen ist charakterisiert durch Vorlesungen mit Übungen, die gerade an den Fachhochschulen durch zahlreiche Laborkurse unterstützt werden. In beiden Veranstaltungsformen sind Theorie und Praxis eng miteinander verzahnt. Die theoretischen Hintergründe werden in den Vorlesungen anhand von Praxisbeispielen aufgezeigt. In den Praktika werden diese Grundlagen wieder aufgegriffen und vertieft. Idealtypisch sollte in den Laborpraktika das eigenständige, aktive Handeln gefordert und gefördert und somit der gewünschte Praxisbezug hergestellt werden.

Gerade im Bereich der Ingenieurausbildung und insbesondere an Fachhochschulen erweisen sich gut geführte Laborveranstaltungen als wesentliche Grundlage zum – im wahrsten Sinne des Wortes – „Begreifen“ komplexer Sachverhalte und in vielen Fällen auch als entscheidende Motivationshilfe für die parallele Bearbeitung theoretischer, in vielen Fällen abstrakt-mathematisch oder -physikalisch formulierter Lerninhalte.

In der Praxis stoßen die Organisation und Durchführung von Laborkursen jedoch aufgrund der generell begrenzten Ressourcen auf erhebliche Schwierigkeiten. Der Begriff „Ressourcen“ bezieht sich gleichermaßen auf die Sachausstattung der Labore, die notwendigen Betriebsmittel, die personelle Betreuung und nicht zuletzt den verfügbaren Zeitrahmen einer Veranstaltung. Es ist offensichtlich, dass diese Begrenzungen um so stärker in den Vordergrund rücken, je aktueller die Lehrinhalte der tatsächlichen, modernen ingenieurmäßigen Praxis entsprechen sollen.

Als Beispiel kann die Mikrosystemtechnik, eine relativ junge ingenieurwissenschaftliche Disziplin, herangezogen werden. Die Mikrosystemtechnik gilt als eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien für einen Erfolg der deutschen Wirtschaft [VDE-Studie]. Sie befasst sich mit der Fertigung miniaturisierter Systeme, die oft eine Kombination aus sensorischen, signalverarbeitenden und aktorischen Komponenten bilden. Zur Herstellung dieser Komponenten sind spezielle Labore (Reinräume) mit sehr komplizierten Anlagen notwendig. Die Herstellungsverfahren sind in der Regel äußerst aufwendig und setzen sich aus vielen Einzelschritten zusammen. Teilweise sind für die industrielle Fertigung eines Bauteils mehrere Wochen erforderlich. Hohe Kosten entstehen bei der Errichtung der Reinräume (Investition typisch > 10 Mio €) und stehen im laufenden Betrieb (Betriebskosten typisch >0,5 – 1 Mio €/Jahr) fortlaufend an. Der Aufbau solcher Fertigungsstätten und ihre Unterhaltung sind wirtschaftlich nur bei hohen Fertigungsraten und kontinuierlichem Betrieb möglich. Eine Unterbrechung der Herstellungsprozesse für Ausbildungszwecke oder die Durchführung von Praktika mit Studierenden ist kaum möglich. Im Forschungsbereich der Hochschulen bzw. FuE-Institute ist die Situation ähnlich kritisch wie in der produzierenden Industrie. Die Finanzierung dieser FuE-Strukturen erfolgt durch zahlreiche eng terminierte Forschungsprojekte, so dass die zeitlichen und räumlichen Ressourcen der Labore für allgemeine Praktika mit Studierenden erheblich eingegrenzt oder sogar verhindert werden.

Hinzu kommt, dass das notwendige Equipment extrem komplex zu bedienen ist und darüber hinaus auch empfindlich auf Fehlbedienungen reagiert. Von unerfahrenen Studierenden geht daher eine erhebliche Gefahr sowohl für den Menschen als auch für die Maschinen aus. Auch dies ist ein Grund dafür, dass die kommerziell betriebenen Reinräume – sei es für die Produktion oder anspruchsvolle FuE – generell nicht für eine breite Grundlagenausbildung von Studierenden zur Verfügung stehen. Die Gefahr einer nachhaltigen Störung der Prozessabläufe oder eine Verzögerung in zeitlich eng terminierten FuE-Vorhaben wäre ansonsten schlicht zu groß.

In den letzten 10 Jahren wurde die Mikrosystemtechnik als wichtige Schlüsseltechnologie identifiziert und viele Hochschulen haben entsprechend ausgerichtete Studiengänge oder Schwerpunkte aufgebaut [VDIVDE-IT]. Das Themenfeld Mikrosystemtechnik erstreckt sich über ein weites Gebiet von den physikalischen und chemischen Grundlagen, Werkstoffwissenschaften sowie über spezielle Anwendungen wie Medizintechnik, Sensorik/Elektrotechnik oder Mechatronik und ermöglicht daher – je nach Ausrichtung des Studienganges – vielfältige Zugangsmöglichkeiten für die Lehre und die Forschung. Allerdings sollte eine zeitgemäße praktische Ausbildung in diesem fortschrittlichen Themenfeld unbedingt auch die Prozesstechnologien der Mikrosystemtechnik umfassen. Die hierfür notwendigen Laborkosten übersteigen jedoch aufgrund der erforderlichen Investitionen und des aufwändigen Betriebs deutlich den üblichen Etat einer Hochschule. Reinraumpraxis und Prozesserfahrungen an aktuellen Prozesslinien können daher nur sehr wenige Hochschulen befriedigend vermitteln.

An der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken existiert ein Reinraumlabor, das neben der angewandten FuE speziell für Lehrzwecke eingerichtet wurde. In diesem Labor befinden sich typische und moderne Fertigungsanlagen, die von Lernenden und Lehrenden genutzt werden, so dass hier optimal praxisnahe Laborkurse durchgeführt werden können [Picard et al. 2004]. Für dieses Labor stellt sich die Frage nach einer langfristigen Finanzierung für Betrieb, Erhalt und Aktualisierung, die für alle Reinraumlabor in ähnlichen Situationen gilt. Eine Möglichkeit diesem Problem zu begegnen, ist die gemeinsame Nutzung vorhandener Ressourcen mit anderen Hochschul- oder Industriepartnern sowie Bildungseinrichtungen im Sinne einer „Ausbildungs-Foundry“. Die Problematik der komplexen Anlagen und Prozesse, das hohe Gefährdungspotenzial der Bediener, die eingeschränkten Praktikumszeiten und der zeitlich hohe Betreuungsaufwand bleiben trotzdem bestehen. Diese einzelnen Punkte werden im Folgenden etwas näher betrachtet.

Üblicherweise finden herkömmliche Praktika an einzelnen, sich wöchentlich wiederholenden Terminen während des laufenden Semesters statt, so dass das Labor ortsgebunden nur den Studierenden aus Zweibrücken zur Verfügung steht. Für auswärtige Teilnehmer, die organisatorisch einzelne Praktikumsstermine in der Regel nicht wahrnehmen können, muss ein anderes Konzept mit zeitlich kompakten Lehrmodulen, also z.B. Blockveranstaltungen im Rahmen von Exkursionen, verfolgt werden.

Die Geräte und verwendeten Chemikalien stellen ein Risiko für unerfahrene Benutzer dar, so dass die Lernenden entsprechend sorgfältig eingewiesen werden müssen. Darüber hinaus erweist sich die Bedienung der Maschinen durch ungeschulte Anwender als sehr problematisch, da die teuren High-Tech-Anlagen nicht nur kompliziert sind, sondern zudem leicht beschädigt werden können. Beide Punkte führen dazu, dass die Studierenden während eines konventionellen Laborpraktikums oft gar nicht selbst aktiv werden dürfen, sondern die Anlagen überwiegend von den Betreuern bedient werden. Die Praktikanten erfahren die Laborarbeit oft nur in einer passiven Beobachterrolle. Alternativ sind die Kursteilnehmer so sehr mit dem Erlernen der Maschinenbedienung beschäftigt sind, dass sie sich mit dem eigentlichen Lehrinhalten, nämlich dem Erfahren der zugrunde liegenden Prozesse, nicht befassen können.

Die didaktischen Ziele, Hands-on Erfahrung zu vermitteln und eigenständiges, aktives Handeln zu fördern, wird bei konventionellem Vorgehen nur dann erreicht, wenn die Praktikumszeit ausreichend lang angesetzt wird, so dass sowohl das Erlernen der Maschinen vor Ort unter intensiver Betreuung und anschließend die eigentliche und weitgehend selbständige Durchführung von Prozessabläufen ermöglicht werden. Derartig lange, betreuungsintensive Praktika sprengen jedoch sowohl zeitlich als auch finanziell den Stundenplan der Hochschulen - sowohl auf Sender als auch auf der Empfänger- bzw. Foundry-Seite!

An dieser Stelle greift die Idee zum Aufbau des „Virtuellen Technologielaors“, das aus einem vorgeschalteten virtuellen Trainingskurs und einem anschließenden zeitlich kompakten Reinraumpraktikum besteht [Merten et al. Karlsruhe 2003, Merten et al. Stuttgart 2003]. Ein virtueller Laborkurs setzt sich inhaltlich aus Maschinensimulationen, die möglichst realitätsnah den echten Anlagen gleichen, und Begleitmaterial zusammen. Die Unterlagen bestehen aus Handbüchern, Bildern, Animationen zu theoretischen Abläufen sowie Informationen zur Herstellung eines „Drucksensors“. Dieses ausgewählte Beispiel – die Fertigung eines Drucksensors - erlaubt exemplarisches Lernen im Sinne einer „Grundbildung“ [Michelsen 1989]. Gleichzeitig werden der Prozess und damit der Lehrstoff auf ein erforderliches Minimum nach dem Prinzip der didaktischen Reduktion begrenzt [Michelsen & Hansmann 1993]. Der gesamte Herstellungsprozess wird somit technisch und didaktisch auf die nur notwendigen Schritte beschränkt, um einen möglichst hohen Lernerfolg zu erzielen. Damit geht ein weiterer Vorteil einher. Die Herstellung des realen Bauteils dauert nicht mehr einige Wochen, sondern kann auf einen vertretbaren Praktikumszeitraum von 5 Tagen reduziert werden. Die Inhalte der Technologiepraktika ermöglichen anhand des exemplarischen Fertigungsverfahrens nahezu orts- und zeitungebunden zum einen die Bedienung der komplizierten Anlagen

bis zum endgültigen Verstehen zu erlernen. Zum anderen werden den Teilnehmern die notwendigen theoretischen Grundlagen, die für das reale und virtuelle Praktikum benötigt werden, optimal vermittelt. Lernende, die nach diesem Blended-Learning-Konzept hervorragend vorbereitet den einwöchigen Laborkurs absolvieren, können nun eigenständig die gestellten Aufgaben lösen und sich damit nachhaltig praxisorientierte Erfahrungen aneignen [Kämper et al. 2004, Kämper et al. 2003].

Einzelheiten zum virtuellen Technologielabor werden im Kapitel 3 näher erläutert. Wesentliche Komponenten hierzu wurden im Rahmen des Projektes INGMEDIA (Entwicklung und Evaluation interaktiver, multimedialer Lernsoftware für technische und physikalische Praktika in Ingenieurstudiengängen) entwickelt. Das Verbundprojekt INGMEDIA beschäftigte sich allgemein mit der multimedialen Unterstützung und Begleitung von Ingenieurspraktika. Hierbei wurde von Anfang an auf die Verknüpfung von eLearning mit realer praktischer Laborerfahrung gesetzt. Für diesen Ansatz hat sich der Begriff „Blended Learning“ allgemein durchgesetzt.

2. Das Blended-Learning-Konzept von INGMEDIA

Im Verbundprojekt INGMEDIA (Projektlaufzeit: Januar 2001 – Dezember 2003) kooperierten interdisziplinäre Teams von sechs Hochschulen (Fachhochschule Aachen, Fernuniversität Hagen, Fachhochschule Kaiserslautern, Universität Essen, Fachhochschule Lippe, Fachhochschule Ulm) miteinander. Die Aufgabenverteilung für die technische Entwicklung, für die didaktische Begleitung und für die Erarbeitung von prototypischen Lerneinheiten war standortübergreifend in Teilprojekten organisiert. Mehr als 30 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Natur- und Ingenieurwissenschaften, Informatik, Didaktik, Psychologie und Design arbeiteten zusammen mit dem Ziel, Laborpraktika in Ingenieurstudiengängen weiterzuentwickeln, die Motivation der Studierenden zu verbessern und selbstbestimmtes, effizientes Lernen zu fördern. Der Projektschwerpunkt lag in der Entwicklung neuartiger Lernsoftware, die in der Vorbereitungs-, Durchführungs- und Nachbereitungsphase unterschiedlicher Praktika die Lernerfolge und den Lernerfolg nachdrücklich steigert. Multimediale Module wie beispielsweise Animationen, Video- und Sprachsequenzen, interaktive Lernkontrollen oder Simulationen wurden für eine Neugestaltung der Ingenieurpraktika genutzt und eingesetzt, um so das Praktikum als „produktive“ Lernform mit aktivierender Lernumgebung weiterzuentwickeln. Die Möglichkeiten der neuen Medien gestatten dabei ein zielgerichtetes und ganzheitliches Lernen. Sie erlauben flexible Organisationsformen bezüglich Zeit und Ort. Die Umsetzung des didaktischen Konzeptes und des technischen Rahmens wurde konkret an mehreren Grund- und Fortgeschrittenenpraktika verschiedener ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge exemplarisch durchgeführt, evaluiert und in den curricularen Normalbetrieb integriert.

Zur Unterstützung der Laborpraktika für Studierende der Ingenieurwissenschaften wurde von INGMEDIA Software in den drei folgenden Bereichen entwickelt (vgl. Abb. 1):

- Grundlagenpraktika: Multimediale Praktikumsvorbereitung
- Telematikversuche: Ferngesteuerte Versuchsdurchführungen
- Virtuelle Technologiepraktika: Training an virtuellen Maschinen

In den Grundlagenpraktika erleichtern Tutorien mit Hypertext-Strukturen die Praktikumsvorbereitung und beziehen komplexe Beispiele aus der technischen Praxis ein. Interaktive Module ermöglichen einen kreativen Umgang mit Versuchsaufbauten und Geräten. In Telematiklaboren werden elektronische und physikalisch-technische Messvorgänge zeit- und ortsungebunden an beliebig vernetzten PCs durchgeführt und ausgewertet. Dadurch können apparative Ressourcen übergreifend genutzt und besser ausgelastet werden. Die Lernenden besitzen eine größere Freiheit und können individuell und eigenständig die gestellten Aufga-

ben bearbeiten. In Bezug auf die Realität werden allerdings konkrete Erfahrungen mit den realen Maschinen und Messgeräten auf die virtuelle Ebene verlagert oder gehen damit verloren. Dafür aber gewinnen die Lernenden zusätzliche Erfahrungen mit automatisierten Messplätzen. In virtuellen Technologiepraktika werden Studierende an moderne Mikrotechnikfertigung herangeführt. Sie erlernen an virtuellen Maschinen mit realitätsnahen Bedienoberflächen das Einstellen und Optimieren der Prozessparameter, bevor sie in einem Reinraumlabor den realen Herstellungsprozess durchführen.



Abb. 1: Grundlagenpraktika – Virtuelle Technologiepraktika – Telematiklabore

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung des didaktischen Konzeptes bildeten die Fragen nach den Zielgruppen, den angestrebten Lehr- und Lernziele, den zu adressierenden Lerninhalten und der Möglichkeit, das Angebot in den Hochschulkontext einzubinden. Als primäre Zielgruppe wurden „Studierende der Ingenieurwissenschaften“ gewählt. Aus den verschiedenen Fragestellungen wurden folgende hochschuldidaktischen Anforderungen formuliert:

- Durch authentische Problemstellungen Aufmerksamkeit wecken und Lernmotivation fördern (Praxisbezug).
- Die Lernenden mit mehreren Perspektiven und Kontexten konfrontieren unter Anwendung der vier Strukturprinzipien: Exposition (darbietende Lehre), Exploration (selbstgesteuertes Bearbeiten), Konstruktion (Aufbau eigener und gemeinsamer Wissensstrukturen) sowie Kommunikation (gemeinsamer Austausch und Problemlösung).
- Eigenaktivität und Selbststeuerung des Lernprozesses fordern und fördern und damit zum "aktiven" Lernen anregen: technisch (im Umgang mit den neuen Medien), sozial (im Umgang mit Kommilitonen, Professoren usw.), kognitiv (durch didaktisch wertvoll aufbereitete Inhalte).
- Anspruchsvolles teamorientiertes Problemlösen durch tutorielle Lernbegleitung unterstützen.
- Den Lernfortschritt feststellen und durch argumentatives Feedback rückmelden.
- Den Aufbau eigener und gemeinsamer Wissensstrukturen erlauben.

Nach diesen Anforderungen wurde das didaktische Konzept von INGMEDIA anhand von physikalischen Grundlagenversuchen entwickelt. Für die Lernenden wurden innerhalb der Lernumgebung Praktikumsanleitungen erstellt, die sich konzeptionell nach den lerntheoretischen und mediendidaktischen Anforderungen richteten. Selbstgesteuertes Lernen sollte angeregt, eine aktive Aneignung von Lerninhalten ermöglicht sowie unterschiedliche Selbstlernkompetenzen und Lernstrategien berücksichtigt werden. Das Konzept besaß folgende Merkmale:

1. Selbstgesteuertes Lernen

Mit einer Lernplattform wird die zeit- und ortsunabhängige Bearbeitung der Inhalte erleichtert. Vielfältige Angebote zur individuellen Wahl des Einstiegs, der Medien und des Niveaus kommen den unterschiedlichen Lerntypen entgegen.

2. Praxisbeispiele/ Authentische Problemstellungen

Die Bereitstellung von Lerninhalten im Zusammenhang mit bedeutungsvollen Kontexten erleichtert das Lernen. Jeweils kontextsensitiv enthält das Intro einer Praktikumsseinheit ein Praxisbeispiel.

3. Fachübergreifende Kompetenzen

Die Kompetenzen sind immer unabhängig von Praktikumsseinheiten für die Lernenden abrufbar und vermitteln fachübergreifende Grundlagen. Gerätekompetenzen beschreiben und erklären typische Laborgeräte, Laborkompetenzen beispielsweise den Umgang mit Messergebnissen. Darüber hinaus werden unter Lerntipps einige Lern- und Organisationsstrategien vorgestellt.

4. Austausch und Problemlösung durch Kommunikation

Die Lernplattform ermöglicht die direkte Kontaktaufnahme zu anderen Lernenden. Neben einem Chat-Room gibt es ein internes Mailprogramm und Foren. Feedback und Rückfragemöglichkeiten zu Inhalten oder zur Technik werden durch Tutoren gewährleistet.

5. Eigenaktivität

Durch das Angebot von Freihand-Experimenten werden die Lernenden angeregt, den Versuchsaufbau mit vereinfachten Mitteln zuhause nachzubauen.

6. Selbsttest

Die Lernenden erhalten eine direkte Rückmeldung zu ihrem aktuellen Wissensstand. Angebotene Selbsttests beziehen sich auf den konkreten Inhalt einer Praktikumsseinheit und sind jederzeit aufrufbar. Dabei stellt der Selbsttest keine unumgängliche Hürde für die weitere Bearbeitung der Inhalte dar.

7. Den Aufbau eigener und gemeinsamer Wissensstrukturen ermöglichen

Ungeklärte Phänomene, die im Zusammenhang zu einer Lerneinheit stehen, werden in einem speziellen Forum angesprochen.

Bei der Umsetzung des didaktischen Konzeptes kam unterschiedliche Software zum Einsatz. Es wurde eine Lernumgebung auf Basis der „Ilias-Lernplattform“ (Open-Source-Software) entwickelt, die auf die Bedürfnisse von Lernenden und Lehrenden kontinuierlich angepasst wurde. Für die Autoren (Professoren, Hochschullehrer usw.) wurden Vorlagen entwickelt, die ihnen das Erstellen von Inhalten (beispielsweise Vorlesungsergänzungen, Übungsmaterialien, Praktikumsunterlagen) ermöglichen und den Import von vorhandenem Lehrmaterial in die Lernumgebung erleichtern. Als Werkzeuge für die Autoren wurden die Software „Dreamweaver“ und das lizenzfreie Software-Paket „Open Office“ verwendet. Die Autoren benötigen keine speziellen Kenntnisse zu Webtechnologien, um ihre Inhalte medientechnisch aufzubereiten. Das in den Vorlagen abgebildete didaktische Konzept gibt ihnen sogar eine Orientierungshilfe bei der Inhaltserstellung. Weiterhin wurde Software zum Erzeugen und Darstellen mathematischer und technischer Inhalte sowie zur Simulation und Steuerung von Mess- und Prozessabläufen, vorzugsweise basierend auf anerkannten Webstandards, eingesetzt. Das Autorenwerkzeug kann im Internet frei als Download unter dem Namen „iLEX“ abgerufen werden (Boldt 2004). Die von den Autoren erstellten und über die Lernplattform angebotenen Praktikumsinhalte sind für Studierende mit Standard-PC und Internetzugang jederzeit und überall zugänglich.

Für die Grundlagenpraktika und Telematiklabore wurden nach dem didaktischen Konzept zahlreiche Praktikumsseinheiten auf den Gebieten Physik, Elektrotechnik und Maschinenbau entwickelt und in die speziell aufgebaute WEB-basierte Lernumgebung gestellt. Ebenso fin-

det sich das didaktische Konzept im virtuellen Technologiepraktikum wieder. Aufgrund der virtuellen Maschinen ist ein individueller Lerneinstieg möglich, unterschiedliche Lerntypen werden angesprochen sowie eine zeit- und ortsunabhängige Bearbeitung angeboten. Da sich das Praktikum auf einen realen Prozess bezieht, ist hier umso mehr der Praxisbezug gegeben. Fachübergreifende Kompetenzen wie Laborkompetenzen werden beispielsweise durch spezielle Übungen in der Messtechnik, die zusätzlich im virtuellen Labor implementiert sind, erworben. Aufgrund der Gruppen- und Partnerarbeit sowie der intensiven Betreuung findet ausreichend Kommunikation zwischen den Lernenden untereinander und zu den Lehrenden statt. Direkte Rückmeldungen zu virtuellen Maschinen und Einstellungen bekommen die Lernenden über ein virtuelles Laborbuch, das ihr Vorgehen an den virtuellen Maschinen automatisch dokumentiert. Echte Selbsttests sind geplant.

Die Unterlagen zu einzelnen Maschinen und Prozessen in den Technologiepraktika sind sehr umfangreich und müssen auf ein notwendiges Minimum für die Lernenden reduziert werden. Dennoch besteht insbesondere für das virtuelle Technologielabor im Bereich MST ein „Bandbreitenproblem“ aufgrund der hohen Datenmenge (beispielsweise lange Videosequenzen), was eine rein WEB-basierte Implementierung verhindert. Daher wird das virtuelle Technologielabor zurzeit nur als CBT (Computer Based Training) eingesetzt und über CD verteilt.

Während des 3-jährigen Förderzeitraumes von INGMEDIA wurde die entwickelte Lernsoftware im regulären Lehrbetrieb der beteiligten Hochschulen getestet und eingeführt. Faktoren, die das Lernverhalten der Studierenden bei der Nutzung von INGMEDIA beeinflussten, wurden wissenschaftlich untersucht. Dazu wurden die Entwicklung der multimedialen Lernsoftware und deren Effekte auf die Lernbedingungen der Studierenden hochschuldidaktisch begleitet und ausgewertet. Die Erkenntnisse hieraus flossen in die weitere Verbesserung der Software ein.

3. Virtuelles Technologielabor Mikrofertigung

Das virtuelle Technologielabor Mikrofertigung besteht aus der Kombination einer eLearning-Einheit, d.h. einer simulierten oder virtuellen Laborumgebung, mit einem realen Laborpraktikum. Dabei setzt sich das virtuelle Labor aus verschiedenen Medien wie beispielsweise interaktiven Simulationen, Animationen, Videosequenzen, Praktikumsanleitungen sowie den Maschinenhandbüchern für die Bedienung der realen Anlagen zusammen. Die entsprechenden Bedienoberflächen und Funktionalitäten der virtuellen Maschinen und die prozesstechnischen Zusammenhänge entsprechen weitgehend den tatsächlichen Maschinen und Prozessen. Lernende werden über das virtuelle Labor nahezu orts- und zeitunabhängig in betreuten Kursen optimal geschult. Unmittelbar nach dieser Vorbereitung findet das reale Praktikum im Reinraumlabor der Fh-Kaiserslautern in Zweibrücken in Form eines kurzen Intensivpraktikums statt, wobei die Teilnehmer selbstständig ein reelles Bauteil – den Drucksensor (s. Abb. 2) – innerhalb eines relativ einfachen, exemplarischen aber dennoch vollständigen Herstellungsverfahrens fertigen (Merten et al. Heidelberg 2003).

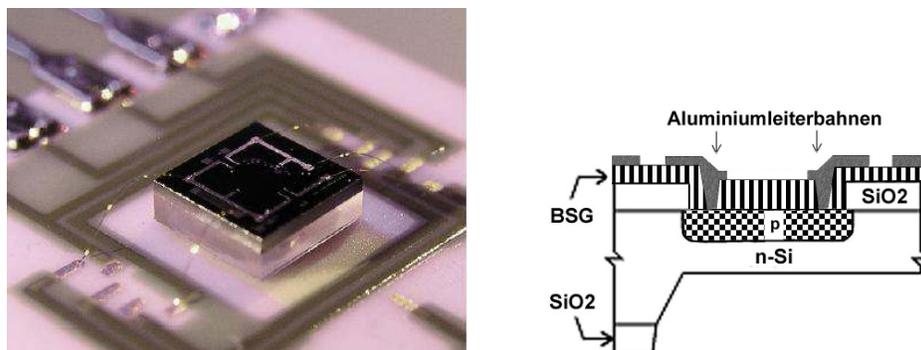


Abb. 2: Realer Drucksensor (links) und Skizze zum prinzipiellen Aufbau (rechts)

Relativ einfach bedeutet in diesem Zusammenhang, dass ein in der Industrie übliches Fertigungsverfahren reduziert wird auf die nur notwendigen Prozesse, die bei der Herstellung eines funktionsfähigen Bauteils ohne spezielle qualitative Anforderungen durchgeführt werden müssen. Exemplarisch meint, dass bei der gewählten Fertigungslinie trotzdem die wesentlichen Schritte, die bei einem üblichen Verfahren nötig sind, berücksichtigt und integriert werden. Damit liegt schließlich für Lehrzwecke ein vollständiger Herstellungsprozess vor, in dem ein einsetzbares Endprodukt erzeugt wird.

Beispiel 1: Exemplarischer Fertigungsprozess Drucksensor

Sowohl im virtuellen wie auch im realen Praktikum orientieren sich die verschiedenen Lerneinheiten an dem Fertigungsprozess Drucksensor (s. Abb. 3). Die umfangreiche Herstellungskette mit sechs Hauptprozessen und über 100 Teilschritten wird auf die wesentlichen und notwendigen Prozesse beschränkt sowie um messtechnische Verfahren zum Erlernen von fachübergreifenden Laborkompetenzen ergänzt.

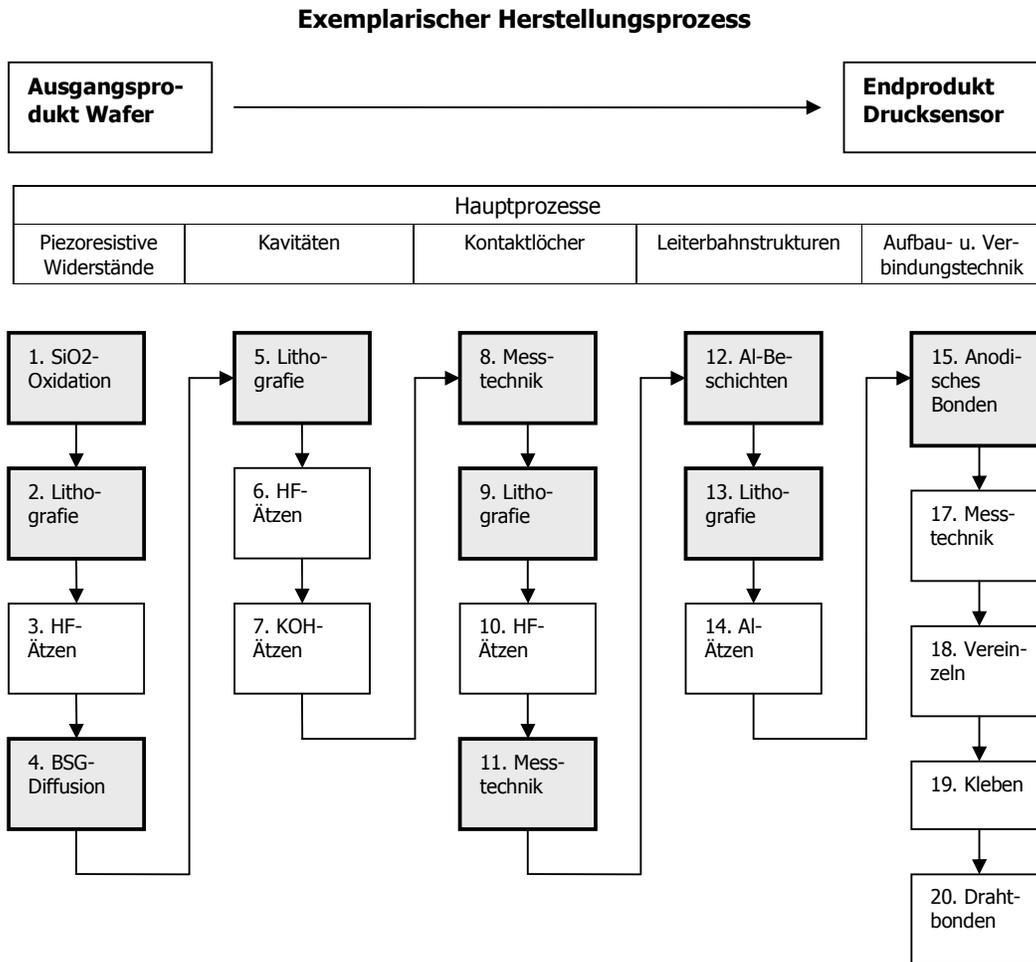


Abb. 3: Fließbild zum exemplarischen Fertigungsprozess Drucksensor; markierte Prozesse wurden in das virtuelle Labor implementiert

Das virtuelle Labor selbst setzt sich aus einer Vielzahl von virtuellen Maschinen und Begleitmaterial zusammen. Die Prozesskette wird durch das Bedienen der Einzelmaschinen und einer virtuellen Datenübergabe näherungsweise nachgebildet.

Ein tieferes Prozessverständnis soll zukünftig durch eine Verknüpfung der virtuellen Maschinen untereinander erreicht werden, d.h. komplexe, miteinander verknüpfte Herstellungssequenzen sind dann möglich. Zu diesem Zweck wurde eine virtuelle Waferbox entwickelt, mit der die virtuellen Proben und die jeweiligen virtuellen Versuchsergebnisse von Maschine zu Maschine wie in einem richtigen Reinraumlabor „getragen“ werden können. Die Verknüpfung der Maschinen existiert bereits in Anfängen, so dass kleine Teilprozesse mit den Studierenden trainiert werden können. Unabhängig davon ist es für die Lernenden möglich, mit jeder einzelnen Maschine separat zu üben. Denn beim Programmieren der Maschinen lag der Schwerpunkt zunächst auf der Entwicklung von funktionsfähigen virtuellen Einzelanlagen, da diese Voraussetzung sind für den Aufbau verknüpfter virtueller Prozesse. Die Herstellung eines Drucksensors im Rahmen des virtuellen Technologiepraktikums liegt also zurzeit nicht als vollständige Prozesskette, sondern in einzelnen Lernabschnitten vor.

Aufgrund der Datenmenge wird das virtuelle Labor zurzeit auf CD angeboten. Darüber hinaus existiert die Lernumgebung als Prototyp, die an das didaktische Konzept INGMEDIA angelehnt und speziell auf das virtuelle Training abgestimmt ist. Über die Lernplattform Mik-

rofertigung können einzelne Lerneinheiten abgerufen werden (s. Abb. 4). Die umfangreichen Schulungsunterlagen und Inhalte der Lernumgebung ergänzen sich dabei.

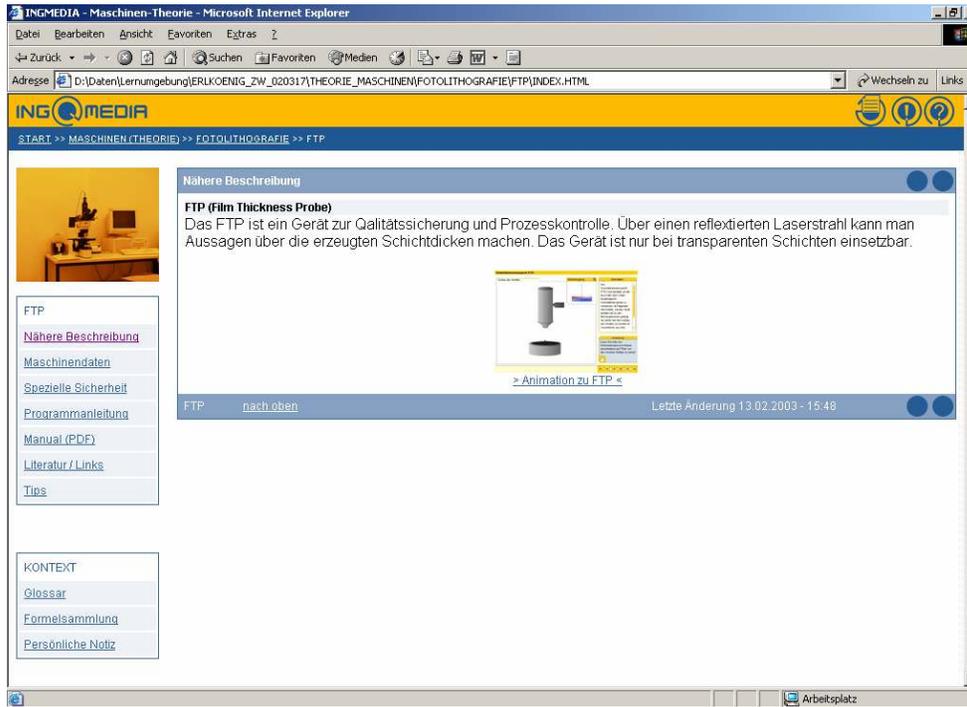


Abb. 4: Aufruf der Lernsequenz Messtechnik – Maschine Film Thickness Probe

Beispiel 2: Lerneinheit Lithografie – Anlage Mask Aligner

Bei den realen Anlagen muss für die Programmierung der virtuellen Maschinen zwischen zwei Maschinenarten unterschieden werden. Es gibt Maschinen, die überwiegend manuell bedient werden, und solche, die mehr mit einem Prozessrechner gesteuert werden. Rechnergestützte Maschinen wie ein Hochtemperaturofen (vgl. Beispiel 3) lassen sich relativ leicht umsetzen. Die Anlage Mask Aligner (Labor Lithografie, s. Abb. 5) gehört zu den eher manuell zu bedienenden Maschinen und ist aufgrund haptischer Vorgänge schwieriger nachzubilden. Der Mask Aligner wird zum Abbilden von Strukturen, die sich auf einer Maskenvorlage befinden, auf fotoempfindlichen Lack eingesetzt. An der Anlage spielen das Arbeiten mit Mikroskopen zum Fokussieren und Ausrichten der Proben eine große Rolle. Außerdem gibt es sehr komplexe Bedienpulte für weitere Einstellungen, die an der Maschine vorzunehmen sind. Ein gutes Prozessergebnis ist hier vor allem vom Geschick des Bedieners abhängig.

Weiterhin ist beim Programmieren der virtuellen Anlagen zu beachten, dass es Maschinen gibt, bei denen die Reihenfolge der Einstellungen genau eingehalten werden muss, also nicht frei wählbar und durchführbar ist. Auf der anderen Seite gibt es Maschinen, wo eine bestimmte Reihenfolge keine Rolle spielt, um ein gutes und verwertbares Ergebnis gerade auch für die nachfolgenden Prozessschritte zu erhalten. Der Mask Aligner gehört zur ersten Kategorie. Macht der Anwender an dieser Anlage eine fehlerhafte Einstellung, muss dieser Teilprozess von vorne wiederholt werden. Daher wurde der Mask Aligner als geführte Simulation umgesetzt, bei der den Lernenden durch gezieltes Hervorheben aktuell vorzunehmender Einstellungen der Weg des Bedienens erleichtert wird, um diese bei ihrem Lernprozess stärker zu begleiten.



Abb. 5: Reale Anlage Mask Aligner (links) und Oberfläche der virtuellen Maschine (rechts)

Beispiel 3: Lerneinheit Beschichtung – Anlage Hochtemperaturofen

Beim Hochtemperaturofen (s. Abb. 6) handelt es sich um eine überwiegend rechnergesteuerte Maschine, die als Simulation programmiert wurde. Der Hochtemperaturofen wird beim realen Herstellungsprozess zum Erzeugen langsam wachsender Oxidschichten eingesetzt, wobei die Prozesse bis zu 24 Stunden dauern können. Über die komplexe Simulation hingegen haben die Lernenden die Möglichkeit, verschiedene Parameter ohne lange Wartezeiten und ohne den Verbrauch teurer Proben auszuprobieren. Diese Maschine wurde im Gegensatz zum Mask Aligner nicht als geführte Version umgesetzt, um den Lernenden mehr Freiräume zum Experimentieren zu geben.

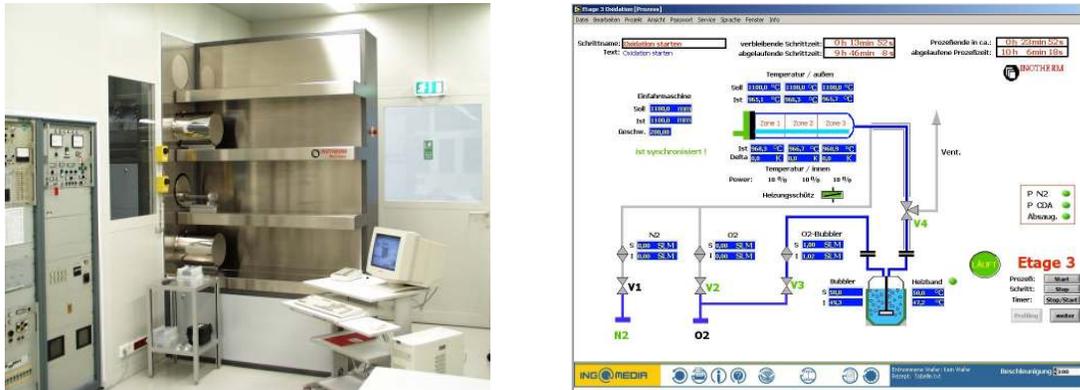


Abb. 6: Reale Anlage Hochtemperaturofen (links) und Oberfläche der virtuellen Maschine (rechts)

Beispiel 4: Demonstration theoretischer Zusammenhänge – Animation Belacker

Die reale Anlage Belacker (engl. Spin Coater, s. Abb. 7) wird zum gleichmäßigen Aufbringen dünner Lackschichten eingesetzt. Unterschiedliche Einflussgrößen wie beispielsweise Drehzahl des Probentellers oder Viskosität des Lacks bestimmen dabei die Beschaffenheit und Dicke der aufgetragenen Schicht. Mittels einer Animation zum Einfluss der verschiedenen Parameter werden die prozesstechnischen Zusammenhänge vermittelt. Gleichzeitig wird den Lernenden schematisch der Aufbau der realen Anlage vorgeführt und erläutert.

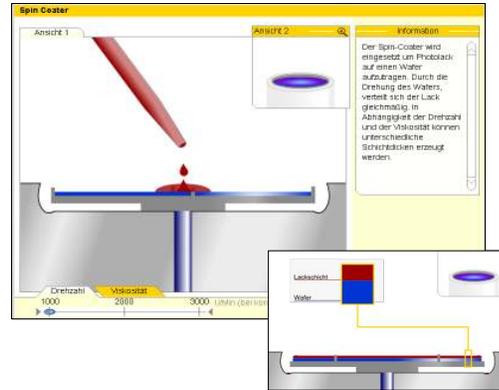


Abb. 7: Reale Anlage Belacker (links) und Oberfläche der virtuellen Maschine (rechts)

4. Ergebnisse der Projekte INGMEDIA und pro-mst

Die Projektergebnisse von INGMEDIA wurden so gestaltet, dass die allgemeine Nutzung der Lernsoftware in der technisch-naturwissenschaftlichen Hochschullehre ermöglicht und unterstützt wird. Durch hochschuldidaktische Weiterbildung, Beratung und Beiträge zur Organisationsentwicklung lassen sich die gesammelten Erfahrungen auch auf Praktika anderer Fächer, in andere Hochschulen oder auf andere Lehr-/ Lernformen übertragen.

In den Grundlagenpraktika stellten die Praktikumsbetreuer eine merkliche Verbesserung des Wissensstandes fest, obwohl die Lernenden den Stand ihrer Vorbereitung mit befriedigend einschätzten. Damit war die „Multimedia-Gruppe“ besser vorbereitet als die herkömmliche „Skript-Gruppe“. Weiterhin war die Multimedia-Gruppe bereit, sich länger auf die Praktika vorzubereiten. Ein erforderlicher Mehraufwand durch die Einarbeitung in die Bedienung der Lernsoftware hatte keine negativen Auswirkungen auf die Qualität der Vorbereitung.

In der Telematik wurde ebenfalls die Vorbereitung von den Studierenden selbst insgesamt mit befriedigend eingeschätzt. Sie bewerteten die größere Freiheit durch orts- und zeitunabhängiges Lernen und die eigene Lernorganisation überwiegend positiv. Besonders gut wurde von ihnen beurteilt, dass sie die Praktika von zuhause aus durchführen, sich ihre Zeit frei einteilen und experimentell lernen konnten. Negativ kritisiert wurden die technischen Funktionsprobleme mit der Lernplattform, die es in der ersten Phase gab und die schnell behoben wurden sowie der fehlende Umgang mit den realen Geräten. Die Bewertung der Betreuer, die hingegen diese Freiheit etwas zurückhaltender betrachteten, deckte sich teilweise mit der Einschätzung der Lernenden. Die Betreuer beobachteten, dass die Lernenden zum Teil Schwierigkeiten mit der Navigation der Lernsoftware hatten und ihnen teilweise die entsprechenden Lernstrategien fehlten, um die angebotenen Freiräume auch effizient nutzen zu können. Die Lernenden entwickelten in der Regel Lernstrategien, die überwiegend auf das Lösen der im Praktikum gestellten Aufgaben und weniger auf eine Vertiefung oder eine Ausdehnung des technischen Wissens ausgerichtet waren.

Weiterhin kam es nach Angaben der Studierenden zu einem regen Informationsaustausch untereinander über verschiedene plattforminterne und andere Medien. Die Kommunikation mit den Assistenten wurde dagegen nur gering gesucht. Im Gegensatz zu den Präsenzveranstaltungen der Grundlagenpraktika, wo die Lernenden selten zusammen arbeiteten, auch wenn sie an einem Tisch saßen, wurde hier eine enge Zusammenarbeit auf virtueller Ebene beobachtet. Trotz des regen Austausches vermissten die Studierenden zum Teil die Teamarbeit in einer echten Gruppe. Nach den Untersuchungen spricht Vieles dafür, dass mit wachsender Komplexität der gestellten Aufgaben das Bedürfnis nach intensiver persönlicher

Betreuung bei den Lernenden wächst. Teilweise wurde die Betreuung mit unzureichend kritisiert, was ein Hinweis dafür sein kann, dass den telematisch arbeitenden Studierenden die persönliche Betreuung fehlte.

Eine wichtige Erkenntnis der Evaluation ist, dass die Ergebnisse aller Untersuchungen darauf hinweisen, dass Akzeptanz und Lernerfolg beim Einsatz neuer Medien umso höher ist, je größer die Selbstlern- und Medienkompetenz der Lernenden selbst ist. Damit spielt das Ausmaß der bereits erworbenen technischen Kompetenzen eine wichtige Rolle. Studienanfänger werden daher größere Schwierigkeiten haben bei multimedialen Praktika als Studierende der höheren Semester. Obwohl nur ein kleiner Teil der Lernenden die zusätzlichen Angebote der Lernumgebung nutzten, erwarten die Lehrenden trotzdem aufgrund der positiven Ergebnisse, dass sich die Lerngewohnheiten mittelfristig in die gewünschte Richtung ändern. Als Ziele der Telematikversuche standen im Mittelpunkt der Umgang mit den neuen Medien, das Erarbeiten der Lehrinhalte und das eigenständige Experimentieren. Diese Ziele wurden von den Studierenden erreicht. Darüber hinaus haben sie sich verschiedene Schlüsselqualifikationen angeeignet.

Die Ergebnisse für das Virtuelle Technologielabor fielen sehr positiv aus. Die Lernenden fühlten sich durch das Training an den virtuellen Maschinen gut auf das reale Reinraumpraktikum vorbereitet. Ihr Interesse sowie ihre Vorfreude auf das reale Praktikum wurden sogar verstärkt. Im Reinraumpraktikum erlebten die Studierenden große Widererkennungseffekte an den realen Anlagen. Sie konnten aufgrund der angeeigneten Fertigkeiten wesentlich eigenständiger arbeiten und durch ihr Vorwissen die Praktikumszeit intensiver beispielsweise zum Durchspielen der Prozessparameter nutzen. Die zurückhaltende Betreuung in beiden Praktika eröffnete ihnen zusätzliche Erfolgserlebnisse. Ziel der virtuellen Vorbereitung war, die Lernenden möglichst sicher im Umgang mit den realen Anlagen agieren zu lassen. Hierzu gehörte auch das Vermeiden von Bedienfehlern. Trotzdem brauchten die Praktikanten verständlicherweise wegen der komplexen Anlagen Unterstützung durch die Assistenten. Die Nachteile und Wünsche der Lernenden aus den Telematikversuchen (kein Umgang mit realen Messgeräten, mehr persönliche Betreuung usw.) und die Vorteile der virtuellen Vorbereitung von Grundlagen- sowie Telematikversuchen (individuelles, orts- und zeitunabhängiges Lernen usw.) wurden beim Technologiepraktikum ideal verbunden. Insgesamt war hier das reale Praktikum in Kombination mit dem virtuellen Training für die Lernenden eine äußerst interessante Erfahrung, die sie mit den Worten „...man sieht alles in der Wirklichkeit und versteht es besser...“, „...es hat Spaß gemacht hat und man kann sich alles besser vorstellen...“, „ ...man kann theoretischen Text in Praxis umsetzen und mehr Verständnis dafür bekommen...“ kommentierten. Die Ergebnisse der begleitenden Evaluation zum Technologiepraktikum flossen kontinuierlich und fließen auch künftig in die Weiterentwicklung der virtuellen Maschinen, Schulungsunterlagen und realen Praktika ein und tragen damit zu einer steten Verbesserung der angebotenen Reinraumkurse bei.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Laborpraktika an Hochschulen, die einen wesentlichen Bestandteil der praxisorientierten Ausbildung darstellen, sind gekennzeichnet durch unterschiedliche Probleme wie fehlende personelle und finanzielle Mittel, didaktisch unzureichend aufbereitete Inhalte oder geringe Zugänglichkeit zu Laborräumen. Das Projekt INGMEDIA entwickelte Konzepte zum Lösen dieser Schwierigkeiten für die drei verschiedenen Praktikumsarten Grundlagenpraktika, Telematiklabore und virtuelle Technologiepraktika. Die erstellten Lerneinheiten wurden im bestehenden Hochschulbetrieb getestet und evaluiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden dabei kontinuierlich zur Verbesserung der Lernangebote angewendet.

Viele Angebote von INGMEDIA sind schon fest ins Curriculum integriert und stehen nicht nur den an der Entwicklung beteiligten Partnern zur Verfügung, sondern auch anderen Hochschulen, Bildungseinrichtungen und Industrieunternehmen. Zu diesen Angeboten zählen verschiedene Unterlagen zur Vorbereitung auf Grundlagenversuche, die Online-Versuche der Telematikpraktika, das virtuelle MST-Labor sowie Praktika und Schulungen im Reinraumlabor. Die bestehenden Lernarrangements werden stetig ergänzt und weiterentwickelt. So ist geplant, das Absolvieren des virtuellen Technologielabors mit dem Erwerb eines „Maschinenführerscheins“ - ähnlich wie bei Kraftfahrzeugen – zu verbinden. Nur mit dieser entsprechenden Zugangsberechtigung soll dann die Nutzung realer Maschinen im Reinraum der FH- Kaiserslautern erlaubt sein.

Die didaktischen Konzepte und Ergebnisse des INGMEDIA-Teilprojektes „Virtuelle Technologiepraktika“ wurden vom BMBF-Projekt „Aus- und Weiterbildungsnetzwerk für Prozesstechnologien der Mikrosystemtechnik“ aufgegriffen (**pro-mst**; Projektlaufzeit Dezember 2002 - Dezember 2005). Das Netzwerk **pro-mst** ist ein Verbund von Hochschulen, Forschungsinstituten, Firmen und Schulen mit Schwerpunkt in der Region Westpfalz/Saarland. Es setzte sich zum Projektstart aus 13 Partnern zusammen. Die Zielsetzung von **pro-mst** ist primär die praxisnahe Aus- und Weiterbildung von Studierenden verschiedener Hochschulen und Ingenieuren aus der Industrie im Bereich der Prozesstechnologien der Mikrosystemtechnik. Im Sinne des neuartigen Konzeptes einer Ausbildungs-Foundry, d.h. einer Partnerschaft zur Ressourcen- und Kostenteilung, greifen die Mitglieder des Netzwerkes gemeinsam auf das reale Reinraumlabor der Fachhochschule Kaiserslautern zu und tragen somit zum Erhalt der außergewöhnlich gut ausgestatteten, real verfügbaren Bildungsstätte bei. Inzwischen gehören dem Netzwerk mehr als 18 Mitglieder an. Durch die Realisierung von zeitlich kompakten „Hands-on“-Ausbildungsmodulen an modernen Fertigungsanlagen werden innovative Wege bei der MST-Ausbildung beschritten. Das Netzwerk bietet durch das virtuelle Technologielabor effiziente Kursvorbereitung sowie eine intensive theoretische Grundlagenvermittlung an.

Das Konzept der Aus- und Weiterbildungspartnerschaft mehrerer Lehrinrichtungen kombiniert mit Blended Learning und einer entsprechenden Ressourcenteilung ist prinzipiell über den **pro-mst**-Rahmen hinaus übertragbar auf andere hervorragend ausgestattete Lehrinrichtungen auch außerhalb des MST-Bereiches. Das Konzept des Virtuellen Technologielabors Mikrofertigung im Zusammenhang mit einer realen Ausbildungs-Foundry könnte somit bundesweit modellhaft für weitere Hochschulpartnerschaften zur Nutzung aufwändiger Ressourcen für die Lehre sein.

Nach dem Auslaufen der Förderung für die Entwicklung von virtuellen Maschinen im Rahmen des Projektes INGMEDIA haben sich Mikrosystemtechniker und Informatiker zusammengeschlossen und aufbauend auf den informationstechnischen Ergebnissen von INGMEDIA das „Competence Centre Instructional Design in Technology“ (CCIDT) [CCIDT] gegründet. Das CCIDT wird vom Land Rheinland-Pfalz gefördert. Das CCIDT wird die informationstechnischen Kompetenzen zum Aufbau und zur Entwicklung virtueller Maschinen bündeln und weiterentwickeln. Die Aktivitäten des CCIDT beschränken sich nicht auf die Mikrosystemtechnik, sondern adressieren ganz allgemein das Themenfeld „Blended Learning“ für technische Anwendungen. Die informationstechnische Umsetzung komplexer Maschinen in realitätsnahe Simulationen ist auch ganz allgemein für die Hersteller komplexer, erklärungsintensiver Anlagen interessant. Zahlreiche Interessensbekundungen von Firmen zum Einsatz virtueller Maschinen für die Ausbildung von Mitarbeitern aus Technik und Vertrieb sowie als Marketinginstrument bestätigen dies.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich das Konzept des virtuellen Technologielabors bereits praktisch im realen Einsatz mit großem Erfolg bewährt. Das didaktische Konzept für das Erlernen komplexer Maschinen funktioniert. Die enormen finanziellen Aufwendungen, die für die Entwicklung von anspruchsvollen eLearning-Kursen generell erforderlich sind, relativieren sich, wenn man das Gesamtkonzept betrachtet: Erst das virtuelle Technologielabor Mikrofertigung in Zusammenhang mit dem Konzept der Aus- und Weiterbildungspartner-

schaft im Sinne einer Ausbildungs-Foundry ermöglicht die exzellente Aus- und Weiterbildung im Bereich der aufwändigen Prozesstechnologien zu insgesamt günstigen Gesamtkosten.

Danksagung:

Die vorgestellten Arbeiten wurden bzw. werden unterstützt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durch die Projekte INGMEDIA (Förderprogramm Neue Medien in der Bildung, 2001-2003) und pro-mst (Förderprogramm Mikrosystemtechnik 2000+, 2003-2005) sowie dem Landesministerium für Wissenschaft, Weiterbildung, Forschung und Kultur in Rheinland-Pfalz durch Einrichtung des Kompetenzzentrums CCIDT an der Fachhochschule Kaiserslautern (2004-2006).

7. Literatur

CCIDT Competence Centre Instructional Design in Technology: <http://www.ccidt.de>

H. Boldt: Autorenwerkzeug ILEX: <http://www.boldt-software.de>

INGMEDIA: Projekt und Lernplattform unter <http://www.ingmedia.fh-aachen.de>

K.-P. Kämper, S. Merten, A. Picard, M. Brill: The Virtual Cleanroom – a new way of teaching high technologies. International IEEE Conference on Mechatronics and Robotics September 2004, Konferenzband S. 1257-1259, Aachen 2004

K.-P. Kämper, A. Picard, M. Brill, D. Cassel, A. Jentsch, S. Merten, M. Rollwa: Education and Training in MST. FH Aachen and FH Kaiserslautern. In mstnews Magazine 5/03, S. 35-36, VDI/ VDE-IT 2003

S. Merten, K.-P. Kämper, M. Brill, A. Picard, D. Cassel, A. Jentsch, M. Rollwa: Vom virtuellen Wafer zum realen Drucksensor. Fischer, W. & Flückiger F. (Hrsg.): Information – Communication – Knowledge – Engineering Education Today, Referate des 32. Symposiums der Internationalen Gesellschaft für Ingenieurpädagogik September 2003, Schriftenreihe Ingenieurpädagogik Band 49, S. 318 – 321, FH Karlsruhe 2003

S. Merten, K.-P. Kämper, A. Schütze, A. Picard: Vom virtuellen Wafer zum realen Drucksensor – Bildungsnetzwerke verbessern die Ausbildung in Hochtechnologien. Luczak, H. (Hrsg.): Kooperation und Arbeit in vernetzten Welten, Tagungsband der GFA Herbstkonferenz 2003, S. 238 - 241, Ergonomia Verlag, Stuttgart 2003

S. Merten, K.-P. Kämper, M. Brill, A. Picard, D. Cassel, A. Jentsch, M. Rollwa: Virtuelle Sensorfertigung - Hightech mit LabVIEW. Jamal, R & Jaschinski, H. (Hrsg.): Virtuelle Instrumente in der Praxis, Begleitband zum Kongress VIP 2003, S. 465–470, Hürthig Verlag, Heidelberg 2003

U.A. Michelsen: Exemplarizität als Lehren von Strukturen. In: Stuttgarter Beiträge zur Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Hrsg. v. Karl-Heinz Sommer, (IBW) der Universität Stuttgart (TH), Band 11, 1989, S. 148-177

U.A. Michelsen, D. Hansmann: Handlungsorientierter Unterricht – Renaissance des Arbeitsschulgedankens als Antwort auf Fragen aktueller Arbeitsorganisation? In: Beiträge zum beruflichen Lernen. Hrsg. v. Verband der Lehrer an beruflichen Schulen und Kollegschulen in Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1993

A. Picard, M. Brill, K.-P. Kämper, S. Merten: A Virtuell Clean Room – a new tool in teaching MST process technologies. 5th Symposium on Microsystems in Practice Contributions, June 1st and 2nd 2004, Begleitband zum Symposium, S. 245-248

Pro-mst: Projekt und Angebote unter <http://www.pro-mst.de>

VDE-Studie Schlüsseltechnologien 2010: Mikroelektronik, Informations-, Mikrosystem-, Nanotechnik; VDE-Kongress 2002, Dresden, Online im Internet -URL:
http://www.vde.de/NR/rdonlyres/DC07E9B9-C27F-4761-B655-4F5B195E5ACB/931/VDE_Mikrotechnik.pdf (Stand 24.02. 05)

VDIVDE-IT: www.vdivde-it oder <http://www.mstonline.de/praxis/qualifizierung/> (Stand 24.2.05)