

Anlage 2 (zu Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98)

Schlussbericht zu Nr. 3.2:

I. Kurzdarstellung der Ausgangssituation

Zuwendungsempfänger: FH Kaiserslautern **Förderkennzeichen:** 08NM097C

Vorhabensbezeichnung:

Entwicklung und Evaluation interaktiver, multimedialer Lernsoftware für technische und physikalische Praktika in Ingenieur-Studiengängen (INGMEDIA), Teilprojekt Kaiserslautern

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 31.12.2003

Berichtszeitraum: 01.04.2001 bis 31.12.2003

I. Kurze Darstellung

I. 1. Aufgabenstellung

In der ingenieur-wissenschaftlichen Hochschullehre spielen die Laborpraktika seit langem eine wichtige Rolle. Vor dem Hintergrund lernpsychologischer Ansätze, die die herausragende Bedeutung des interaktiven Lernens betonen, sollte entsprechende Lernsoftware erstellt, im Lehreinsatz evaluiert, optimiert und in den Normalbetrieb der Hochschulen integriert werden. Dabei wurde das Praktikum explizit in den Mittelpunkt der Lehrveranstaltung gestellt.

Der Projektschwerpunkt lag in der Entwicklung neuartiger Lernsoftware, die in der Vor-, Durchführungs- und Nachbereitungsphase von Labor- und Praktikumsarbeit die Lernanreize und den Lernerfolg nachdrücklich steigern sollte. Multimediale Module wie Animationen, Video- und Sprach-Sequenzen, interaktive Lernkontrollen, Simulationen etc. sollten für eine hochschuldidaktische Neugestaltung des Lernkontexts von Ingenieurpraktika genutzt werden, um so das Praktikum als produktive Lernform mit aktivierender Lernumgebung weiterzuentwickeln.

Schwerpunkt des Teilprojektes in Zweibrücken war die Entwicklung des Virtuellen

Technologiepraktikums Mikrofertigung. Ziel dieses Teilprojektes war, mit Hilfe multimedialer Techniken modernste Mikrofertigungsprozesse an „virtuellen Fertigungsmaschinen“ zu simulieren. Durch Gestaltung der Bedienoberflächen der virtuellen Maschinen in enger Anlehnung an reale Fertigungsmaschinen in Verbindung mit entsprechend aufbereiteten Lernsequenzen sollten die Studierenden die Bedienung der Maschinen trainieren und die Optimierung der Prozessparameter erlernen können, ohne dass tatsächlich ein zeitaufwendiger Fertigungsprozess durchgeführt werden muss.

Als Demonstrationsprozess sollte die Herstellung eines mikrotechnischen Drucksensors dienen.

1. 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Eine praxisorientierte und industriennahe Ausbildung von Ingenieuren in innovativen Technologien scheitert an den Hochschulen meist daran, dass der Zugang zu modernen Fertigungsanlagen mit fertigungsgerechter Umgebung (Reinraum) fehlt. Folglich beschränkt sich die technologische Ausbildung oft auf die Vermittlung von theoretischem Grundlagenwissen, Präsentation von Beispielen und Anschauung durch Exkursionen.

Am FH Standort Zweibrücken im Studiengang Mikrosystemtechnik stehen alle notwendigen mikrotechnischen Anlagen zur Herstellung eines Drucksensors real zur Verfügung. Weiterhin besitzt der Hochschulstandort mit den beiden Studiengängen Angewandte Informatik und Digitale Medien die notwendige Infrastruktur und das Know-how, um entsprechende Simulationsaufgaben anzugehen. Neben der Entwicklung der virtuellen Maschinen wurde auch begleitendes Lehrmaterial in Form von Echt-Videos, Flash-Animationen und Text erstellt. Die Lerninhalte sind weitgehend in Form eines umfassenden Story-Boards organisiert. Das Story-Board in dieser Form beinhaltet eine umfangreiche Inhalts- und Linkliste verschiedener HTML-Seiten. Der Aufbau dieser HTML-Seiten orientiert sich an dem in Aachen entwickelten „Erkönig“, das ein nach didaktischen und praktischen Gesichtspunkten entwickeltes Template für die Darstellung von Lehrinhalten in hierarchisch aufgebauten HTML-Seiten darstellt. Eine Einbindung dieser HTML-Seiten in eine übergeordnete Lehrplattform ist prinzipiell möglich. Die FH-Aachen entwickelt hierzu entsprechende Tools zur vereinfachten Implementierung in ILIAS. Das virtuelle Technologielabor mit seinen umfangreichen Simulationen inkl. Echt-Videos ist vom Umfang derart groß, dass entschieden wurde, bis auf weite-

res auf eine Internetbasierende Version zu verzichten. Stattdessen werden die Kursinhalte den Teilnehmern in Form von CDs, d.h. als reine CBTs, zugänglich gemacht.

Zum virtuellen Technologielabor trug insbesondere auch eine Arbeitsgruppe der FH Aachen um Peter Kämper bei. In Aachen wurden sowohl Maschinen simuliert als auch Studierende an virtuellen Maschinen ausgebildet. Anschließend absolvierten die virtuell trainierten Studierenden der FH Aachen in Zweibrücken ein reales Technologiepraktikum. Somit konnte die Kombination von virtueller Kursvorbereitung, parallel dazu erarbeiteten theoretischen Grundlagen und das Durchführen eines kompakten realen Laborkurses mit den Studierenden erprobt werden (Blended Learning-Konzept). Begleitet wurden die Kurse von der Didaktik-Gruppe um Dr. Heger, FH Aachen, so dass eine Evaluation des Blended Learning-Ansatzes unmittelbar erfolgen konnte.

1. 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das virtuelle Technologielabor orientiert sich vollständig an den Prozessen zur Herstellung eines einfachen piezoresistiven Silizium-Drucksensors, wie er mit den Anlagen der FH Kaiserslautern hergestellt werden kann. Um das Blended-Learning-Konzept, d.h. die Kombination von eLearning (CBT) und realem Labor vollständig umsetzen zu können, mussten zunächst die entsprechenden realen mikrotechnischen Prozesse mit den zugehörigen Anlagen von Mikrosystemtechnikern sorgfältig analysiert, entsprechend aufbereitet und dokumentiert werden, so dass im Anschluss von informationstechnischer Seite eine Umsetzung in CBTs möglich wurde.

Weiterhin wurden der Gesamtprozess sowie ein Konzept zur Darstellung des Technologielabors in Form eines Story-Boards strukturiert. In dieser Form wurden neben inhaltlichen Aspekten alle mit Links verbunden HTML-Seiten und die zugehörigen Dokumente geplant. Die HTML-Seiten orientieren sich dabei am didaktischen Konzept und der Vorlage aus Aachen („Erlkönig“). Es muss jedoch bemerkt werden, dass aus zeitlichen Gründen eine vollständige Umsetzung bzw. Einbettung des virtuellen Technologielabors in den Erlkönig nicht erfolgt ist. Stattdessen werden in den durchgeführten CBTs die Einzelmaschinen und Prozesse unabhängig von einer (HTML-) Shell aufgerufen.

Die wesentliche Arbeit und Erfolg bestimmende Aktivität des Teilprojektes besteht in der Realisierung von Einzelmaschinen sowie der Entwicklung entsprechenden Know-hows zur Generierung dieser virtuellen Anlagen. Hierbei wurde zwischen der FH Aachen und der FH Kaiserslautern eine Arbeitsteilung in der Form abgesprochen, dass die FH Aachen sich we-

sentlich auf den Einsatz von Labview zur Darstellung von Computer- gesteuerten Anlagen konzentrierte und die FH Kaiserslautern komplexere Maschinen, mit stark ausgeprägten manuellen Interaktionen auf der Basis von Macromedia Director darstellt.

Ergänzt werden die unmittelbaren Simulationen der Anlagen durch Flash-Animationen zur Darstellung von Prozessabläufen sowie durch Echt-Videos, die von Studierenden der Digitalen Medien im Rahmen von Studienarbeiten erstellt werden konnten.

Die technischen Grundlagen zur Maschinenfunktion und -bedienung sowie den Prozessabläufen wurde von den Ingenieure Mikrosystemtechnikern aus Zweibrücken erarbeitet und geeignet für die Informatiker aufbereitet.

Die Praktikumseinheit "Integrierter Drucksensor" im Studiengang Mechatronik der FH Aachen wurde erstmals mit obligatorischer Vorbereitung durch die im INGMEDIA-Projekt entwickelten Simulationsmodule Oxidationsofen, Mask Aligner, FTP und Sputter Coater mit einer mittelgroßen Gruppe von Studierenden von der FH Aachen getestet. Beim anschließenden Präsenzpraktikum im Reinraum der FH Zweibrücken konnte eine erfreuliche Zunahme an prozessrelevantem Wissen und Bedienfertigkeiten festgestellt werden, was den Lernerfolg im Reinraumlabor bemerkenswert gesteigert hat. Die formative Evaluation, die etwa gegen Mitte des Projektes durch Dr. Heger, Zentrale Betriebseinheit FH-Aachen, Arbeitsstelle für Hochschuldidaktik und Studienberatung, durchgeführt wurde, umfasste schriftliche Befragungen und Interviews der Studierenden und Betreuer sowie Beobachtungen und Video-Dokumentationen während des Simulationspraktikums in Aachen und beim realen Reinraumpraktikum in Zweibrücken. Ferner wurde bei einem Studenten der Nutzungsprozess der Simulationssoftware intensiv mit Hilfe des Verfahrens "stimulated recall" (lautes Denken, Videoanalyse) analysiert (Arbeitsgruppe Dr. Heger, FH-Aachen). Obwohl das **VTL** zum Zeitpunkt dieser ersten Evaluation nur in Ansätzen umgesetzt war, war der Erfolg und die Schlüssigkeit des Konzeptes schon offensichtlich. Im weiteren Verlauf des Projektes wurden und werden regelmäßig begleitende Evaluationen durch Sabine Merten im Rahmen Ihrer aktuellen Dissertation durchgeführt.

I. 4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

• Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Für die Entwicklung der Simulationen wurden lediglich Standard-Werkzeuge und Standard-Software eingesetzt. Im Wesentlichen kamen Labview, Macromedia Director 8.5, Macromedia Flash MX, Macromedia Dreamweaver, Adobe Photoshop, Adobe Premiere, Adobe AfterEffects und Alias MAYA zum Einsatz.

• Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste,

Es wurden keine besonderen Dienste eingesetzt.

I. 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

INGMEDIA ist ein Verbundprojekt von sechs deutschen Hochschulen unter Federführung der Fachhochschule Aachen. Die Verbundpartner sind:

- Fachhochschule Aachen (Prof. Dr. Hans-Jürgen Hagemann, Dr. Michael Heger, Prof. Dr. Heinrich Hemme, Prof. Dr. Klaus-Peter Kämper, Prof. Dr. Doris Samm, Prof. Dr.-Ing. Günter Schmitz)
- Universität Duisburg-Essen, Standort Essen (Prof. Dr. habil. Udo Backhaus)
- Fernuniversität Hagen (Prof. Dr.-Ing. Wolfram Schiffmann)
- Fachhochschule Kaiserslautern, Standort Zweibrücken (Prof. Dr. Manfred Brill, Prof. Dr. Antoni Picard)
- Fachhochschule Lippe-Höxter, Standort Lemgo (Prof. Dr.-Ing. Stefan Gössner, Prof. Dr. Kurt Klose)
- Fachhochschule Ulm (Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Bruchmüller)

Auf der Arbeitsebene erfolgte eine intensive Zusammenarbeit mit regelmäßigen gegenseitigen Besuchen aller Beteiligten in den jeweiligen Teilprojekten. Darüber hinaus haben in Form von ein- oder zweitägigen Konferenzen ein zentrales Vorbereitungstreffen (Aachen,

25.10.2000), ein Start-Up-Meeting (Aachen, 19.06.2001), ein Spin-Off-Meeting (Aachen, 12.03.2002) und drei Status-Meetings (Zweibrücken, 29.10.2001, Hagen, 26. – 27.09.2002, Lemgo, 25. – 26.09.2003).

Zu Beginn des Projektes wurde ein Unterauftrag an Institut ed-media e. V, ein Institut an der FH-Kaiserslautern, das sich mit der Erstellung von E-Learning-Kursen beschäftigt. ed-media e.V. hat insbesondere Zuarbeiten bei der Erstellung des Story-Boards sowie allgemeine Beratungsleistungen erbracht. Hierdurch konnten Terminrückstände, die bei der Stellenbesetzung zu Projektbeginn aufgelaufen waren wenigstens zum Teil kompensiert werden.

Seit Dezember 2002 besteht eine enge Kooperation mit **pro-mst**, dem "Aus- und Weiterbildungsnetzwerk für Prozesstechnologien in der Mikrosystemtechnik". Das Netzwerk **pro-mst** ist ein Verbund von Hochschulen, Forschungsinstituten und Firmen mit Schwerpunkt in der Region Westpfalz/Saarland. **pro-mst** hat zunächst eine Projektlaufzeit vom Dezember 2002 bis November 2005 und wird gefördert vom BMBF im Programm „Mikrosystemtechnik 2000+“. Die Aufgabe des Netzwerks **pro-mst** ist primär die praxisnahe Aus- und Weiterbildung von Studierenden und berufstätigen Ingenieuren im Bereich der Prozesstechnologien zur Fertigung von Mikrosystemen. Gleichzeitig sollen vorhandene Initiativen aufgegriffen und gebündelt werden, um Technik im Allgemeinen und Mikrosystemtechnik im Besonderen an Schulen zu vermitteln sowie das Interesse von Schülerinnen und Schülern für derartige Themen zu wecken. **pro-mst** organisiert unter anderen kompakte MST-Praktika für deren Vorbereitung soweit wie möglich das in INGMEDIA entwickelte virtuelle Technologielabor eingesetzt wird.

Anlage 2 (zu Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98)

Schlussbericht zu Nr. 3.2:

I. Eingehende Darstellung zum Vorhaben

Zuwendungsempfänger: FH Kaiserslautern **Förderkennzeichen:** 08NM097C

Vorhabensbezeichnung:

Entwicklung und Evaluation interaktiver, multimedialer Lernsoftware für technische und physikalische Praktika in Ingenieur-Studiengängen (INGMEDIA), Teilprojekt Kaiserslautern

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2001 bis 31.12.2003

Berichtszeitraum: 01.04.2001 bis 31.12.2003

II. 1. Erzieltes Ergebnis

Die virtuellen Technologiepraktika bestehen aus der Kombination eines virtuellen Labors mit einem realen Laborpraktikum (Reinraumlabor). Dabei setzt sich das virtuelle Labor aus verschiedenen Medien wie beispielsweise Simulationen, Animationen, Videos, Praktikumsanleitungen sowie Maschinenhandbüchern zu 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 weitestgehend orts- und zeitunabhängig in betreuten Kursen geschult. Unmittelbar nach dieser Vorbereitung findet das reale Praktikum im Reinraumlabor statt, wo die Teilnehmer ein echtes Bauteil – den Drucksensor (Abbildung 1) – innerhalb eines exemplarischen und vollständigen Herstellungsverfahrens fertigen.

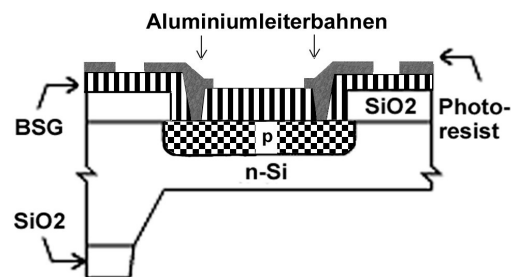
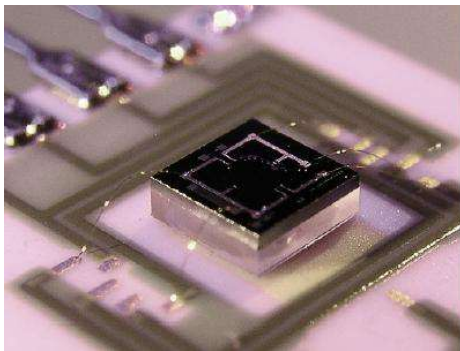


Abbildung 1: Realer Drucksensor (links) und Skizze zum prinzipiellen Aufbau (rechts)

Beispiel 1: Exemplarische Fertigungslinie

Sowohl im virtuellen wie auch im realen Praktikum orientieren sich die verschiedenen Lerneinheiten an der exemplarischen Fertigungslinie Drucksensor (Abbildung 2). Die sehr komplexe Herstellungskette mit sechs Hauptprozessen und über 100 Teilschritten wird auf die wesentlichen und notwendigen Prozesse beschränkt sowie um messtechnische Verfahren zum Erlernen von fachübergreifenden Kompetenzen ergänzt.

Exemplarischer Herstellungsprozess

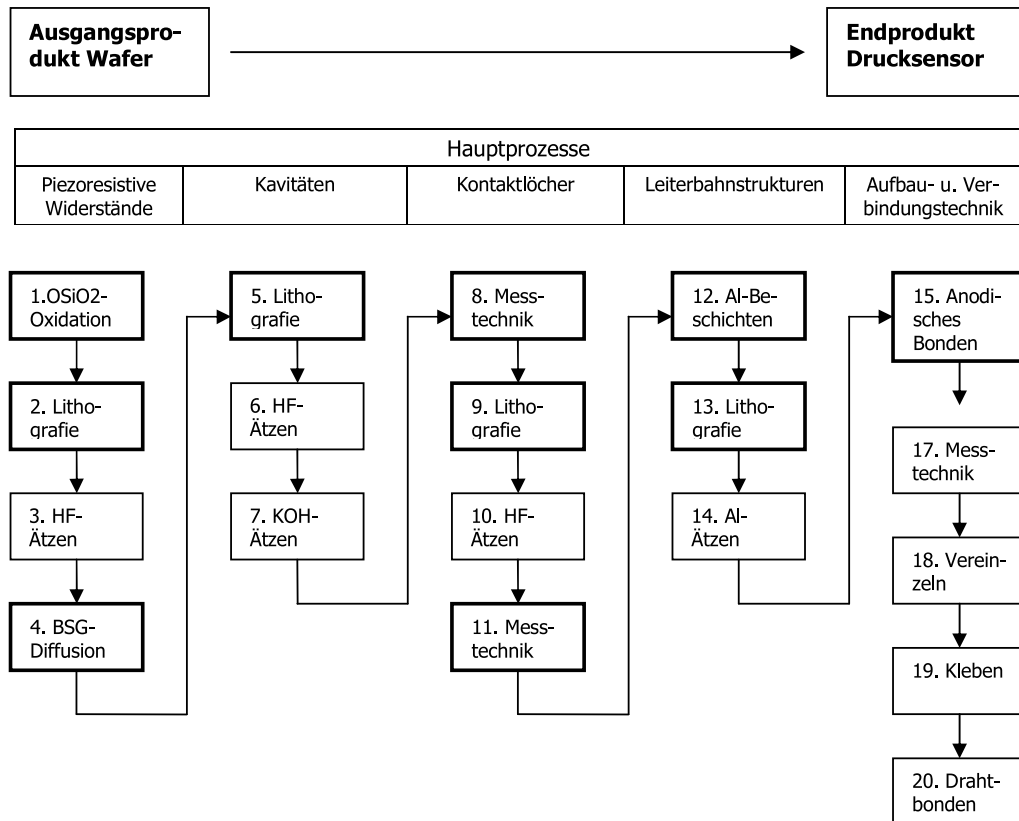


Abbildung 2: Fließbild zur exemplarischen Fertigungslinie Drucksensor; markierte Prozesse wurden in das virtuelle Labor implementiert

Beispiel 2: Virtuelles Labor

Das virtuelle Labor selbst setzt sich aus einer Vielzahl von virtuellen Maschinen und Begleitmaterial zusammen. Es wird aufgrund der Datenmenge zurzeit auf CD angeboten. Darüber hinaus existiert eine Lernumgebung als Prototyp, die an das didaktische Konzept ING-MEDIA angelehnt und speziell auf das virtuelle Training abgestimmt ist. Über die Lernplattform Mikrofertigung können einzelne Lerneinheiten abgerufen werden (s. Abb. 4, Abb. 5). Die umfangreichen Schulungsunterlagen und die Inhalte der Lernumgebung ergänzen sich dabei.

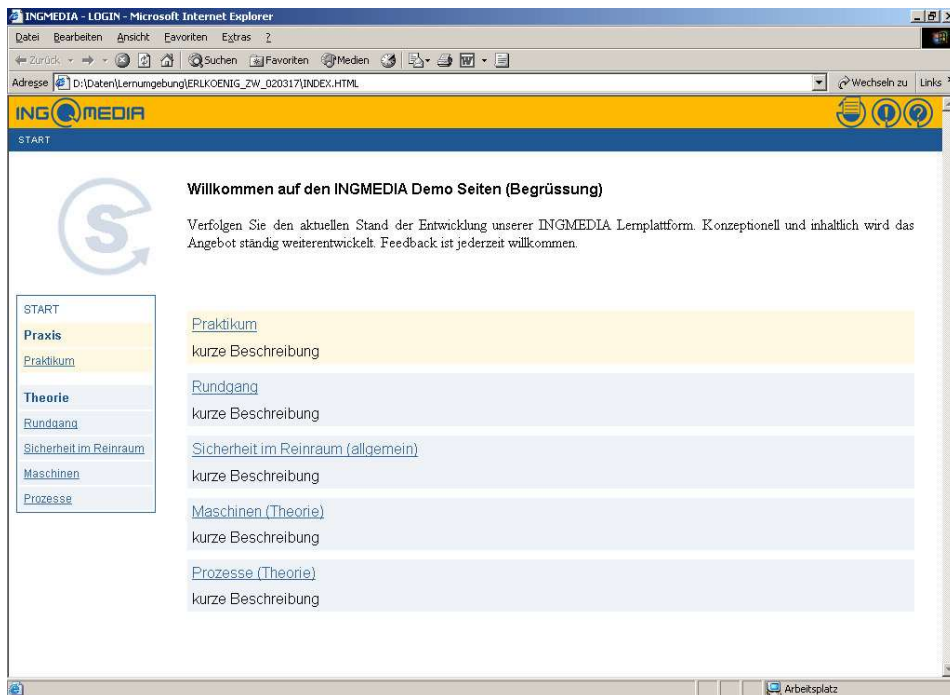


Abb. 4: Zugang der Lernumgebung virtuelles Technologiepraktikum

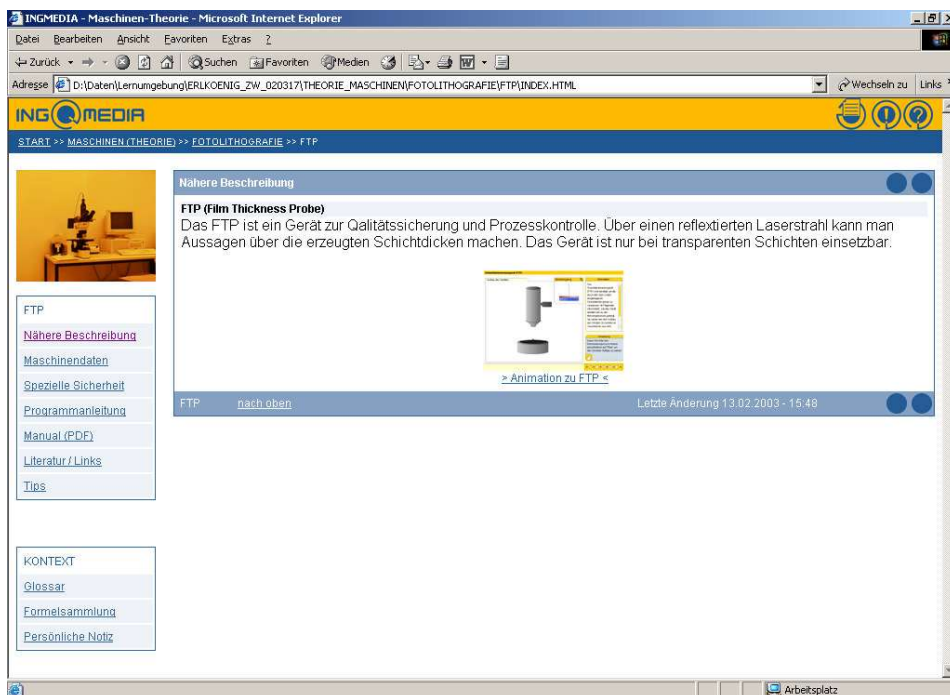


Abb. 5: Aufruf der Lernsequenz Messtechnik – Maschine Film Thickness Probe

Beispiel 3: Lerneinheit Lithografie – Anlage Mask Aligner

Grundsätzlich muss bei den realen Maschinen zwischen Anlagen, die überwiegend manuell bedient und solchen die eher mit einem Prozessrechner gesteuert werden, unterschieden werden. Die Anlage Mask Aligner (Labor: Lithografie, s. Abb. 6) gehört zu den eher manuell zu bedienenden Maschinen. Sie wird zum Abbilden von Strukturen einer Vorlage auf fotoempfindlichen Lack eingesetzt. An der Anlage spielen das Arbeiten mit den Mikroskopen zum Fokussieren und Ausrichten der Proben eine große Rolle. Weiterhin gibt es sehr komplexe Bedienpulte für die vorzunehmenden Maschineneinstellungen. Daher wurde der Mask Aligner als komplexe, teilweise geführte Simulation umgesetzt.



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

Als Autorenumgebung wurde Macromedia Director verwendet. Mit Hilfe von Director können multimediale Assets wie Audio, Video und Vektorgrafik leicht integriert werden. Mit Hilfe der integrierten Skriptsprache Lingo ist eine eigene Entwicklung und Erweiterung des Systems möglich. Darüber hinaus ist durch Director eine plattformunabhängig gewährleistet. Für die Ausführung der virtuellen Maschinen wird auf dem Rechner des Studierenden eine Laufzeit-Umgebung benötigt, die für alle zurzeit wichtigen Betriebssysteme kostenfrei zur Verfügung steht.

Der Mask-Aligner stellt den zentralen Schritt der Foto-Lithografie bei der Erstellung des Drucksensors dar.

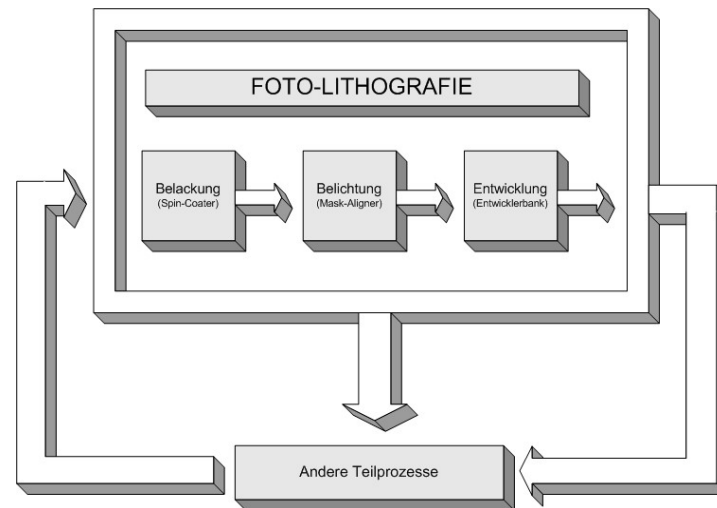


Abb. 7: Die Prozesskette Foto-Lithografie

Die Foto-Lithografie selbst lässt sich in verschiedene Teilbereiche untergliedern. Zu Beginn eines jeden Lithografie-Prozesses steht die Wafer-Belackung, die über den Spin-Coater realisiert wird. Im Mask-Aligner, der Belichtungseinheit, wird der Wafer an einer Maske ausgerichtet und anschließend belichtet. Die Entwicklung sorgt schließlich dafür, dass die vom Mask-Aligner belichteten Strukturen aus dem Wafer herausgelöst werden. Im Anschluss folgen weitere Teilprozesse, wie beispielsweise das KOH- oder HF-Ätzen des Wafers. Wie in Abbildung 7 zu sehen ist die Lithografie ein zyklisch wiederkehrender Prozess. Sie wird im Laufe der Wafer-Prozessierung mehrfach durchschritten. Die dabei jeweils auftretenden Arbeitsschritte unterscheiden sich bei jedem Durchlauf lediglich durch Details.



Abb. 8: Der Mask-Aligner

Der Mask-Aligner im Reinraum der Fachhochschule Kaiserslautern ist eine UV-Belichtungseinheit, die von der Karl Süss GmbH hergestellt wird. Hauptaufgabe ist eine zielgenaue Ausrichtung des Wafers zu einer eingelegten Maske und die anschließende Belichtung des auf dem Wafer aufgetragenen Fotoresist durch die Maske hindurch.

Da die Bedienung dieses Geräts sehr viele unterschiedlichen Bedienoptionen beinhaltet und sehr viele Einzelaufgaben zu erfüllen sind, z.B bis hin zu der Bedienung des Mikroskops und der Justage, wurde die virtuelle Maschine in Director implementiert. Die vertikalen und horizontalen Bedienfelder konnten auf dem Bildschirm mit einem hohen Wiedererkennungswert untergebracht werden. Neben der interaktiven Bedienung der Maschine muss auch Wissen über die manuelle Handhabung (Einlegen des Wafers, Vorheizen, ...) vermittelt werden. Dazu wurden Videosequenzen integriert, wobei auch besonderer Wert auf die Berücksichtigung typischer Betriebsgeräusche, wie z.B. das „Herunterfahren des Mikroskops“, gelegt wurde. In Abbildung 6 rechts ist die Darstellung der virtuellen Maschine Mask-Aligner nach dem Start zu sehen.

Ein entscheidender Schritt bei der Arbeit mit dem Mask-Aligner ist die Justage; die exakte Ausrichtung zwischen Wafer und Maske. Die Schattenmasken sind teiltransparente Schablonen für die Strukturierung eines Wafers. Sie bestehen in der Regel aus Quarzglas. Die Maske wird vor der Belichtung in einem Maskenhalter in den Mask-Aligner eingelegt. Sie befindet sich dann in einem bestimmten Abstand über dem belackten Wafer. Die beim Belichtungsprozess durch die transparenten Stellen der Maskenstruktur fallende UV-Strahlung belichtet den Fotolack des Wafers in deren Form (Schattenwurf).



Abbildung 9: Beispiel einer zweigeteilten Schattenmaske der FH Kaiserslautern

Jede Belichtungsmaske ist nach einem bestimmten Schema aufgebaut. Einige Elemente haben sie jedoch immer gemeinsam. Diese sind in nachfolgender Grafik (Abbildung 10) verdeutlicht. Die eigentlichen Belichtungsstrukturen sind hier nicht abgebildet, da diese von Maske zu Maske unterschiedlich sind.

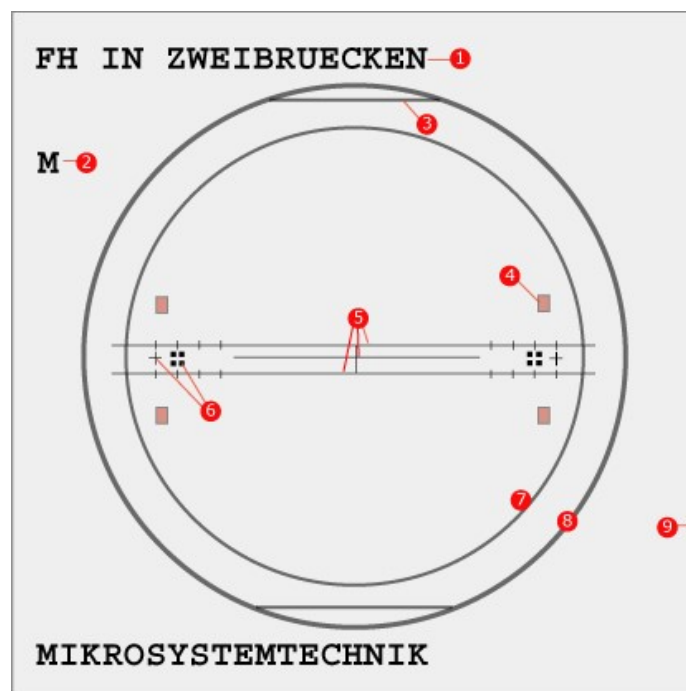


Abbildung 10: Struktur einer Maske

Von besonderer Bedeutung für die Justage sind die Mittellinien und die Justagekreuze. Ohne sie wäre eine Ausrichtung vom Wafer zur Maske nicht möglich. Ziel einer jeden Ausrichtung ist es, eine genaue Deckungsgleichheit zwischen Wafer und Maske zu erreichen. Ist dies erfolgt, kann belichtet werden. Zu beachten ist, dass stets der Wafer zur Maske ausgerichtet wird, da die Maske fest im Gerät verankert ist und nur die Maskenansicht verändert werden kann.

Abbildung 11 zeigt die Darstellung während der Justage am realen Mask-Aligner im Justage-Bildschirm. Ein Schwerpunkt bei der virtuellen Justage war die Simulation der Unschärfe im Bildschirm. Die Software löst dies durch einen Blur-Filter, der die Illusion eines unscharfen Bildes liefert. Die Studierenden können mit der Maus die Rändelschrauben des virtuellen Mikroskops bedienen und so die Schärfe einstellen.

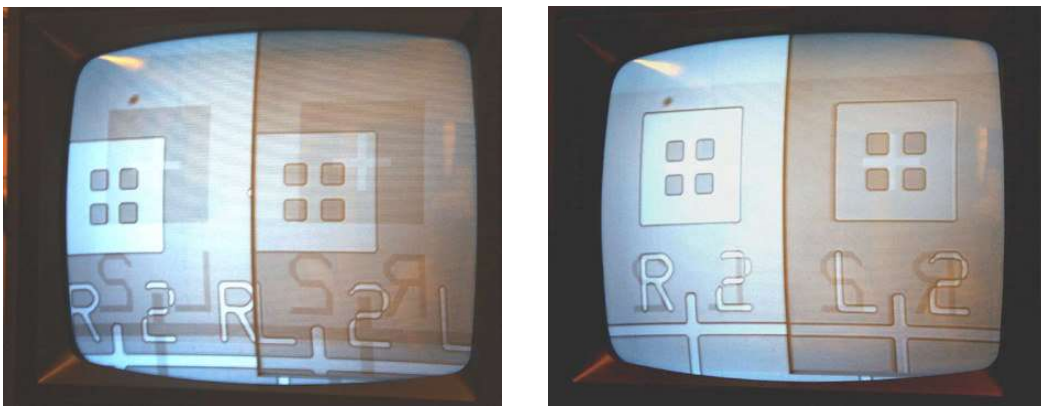


Abbildung 11: Maske und Wafer deckungsungleich (links), deckungsgleich (rechts)

In Abbildung 12 sind beide Situationen dargestellt. Die Masken und die Waferstrukturen liegen als Vektorgrafik vor und müssen zur Simulation der Unschärfe in Bitmap-Grafiken umgewandelt werden. Der Blur-Filter ist ein Standardfilter der Bildverarbeitung und wurde in Lingo implementiert. Große Probleme bereitete die Datenmenge der Bitmaps. Zwar sind nur run 400 x 400 Pixel sichtbar, aber die Bitmaps sind rund 3000 x 2000 Pixel groß. Um eine interaktive Arbeit mit der virtuellen Justage zu gewährleisten, wurde deshalb in Lingo ein eigener Cache-Algorithmus implementiert, um die Menge der Daten im Hauptspeicher auf ein handhabbares Maß zu reduzieren.

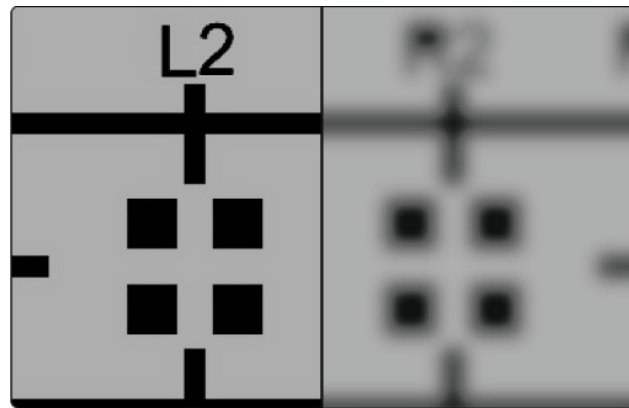


Abbildung 12: scharfes und unscharfes Bild des virtuellen Mikroskops

Abbildung 13 zeigt die Bedienoberfläche des Justage.

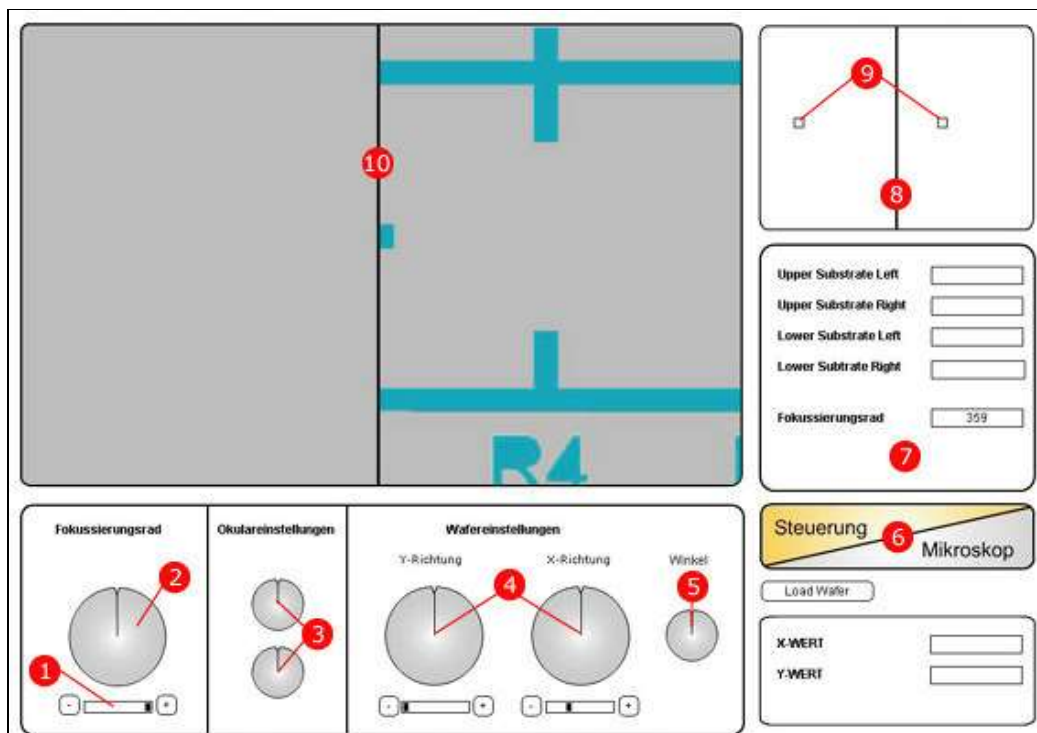


Abbildung 13: Bedienoberfläche der virtuellen Justage am Mask-Aligner

Beispiel 4: Lerneinheit Beschichtung – Anlage Hochtemperaturofen

Beim Hochtemperaturofen (s. Abb. 14) handelt es sich um eine überwiegend rechnergesteuerte Maschine, die als komplexe Simulation realisiert wurde. Sie 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. Der Hochtemperaturofen wurde komplett mit Hilfe von Labview vom Projektpartner in Aachen realisiert. Zweibrücken lieferte hierzu notwendiges mikrosystemtechnische Hintergrundwissen und vor allem die Details zur Maschinensteuerung sowie zur Prozessführung.

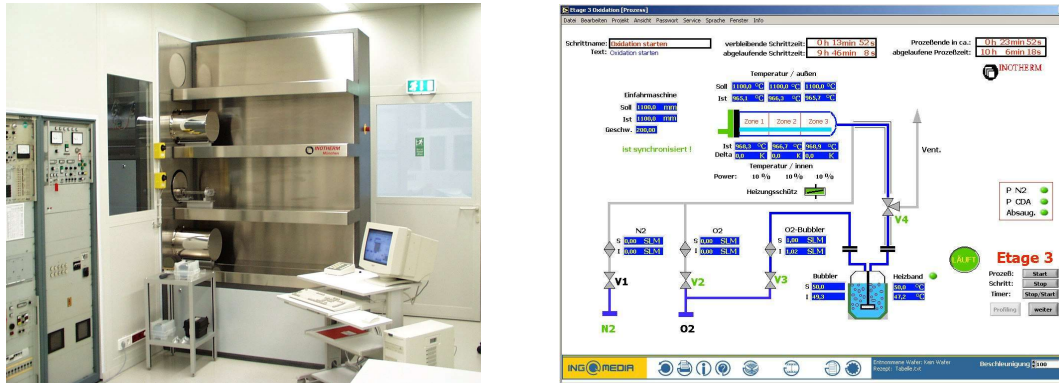


Abb. 14: Reale Anlage Hochtemperaturofen (links) und Oberfläche der virtuellen Maschine (rechts)

Beispiel 5: Demonstration theoretischer Zusammenhänge – Animation Belacker

Die reale Anlage Spin Coater oder Belacker (s. Abb. 8) wird zum gleichmäßigen Aufbringen einer dünnen Lackschicht eingesetzt. Dabei bestimmen unterschiedliche Einflussgrößen wie beispielsweise Drehzahl des Probentellers oder Viskosität des Lacks die Beschaffenheit und Dicke der aufgetragenen Schicht. Mittels einer Animation zum Einfluss der verschiedenen Parameter werden prozesstechnische Zusammenhänge vermittelt. Gleichzeitig wird den Lernenden schematisch der Aufbau der realen Anlage vorgeführt.

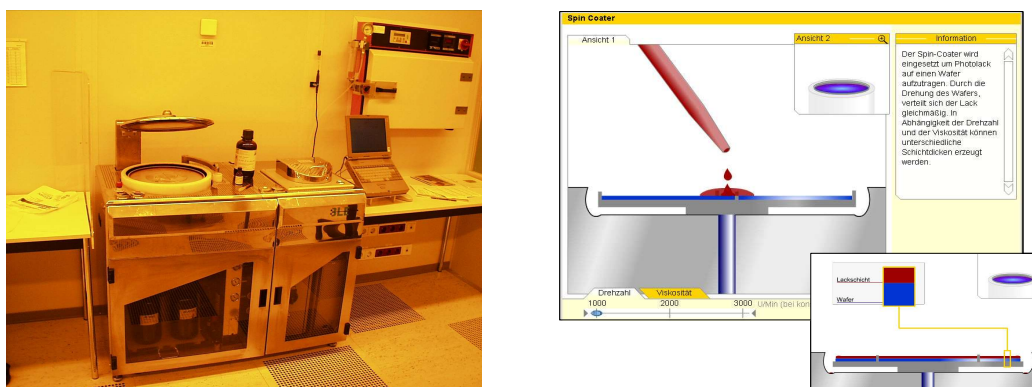


Abb. 14: Reale Anlage Spin Coater (links) und Oberfläche der virtuellen Maschine (rechts)

Die Animation wurde in Macromedia Flash MX erstellt. Dabei wurde gleichzeitig eine Reihe von Templates und Skripts erstellt. Damit können Texte und ganze Bereiche einer Animation verändert oder erweitert werden, ohne dass tiefe Kenntnisse der Entwicklungsumgebung erforderlich sind. Die Templates sichern auch, dass die Animationen stets das gleiche „Look-and-Feel“ aufweisen und sind an das Screen Design der INGMEDIA-Lernplattform, das in Aachen entwickelt wurde angelehnt.

Beispiel 6: Die virtuelle Prozeßkette

Wie bereits dargestellt wurden die Maschinen des virtuellen Technologielabors sowohl in Aachen als auch an der FH Kaiserslautern erstellt. Dabei wurden die beiden Software-Umgebungen LabView und Director eingesetzt. Die einzelnen Maschinen stellen eigene Anwendungen dar, so dass es unmöglich ist, sie in einer einzigen Systemumgebung zu koppeln. Für die Vorbereitung auf das reale Praktikum ist es allerdings notwendig, den virtuellen Wafer auszuwählen, abzulegen und von Maschine zu Maschine zu transportieren. Die so zu Stande kommende virtuelle Prozesskette wurde mit Hilfe von Use Cases analysiert.

Die benötigten Daten können in verschiedene Gruppen untergliedert werden. Es gibt Steuerdaten zur Prozesssteuerung. Insbesondere muss das System wissen, welche Maschine für den ausgewählten Wafer als nächste zugelassen ist. Dadurch kann das System den Studierenden Hilfestellungen geben und ist auch in der Lage, die Entscheidungen der Studierenden zu bewerten. Die Waferdaten müssen von den einzelnen Maschinen eingelesen und in Abhängigkeit von den getroffenen Einstellungen bei der Bedienung wieder verändert werden. Diese Daten und auch Benutzerprofile können sowohl lokal auf einem Arbeitsplatzrechner, beispielsweise dem Notebook des Studierenden, oder auf einem Server einer Lernplattform abgelegt werden.

Es wurden Datenstrukturen entwickelt, die sowohl eine Stand-Alone Version als auch eine Integration in eine Lernplattform zulassen. Einzige Voraussetzung ist, dass die Lernplattform in der Lage ist, ASCII-Daten zu halten. Die Dateistruktur ist dokumentiert und lehnt sich an XML an, so dass die Integration in eine Lernplattform ohne großen Zeitaufwand möglich ist.

Zu Beginn der Konzeption war eine XML-DTD für die verschiedenen Daten geplant. Allerdings hat sich im Verlauf des Projekts gezeigt, dass sowohl LabView als auch Director XML

nur sehr eingeschränkt unterstützen. Aus diesem Grund wurde ein eigenes ASCII-Format definiert, das leicht mit Hilfe von C bei LabView oder mit Hilfe von Lingo bei Director anzubinden ist. Dadurch ist die Integration in andere Systeme ebenfalls gewährleistet.

Die virtuelle Prozesskette wurde auf der Basis der beschriebenen objektorientierten Analyse als objektorientierte Anwendung in Lingo implementiert.



Abbildung 15: Prozessauswahl der virtuellen Prozesskette

In Abbildung 15 ist die Prozessauswahl nach einer Anmeldung zu sehen. Neben den Einzelmaschinen sind Hauptprozesse, also eine Abfolge von Maschinen und auch die Prozesskette zur Herstellung eines virtuellen Drucksensors auswählbar.

Die virtuelle Waferbox ist in Abbildung 16 abgebildet; die Waferdatenanzeige in Abbildung 17.

Auch ein Laborbuch und eine Diagnose des Erfolgs eines Teil- oder Hauptprozesses sind in der virtuellen Prozesskette integriert. Das Screen-Design hält sich an das Corporate Identity der in Aachen entwickelten Lernplattform. Zurzeit ist die Prozesskette als Director-

Anwendung implementiert. Eine Integration in eine WWW-gestützte Umgebung ist ohne Neu-Implementierung möglich. Das objektorientierte Design der Anwendung stellt die Pflegbarkeit und Erweiterbarkeit der Anwendung sicher.

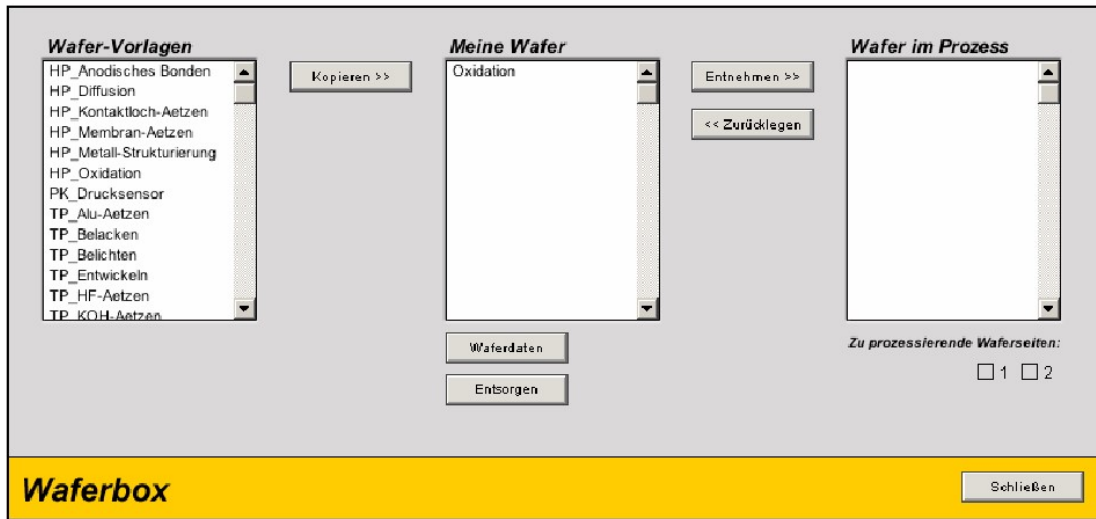


Abbildung 16: Die virtuelle Waferbox

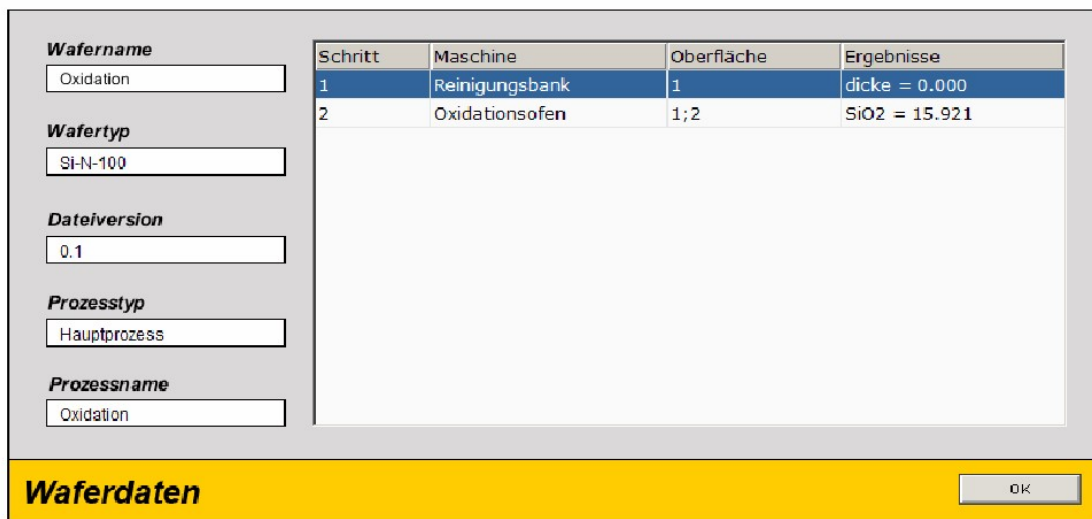


Abbildung 17: Waferdatenanzeige

6. Nachhaltige und zukünftige Lern-Arrangements

Das Virtuelle Technologielabor, d.h. die intensive multimediale Vorbereitung in Verbindung mit realen Laborkursen im Reinraum der FH Zweibrücken, wurde bereits innerhalb der Projektlaufzeit von INGMEDIA mehrmals mit Studierenden der FH Aachen umgesetzt.

Dieses Blended Learning-Konzept bildet auch eine Grundlage des Aus- und Weiterbildungsnetzwerkes für Prozesstechnologien der Mikrosystemtechnik, kurz **pro-mst** (www.pro-mst.de), das sich zum Ziel gesetzt hat, durch gemeinsames Nutzen der außergewöhnlich gut ausgestatteten, realen mikrotechnische Laborausstattung in Zweibrücken exzellente praktische Ausbildung in Prozesstechnologien der Mikrosystemtechnik zu insgesamt günstigen Kosten anzubieten. Neben der Fachhochschule Aachen ist z.B. auch die Universität des Saarlandes an **pro-mst** beteiligt. Auch Studierende der Universität des Saarlandes werden bereits an virtuellen Maschinen trainiert und kommen anschließend zu einem intensiven Laborpraktikum nach Zweibrücken. Durch die intensive Vorbereitung an virtuellen Maschinen ist es möglich, innerhalb von nur einer Woche einen kompletten mikrotechnischen Drucksensor herzustellen und die Kursteilnehmer alle wesentlichen Schritte tatsächlich selbst durchführen!

In Zweibrücken werden einige Module des Virtuellen Technologielabors als Einzelmaschinen benutzt, um den Studierenden vor Beginn der eigentlichen Praxisphase Maschinenkenntnisse zu vermitteln. Es ist geplant, zukünftig den Studierenden die Benutzung der komplexen und teuren Prozess- und Messanlagen nur dann zu gestatten, wenn Sie Kenntnisse zur korrekten Bedienung der Anlagen in Form eines „Maschinenführerscheins“ nachweisen können. Das Virtuelle Technologielabor soll hierzu eingesetzt werden.

Im WS2004/05 startet in Zweibrücken der akkreditierte Studiengang „Master of Engineering - Microsystems Technology“. Auch in diesem Studiengang soll zur Verbesserung der Laborvorbereitung das virtuelle Technologiepraktikum eingesetzt werden.

II. 2. Voraussichtlicher Nutzen; Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Mikrosystemtechnik (MST) gilt als eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Ein zentrales Problem der MST-Ausbildung sind die hohen Kosten für die Errichtung und den Betrieb einer entsprechenden Fertigungsinfra-

struktur, der zugehörigen Messtechnik und das Vorhalten der spezifischen Prozesse. Die Kosten adäquater Einrichtungen für die Lehre übersteigen die Leistungsfähigkeit einzelner Hochschulen bei weitem.

Das Zusammenführen von realen Laborpraktika mit CBT/WBT-Ausbildungsmodulen, d.h. das Konzept des „Blended Learning“, kann zu einer tief greifenden Verbesserung der Ausbildungssituation beitragen und ermöglicht in Kombination mit einer hochschulübergreifenden Ausbildungspartnerschaft eine exzellente und kostengünstigen Aus- und Weiterbildung im Bereich aufwändiger Hochtechnologien. Dieses Ausbildungsmodell wird bereits heute durch **pro-mst**, das Aus- und Weiterbildungsnetzwerk für Prozesstechnologien in der Mikrosystemtechnik, umgesetzt. Trotz der erst prototypisch realisierten virtuellen Maschinen und Lernumgebung konnte gezeigt werden, dass das Virtuelle Technologielabor bereits heute sehr intensive reale hands-on Kurse ermöglicht.

Das Virtuelle Technologielabor in Kombination mit einer entsprechenden Hochschulpartnerschaft bildet somit die Grundlage für eine effizientere und insgesamt kostengünstigere Ausbildung in der Mikrosystemtechnik. Die Übertragbarkeit dieses Ausbildungsmodells auf andere Hochtechnologien ist durchaus gegeben.

II. 3. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

Es ist kein ähnlich gelagertes Vorhaben bekannt.

Vom Steinbeis-Transferzentrum „Multimediale Kommunikation an der Universität Tübingen“ wird ein multimedialer Kurs auf CD zur Halbleitertechnologie angeboten, jedoch sind die Darstellungen der Maschinen nur sehr schematisch, d.h. nicht realitätsnah und nicht zum Trainieren von realen Maschinen geeignet.

Von der FSRM in Neuchatel wird ebenfalls ein CD-Kurs zur Einführung in die Mikrosystemtechnik vertrieben, aber auch dieser Kurs behandelt eher prinzipielle oder abstrakte Vorgehensweisen – die reale Bedienung einer Maschine und das Training in Prozessen wird nicht berührt.

II. 4 Veröffentlichungen des Ergebnisses

2001 M. Brill, A. Picard, „Virtuelles Technologiepraktikum Mikrofertigung“, Rundschau FH Kaiserslautern, Juli 2001, S. 12 – 15.

2002 A. Picard, M. Brill, D. Cassel, A. Jentsch, M. Rollwa, P. Kämper, S. Merten: „Neue Medien für die praktische MST Ausbildung“, Rundschau, FH-Kaiserlautern, Juli 2002, S. 14 - 15

2003 S. Merten, K. Kämper, M. Brill, A. Picard, D. Cassel, A. Jentsch, M. Rollwa: „Vom virtuellen Wafer zum realen Drucksensor“, W. Fischer, F. Flückiger (Hrsg.); Information – Communication – Knowledge engineering education today; Referate des 32. Symposiums der Internationalen Gesellschaft für Ingenieurpädagogik Karlsruhe, Schriftenreihe Ingenieurpädagogik; Band 49 ISBN 3-00-012081-5, S. 318 – 321 (2003)

2003 S. Merten, K.P. Kämper, M. Brill, A. Picard, D. Cassel, A. Jentsch, M. Rollwa, „Virtuelle Sensor-Fertigung: Hightech mit LabVIEW“, R. Jamal, H.Jaschinski (Hrsg.), Virtuelle Instrumente in der Praxis, Begleitband zum Kongress VIP 2003, ISBN 3-7785-2909-0, Hürthig Verlag, Heidelberg, S. 465-470 (2003)

2003 S. Merten, K.-P. Kämper, A. Schütze, A. Picard: „Vom virtuellen Wafer zum realen Drucksensor: Bildungsnetzwerke verbessern die Ausbildung in Hochtechnologien“, H. Loczek (Hrsg.), Kooperation und Arbeit in vernetzten Welten, Ergonomia Verlag Stuttgart ISBN 3-935089-71-6, St. 238 – 241 (2003)

2003 A. Picard, „Multiplikatoren für die Nachwuchssicherung“, Forumstage zur Hochschulausbildung in der Mikrosystemtechnik und zur Ausbildung von Mikrotechnologien und Mikrotechnologien; München, 14. - 15. Oktober 2003

2003 A. Picard, „Hochtechnologie Mikrosystemtechnik - Möglichkeiten einer exzellenten und kostengünstigen Hochschulausbildung“ 8. Fuldaer Elektrotechnik-Kolloquium, FH-Fulda, 31. Oktober 2003

2003 K.-P. Kämper, A. Picard, M. Brill, D. Cassel, A. Jentsch, S. Merten, M. Rollwa „The Virtual Cleanroom – a new tool in teaching MST process technologies“ mst news, November 2003

2004 K.P. Kämper; S. Merten, A. Picard, M. Brill: „Professional Educational Solutions for Future Industrial Demands in Mechatronics“, Proceedings Intern.I Conf. on Mechatronics and Robotics, Aachen, to be published Sept. 2004

II. 5 Diplomarbeiten

2002 Kolbe Patrik, Studiengang MST: „Herstellung und Charakterisierung eines Silizium-Drucksensors“

2003 Thorsten Feiertag, Studiengang Digitale Medien, „Design und Implementierung "virtuelle Foto-Lithografie““

2004 Christian Grass, Digitale Medien: „„Virtuelle Prozesskette Foto-Lithografie“ – Design und Implementierung mit Macromedia Director“

II. 6 Weitere studentische Beiträge

Praktisches Studiensemester

- Daniel Mazurek

Praktikantin

- Gisela Hoffmann

Semesterprojekte Digitale Medien / Video zum Virtuelles Technologielabor

- Andrea Eichinger
- Matthias Haiduk
- Katja Joas
- Nathalie Kettenhofen
- Daniel Mazurek
- Antje Osterberg
- Veronika Raab
- Denise Schreiber
- Zheng Ying

ANLAGE:

Exemplarisch wird die neueste Publikation zum Thema Virtuelles Technologielaor beigefügt.

2004 K.P. Kämper; S. Merten, A. Picard, M. Brill: „Professional Educational Solutions for Future Industrial Demands in Mechatronics“, Proceedings Intern.I Conf. on Mechatronics and Robotics, Aachen, to be published Sept. 2004

The Virtual Cleanroom – a new way of teaching high technologies

Klaus-Peter Kämper, Sabine Merten
Aachen University of Applied Sciences
Goethestr. 1
52064 Aachen
Germany
kaemper@fh-aachen.de

Antoni Picard, Manfred Brill
Kaiserslautern University of Applied Sciences
Amerikastraße 1
66482 Zweibrücken
Germany
picard@mst.fh-kl.de

Abstract – Education in high technologies is often characterized by a high degree of complexity, large economic efforts and very limited access to training locations. Industry, in contrast, requires qualified engineers with substantial practical experience backed by profound theoretical know how. We have developed a new concept, the “Virtual Technology Laboratory”, to cope with this discrepancy in the field of microsystems technology. The “virtual machines” resemble the actual cleanroom facilities at Zweibrücken as close as possible. Students can train many aspects of the operation of the machines before ever visiting the real cleanroom. First tests show the learning success of subsequent hands-on-laboratory courses to be significantly improved. This blended learning concept, i.e. the combination of virtual and real training, might be very attractive for the collaboration of educational institutions, as well as for further education and on-the-job training of engineers.

I. INTRODUCTION

Most of the equipment used for the fabrication of microsystems is complex, very expensive and available at only a few universities. Therefore most often students are not allowed to operate such equipment on their own. However, students can not fully grasp the complexity and the special problems related to the manufacturing of microsystems without a thorough hands-on experience in a microsystems technology cleanroom. Conventional approaches, like e.g. written materials and lectures might be effective means of teaching theoretical knowledge but are not capable in effectively imparting laboratory skills. In order to use the precious cleanroom time as effectively as possible and to ensure the best possible preparation of the students we use a novel combination of multi-media based training and compact cleanroom courses.

II. CONCEPT OF THE VIRTUAL CLEANROOM

University education in high technology fields like microsystem technology (MST) is not complete without intensive laboratory sessions. Students can not fully grasp the complexity and the special problems related to the manufacturing of microsystems without a thorough hands-on experience in a MST cleanroom. However, installation, operation, and maintenance of a state-of-the-art manufacturing line for educational purposes require substantial financial efforts not affordable at every university site.

The department of microsystems technology of the Kaiserslautern University of Applied Sciences at Zweibrücken has a fully equipped cleanroom accessible for educational purposes. Students should come to the cleanroom with the best possible preparation in order to use the precious cleanroom time as effectively as possible and to minimize any damage or bodily injury due to maloperations. However, conventional approaches like e.g. written materials might be effective means of teaching theoretical knowledge but are not capable in effectively imparting practical laboratory skills.

Within the INGMEDIA project in the framework of the German BMBF program “Neue Medien in der Bildung” the problem of suitable preparation of the students has been tackled by developing a new multi-media based approach, the “virtual cleanroom”. It consists of a series of computer simulations of MST production machines or measurement equipment, such as a high temperature oxidation and diffusion oven, a sputter coater, a mask aligner or a film thickness probe.

Contrary to other e-learning approaches in MST, the simulations, i.e. the “virtual machines”, are not just a schematic presentation of the basic functional principles of some abstract equipment but resemble the actual cleanroom facilities accessible within our collaboration as close as possible.

Like pilots train to steer a new type of airplane in a flight simulator before actually flying it, the students can train many aspects of the operation of the machines before ever entering the cleanroom at the campus of Zweibrücken. The virtual machines also include documentation on the real equipment such as hyper-linked manuals, as well as multi-media materials like videos and interactive animations, which help the students in better understanding the functional principles of the related processes and operations.

As an examples you may compare the virtual mask aligner and its real model, a SUSS MA6/BA6 in fig. 1.

Fig. 2 shows another example. The film thickness probe, FTP 500, has a virtual counterpart which has a nearly identical graphical user interface for the computer assisted film thickness measurements. In addition, an interactive computer animation helps in better understanding the measurement principle.

Concepts are developed to link the different virtual machines by virtual wafers, such that processing results from one machine can be used as input for a following machine. Therefore the students not only learn the operation of the individual machines, but also get to know about the subtle dependencies within a complete MST manufacturing process.



Fig. 1 The real mask aligner MA6 (top) and its virtual pendant, the computer based training tool (bottom)

As pointed out before, the “virtual cleanroom” is not thought to replace the real laboratory experiences. The virtual training of the students is an essential prerequisite for the successful implementation of very compact, yet complete practical courses as offered by the education network *pro-mst*.

In particular, the compact format allows performing the hands-on training in the framework of a one-week excursion to the campus at Zweibrücken. The virtual training should be performed at the site of the sending university or company before coming to Zweibrücken. The training programme could even be installed at the students’ personal computer at his home.

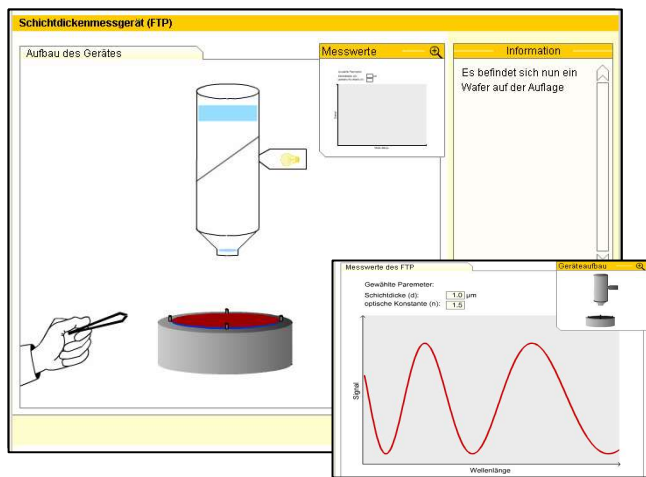
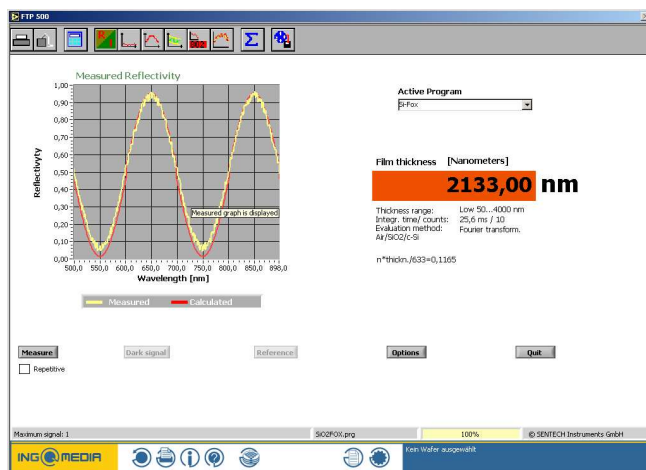
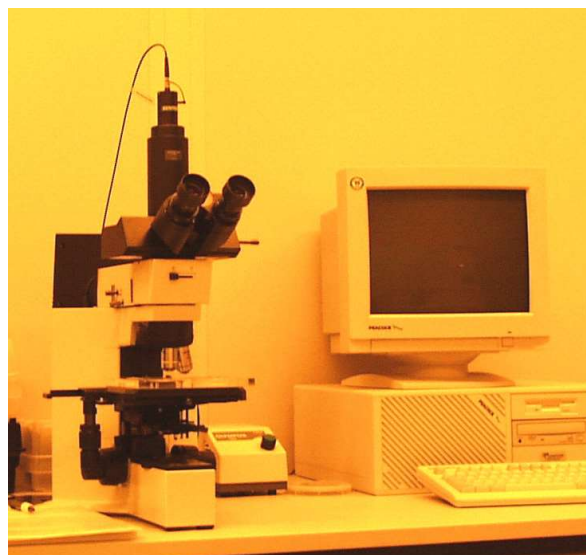


Fig. 2 Film thickness probe. Picture of the real computer controlled FTP (top), Graphical Use Interface of the virtual FTP (middle), Interactive computer animation (bottom)

III. FIRST RESULTS AND CONCLUSIONS

Testing this concept with different groups of students from different universities we found that virtually pre-trained students were much better prepared compared to others and could start to work much more on their own after only a very short introduction to the actual machines. The virtual training helped the students to act more carefully and independently in the laboratory and gain much deeper insight into the individual processes and the complete production line.

As an example, Fig. 3 shows the result of the recent lab-course of students from the university of applied science Aachen held in February 2004. All necessary manufacturing steps were performed by the students themselves. Within only one week of intense lab-work, they finally succeeded in making a simple but fully operational bulk micromachined piezoresistive pressure sensor. When they left Zweibrücken, they took with them not only their own silicon pressure sensor, die and wire bonded on a ceramic substrate, but also a deep impression about the chances and difficulties of manufacturing in a cleanroom environment.

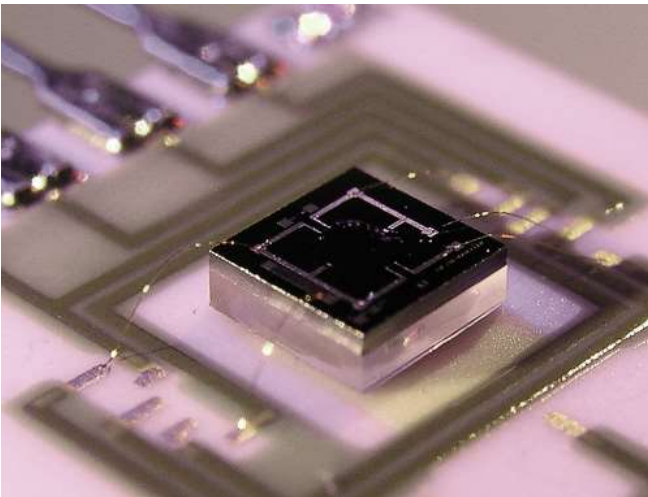


Fig.3 A fully operational silicon pressure sensor made by a virtually pre-trained student group from Aachen within a one week laboratory excursion to Zweibrücken.

We believe that blended learning concepts like the combination of a virtual pre-training with a compact hands-on course are very promising educational approaches in general. This holds true especially for such cost intensive subjects like education in microsystems process technologies.

This blended learning concept provides exceptional chances for a high value but cost saving educational scheme by sharing high quality teaching facilities and their costs within a network of different collaborating educational institutions.

In addition, the compact but intense practical courses in combination with preparatory computer based training will be very attractive for further education and on-the-job training of engineers or technicians new to this field of technology.

Further information may be found at www.ingmedia.de and www.pro-mst.de.

IV. ACKNOWLEDGMENT

The projects INGMEDIA and *pro-mst* are funded by the Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).