Verbesserung der Ausbildung in der Mikrosystemtechnik – virtuelle Labore bereiten auf die Herstellung realer Drucksensoren vor

Dissertation
zur Erlangung des Grades
der Doktorin der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät II
- Physik und Mechatronik -
der Universität des Saarlandes

von

Dipl.-Min. M. Techn. Sabine Merten

Saarbrücken

2005

Tag des Kolloquiums:	25.11.2005
Dekan:	Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Th. Wichert
Mitglieder des Prüfungsausschusses:	Vorsitzender Univ.-Prof. Dr. rer. nat. R. Pelster
	1. Gutachter Univ.-Prof. Dr. rer. nat. A. Schütze
	2. Gutachter Prof. Dr. phil. U. A. Michelsen
Akademischer Mitarbeiter:	Dr.-Ing. O. Scholz

Zusammenfassung

Die Ausbildung in Hochtechnologien wie beispielsweise der Mikrosystemtechnik ist oft durch einen hohen Grad an Komplexität charakterisiert. Damit verbunden sind hohe Kosten für die Errichtung und den Betrieb der speziellen Laborräume und ihre häufig geringe Verfügbarkeit für die Studierenden. Zukünftige Ingenieure sammeln während ihrer Ausbildung aus diesen Gründen nur in beschränktem Umfang praktische Erfahrungen. Die Industrie hingegen fordert Personal mit hoher fachlicher Kompetenz, also fundiertem theoretischen Wissen und umfangreichen praktischen Kenntnissen. Dieser Diskrepanz – qualifizierte Ingenieure auf der einen Seite und eine eher theoretisch ausgerichtete Ausbildung auf der anderen Seite – wird mit einem neuen Blended-Learning-Konzept für MST-Technologiepraktika begegnet. Lernende werden über ein virtuelles Labor, das einen echten Reinraum mit realen Anlagen simuliert, intensiv auf reale Laborpraktika vorbereitet. Dabei geht es im virtuellen Labor gleichermaßen um die Vermittlung von Theorie und Praxis. Nur trainierte Teilnehmer mit einer intensiven Vorbereitung sind in der Lage, relativ eigenständig ein echtes MST-Bauteil innerhalb des anschließenden einwöchigen Laborkurses zu fertigen. Die Wirksamkeit des Konzeptes und die Steigerung des Lernerfolges durch die kombinierten virtuellen und realen Laborkurse wurden im Rahmen der Dissertation begleitend untersucht. Die Ergebnisse flossen direkt in die Weiterentwicklung der Technologiepraktika ein. Die Konzepte und Erkenntnisse sind zudem sehr interessant für die Entwicklung von Blended-Learning-Angeboten in ähnlichen oder anderen Fachgebieten sowie für weitere Bildungseinrichtungen.

Abstract

Education in high technologies, like e.g. Microsystems technology, is usually characterized by a high degree of complexity. In addition it is usually connected with large economic efforts for invest, operation and maintenance of the special laboratory facilities. The access to such facilities for educational purposes is often quite limited. Therefore engineering students rather rarely gather practical experience in such technologies during their university studies. In contrast, industry has a large demand for engineers with high professional competence, i.e. profound theoretical knowledge combined with substantial practical experience. The newly developed blended learning concept for MST laboratory training tries to bridge the gap between the need for qualified engineers and the more theoretical university education. The learners prepare intensively for real hands-on clean room trainings with a virtual technology laboratory, i.e. a computer simulation of the clean room machines and the corresponding processes. In the virtual technology laboratory the students brush up their theoretical knowledge and at the same time learn to operate the complex clean room machines. Only well trained and intensively prepared students are capable to produce a fully functional MST component within a compact clean room laboratory course of only one week duration and an only modest amount of supervision. The effectivity of this concept and the increase of the learning success due to the specific mixture of virtual and real laboratory sessions has been accompanied and analysed by this dissertation. The results have been used to further improve the laboratory courses. Concepts and results are also very attractive for comparable blended learning proposals in other technical disciplines.

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quellen gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form in einem Verfahren zur Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt.

Aachen, 28.09.2005

Sabine Merten

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen, die meine Arbeit unterstützt und begleitet haben, ausdrücklich bedanken. Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Beschäftigung an der Fachhochschule Aachen im Fachbereich Maschinenbau und Mechatronik.

Ich danke Prof. Dr. rer. nat. A. Schütze (Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Messtechnik) für die vielen förderlichen Anregungen und interessanten Diskussionen sowie die Übernahme des ersten Gutachtens. Ohne seine Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Bei Prof. Dr. phil. U. A. Michelsen (RWTH Aachen, Lehrstuhl für Berufs- und Wirtschaftspädagogik) möchte ich mich insbesondere für die intensiven Gespräche, die didaktische Begleitung und die Übernahme des zweiten Gutachtens bedanken. Er hat ebenfalls erheblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. rer. nat. K.-P. Kämper (Fachhochschule Aachen, Lehrgebiet Mikromechanik, Mikrostrukturtechnik sowie Fertigungsverfahren der Mikrosystemtechnik) für die gute und angenehme Zusammenarbeit, die zahlreichen nützlichen Hinweise sowie das Ermöglichen der Arbeit.

Ich bedanke mich bei allen Professoren, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Studentinnen und Studenten der Fachhochschule Aachen, der Universität des Saarlandes und der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, die mich durch ihre stetige Mitarbeit unterstützt und zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Speziell bedanke ich mich bei Prof. Dr. rer. nat. A. Picard (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken) für seine Anregungen und Diskussionen sowie bei Prof. Dr. rer. nat H. Seidel (Universität des Saarlandes) für die Übernahme der wissenschaftlichen Begleitung.

Ganz besonders bedanke ich mich bei meinem Ehemann Michael für seine Ideen, seine unendliche Geduld und moralische Unterstützung. Gerade in schwierigen Momenten war er immer wieder für mich da.

Inhalt

1 Einführung 1

2 Anwendungsbezogene Lehre in der Mikrosystemtechnik 3

2.1 Was ist Mikrosystemtechnik? 3

2.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Mikrosystemtechnik 7

2.3 Aktueller Stand in der MST-Ausbildung 12

3 Konzept zur Entwicklung neuer Technologiepraktika in der Mikrosystemtechnik 17

3.1 Idee zur Entwicklung der Technologiepraktika 17

3.2 Zielgruppen 20

3.3 Lehr- und Lernziele 21

4 Aufbau der Technologiepraktika 27

4.1 Exemplarischer Fertigungsprozess Drucksensor 27

4.2 Vorbereitungsphase und virtuelle Praktika 44

4.3 Reale Praktika im Reinraumlabor 50

4.4 Geplanter Ablauf der Technologiepraktika 51

5 Vorbereitungsphase und virtuelles Labor 55

5.1 Unterschiedliche Konzepte der Vorbereitungsphase 55

5.2 Inhalte und Struktur der Einführung 58

5.3 Schulungsunterlagen 59

5.3.1 Methodik zum Erstellen der Schulungsunterlagen 59

5.3.2 Inhalte der Schulungsunterlagen 61

5.4 Virtuelle Maschinen 63

5.4.1 Methodik zum Entwickeln der virtuellen Maschinen 63

5.4.2 Physikalische Modellierung der realen Maschinen 68

5.4.3 Navigationsleiste 74

5.4.4 Eingesetzte Software 80

5.4.5 Beispiel virtueller Teilprozess „Feuchte Oxidation“ 81
5.4.6 Entwickeln eigener Fertigungsprozesse 92

6 Methoden zur Untersuchung der erzielten Lernerfolge 93
6.1 Untersuchungsgruppen 93
6.2 Eingesetzte Datenerhebungsinstrumente 94
6.2.1 Standardisierte Fragebögen 95
6.2.2 Gruppendiskussion und -befragung 97
6.2.3 Beobachtung 98
6.2.4 Weitere Untersuchungsmethoden 98

7 Ergebnisse der ersten Untersuchungsphase – WS 2002/03 und SS 2003 ... 101
7.1 Vorbereitungsphase und virtuelle Praktika 101
7.1.1 Ergebnisse der Untersuchung WS 2002/03 101
7.1.2 Ergebnisse der Untersuchung SS 2003 108
7.2 Reale Reinraumpraktika 114
7.2.1 Ergebnisse der Untersuchung WS 2002/03 114
7.2.2 Ergebnisse der Untersuchung SS 2003 119
7.3 Diskussion der Ergebnisse der ersten Untersuchungsphase 125
7.3.1 Schriftliche Unterlagen zur Vorbereitungsphase 125
7.3.2 Simulationssoftware 129
7.3.3 Betreuung der virtuellen Praktika 133
7.3.4 Praktikumszeit der Vorbereitungsphase 134
7.3.5 Virtuelles Training 135
7.3.6 Betreuung der realen Praktika 139
7.3.7 Praktikumszeit der realen Praktika 139
7.3.8 Inhalte und Durchführung der realen Praktika 140
7.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und der Lernerfolge 143

8 Ergebnisse der zweiten Untersuchungsphase – WS 2003/04, SS 2004 und WS 2004/05 147
8.1 Vorbereitungsphase und virtuelles Training 148
8.2 Reinraumpraktika – Studierendenbefragung 151

8.3 Reinraumpraktika – Betreuerbefragung 154
8.4 Diskussion der Ergebnisse im Vergleich zur ersten Untersuchung 156
8.4.1 Schulungsunterlagen und virtuelles Training 156
8.4.2 Kompakte Reinraumpraktika 159

9 Wesentliche Erkenntnisse aus den Technologiepraktika 163

10 Zusammenfassung und Ausblick 169

Glossar 171

Literatur 177

A Anhang – Reale Maschinen 185

B Anhang – Virtuelle Maschinen 201

C Anhang – Mitwirkende Hochschulen bei den Technologiepraktika 219

D Anhang – Fragebogen und Ergebnisse zu den MST-Studienangeboten 223

E Anhang – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2002/03 und SS 2003 235

F Anhang – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2003/04 und SS 2004 285

G Anhang – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2004/05 353

H Anhang – Fragebogen zur Evaluation neuer virtueller Maschinen 395

I Anhang – Anregungen für zukünftige Entwicklungen der Technologiepraktika 403

1 Einführung

Die Hochtechnologie Mikrosystemtechnik (MST) ist ein sehr junges Arbeitsfeld, das sich mit der Fertigung von elektronischen Bauteilen wie beispielsweise Mikrosensoren oder Mikroaktoren befasst. Das Personal muss gut ausgebildet sein, um den gestellten Anforderungen gerecht zu werden. Qualifizierte Fachkräfte sind gefragt, die theoretische Kenntnisse und praktische Erfahrungen in Wirtschaft und Industrie einbringen. Nach einer aktuellen Studie des VDI (Verein Deutscher Ingenieure) haben derzeit 42 % der Unternehmen Schwierigkeiten, offene Stellen für Ingenieure zu besetzen. Dabei haben 86 % der Bewerber nicht die gesuchte Qualifikation, und 72 % der Bewerber fehlen Berufserfahrung oder das notwendige Know-how (vgl. VDI 2004, S. 5). Damit existiert auf dem Arbeitsmarkt ein hoher Fachkräftebedarf. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert nach Pressemitteilungen zu diesem Zweck die Entwicklung der Mikrosystemtechnik mit jährlich 55 Mio. € (vgl. BMBF 2002, S. 1). Bis zum Jahr 2001 gab es etwa 1130 Absolventen in der Mikrosystemtechnik und artverwandter Fächer, die diesen Bedarf kaum decken konnten (vgl. Grühn et al. 2002). Die Tendenz ist zunehmend. So hat sich die Anzahl der gesamten MST-Studierenden an den einzelnen Hochschulen in den letzten Jahren verdoppelt bis verdreifacht. Stetig nimmt die Zahl der Immatrikulationen und Absolventen zu, wobei letztere ohne Schwierigkeiten innerhalb von drei bis sechs Monaten eine Beschäftigung finden.

Die Hochschulausbildung selbst ist charakterisiert durch viele MST-Angebote in den Nebenfächern grundständiger Studiengänge wie Physik oder Elektrotechnik (z. B. Universität-Gesamthochschule Duisburg, Studienrichtung Mikroelektronik im Fachbereich Elektrotechnik). Vollständige MST-Studiengänge werden eher selten angeboten, sind aber für Ausbildung und Wirtschaft wichtig (z. B. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Studiengang Mikrosystemtechnik; Technische Universität Chemnitz, Studiengang Mikrotechnik/ Mechatronik). Indes ist eine stetige Zunahme beim Einrichten solcher Studiengänge an den Hochschulen zu verzeichnen. Beispielsweise wurde an der Universität des Saarlandes zum Sommersemester 2001 der Studiengang „Mikro- und Nanostrukturen“ neu eingerichtet.

Die Ausbildung wiederum besteht aus der Vermittlung von Theorie und anwendungsorientiertem, praktischem Wissen, das in Laborpraktika an entsprechender Prozesstechnologie in Reinraumlaboren vertieft wird. Die Ausstattung solcher Labore umfasst unterschiedliche Anlagen für chemische und physikalische Fertigungsschritte verschiedener Herstellungsverfahren. Die Mehrzahl der eingesetzten Maschinen zeichnet sich

durch eine hohe Komplexität in der Bedienung aus, die durch Lernende[1] innerhalb eines Laborpraktikums aufgrund der Komplexität nur eingeschränkt möglich ist und häufig durch die Betreuer erfolgt.

Weiterhin verursachen Errichtung und Betrieb solcher Reinraumlabore sehr hohe Kosten, die überwiegend durch industrielle Aufträge und Forschungsprojekte gedeckt werden, wodurch eine hohe Auslastung der Reinraumlabore resultiert. Ein wichtiger Aspekt ist, dass Studierende auf den Umgang mit komplexen Anlagen durch eine eher allgemein gehaltene Hochschulausbildung nur gering vorbereitet sind. Daher besteht bei den Laborpraktika die Gefahr, dass die teuren Maschinen während der Praktika beschädigt werden. Die Komplexität und der finanzielle Aufwand für diese Technologie führt dazu, dass es nur wenige, technisch entsprechend gut ausgestattete Labore an Hochschulen und in Unternehmen für die MST-Ausbildung gibt.

Aus dieser Diskrepanz entstand die Idee zur Entwicklung neuer Technologiepraktika für die Mikrosystemtechnik, die aus der Kombination eines virtuellen Labors zur Vorbereitung sowie eines anschließenden realen Laborpraktikums bestehen (vgl. Kämper et al. 2004; Brill & Picard 2001). Dabei ist das zentrale Ziel, die Ausbildung speziell auf dem Gebiet der Laborpraktika durch ein vorgeschaltetes, auf reale Labore abgestimmtes Training unter Einsatz didaktisch sinnvoller Medien zu verbessern (vgl. Merten et al. 2003a; Merten et al. 2005). Die Idee wurde in den zwei Projekten INGMEDIA (Entwicklung und Evaluation interaktiver, multimedialer Lernsoftware für technische und physikalische Praktika in Ingenieurstudiengängen, Projektlaufzeit 01.01.2001 bis 31.12.2003, finanziert durch das BMBF) und **pro-mst** (Aus- und Weiterbildungspartnerschaft für Prozesstechnologien in der Mikrosystemtechnik, Projektlaufzeit 01.12.2002 bis 31.12.2005, finanziert durch das BMBF) konzipiert, realisiert sowie begleitend evaluiert.

[1] In der Regel werden für Männer und Frauen neutrale Begriffe (z. B. Lernende, Studierende) verwendet. Geschlechterspezifische Bezeichnungen wie Teilnehmer schließen beide Gruppen ein.

2 Anwendungsbezogene Lehre in der Mikrosystemtechnik

2.1 Was ist Mikrosystemtechnik?

Die Mikrosystemtechnik ist ein sehr junges Forschungs- und Fertigungsgebiet, das seine Anwendung in unterschiedlichen Branchen mit verschiedenen technischen Komponenten und Verfahren findet. Der Begriff Mikrosystemtechnik geht auf die Zusammenführung von Mikrotechnik und Systemtechnik zurück (vgl. Abb. 2.1). Dabei werden in der Regel unter Mikrosystemtechnik verschiedenste Systemtechniken im Mikrometerbereich (Mikro-Systemtechnik) und weniger die Techniken zur Herstellung von Mikrosystemen verstanden. Ein Mikrosystem wiederum zeichnet sich theoretisch durch die Dreiteilung Signalwahrnehmung (Mikrosensor), Informationsverarbeitung, die der Mikroelektronik zuzuordnen ist, und entsprechenden Reaktionen (Mikroaktor) aus, wobei diese sich auf die der realen Natur nachempfundenen Funktionen beziehen (vgl. Abb. 2.2).

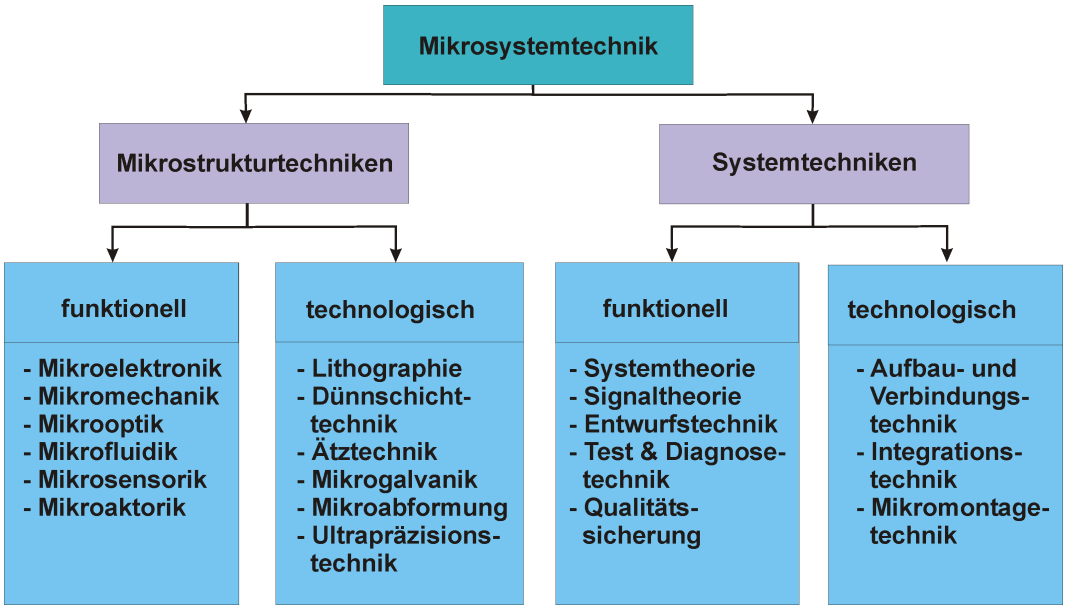


Abb. 2.1: Gliederung der Mikrosystemtechnik (Gerlach & Dötzel 1997, S. 12, überarbeitet)

Abb. 2.2: Definition zur Mikrosystemtechnik (Schütze 2005)

Dabei erfolgt die Signalwahrnehmung häufig durch Sensoren, die ein elektronisches Signal abgeben, welches verarbeitet und beispielsweise an Aktoren weitergeleitet wird, welche wiederum aufgrund des verarbeiteten Signals eine mechanische Reaktion ausführen. Gerlach schreibt: „Mikrosysteme bestehen aus mehreren Komponenten... Die Komponenten erfüllen jeweils... sensorische, aktorische, Übertragungs-, Speicher- oder Signalverarbeitungsfunktionen und können konstruktiv autonome Gebilde sein... Der Systemcharakter kommt darin zum Ausdruck, dass die Gesamtfunktion nur durch das Zusammenwirken dieser Komponenten als komplexe miniaturisierte Einheit erfüllt werden kann...“ (Gerlach & Dötzel 1997, S. 12ff). Nach Mescheder übernehmen die Komponenten „unterschiedliche Funktionen: z.B. mechanische, optische oder elektrische. Diese Funktionen können in sensorischen oder aktorischen Aufgaben eingesetzt werden.“ (Mescheder 2000, S. 3). Ergänzend formulieren Menz & Mohr: „Den Aktor kann man im Prinzip als eine physikalische Umkehrung des Sensors verstehen. Während der Sensor auf die Eingabe eines physikalischen oder chemischen Parameters mit der Ausgabe eines elektrischen oder optischen Signals „antwortet“, gibt der Aktor bei Eingabe eines elektrischen, optischen oder thermischen Signals eine physikalische Größe wie Kraft, Drehmoment, Dimensions- oder Phasenänderung aus.“ (Menz & Mohr 1997, S. 374). Diese drei unterschiedlichen Ereignisse oder Handlungsweisen werden durch einzelne Mikrokomponenten ausgeführt, die bei der Herstellung dafür mit speziellen mikrotechnischen Funktionselementen versehen wurden (vgl. Abb. 2.3). In der Praxis ist diese stringente Dreiteilung für MST-Produkte nicht immer gegeben. Sensoren werden als Mikrokomponenten aufgrund der Vielzahl „fühlbarer Einflussgrößen“ und des leichteren Handlings im Gegensatz zu Aktoren vermehrt eingesetzt. Echte Mikrosysteme sind nach den gegebenen Definitionen selten als Anwendung zu finden, daher werden nachfolgend unter Mikrosystemen auch MST-Komponenten gezählt.

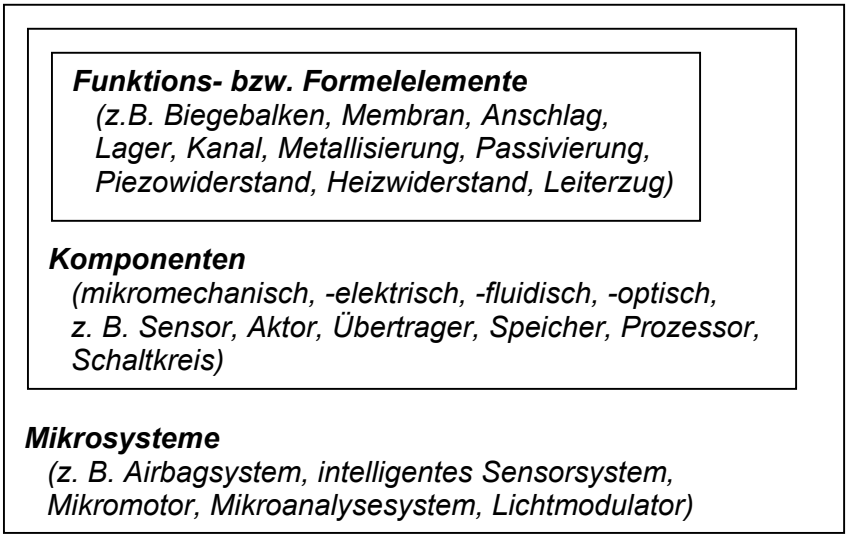


Abb. 2.3: Begriffsskala zu Mikrosystemen (Gerlach & Dötzel 1997, S. 13, überarbeitet)

Charakteristisch ist neben der Kombination von Mikro- und Systemtechnik die Größe der Elemente, die zwischen einigen nm und mm liegt. Die Mikrosystemtechnik wird im internationalen Sprachgebrauch beispielweise in den USA häufig mit „Micro Electro Mechanical Systems“ (= MEMS, Fischer 2000, S. 14; Mescheder 2000, S. 5), in Japan mit „Micromachining“ (Botthof et al. 1998, S. 6) oder in Großbritannien als „Micro Systems Engineering“ (Schmitt 2002, S. 1215) bezeichnet.

Zu den Branchen, die sich der MST-Entwicklungen bedienen, zählen beispielsweise der Maschinen- und Anlagenbau, die Daten- und Kommunikationstechnik, die Automobilindustrie, die Medizintechnik, Chemie und Pharmazie, die Energietechnik, die Umwelttechnik oder die Haus- und Gebäudetechnik. Ihre Einsatzgebiete sind entsprechend vielfältig. So finden sich viele Mikrosysteme im Motor als Drucksensoren, Einspritzdüsen oder Ölstandsanzeigen wieder. Sicherheitssysteme in Kraftfahrzeugen werden über das Antiblockiersystem (ABS), die Airbag-Auslösung oder das elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) gesteuert. Komfortsysteme nutzen die Mikrosystemtechnik für die Klimasteuerung, das aktive Fahrwerk oder als Regensensoren. Es gibt Sensoren für die Blutdruckmessung in der Medizintechnik, miniaturisierte Operationswerkzeuge und tragbare Analysegeräte für Mediziner, Analysegeräte in der Umwelttechnik, Regeleinheiten für Fertigungsprozesse sowie Steuereinheiten für Lüftungs- und Heizungsanlagen.

Die Fertigung der MST-Produkte erfolgt mittels verschiedener Mikrostrukturtechniken, die typische funktionsbestimmende Dimensionen im µm-Maßstab erzeugen und sich Verfahren zur sehr exakten Herstellung von geometrischen Strukturen und Körpern bedienen. Zu diesen Verfahren gehören beispielsweise Photolithografieprozesse, Dünnschichttechnologien sowie Ätztechniken. Die Mikrostrukturtechniken dienen primär der Bearbeitung von so genannten Siliziumwafern, aber auch der Strukturierung

von Gläsern, Kunststoffen, Keramiken und Metallen. Dabei versteht man in der Si-basierten Mikrosystemtechnik unter einem Wafer eine sehr dünne Siliziumscheibe mit einer Dicke von etwa 500 µm. Mit Photolithografie ist das Abbilden einer vorgegebenen Struktur (Maske) auf den Wafer mittels beispielsweise Schattenwurfverfahren ähnlich wie in der Fotografie gemeint. Unter Dünnschichttechnologie werden alle chemischen und physikalischen Verfahren zum Erzeugen dünner Schichten zusammengefasst und zu den Ätztechniken werden nasschemische, Plasma- oder Ionenstrahl-Verfahren zum Abtrag sowie zur Strukturierung von Schichten gezählt. Messtechniken, die immer wieder zur Prozesskontrolle eingesetzt werden, sind „funktionelle Systemtechniken“ aus den Gebieten „Test & Diagnose“ sowie „Qualitätssicherung“ (vgl. Abb. 2.1).

Ein Beispiel zum Grundprinzip der Mikrostrukturierung ist in Abb. 2.4 zu sehen. Ein Siliziumwafer wird oxidiert oder mit Metall beschichtet. Anschließend wird ein lichtempfindlicher Lack (Photoresist) auf die neue, zu strukturierende Schicht aufgebracht. Ein Glaswafer mit Absorberstrukturen (Maske) wird beim Belichten für das Abbilden der Strukturen auf dem Lack verwendet. Der so belichtete Lack wird entwickelt und dabei werden beispielsweise die belichteten Bereiche chemisch gelöst. Die darunter frei liegende Oxid- oder Metallschicht wird nun geätzt und damit strukturiert. Zum Schluss wird der verbliebene Lack entfernt. Zurück bleibt ein Siliziumwafer mit einer strukturierten Schicht.

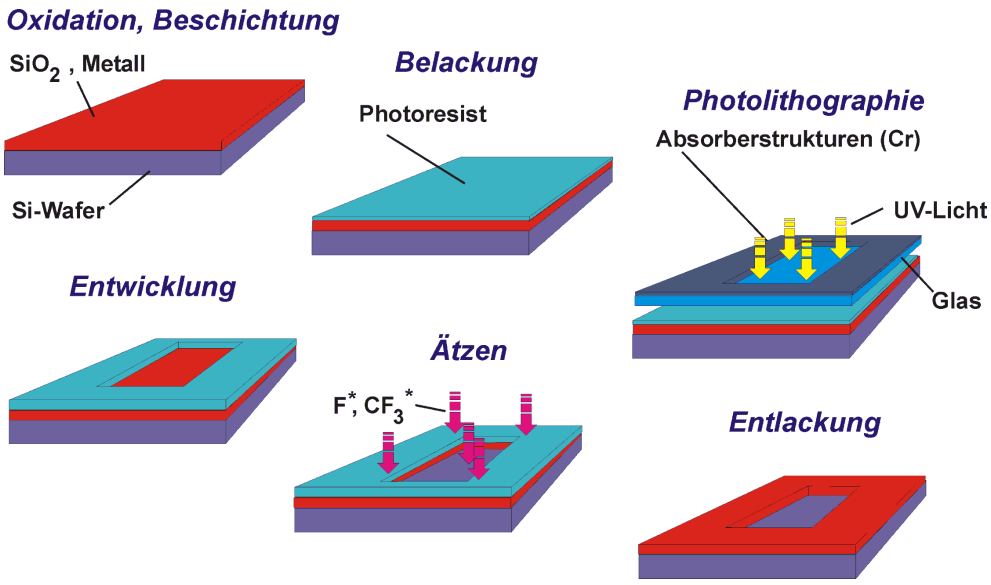


Abb. 2.4: Grundprinzip der photolithografischen Mikrostrukturierung (Kämper 2001, S. 8)

Bis zur Fertigstellung eines kompletten Bauteils werden die unterschiedlichen Schritte und Verfahren mehrfach wiederholt und kombiniert. Die Herstellung mikrotechnischer Bauteile dauert daher einige Tage bis Monate und ist in der Praxis nur rentabel, wenn bei der industriellen Fertigung hohe Stückzahlen ohne Unterbrechung des Fertigungsprozesses hergestellt werden können. Dieses wird durch die in der Mikrosystemtechnik

üblichen Batchverfahren (batch fabrication) erreicht, mit denen sehr viele Komponenten parallel auf einer Siliziumscheibe angefertigt werden. Dazu sind spezielle Fertigungsräume (Reinräume) mit besonderen klimatischen Anforderungen notwendig, die das Erzielen einer ausreichenden Ausbeute, insbesondere bei der Herstellung komplexer Strukturen mit vielen Masken-Ebenen, zulassen. Die Batchproduktion und Reinräume haben eine hohe wirtschaftliche Bedeutung, da trotz beträchtlicher Gesamtkosten bei gleichzeitig geringen Stückpreisen eine große Stückzahl ökonomisch herstellbar ist.

2.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Mikrosystemtechnik

Erstmals in den 90er Jahren wurde die Bedeutung der Mikrosystemtechnik als Wirtschaftsfaktor aktiv wahrgenommen. Erste Studien prognostizierten eine ständige Zunahme an neuen MST-Produkten wie beispielsweise im Zwischenbericht der NEXUS-Analyse (vgl. Abb. 2.5). Die neuen Produkte sollen nach den Vorgaben des Fachausschusses der VDE/VDI-GMM (VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik) sehr unterschiedliche Bereiche abdecken (vgl. Tab. 2.1).

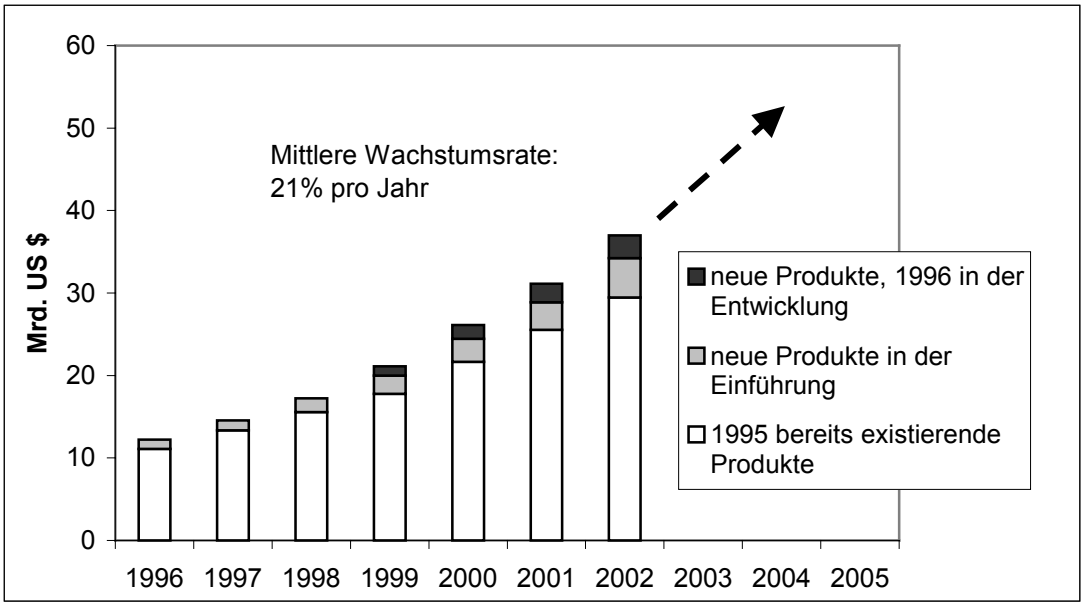


Abb. 2.5: Markt-Vorhersage für mikrosystemtechnische Produkte (Wechsung & Eloy 1997, S. 519ff, überarbeitet)

Tab. 2.1: Mikrosystemtechnische Produkte am Markt oder mit Marktreife bis zum Jahr 2002 (VDE/VDI-GMM 1998, S. 7)

Beschleunigungssensoren	Flache Bildschirme
Drucksensoren	Komponenten für optische Netzwerke
Temperatursensoren	Zerstäuber
Durchflusssensoren	Hörhilfen
Füllstandssensoren	Geophone
Chemische Sensoren	Gyroskope
Positionssensoren	Spitzen für Rasterkraftmikroskope
Mikrowellendetektoren	Mikrospektrometer
Tintenstrahldruckköpfe	Mikrorelais
Mikrofilter (für Flüssigkeiten)	Mikropumpen und -ventile
Schreib-Leseköpfe für Magnetplatten	Mikromotoren

Neuere Studien und Expertenbefragungen belegen inzwischen sogar eine weitaus höhere Bedeutung und stärkere Entwicklung der Mikrosystemtechnik als bis dahin angenommen wurde. Nach der Druckschrift „Mikrosysteme – Rahmenprogramm zur Förderung 2004 - 2009“ des BMBF wird die Mikrosystemtechnik international als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts mit einer überdurchschnittlichen Wachstumsrate angesehen. So erreichten einzelne mikrosystemtechnische Komponenten im Jahr 2002 ein Marktvolumen von 3,9 Mrd. US $ bei gleichzeitigem Wachstum des gesamten MST-Weltmarktes. Dieser stieg 2003 auf 50 Mrd. US $ und soll 2010 sogar über 200 Mrd. US $ liegen (vgl. Abb. 2.6).

Für derartige Marktberechnungen stellt sich die Frage, wo Mikrosystemtechnik anfängt und wo sie aufhört. MST-Fabrikate sind meistens Bestandteile anderer Erzeugnisse (beispielsweise Tintenstrahldruckköpfe in Tintenstrahldruckern), die ohne diese Komponenten nicht funktionieren würden. Diese Hebelwirkung (leverage effect) führt bei vielen Produkten zu indirekten Markterfolgen, die MST-Erzeugnisse als Teilkomponenten benötigen und verwenden. Daher ist die wirtschaftliche Bedeutung der Mikrosystemtechnik als „Schlüsselkomponente“ noch dominierender anzusetzen.

Nach einer Umfrage des VDE steht die Mikrosystemtechnik an fünfter Position als Technologie mit Innovationspotenzial für Industrie und Wirtschaft. Insbesondere in der Mikroelektronik sowie in der Informationstechnik werden hohe Potenziale erwartet (vgl. Abb. 2.7). Die Mikrosystemtechnik wird in der Abbildung gesondert aufgeführt, da sie aber in viele Bereiche (Mikroelektronik, Produktionstechnik) hineingreift, wird ihr Innovationspotenzial wahrscheinlich noch höher liegen.

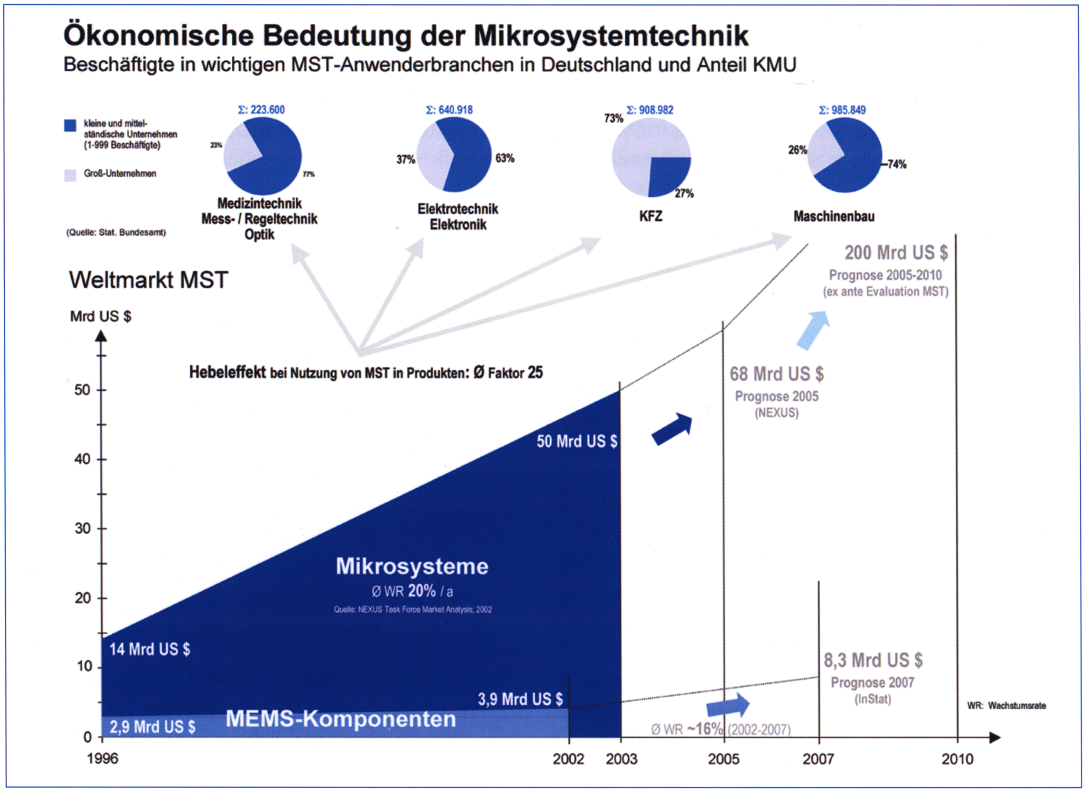


Abb. 2.6: Ökonomische Bedeutung der Mikrosystemtechnik (BMBF 2004, S. 16)

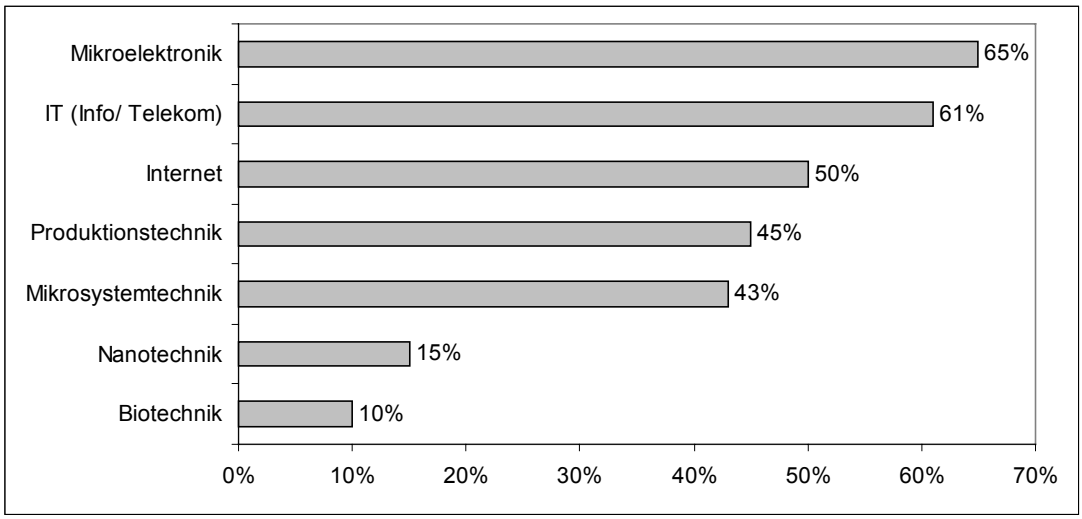


Abb. 2.7: Technologien mit Innovationspotential (VDE 2000, Seite 6, überarbeitet)

Eine Studie im Auftrag des BMBF (Grühn et al. 2002) zum Berufsverbleib von Hochschulabsolventen der Mikrosystemtechnik (Berufsverbleibstudie) gibt an, in welchen Branchen Absolventen überwiegend beschäftigt werden (vgl. Abb. 2.8). Diese Studie setzte sich methodisch aus Experteninterviews, Fachgesprächsrunden und Absolventenbefragungen zusammen.

Aber nicht nur als Studienfach ist Mikrosystemtechnik bedeutend, genauso wichtig ist die Ausbildung zur/ zum Mikrotechnologin/ Mikrotechnologen als anerkannter Ausbildungsberuf. Dieser besteht aus drei Ausbildungsjahren und kann an circa 70 Ausbildungsbetrieben, auch im Verbund, mit den Schwerpunkten „Halbleitertechnik“ oder „Mikrosystemtechnik“ absolviert werden.

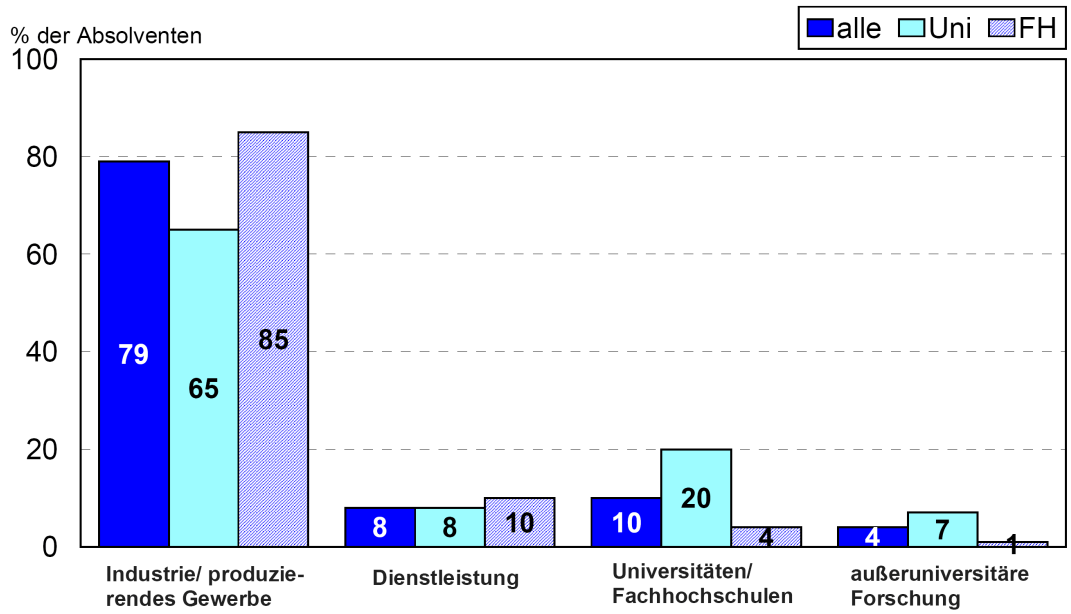


Abb. 2.8: Verbleib von MST-Absolventen in Beschäftigungsbereichen (Grühn et al. 2002, S. 46)

Nach einer Umfrage des VDI zum Fachkräftemangel bei Ingenieuren gaben die befragten Unternehmen einen hohen Bedarf gerade in den Bereichen Elektrotechnik, Mechatronik und Fahrzeugbau an, der zukünftig nach ihren Angaben noch weiter ansteigen wird (VDI 2004, S. 9ff). Dabei wurden insgesamt über 300 Unternehmen an der Untersuchung beteiligt (vgl. Abb. 2.9, Abb. 2.10).

Die guten Berufsaussichten werden insbesondere durch die Berufsverbleibstudie des BMBF bestätigt, nach der sich die Beschäftigungssituation für Absolventen der Mikrosystemtechnik sehr positiv darstellt. MST-Absolventen haben im Vergleich zu anderen Ingenieuren und zu Absolventen anderer Fachrichtungen fast keine Schwierigkeiten, einen Arbeitsplatz zu finden. So sind 94 – 97 % der MST-Absolventen erwerbstätig. Bei den sonstigen Ingenieuren fällt die Summe mit maximal 92 % etwas geringer aus. Allgemein für Hochschulabsolventen wurden Zahlen von 76 – 85 % genannt (vgl. Grühn et al. 2002, S. 40).

Auf die Frage, welche Maßnahmen zur Vermeidung eines Ingenieurmangels angewendet werden sollten, werden von den Unternehmen insbesondere verstärkte Werbung an Universitäten und Schulen sowie die Einführung praxisnaher Studiengänge als wirksame Maßnahmen genannt (vgl. Tab. 2.2).

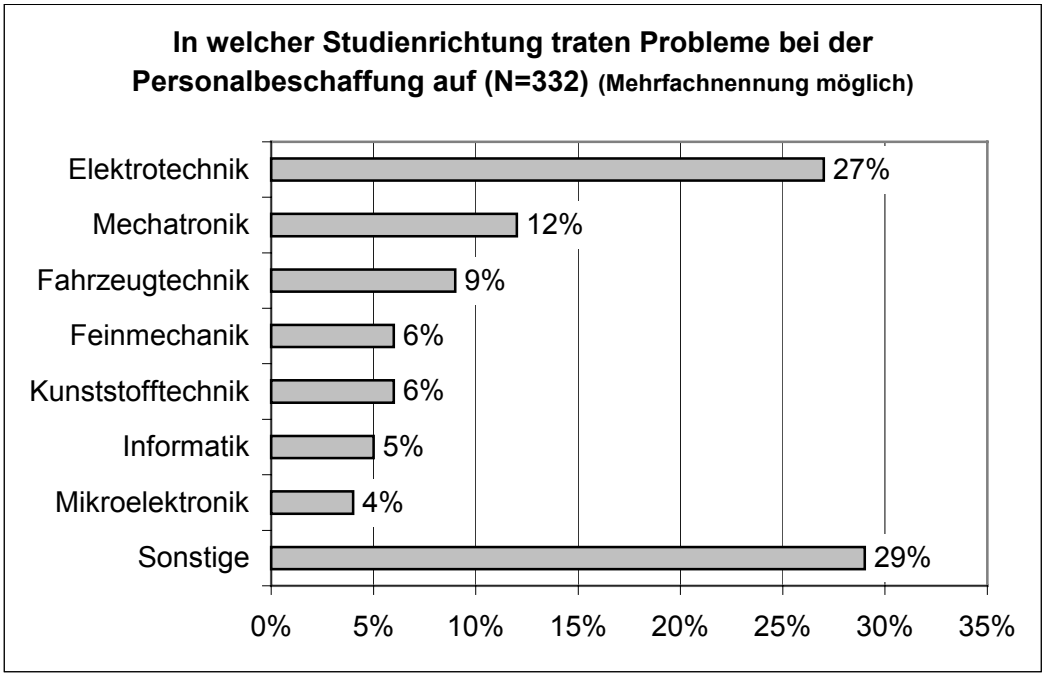


Abb. 2.9: Studienrichtungen, in denen Probleme bei der Personalbeschaffung auftraten (VDI 2004, S. 9, überarbeitet)

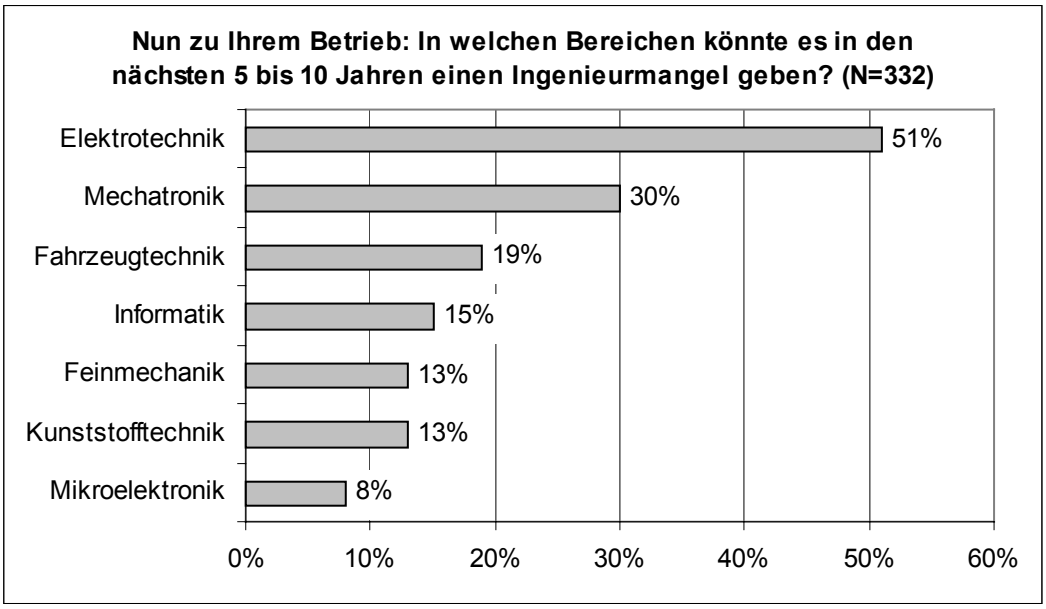


Abb. 2.10: Bereiche, in denen es in den nächsten 5 bis 10 Jahren einen Ingenieurmangel geben könnte (VDI 2004, S. 15, überarbeitet)

Tab. 2.2: Welche überbetrieblichen Maßnahmen könnten Ihrem Betrieb helfen, den zukünftigen Ingenieurmangel abzuwenden? (VDI 2004, S.8, überarbeitet)

	stimme eher zu	teils/ teils	lehne eher ab
Verstärkte Werbung für das Ingenieurstudium (N=285)	92 %	7 %	1 %
Einführung von praxisnahen Studiengängen (N=286)	80 %	13 %	6 %
Verkürzung der Studiendauer (N=283)	58 %	29 %	13 %

2.3 Aktueller Stand in der MST-Ausbildung

Die Ausbildung in der Mikrosystemtechnik ist als Studium an Hochschulen mit Haupt- oder Nebenfach Mikrosystemtechnik oder als betriebliche Ausbildung möglich. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Weiterbildungsangebote. Da es sich bei der Mikrosystemtechnik um ein sehr junges Arbeitsgebiet handelt, sind auch die Ausbildungsmöglichkeiten neu und teilweise im Aufbau begriffen. Insbesondere MST-Studiengänge wurden und werden an den Hochschulen neu eingerichtet. Eine Übersicht zu den MST-Angeboten ist in Abb. 2.11 zu sehen. Nach der Berufsverbleibstudie des BMBF gab es Mitte der 90er Jahre über 30 Angebote von Hochschulen und Ausbildungsverbänden und im Jahr 2002 sind über 50 Hochschulstandorte in die Ausbildung von MST-Ingenieuren einbezogen (vgl. Grühn et al. 2002, S. 9ff). Bis zum Sommer 2001 gab es nach dieser Studie bundesweit etwa 1130 MST-Absolventen. Zu den ersten Hochschulen, die entsprechende Studiengänge einrichteten, gehörten beispielsweise die Technische Universität Chemnitz (1987), die Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (1993) und die Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken (1995). Beispielhaft gaben einige Hochschulen folgende Zahlen für MST-Absolventen an (vgl. Tab. 2.3).

Noch deutlicher ist die erhebliche Zunahme der MST-Studierenden an den aktuellen Studierendenzahlen abzulesen. So hat sich beispielsweise an der Universität Chemnitz und der Fachhochschule Gelsenkirchen die Gesamtzahl der eingeschriebenen Studierenden vom Wintersemester[1] 2000/01 bis zum WS 2004/05 mehr als verdoppelt. Einige Beispiele zu aktuellen Studierendenzahlen sind der Abb. 2.12 und Anhang D zu entnehmen. Dabei werden an den Universitäten in der Regel Studienrichtungen innerhalb klassischer Studiengänge wie Elektrotechnik (TU Berlin, TU Darmstadt), Maschi-

[1] Nachfolgend werden Winter- und Sommersemester oft mit WS und SS abgekürzt.

nenbau (TU Braunschweig, Uni Hannover) oder Physik (Uni Kassel) und selten Vollstudiengänge (Uni Freiburg) angeboten. An den Fachhochschulen dagegen liegen mehr eigenständige Studiengänge (FH Furtwangen, FH Gelsenkirchen, FH Kaiserslautern) vor, zudem ist die MST-Ausbildung häufig in die Mechatronikstudiengänge (FH Aachen, FH Bochum, FH Heilbronn) integriert.

Abb. 2.11: Ausbildungslandschaft Mikrosystemtechnik – Ingenieure und Facharbeiter (Botthof 2000, überarbeitet)

Tab. 2.3: Anzahl von MST-Absolventen verschiedener Hochschulen bis Sommer 2001 (Grühn et al. 2002, S. 26, zusammengefasst)

Hochschule	MST-Absolventen
TU Chemnitz	193
FH Regensburg	174
TH Karlsruhe	170
FH Aachen/ Jülich	131
FH Furtwangen	87
TU Ilmenau	60
Universität Bremen	53
FH Esslingen	50
FHTW Berlin	50
FH Kaiserslautern/ Zweibrücken[1)]	*32*

[1)] Angabe wurde nach schriftlicher Mitteilung der Hochschule ergänzt.

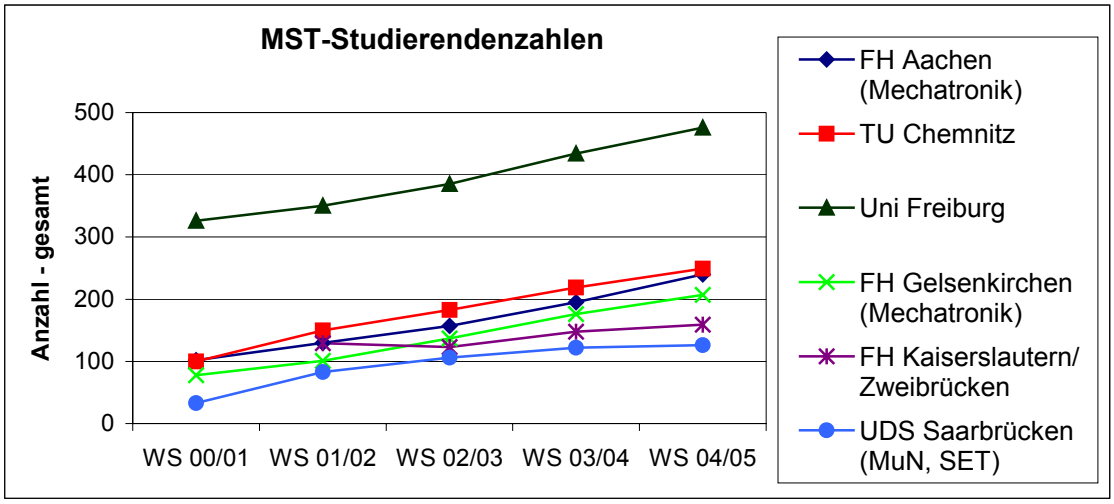


Abb. 2.12: Studierendenzahlen verschiedener Hochschulen im Vergleich (Studiengänge MuN = Mikro- und Nanostrukturen, SET = System- und Elektrotechnik)

Um einen besseren Überblick zu den MST-Angeboten an den Hochschulen zu erhalten und gleichzeitig das Interesse an praxisorientierten Laborkursen zu prüfen, wurde eine Befragung deutscher Hochschulen vorgenommen. Zu diesem Zweck wurde ein einseitiger Fragebogen entwickelt, mit dem sowohl die Studienangebote und die Infrastruktur (Räume und Geräte) wie auch das Interesse an Reinraumpraktika abgefragt wurden (vgl. Anhang D – Fragebogen und Ergebnisse zu den MST-Studienangeboten). Die Adressen der Hochschulen wurden seitens der Universität des Saarlandes und der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden 32 Universitäten, davon eine Universität mit zwei Fachbereichen, und 51 Fachhochschulen, davon drei Hochschulen mit zwei Standorten, angeschrieben. Zu den 86

verschickten Fragebögen gab es 52 Rückmeldungen, davon fielen 44 bezüglich der MST-Angebote positiv aus. Die Hochschulen gaben an, dass etwa die Hälfte der MST-Studienangebote aus einzelnen Lehrveranstaltungen besteht (vgl. Tab. 2.4). Nur acht Hochschulen bieten einen echten MST-Studiengang an, die übrigen 13 Hochschulen eine Studienrichtung. Dabei können die einzelnen Lehrveranstaltungen fast ausschließlich als Pflicht- oder Wahlpflichtfach und selten als reines Wahlfach belegt werden. Der Umfang der Studienangebote liegt für die einzelnen Lehrveranstaltungen häufig zwischen zwei und vier Semesterwochenstunden. Bei den Studienrichtungen beträgt er in der Regel bis zu 15 Semesterwochenstunden (vgl. Tab. 2.5).

Tab. 2.4: Art und Anzahl der Studienangebote

Frage 1: Gibt es an Ihrer Hochschule Studienangebote im Bereich „Mikrosystemtechnik“? Es gibt ein Studienangebot in Form... (Bezugsgröße N[1)] = 44)				
	Studiengang	Studienrichtung	Einzelne Lehrveranstaltung	Hochschule gesamt
Universitäten	1	8	8	17
Fachhochschulen	7	5	14	26
Angebot gesamt	8	13	22	43

[1)] Nachfolgend wird die Bezugsgröße nur mit „N“ angegeben. Eine Hochschule hat hierzu keine Angaben gemacht.

Tab. 2.5: Umfang der Studienangebote

Frage 1: Der Umfang des Studienangebotes beträgt ___ SWS[1)] (N[2)] = 29)			
	Studiengang	Studienrichtung	Einzelne Lehrveranstaltung
1 - 4 SWS	0	1	14
5 - 15 SWS	1	3	6
16 - 35 SWS	1	0	0
36 - 90 SWS	1	2	0

[1)] SWS = Semesterwochenstunden

[2)] Drei Hochschulen haben keine eindeutige bzw. nachvollziehbare Angabe gemacht.

Von den 44 Hochschulen gaben weiterhin 29 an, dass sie neben Vorlesungen/ Übungen auch Reinraumpraktika anbieten, wobei der Anteil an den Universitäten (Anzahl 16 von 17, damit 94 %) deutlich höher ist als an den Fachhochschulen (Anzahl 13 von 26, damit 50 %). Bei den Reinraumpraktika selbst wird die Infrastruktur der Labore meistens gleichzeitig für die Lehre und für F&E-Projekte genutzt. Nur vier Hochschulen besitzen eine gesonderte Infrastruktur für den Lehrbetrieb. Neun Hochschulen setzen ihre Reinräume speziell für die Forschung, hier insbesondere die Universitäten, die übrigen 11 Hochschulen gleichberechtigt für Forschung und Lehre ein (vgl. Tab. 2.6). Nach diesen Angaben engagieren sich die Fachhochschulen mehr am praktischen Lehrbetrieb und die Universitäten mehr im Forschungsbereich.

Tab. 2.6: Priorität der Infrastruktur von Reinraumlaboren

Frage 3: Mit welcher Infrastruktur (Räume und Geräte) führen Sie Ihre RR-Praktika durch? (N[1] = 29)			
	Lehre[2]	Forschung	Lehre und Forschung gleichberechtigt
Universitäten	2	8	6
Fachhochschulen	6	1	5
Gesamt	8	9	11

[1] Eine Hochschule hat hierzu keine Angaben gemacht.

[2] Summe aus gesonderter Infrastruktur für die Lehre (Anzahl 4) und gemischter Nutzung der Infrastruktur mit Priorität Lehre (Anzahl 4)

Die Praktika selbst werden unabhängig von der Hochschulform etwa zur Hälfte als Einzelveranstaltungen mit meistens wöchentlichen Terminen oder als Blockpraktikum durchgeführt. Die Anzahl der Einzelangebote beträgt zwischen zwei und 15 Tagen. Bei den Blockkursen werden in der Regel fünf Tage angesetzt (6 von 14 Hochschulen). Aber Angaben mit einem oder sogar acht Terminen wurden ebenfalls hierzu gemacht. Der zeitliche Umfang einer Einzelveranstaltung beträgt meistens drei bis vier Stunden. Bei den Blockpraktika liegt er zwischen drei und acht Stunden pro Tag. Die Anzahl der Studierenden, die an den Reinraumpraktika teilnehmen, schwankt sehr stark zwischen vier und 50 Teilnehmern. (vgl. Tab. 2.7). In der Regel handelt es sich um Gruppengrößen von 10 bis 15 Kandidaten. Etwa 2/3 der Lernenden wird mit gesonderten Unterlagen auf die anstehenden Praktika vorbereitet, wobei die Vorbereitung meistens mit speziellem Unterrichtsmaterial wie beispielsweise Praktikumsskripten (90 %) und teilweise oder zusätzlich mit Lehrbüchern (37 %) erfolgt.

An der Nutzung des Reinraumlabors der Partner-Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, das speziell für die Lehre zur Verfügung steht, waren etwa 20 % der befragten Hochschulen interessiert. Als Gründe für eine Absage wurden vor allem die Entfernung nach Zweibrücken oder die selbst vorhandene und gute Infrastruktur angegeben.

Tab. 2.7: Anzahl der Studierenden an den Reinraumpraktika

Frage 5: Wie viele Studierende nehmen an dem RR-Praktikum teil? (N[1] = 29)			
	Universitäten	Fachhochschulen	Hochschulen gesamt
Anzahl 1 - 9	1	1	2
Anzahl 10 - 15	10	5	15
Anzahl 16 - 30	2	4	6
Anzahl 31 - 50	1	2	3

[1] Drei Hochschulen haben hierzu keine Angaben gemacht.

3 Konzept zur Entwicklung neuer Technologiepraktika in der Mikrosystemtechnik

3.1 Idee zur Entwicklung der Technologiepraktika

Die Ausbildung im Hochtechnologie-Bereich Mikrosystemtechnik ist gekennzeichnet durch verschiedene Probleme. Die in der Mikrosystemtechnik eingesetzten Maschinen sind meistens sehr teure und komplexe Anlagen. So müssen beispielsweise für die Errichtung neuer Reinraumlabore Kosten von über 10 Mio. € aufgebracht werden. Die puren Betriebskosten ohne Personal belaufen sich auf etwa 0,5 – 1 Mio. € pro Jahr (vgl. Tab. 3.1 und Abb. 3.1). Ähnliches gilt für die durchgeführten Fertigungsprozesse, die ebenfalls sehr komplex sind und nur unter hohem finanziellen Aufwand durchgeführt werden können. Dabei bauen die einzelnen Verfahrensschritte aufeinander auf, so dass jeder Prozessschritt präzise und reproduzierbar durchgeführt werden muss. Die Unterbrechung einer laufenden Fertigungskette für Ausbildungszwecke ist aus wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten fast nie möglich. Praktika können daher nicht mit und an bestehenden Fertigungsreihen, sondern nur in verkürzten, speziellen Ausbildungslinien, durchgeführt werden. Aufgrund der hohen Anschaffungs- und Betriebskosten sind aber selbst solche kleineren Ausbildungslinien für einzelne Unternehmen und Hochschulen in der Regel zu teuer. Echte praxisorientierte MST-Laborkurse (Hands-on-Kurse) sind daher in Unternehmen sowie an Hochschulen eher selten. Die Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken beispielsweise, wo ein Reinraumlabor unter anderem für Lehrzwecke zur Verfügung steht, ermöglicht ein solches Kursangebot.

Das geringe Angebot an Reinraumlaboren für Ausbildungszwecke, die sehr zeit- und kostenintensive Betreuung solcher Laborpraktika und die selektierten Ausbildungsorte führen gerade auch bei den Ingenieuren zu einer mehr allgemein ausgerichteten Hochschulausbildung. Diese beschränkt sich größtenteils auf theoretische Darstellungen, Erklärungen anhand von Beispielen sowie Videos zu Herstellungsprozessen und Fertigungsanlagen. Eigenständiges Arbeiten an echten Maschinen sowie das Anfertigen mikrotechnischer Bauteile bilden in der praktischen Hochschulausbildung Ausnahmen. Dadurch sind Studierende nur gering auf den Umgang mit den komplexen Reinraummaschinen für Laborpraktika und später für Unternehmen vorbereitet, müssen sich während der Praktika überwiegend mit der konkreten Bedienung der Anlagen auseinander setzen, erfahren im Rahmen ihrer Ausbildung relativ wenig über die realen Prozesse und können ihr Prozessverständnis nicht intensivieren. Zusätzlich besteht

die Gefahr, dass während der Laborkurse die wertvollen Maschinen beschädigt werden und so weitere Kosten für Reparaturen entstehen. Die Industrie hingegen benötigt Ingenieure, die das notwendige technische Hintergrundwissen und entsprechende praktische Erfahrungen mitbringen, so dass sich diese schnell einarbeiten können, ohne zusätzliches Labormaterial zu verbrauchen oder teure Anlagen zu zerstören.

Tab. 3.1: Finanzieller Aufwand und Kosten bei Betrieb und Errichtung des Reinraumlabors Zweibrücken (Picard 2003, Folie 58, überarbeitet)

Bisherige Investitionen	ca. 16 Mio €
Gebäude und Infrastruktur, Geräte, Aufbau	
Notwendige finanzielle Grundausstattung pro Jahr	ca. 700 T €
Aktivitätsabhängige Kosten	
• Lehre/ Prozesseinführung für Lehre	ca. 47 T €
Fixkosten	
• Erhaltungs- und Bereitstellungskosten	ca. 70 T €
• Personalgrundausstattung (MST-Labore)	ca. 280 T €
• Energiekosten und Medienversorgung (Klimatisierung Reinraum)	ca. 300 T €

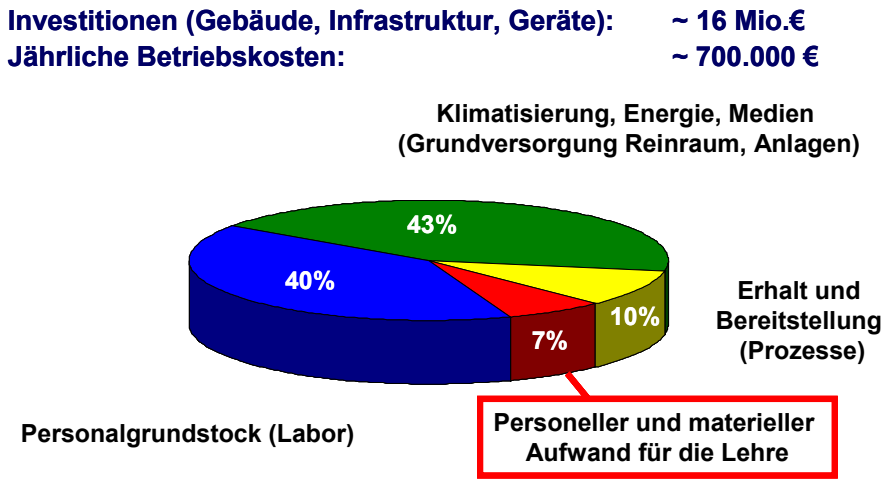


Abb. 3.1: Kosten und notwendige Grundausstattung (Picard 2003, Folie 59, überarbeitet)

Die Durchführung der technologisch orientierten Praktika ist mit weiteren Schwierigkeiten verbunden. Für derartige Reinraumpraktika steht meistens nur ein sehr begrenzter Zeitraum zur Verfügung, da die Labore zum einen von vielen Personen genutzt werden und zum anderen ein Praktikum nur mit einer bestimmten Semesterstundenzahl vorgeschrieben ist. Dennoch sollte innerhalb dieses Zeitraumes eine annähernd geschlossene Prozesskette von den Lernenden selbst durchgeführt werden, weil damit für das Verständnis einer prozessbasierten Technologie ein erheblich größerer Lerneffekt verbunden ist. Dies ist wiederum nur möglich, wenn die Teilnehmer optimal vorbereitet in

den Reinraum kommen, sie also neben einer gründlichen theoretischen Vorbildung auch schon möglichst viel über die Maschinen und ihre Bedienung wissen.

An dieser Stelle entstand die Idee des virtuellen Technologielabors mit dem Entschluss, neue MST-Laborpraktika nach dem Blended-Learning-Konzept[1] aufzubauen (vgl. Heger, M. & Kock, W. 2004, S. 1ff), um die Ausbildung insbesondere im praktischen Bereich zu fördern und das Verständnis für Prozesse und Fertigungsschritte zu vertiefen (vgl. Kämper et al. 2003; Merten et al. 2003b; Picard et al. 2004). Die Verbesserung soll mittels der Kombination eines virtuellen Labors, das den realen Reinraum wieder gibt, und eines anschließenden realen Laborkurses erreicht werden. Zugleich besteht der Anspruch, die wenigen Ausbildungsorte einer möglichst großen Gruppe von Lernenden zugänglich zu machen und die verschiedenen Probleme wie komplexe Anlagen und Prozesse, hohe Kosten oder geringe Verfügbarkeit realer Fertigungsanlagen zumindest teilweise zu lösen. Damit stellen sich zwei zentrale Fragen: Wie muss das virtuelle Labor unter didaktischen und technischen Gesichtspunkten aufgebaut sein, damit Lernende optimal für reale Hands-on-Kurse geschult werden und vorbereitet sind? Wie müssen die anschließenden Reinraumpraktika innerhalb der Rahmenbedingungen der Hochschulen durchgeführt werden, um die Vorkenntnisse der Teilnehmer optimal zu nutzen und möglichst hohe Lernerfolge zu erzielen?

Dabei soll das virtuelle Labor überwiegend aus Computersimulationen der im Reinraum vorhandenen Fertigungsmaschinen, zugehörigen Anleitungen sowie Demonstrationsbeispielen, Videosequenzen und Erläuterungen zum theoretischen Hintergrund bestehen (vgl. Merten et al. 2003c). Mit diesen Inhalten[2] sollen die Praktikumsteilnehmer die theoretischen Zusammenhänge und die Reaktionsweisen der Anlagen begreifen und gleichzeitig das Bedienen der Maschinen lernen. Der reale Reinraum wird in seiner Gesamtheit als virtuelles Labor abgebildet, wobei die Simulationen eine mehr oder weniger abstrahierte Maschinenoberfläche besitzen. Diese erlauben das gefahrlose Kennenlernen der komplexen Anlagen, das Ausprobieren unterschiedlicher Fertigungsparameter und das Testen ihres gegenseitigen Zusammenwirkens, ohne hohe Kosten zu verursachen oder die kostspieligen Anlagen zu beschädigen. Bei den Technologiepraktika steht dabei nicht allein das Zurechtfinden der Lernenden an den realen Anlagen im Vordergrund, genauso wichtig ist das Verstehen der zugrunde liegenden prozesstechnischen Zusammenhänge, die über diese Art der Vorbereitung ebenfalls vertieft werden sollen.

---

[1] Mischung verschiedener Lernstrategien; z. B. Kombination aus computergestütztem Lernen und Präsenzphasen

[2] Der Begriff Inhalte umfasst sämtliche Dokumente und Programme in elektronischer und gedruckter Version, mit denen ein Lernender arbeiten und sich vorbereiten kann (Text, Bilder, Videos, interaktive Animationen usw.).

3.2 Zielgruppen

Der Aufbau des virtuellen Labors und das Erstellen der Inhalte wie auch die Durchführung der unterschiedlichen Reinraumpraktika müssen auf definierte Zielgruppen ausgerichtet werden. Die Lernangebote sollten sich dabei „an überdauernden und aktuellen Merkmalen der Lernenden orientieren“ (Kerres 2001, S. 135). „Zunächst sind die Zielgruppe und die Lehrinhalte und -ziele zu bestimmen, bevor die didaktisch-methodischen Entscheidungen und die Fragen der Lernorganisation spezifiziert werden können“ (Kerres 1999, S. 11). Da es sich beim virtuellen Labor um ein multimediales Lernarrangement handelt, sollte es gerade dort angeboten werden, wo „neue Zielgruppen gewonnen werden können, für die bislang kein adäquates Lernangebot existiert“ oder wo „neue Zielgruppen mit neuen Lernsituationen angesprochen werden können“ (Kerres 2001, S. 144). Die geplanten Technologiepraktika behandeln inhaltlich komplexe Themen der Mikrosystemtechnik und sind auf die Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren ausgerichtet, so dass es zwei verschiedene Zielgruppen gibt. Eine Zielgruppe besteht aus Studierenden des Fachgebietes Mikrosystemtechnik. Zur zweiten Zielgruppe gehören Ingenieure aus der Industrie mit mikrosystemtechnischer Ausrichtung, die bereits über eine abgeschlossene Ausbildung verfügen. Beide Zielgruppen sind für die mediendidaktische Aufbereitung der Lerninhalte näher zu charakterisieren. Zu den Merkmalen von Zielgruppen gehören nach Kerres soziodemographische Merkmale (Benutzergruppe, Gruppengröße, Abschluss der Lernenden etc.), Vorwissen, Lernmotivation, Lerngewohnheit, Lerndauer, Lernort und Medienzugang (vgl. Kerres 2001, S. 138ff; Kerres 1999, S. 12).

Die Personen der ersten Zielgruppe „Studierende der Mikrosystemtechnik“ kommen von verschiedenen Hochschulen, haben in der Regel ein abgeschlossenes Vordiplom und einen Studiengang oder ein Pflicht-, Wahlplicht- oder Wahlfach der Mikrosystemtechnik (beispielsweise Mikrotechnik) belegt. Dadurch bringt diese Zielgruppe eine gute Vorbildung für das Reinraumpraktikum und das virtuelle Labor mit. Ihre Motivation ist häufig intrinsischer Art, das heißt sie lernen aus Interesse, und selten extrinsischer Natur, zum Beispiel um eine Prüfung abzulegen. Damit gekoppelt ist auch eine höhere Bereitschaft für eine längere Lerndauer. Über die Lerngewohnheiten dieser Zielgruppe können keine einheitlichen Aussagen getroffen werden. Als Lernorte für das virtuelle Labor kommen die jeweilige Hochschule der Studierenden sowie der private PC in Frage. Das Reinraumpraktikum ist an den entsprechenden Standort des Reinraumlabors gebunden. Untersuchungen zur technischen Ausstattung im Rahmen des Projektes INGMEDIA haben ergeben, dass Studierende zu Hause relativ moderne Computer einsetzen und über einen Internetzugang verfügen. Untersuchungsgruppen zu dieser Zielgruppe existieren bereits (Fachhochschule Aachen, Universität des Saarlandes). An der Fachhochschule Aachen wird der Studiengang „Mechatronik“ mit den Fächern „Mikrotechnik I“ und „Mikrotechnik II“ angeboten. An der Universität des Saarlandes gibt es die Studienrichtung „Mikrosystemtechnik“ in den Studiengängen „System- und

Elektrotechnik“ (SET), „Mikro- und Nanostrukturen“ (seit SS 2001) und „Mechatronik“ (seit WS 2004/05), der den Studiengang SET abgelöst hat. Die Erweiterung der beiden Untersuchungsgruppen mit Studierenden anderer Hochschulen konnte aufgrund personeller und finanzieller Ressourcen in den bisherigen Projekten noch nicht realisiert werden, ist jedoch zukünftig geplant.

Die zweite Zielgruppe der „Industrie-Ingenieure“ besitzt wesentlich andere Merkmale. Diese Gruppe hat bereits eine Ausbildung abgeschlossen und Berufserfahrung gewonnen. Die einzelnen Mitglieder sollen sich aus betrieblichen Gründen weiterbilden. Die Teilnehmer arbeiten an verschiedenen Orten innerhalb der Bundesrepublik und haben sehr unterschiedliche Vorkenntnisse. Für diese Zielgruppe ist daher eine andere Gestaltung der Kurse und Schulungsmaterialien erforderlich als für Studierende. Da bisher nur geringe Kontakte zur zweiten Zielgruppe existieren und die Kurse aus didaktischer Sicht anders orientiert sein müssen, besitzt die Gruppe der Ingenieure eine geringere Priorität. Sie wird bei der Entwicklung der neuen Technologiepraktika und den durchgeführten Untersuchungen vorerst nicht berücksichtigt. Der Schwerpunkt beim Aufbau der Laborpraktika und bei den Untersuchungen wird auf die erste Zielgruppe „Studierende der Mikrosystemtechnik“ gelegt.

3.3 Lehr- und Lernziele

Die Inhalte der Technologiepraktika sollen möglichst optimal auf die zuvor definierte Zielgruppe ausgerichtet sein. Der Ablauf der Praktika und die Aufgabenstellungen sollen die Lernenden zu handlungsorientiertem Lernen nach der Leittextmethode von Schelten veranlassen. Diese besteht aus den sechs Aspekten Information, Planung, Entscheidung, Ausführung, Kontrolle und Bewertung (Schelten 1987, S. 128). Die „Information“ beschreibt, was getan werden soll, und gibt damit die Lernziele und Aufgabenstellungen wieder. Bei der „Planung“ wird die Frage nach dem Vorgehen zur Lösung der Aufgaben gestellt. Die „Entscheidung“ für ein bestimmtes Vorgehen führt bei den Lernenden zur „Ausführung“ einer Handlung, die unter Betreuung nur durch minimale Hilfestellungen begleitet wird. Nach der Ausführung folgen die „Kontrolle“ und „Bewertung“ des Ergebnisses durch die Lernenden; gefragt wird nach den Vorgängen, die das nächste Mal verbessert werden müssen. Durch diese Vorgehensweise sollen bei den Lernenden „…Fähigkeiten zu kreativer Problemlösung, zur Planung, Durchführung und Kontrolle sowie zu kooperativer Teamarbeit gefördert werden…“ (Michelsen & Hansmann 1993, S. 4).

Im Technologiepraktikum wird ein mikrotechnisches Bauteil in einem exemplarischen Fertigungsverfahren erzeugt (vgl. Kap. 4.1: Exemplarischer Fertigungsprozess Drucksensor). Durch das Aneinanderreihen verschiedener Teilprozesse werden mikrotech-

nische Einzelteile wie beispielsweise ein Drucksensor im Reinraum hergestellt. Solche Fertigungsketten werden mit verschiedenen Anlagen durchgeführt, bei denen jeder einzelne Prozessschritt auf den vorherigen aufbaut. Die bei den jeweiligen Teilprozessen eingesetzten Maschinen sollen als einzelne Schulungseinheiten oder Lernmodule medientechnisch für das virtuelle Labor aufbereitet werden.

Im virtuellen Labor implementierte Videoaufnahmen zur korrekten Maschinenbedienung unterstützen die virtuellen Maschinen im manuellen Bedienbereich, der häufig nur schwer durch echte Simulationen zu realisieren ist. Sie werden bevorzugt für die Wiedergabe manueller Eingriffe eingesetzt und verdeutlichen das Arbeiten an den realen Anlagen. Kohler schreibt zu videobasierten Lernsequenzen: „Sie... bieten auch größere Mengen an Informationen in noch übersichtlicher Weise an und machen auf diese Weise Komplexität handhabbar. Auch ermöglichen sie ein multiples Kodieren der Informationen im Gedächtnis, was zu einer höheren Verstehensleistung und zu einer besseren Reproduktion führen soll.“ (Kohler 2001, S. 101).

Anhand des speziellen Herstellungsprozesses sollen die Lernenden transferfähige Kompetenzen erwerben, die auf andere Prozesse, Fertigungsverfahren und Maschinen übertragbar sind. Zu diesen Kompetenzen zählen im Reinraum das Kennen von notwendigen Sicherheitsregeln und -maßnahmen, sauberes Arbeiten sowie ein sicherer Umgang mit Chemikalien. Auf die Anlagen bezogen gehören dazu ein schnelles Einarbeiten, das Wissen um wesentliche Baugruppen einer Anlage und deren Funktionsweise sowie eine relativ eigenständige Bedienung der Maschinen. Bezogen auf die Prozesse soll den Lernenden vermittelt werden, welche wesentlichen Parameter zu einem Prozess gehören, wie diese sich gegenseitig beeinflussen, wie ein Prozess sich in Haupt- und Teilprozesse gliedert und diese wiederum aufeinander einwirken. Weiterhin sollen die Lernenden notwendige Messgeräte kennen und auf die jeweiligen Prozesse bezogen einsetzen können. Aus diesen geforderten Kompetenzen lassen sich die Lehr-Lernziele und wichtige Mittel zum Erreichen der Lernziele ableiten, die ausführlicher in Tab. 3.2 und Tab. 3.3 aufgelistet sind.

Die gewünschten Zielvorstellungen, die durch die Technologiepraktika erreicht werden sollen, wurden zunächst als Lehrziele (Vorgaben der Lehrenden) gesammelt und anschließend in Lernziele (Vorgaben für Lernende) transformiert (Bruchmüller & Haug 2001, S. 25ff). Bei den Lernzielen gibt es zwei grundsätzliche Schwerpunkte. Zum einen spielt der Erwerb von Prozessverständnis eine wesentliche Rolle, zum anderen der Gewinn von Fertigkeiten zur Anlagenbedienung. Bezogen auf die Maschinenbedienung besteht das vorrangige Ziel darin, dass die Lernenden mehr Sicherheit und Eigenständigkeit entwickeln, aber nicht völlig eigenständig ohne Betreuer agieren. Die Fähigkeit uneingeschränkter Selbständigkeit können weder die Vorbereitung mit dem virtuellen Labor noch das reale Reinraumlabor leisten. Damit wird die von Kerres vorgeschlagene „Orientierung an der zukünftigen Tätigkeit“ und am „Sachinhalt“ aufgegriffen und durch folgende Zielbeschreibungen konkretisiert: „Anwendbarkeit von erlerntem Wissen... Fokussierung auf praktische Fertigkeiten, methodisches Vorge-

hen... Förderung ganzheitlichen Denkens... Verstehen grundlegender Begriffe, Konzepte und Prozeduren... Fokussierung der Vermittlung auf Kenntnisse...“ (Kerres 2001, S. 152). Die Lernziele selbst decken die drei auf Bloom und Krathwohl (vgl. Bloom et al. 1972, S. 18ff; Krathwohl et al. 1975, S. 6ff; Kerres 1999, S. 12; Martens 1984, S. 62) zurückgehenden Lernzieldimensionen der Didaktik ab: den kognitiven (Faktenwissen, intellektuelle Fertigkeiten), den affektiven (Einstellungen, Werthaltungen und Interessen) und den psychomotorischen Lernzielbereich (Bewegungsabläufe, motorische Fertigkeiten).

Tab. 3.2: Lehr-Lernziele für Studierende

Erwerb von Grundlagen zu verschiedenen Hauptprozessen
• Den jeweiligen Hauptprozess betreffend die wesentlichen Teilprozesse kennen und deren gegenseitige Einflussnahme verstehen
Erwerb von Grundlagen zu verschiedenen Teilprozessen
• Den jeweiligen Teilprozess betreffend die wesentlichen Einflussgrößen überblicken und um deren wechselseitige Einflussnahme wissen • Verfahren zur Qualitätskontrolle kennen
Erwerb von Grundlagen zu einem exemplarischen Fertigungsprozess
• Ein tiefergehendes Verständnis für Fertigungsprozesse im Allgemeinen und für den exemplarischen Fertigungsprozess im Speziellen erwerben • Die Haupt- und Teilprozesse des exemplarischen Fertigungsprozesses erfassen • Gegenseitige Einflussnahme von Prozessparametern maschinenübergreifend erkennen und verstehen • Verfahren zur Qualitätskontrolle und Einsatz von Messgeräten für den gesamten Fertigungsprozess präsent haben
Erwerb von Fertigkeiten zur Bedienung realer Fertigungsanlagen im Reinraumlabor
• Wesentliche Komponenten und Funktionsweisen realer Anlagen kennen • Wesentliche manuelle Bedienvorgänge an den realen Anlagen beherrschen • Unterschiede zwischen virtuellen und realen Anlagen verstehen • Durch Training an virtuellen Maschinen und Wiedererkennungseffekte an den realen Anlagen eine schnelle Einarbeitung erreichen • Einen sicheren und relativ eigenständigen Umgang mit den realen Anlagen fördern • Die wesentlichen Parameter eines Teilprozesses unterscheiden und diese korrekt einstellen können • Bedienfehlern vorbeugen, die zu einer Personengefährdung oder Maschinenbeschädigung führen • Transfer des Gelernten auf die Bedienung gleichwertiger Fertigungsanlagen ähnlichen Typs erleichtern

Tab. 3.3: Wichtige Mittel[1)] zum Erreichen der Lehr-Lernziele für Studierende

Inhalte und Lehrmaterialien
• Didaktisch aufbereitete Inhalte zur Verfügung stellen • Verschiedene Medien einsetzen (Text, Sprache, Skizzen, Bilder, Videos usw.) • Reale Zusammenhänge möglichst wirklichkeitsgetreu wiedergeben • Vereinfachungen beim Entwickeln der virtuellen Maschinen vornehmen, welche reale Beziehungen nicht verfälschen, aber gleichzeitig das Lernen erleichtern • Rückmeldungen seitens der Lernprogramme einplanen
Betreuung
• Betreute virtuelle und reale Praktika anbieten • Interaktionen und Feedback zwischen Lehrenden und Lernenden aufbauen
Verfügbarkeit
• Das virtuelle Labor möglichst orts- und zeitunabhängig zur Verfügung stellen
Aufgaben und Tests
• Bearbeiten und Lösen von maschinenspezifischen Aufgaben im realen und virtuellen Labor vorsehen • Zugangstests für die virtuellen Maschinen einplanen • Selbsttests zur Wissensüberprüfung anbieten • Abgabe eines Praktikumsberichtes einfordern

[1)] Die Tabelle erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit bezüglich der erforderlichen Mittel zum Erreichen der angestrebten Lernziele.

Der kognitive Lernzielbereich ist gekennzeichnet durch zunehmende Komplexität, die in der ersten Stufe von „Wissen“ oder „Kenntnissen“ über komplexere Stufen der „Anwendung“ und „Analyse“ bis hin zur „Beurteilung“ reicht. Im affektiven Bereich nimmt der Grad der Verinnerlichung zu, der bei der „Wertbeachtung“ oder „Kenntnisnahme eines Wertes“ anfängt und bei einer echten „Wertverinnerlichung“ endet. Beim motorischen Lernzielbereich schließlich besteht die unterste Stufe in der „Imitation“ und damit Nachahmung einer Handlung. Mit jeder Stufe wird zunehmend der Grad der Koordination bis zur „Naturalisierung“ erhöht, bei der Handlungen quasi automatisch ausgeführt werden können.

Corte geht näher auf die Problematik ein, die beim Aufstellen und Formulieren von Lernzielen existiert. Er unterscheidet vier verschiedene Problembereiche, denen auch die für die Technologiepraktika aufgestellten Lernziele unterworfen sind. Die erste Schwierigkeit besteht im „Sammeln der Zielsetzungen“ (Inventarisierungsproblem). Als Zweites nennt er die Formulierungsproblematik, die sich sowohl auf die „Ausdrucksformen“ wie auch die „Eindeutigkeit der Umschreibung erstreckt“. Als „Klassifikationsproblem“ umschreibt er das „Einordnen der Lernziele“ in ein Schema und mit dem „Wertungsproblem“ fragt er nach ihrer Gültigkeit (Corte 1974, S. 12ff). Bei den in Tab.

3.2 aufgeführten Lernzielen handelt es sich um „didaktisch wünschenswerte“ Lernziele. Sie folgen, bezogen auf das Inventarisierungsproblem, dem „Ordnungsgesichtspunkt *didaktische Sequenz*“. Damit ist gemeint, dass die „Zielsetzungen in der Reihenfolge, wie sie bevorzugt gelehrt werden“ geordnet sind. Unter dem Aspekt der Klassifizierung werden sie nach „Lehrinhalt“ und nach „Verhalten“ schematisiert. Bei den formulierten Lernzielen ist zu beachten, dass sie untereinander verknüpft sind. So ist das Kennen von Prozessparametern sowohl für den theoretischen Hintergrund wie auch für die Maschinenbedienung gleichermaßen wichtig. Die Lernziele sind, soweit es die unterschiedlichen Lerneinheiten zulassen, möglichst konkret formuliert und damit an eher spezifische Lehr- und Lerninhalte gebunden. Durch das Vermitteln transferfähiger Kompetenzen werden die Lernenden befähigt, ihre gewonnenen Kenntnisse und Fertigkeiten auf andere Prozesse oder Maschinen zu übertragen.

4 Aufbau der Technologiepraktika

4.1 Exemplarischer Fertigungsprozess Drucksensor

In Reinraumlaboren werden verschiedene mikrotechnische Bauteile hergestellt, wobei eine Vielzahl von Maschinen eingesetzt wird. Die Durchführung einer einzelnen Prozesskette benötigt viel Zeit, daher können komplexere industrielle Fertigungsverfahren in einem Laborpraktikum in der Regel nicht behandelt werden. Um den Lernenden trotzdem die Möglichkeit zu geben, weitestgehend selbständig ein komplettes Bauteil in einem geschlossenen Verfahren herzustellen, wurde eine relativ einfache Fertigungskette ausgewählt. Dieser exemplarische Herstellungsprozess, in dem ein Drucksensor erzeugt wird, entspricht einem „lehrzeitreduzierenden Exemplum“ (vgl. Michelsen 1991, S. 499ff; Michelsen 1989, S. 165) und folgt dem Prinzip der „didaktischen Reduktion“ (vgl. Michelsen 1993, S. 12ff), bei denen bevorzugt Lehrinhalte verwendet werden, „von denen ein positiver Lehrtransfer erwartet werden kann“ (Kerres 2001, S. 150). Aber schon für diesen relativ einfachen Fertigungsprozess sind über 20 Maschinen notwendig, die von den Teilnehmern während des Praktikums wenigstens einmal bedient werden.

Die eingesetzten Anlagen stehen stellvertretend für typische Maschinen, die bei der Herstellung unterschiedlicher mikrotechnischer Komponenten (beispielsweise Sensoren, Aktoren) eingesetzt werden. Ziel dabei ist, den Praktikanten eine „Grundbildung“ (Michelsen 1989, S. 148) zur Funktionalität der unterschiedlichen Maschinen und zur Abfolge von Teilprozessen zu geben. Um die Lernenden darüber hinaus intensiver mit der Messtechnik und der Qualitätssicherung vertraut zu machen und sie ergänzend an weitere charakteristische Anlagen heranzuführen, wurden zusätzliche Aufgaben mit Messgeräten (beispielsweise Ellipsometer, Film Thickness Probe) in Anlehnung an die gewerbliche Fabrikation in das Herstellungsverfahren integriert. Das Anfertigen des relativ einfachen exemplarischen Drucksensors erlaubt dabei das Lernen von Fertigkeiten und das Vermitteln von Verständnis für ein vollständiges Herstellungsverfahren, indem typische Maschinen innerhalb einer vertretbaren Praktikumszeit eingesetzt werden. Der in Zweibrücken gefertigte Drucksensor (vgl. Abb. 4.1) sowie ein Prinzipschnitt durch diesen (vgl. Abb. 4.2) sind in den beiden folgenden Abbildungen zu sehen.

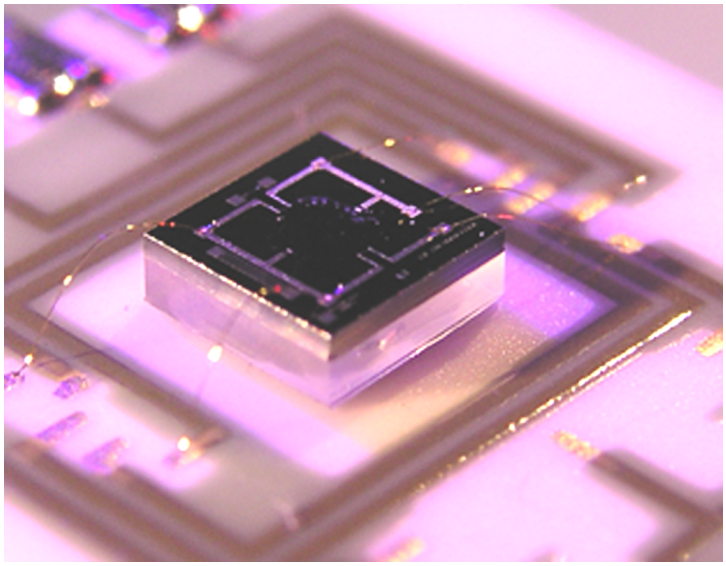


Abb. 4.1: Drucksensor, in Zweibrücken gefertigt (Picard 2004)

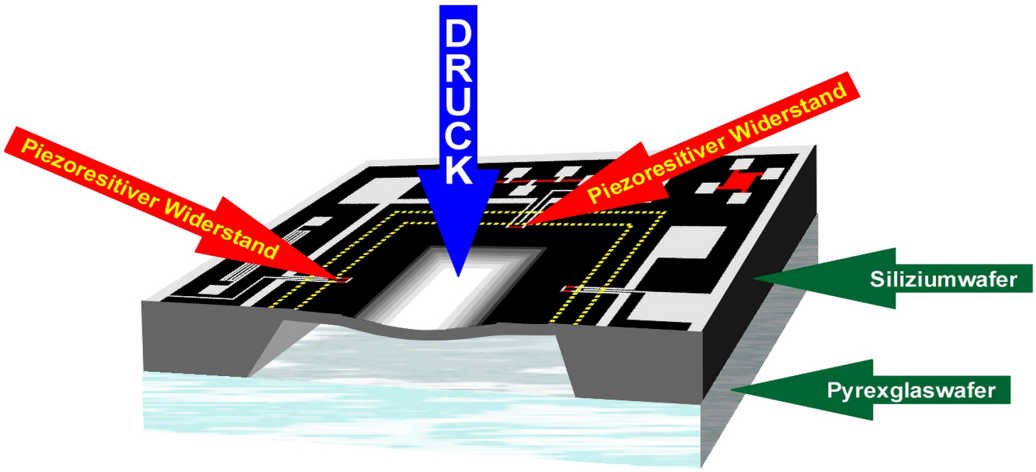


Abb. 4.2: Schnitt durch einen Drucksensor (Kolbe 2002, S. 6)

Mit dem fertigen Drucksensor können absolute Drücke bis zu 7 bar gemessen werden. Die dünne n-dotierte Siliziummembran des Sensors von etwa 30 - 50 µm (zum Vergleich: bei der industriellen Fertigung sind Schwankungen der Membrandicke von nur ± 1 µm vertretbar) verbiegt sich bei Druckänderungen. Das Verbiegen der Membran erzeugt an ihren Rändern eine mechanische Spannung, die über vier piezoresistive Widerstände in ein elektrisches Signal umgewandelt wird und nun als Messwert abgegriffen werden kann. Die Lage der Widerstände, der Teststrukturen und der Bondpads zum Kontaktieren des Sensors sind in Abb. 4.3 zu sehen.

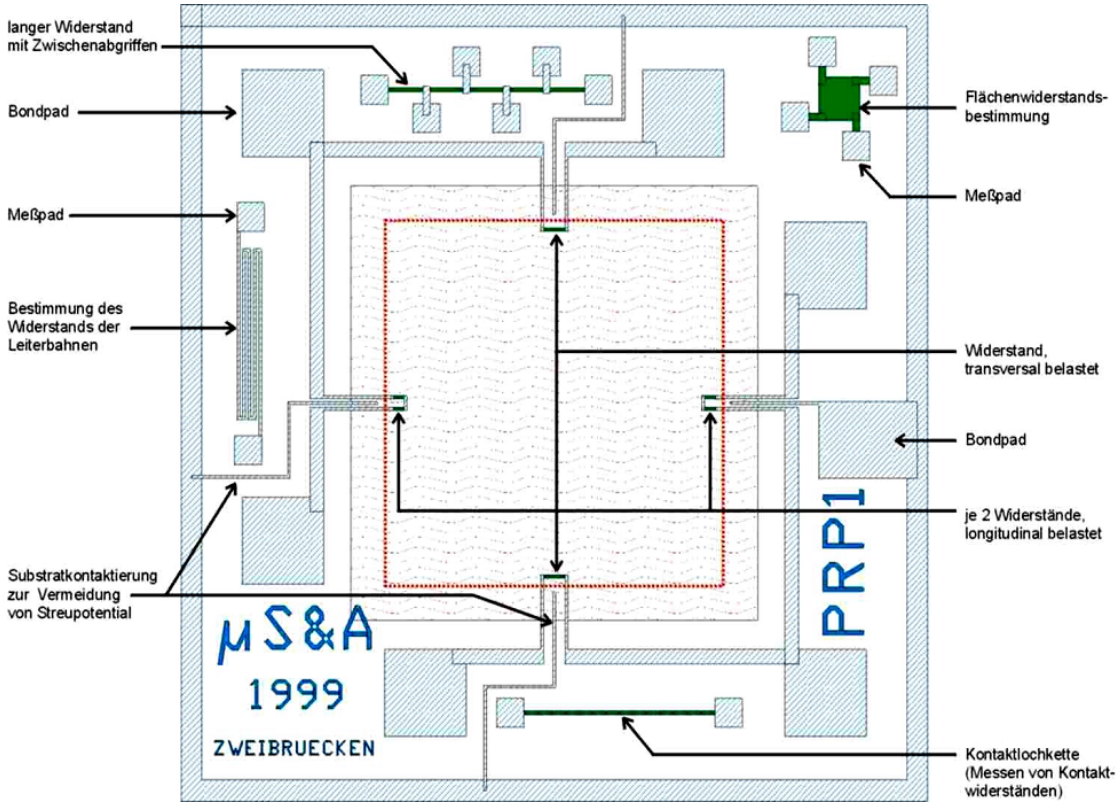


Abb. 4.3: Maskenlayout[1] zum Aufbau des exemplarischen Drucksensors, frühere Entwicklungsstufe (Picard 2004)

Der im Lehrlabor hergestellte Drucksensor unterscheidet sich von der echten Produktion dadurch, dass für Industrie-Sensoren erheblich aufwendigere Teilprozesse durchgeführt werden müssen und mit einer weitaus höheren Reproduzierbarkeit gearbeitet wird. Die Bauteile an sich sind damit wesentlich komplizierter in ihrem Aufbau trotz ähnlicher Eigenschaften.

Der Querschnitt eines industriell erzeugten Sensors und der schematische Aufbau eines piezoresistiven Drucksensors sind in Abb. 4.4 und Abb. 4.5 dargestellt. Bei der letzten Grafik werden die verschiedenen Schichtdicken (beispielsweise Aluminiumleiterbahnen) und die Größe der piezoresistiven Widerstände im Vergleich zur Membrangröße nicht maßstabsgerecht wiedergegeben.

[1] Entwurf einer Mikrostruktur über einzelne Strukturebenen (Masken)

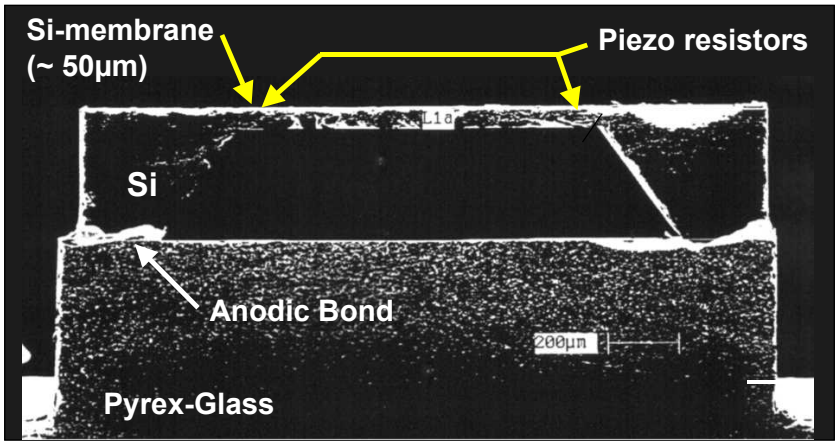


Abb. 4.4: Querschnitt durch einen piezoresistiven Drucksensor der Firma AMG (AMG 2005), REM-Aufnahme (Picard 2004)

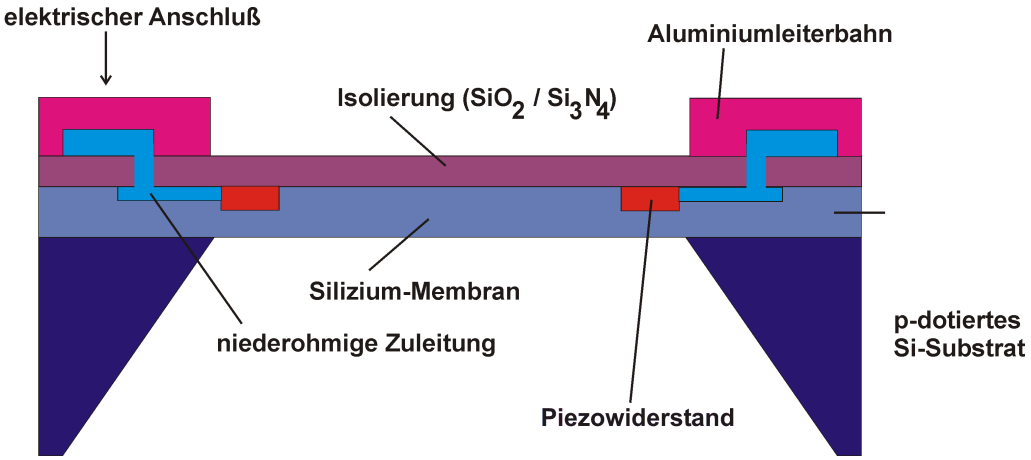


Abb. 4.5: Prinzipieller Aufbau eines piezoresistiven Drucksensors (Elbel 1996, S. 97, überarbeitet)

Die Herstellung des Drucksensors gliedert sich insgesamt in sechs Hauptprozesse, die nacheinander abgearbeitet werden (vgl. Abb. 4.6). Trotz dieser einfachen Struktur ist der Gesamtprozess mit den vielen Einzelschritten immer noch recht komplex, wie die Tabellen zu den Einzelschritten (Tab. 4.1 und Tab. 4.2) zeigen. Die Hauptprozesse setzen sich aus einer Vorbereitung der Wafer, vier Masken-Prozessen (Lithografie-Schritte) und einem Schritt der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) zusammen. Die Masken-Prozesse lassen sich in die Schritte Erzeugen der Widerstände (Masken-Prozess M1), Erzeugen der Membranen (Masken-Prozess M2), Erzeugen der Kontaktlöcher (Masken-Prozess M3) und Erzeugen der Leiterbahnstrukturen (Masken-Prozess M4) unterteilen. Bei den verschiedenen Prozessen werden beide Seiten des Wafers unterschiedlich strukturiert. Neben der Vorbereitung der Wafer und der Aufbau- und Verbindungstechnik gehört die Messtechnik, über die aktuelle Prozesszustände kontrolliert werden, zum Fertigungsverfahren.

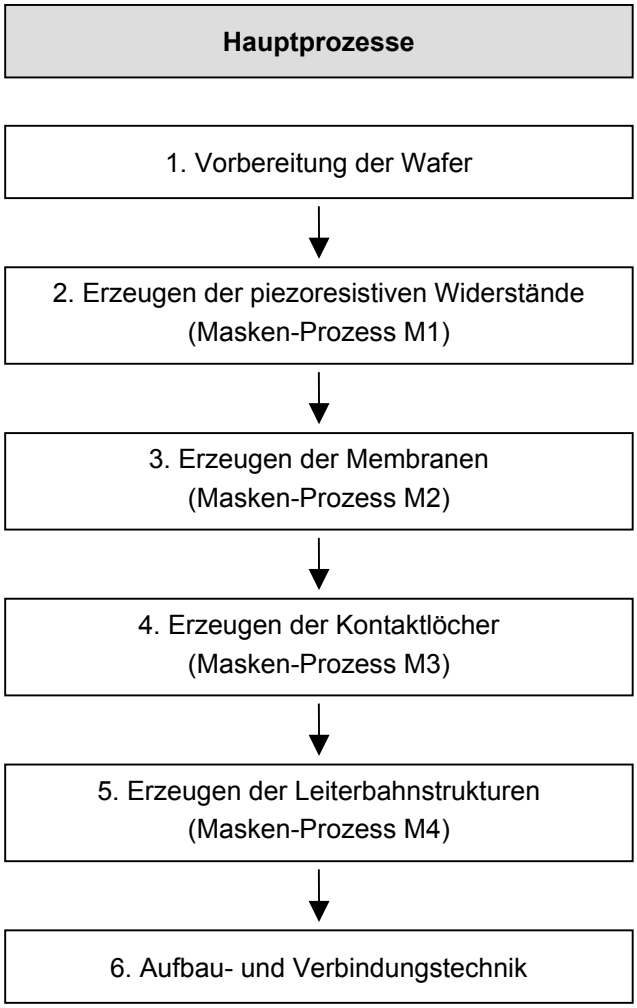
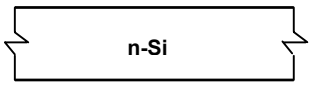
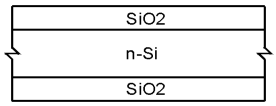
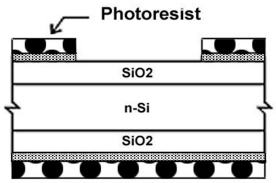
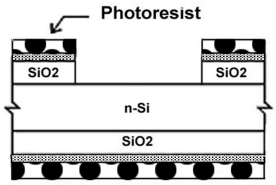
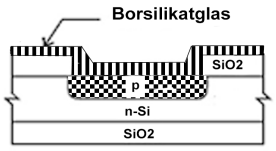
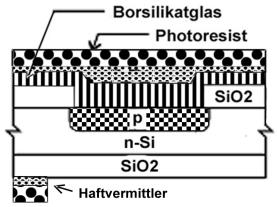
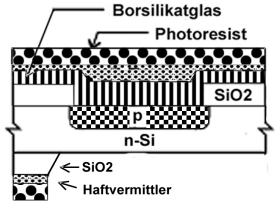
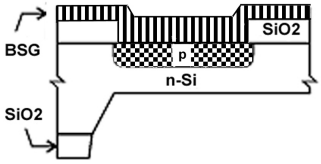
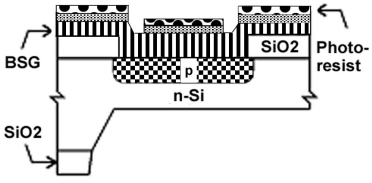
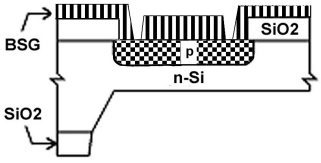


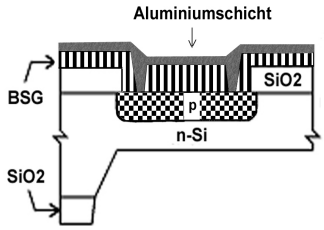
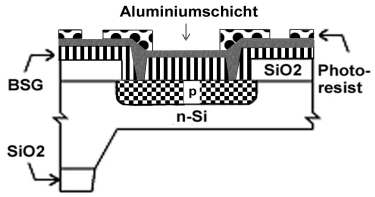
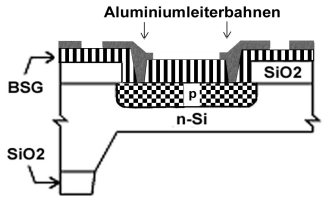
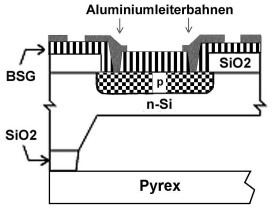
Abb. 4.6: Hauptprozesse des exemplarischen Fertigungsprozesses Drucksensor

Die Hauptprozesse selbst lassen sich weiter in Teilprozesse gliedern und können den beiden nachfolgenden Tabellen entnommen werden. Tab. 4.1 (Teilprozesse des exemplarischen Fertigungsprozesses, S. 32) gibt eine grobe Strukturierung der Prozesse mit einem Schnittschema des Sensors wieder. In Tab. 4.2 (Detaillierte Aufstellung der Teilprozesse, S. 35) werden alle Teilschritte mit einer näheren Erläuterung zu den Prozessen, den eingesetzten Maschinen und Hilfsmitteln aufgeführt. Die in den beiden Tabellen enthaltenen Schnittschemata zum Drucksensor geben nicht den gesamten Querschnitt des Sensors wieder, sondern nur Teilbereiche zu den piezoresistiven Widerständen. Ergänzt wird die Aufstellung durch zwei weitere Skizzen (vgl. Abb. 4.7, S. 42 und Abb. 4.8, S. 43). Sie zeigen den vollständigen Ablauf im Labor und beispielhaft für den 3. Hauptprozess (Erzeugen der Membranen: Masken-Prozess M2) dessen Einbindung in den gesamten Prozess. Anhand der Skizzen wird nochmals deutlich, wie komplex bereits das verhältnismäßig einfache Fertigungsverfahren des Drucksensors ist.

Tab. 4.1: Teilprozesse des exemplarischen Fertigungprozesses (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, überarbeitet)

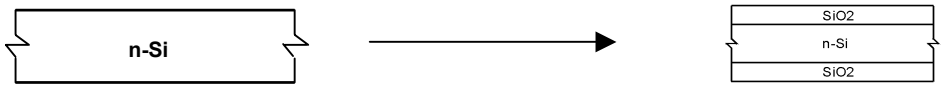
n-type Wafer, 4'', 400 µm Gesamtdicke, beidseitig poliert, <100> Orientierung		
Nr.	**Prozess**	**Schnittschema**
1. Vorbereitung der Wafer		
1.1	Typisieren	
1.2	Überprüfen der Maßhaltigkeit: Dicke, Durchbiegung, Dotierung	
1.3	Reinigen	
1.4	Feuchte Oxidation: Messtechnik, beidseitig thermisches SiO_2, Messtechnik	
2. Erzeugen der piezoresistiven Widerstände (Masken-Prozess M1)		
2.1	Lithografie Widerstandsseite: Beidseitig Belacken (Haftvermittler, Photoresist), Belichten, Entwickeln, Reinigen, Messtechnik	
2.2	HF-Ätzen von SiO_2 : HF-Ätzen Widerstandsseite, Reinigen, Messtechnik	
2.3	Bor-Dotierung und BSG-Isolation: Strippen, Spin-on-Dopand auf Widerstandseite (Bor-Dotierung), Diffusion und Verglasen, Messtechnik	

Nr.	Prozess	Schnittschema
3. Erzeugen der Membranen (Masken-Prozess M2)		
3.1	Lithografie Kavitätenseite: Beidseitig Belacken (Haftvermittler, Photoresist), Belichten, Entwickeln, Reinigen, Messtechnik	
3.2	HF-Ätzen von SiO_2: HF-Ätzen Kavitätenseite, Reinigen, Messtechnik	
3.3	KOH-Ätzen von Si: Strippen, anisotropes Si-Ätzen, Reinigen, Messtechnik	
4. Erzeugen der Kontaktlöcher (Masken-Prozess M3)		
4.1	Messen der Schichtdicke von SiO_2	
4.2	Lithografie Widerstandsseite: Einseitig Belacken (Haftvermittler, Photoresist), Belichten, Entwickeln, Reinigen, Messtechnik	
4.3	HF-Ätzen von BSG und SiO_2: HF-Ätzen, Reinigen, Messtechnik	
4.4	Messen der Schichtdicke von SiO_2: Messtechnik, Strippen	

Nr.	Prozess	Schnittschema
5. Erzeugen der Leiterbahnstrukturen (Masken-Prozess M4)		
5.1	Beschichten mit Aluminium: HF-Dipp, Sputtern	
5.2	Lithografie Widerstandsseite: Einseitig Belacken (Photoresist), Belichten, Entwickeln, Reinigen, Messtechnik	
5.3	Aluminium-Ätzen: Ätzen Widerstandsseite, Reinigen, Messtechnik, Strippen	
6. Aufbau- und Verbindungstechnik		
6.1	Anodisches Bonden	
6.2	Messen der Widerstände	
6.3	Vereinzeln der Dies	
6.4	Kleben der Dies (Die-Bonden)	
6.5	Kontaktieren (Drahtbonden)	

Tab. 4.2: Detaillierte Aufstellung der Teilprozesse

1. Vorbereitung der Wafer

			
1.1	**Typisieren**		
	Erläuterung: Wafer mit z.B. einem Zahlencode beschriften		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
1.1.1	Gravur	Laser	--
1.2	**Überprüfen der Maßhaltigkeit**		
	Erläuterung: Dicke, Durchbiegung und Dotierung der Wafer[1] messen		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
1.2.1	Dicke	Mikrometerschraube	--
1.2.2	Durchbiegung	--[1]	--
1.2.3	Dotierung	--[1]	--
1.3	**Reinigen**		
	Erläuterung: Entfernen von Salzen, organischen Verbindungen und anderen Ablagerungen mit einer nasschemischen Reinigungslösung (H_2O_2, H_3PO_4)		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
1.3.1	Reinigen	Nasschemisches Reinigungsbecken	Piranha-Lösung
1.4	**Feuchte Oxidation**		
	Erläuterung: Beidseitig (Waferseite[2] 1 und 2) SiO_2 als Isolationsschicht und Ätzmaskengrundlage mittels feuchter Oxidation erzeugen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
1.4.1	Messen des Brechungsindex und des Absorptionskoeffizienten von Si	Ellipsometer	--
1.4.2	Feuchte Oxidation	Hochtemperaturofen	O_2, H_2O
1.4.3	Messen des Brechungsindex und der Schichtdicke von SiO_2	Ellipsometer, Film Thickness Probe	Referenzwafer

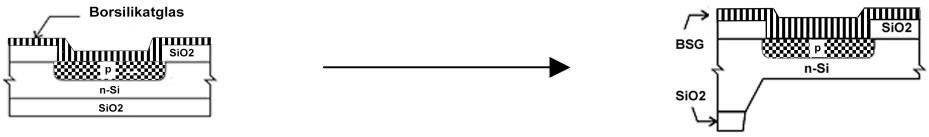
[1] Gegenwärtig wird nur die Dicke im Reinraumpraktikum gemessen.

[2] Waferseite wird nachfolgend mit Seite bezeichnet.

2. Erzeugen der piezoresistiven Widerstände (Masken-Prozess M1)

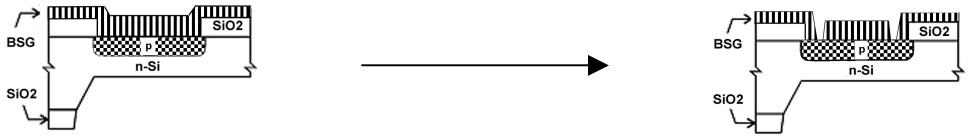
2.1	**Lithografie Widerstandsseite**		
	Erläuterung: Piezoresistive Widerstände (Maske 1) erzeugen. Dazu beidseitig Haftvermittler und Lack zur Strukturierung (Seite 1) sowie zum Schutz für HF-Ätzschritt (Seite 2) auftragen und Maskenstrukturen abbilden. Der letzte Trocknungsschritt erfolgt im Umluftofen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
2.1.1	Belacken	Spin Coater, Hot Plate, Umluftofen	Haftvermittler, Photoresist (Lack)
2.1.2	Belichten	Mask Aligner	Maske 1
2.1.3	Entwickeln	Entwickler- und Reinigungsbank	Entwicklerlösung
2.1.4	Reinigen und Trocknen	Entwickler- und Reinigungsbank, Trockenschleuder	DI-Wasser
2.1.5	Kontrollieren der entwickelten Strukturen	Lichtmikroskop	--
2.2	**HF-Ätzen von SiO_2**		
	Erläuterung: SiO_2–Diffusionsmaske (Widerstandsstrukturen) erzeugen. Dazu Widerstände (Maske 1) mit einer HF-Lösung ätzen. Strukturen kontrollieren und ggf. Ätzprozess fortsetzen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
2.2.1	Ätzen von SiO_2	HF-Ätzbank	Gepufferte HF-Ätzlösung
2.2.2	Reinigen und Trocknen	HF-Ätzbank, Trockenschleuder	DI-Wasser
2.2.3	Kontrollieren der geätzten Strukturen	Lichtmikroskop	--
2.3	**Bor-Dotierung und BSG-Isolation**		
	Erläuterung: Beidseitig Haftvermittler und Lack entfernen(Strippen). Widerstandsbereiche an den geöffneten SiO_2-Stellen mittels Bor-Dotierung (Spin-on-Dopand) erzeugen. Überschüssiges Dotiermittel unter Wasserdampfzugabe zu Borsilikatglas (BSG) verglasen. Schichtdicke von Borsilikatglas messen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
2.3.1	Strippen	Entwickler- und Reinigungsbank, Trockenschleuder	Aceton, DI-Wasser, Isopropanol
2.3.2	Aufschleudern des Dotiermittels	Spin Coater	Spin-on-Dopand (Boron)
2.3.3	Diffusion und Verglasen	Hochtemperaturofen	N_2, O_2, H_2O
2.3.4	Messen der Schichtdicke von SiO_2 und BSG	Ellipsometer, Film Thickness Probe	Referenzwafer

3. Erzeugen der Membranen (Masken-Prozess M2)



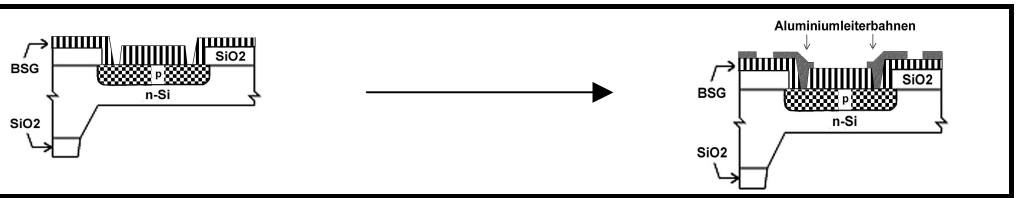
3.1	**Lithografie Kavitätenseite**		
	Erläuterung: Membranen (Kavitäten, Maske 2) erzeugen. Dazu beidseitig Haftvermittler und Lack zur Strukturierung (Seite 2) sowie zum Schutz für HF-Ätzschritt (Seite 1) auftragen und Maskenstrukturen abbilden. Der letzte Trocknungsschritt erfolgt im Umluftofen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
3.1.1	Belacken	Spin Coater, Hot Plate, Umluftofen	Haftvermittler, Photoresist
3.1.2	Belichten	Mask Aligner	Maske 2
3.1.3	Entwickeln	Entwickler- und Reinigungsbank	Entwicklerlösung
3.1.4	Reinigen und Trocknen	Entwickler- und Reinigungsbank, Trockenschleuder	DI-Wasser
3.1.5	Kontrollieren der entwickelten Strukturen	Lichtmikroskop	--
3.2	**HF-Ätzen von SiO_2**		
	Erläuterung: SiO_2-Ätzmaske (Membranen) für nachfolgenden KOH-Ätzschritt von Si erzeugen. Dazu Kavitäten (Maske 2) mit einer HF-Ätzlösung ätzen und Strukturen kontrollieren.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
3.2.1	Ätzen von SiO_2	HF-Ätzbank	Gepufferte HF-Ätzlösung
3.2.2	Reinigen und Trocknen	HF-Ätzbank, Trockenschleuder	DI-Wasser
3.2.3	Kontrollieren der geätzten Strukturen	Lichtmikroskop	--
3.3	**KOH-Ätzen von Si**		
	Erläuterung: Beidseitig Haftvermittler und Lack entfernen (Strippen). Si (Kavitäten, Maske 2) nach Zeitätzstoppverfahren mittels KOH-Ätzlösung anisotrop ätzen. SiO_2–Maskierung ätzt gleichzeitig mit geringerer Ätzrate (Faktor 1:100 bis 1: 750, je nach Alter und Verbrauch der Ätzlösung)		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
3.3.1	Strippen	Entwickler- und Reinigungsbank, Trockenschleuder	Aceton, DI-Wasser, Isopropanol
3.3.2	Ätzen von Si	KOH-Ätzbank	KOH-Ätzdose, KOH-Ätzlösung
3.3.3	Reinigen und Trocknen	KOH-Ätzbank, Rinser Dryer	DI-Wasser, N_2
3.3.4	Abschätzen der Si-Ätz tiefe	Lichtmikroskop	--

4. Erzeugen der Kontaktlöcher (Masken-Prozess M3)



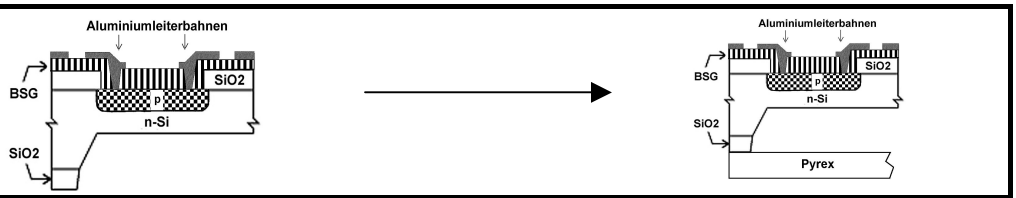
4.1	**Messen der Schichtdicke von SiO_2**		
	Erläuterung: Schichtdicke von SiO_2 zum Festlegen der HF-Ätzzeit messen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
4.1.1	Messen der Schichtdicke von SiO_2	Film Thickness Probe	Referenzwafer
4.2	**Lithografie Widerstandsseite**		
	Erläuterung: Kontaktierung (Maske 3) vorbereiten. Dazu einseitig Haftvermittler und Lack zur Strukturierung der Kontaktlöcher (Seite 1) auftragen und Maskenstrukturen abbilden. Rückseite (Seite 2) bleibt ungeschützt zum Abtragen der SiO_2-Schicht für den Anodischen Bondprozess. Ungeschütztes Si wird von HF-Ätzlösung nicht angegriffen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
4.2.1	Belacken	Spin Coater, Hot Plate	Haftvermittler, Photoresist
4.2.2	Belichten	Mask Aligner	Maske 3
4.2.3	Entwickeln	Entwickler- und Reinigungs-bank	Entwicklerlösung
4.2.4	Reinigen und Trocknen	Entwickler- und Reinigungs-bank, Trockenschleuder	DI-Wasser
4.2.5	Kontrollieren der entwi-ckelten Strukturen	Lichtmikroskop	--
4.3	**HF-Ätzen von BSG und SiO_2**		
	Erläuterung: Kontaktlöcher in die Borsilikatglasschicht mit einer HF-Ätzlösung (Maske 3) ätzen. Gleichzeitig SiO_2-Schicht (Seite 2) für das Anodische Bonden bis zu einer minimalen Schichtdicke (max. 350 nm) abtragen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
4.3.1	Ätzen von BSG und SiO_2	HF-Ätzbank	Gepufferte HF-Ätzlösung
4.3.2	Reinigen und Trocknen	HF-Ätzbank, Trockenschleuder	DI-Wasser
4.3.3	Kontrollieren der geätz-ten Strukturen	Lichtmikroskop	--
4.4	**Messen der Schichtdicke von SiO_2**		
	Erläuterung: Schichtdicke von SiO_2 (Seite 2) für das Anodische Bonden kontrollieren. Haftvermittler und Lack entfernen (Strippen).		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
4.4.1	Messen der Schichtdicke von SiO_2	Ellipsometer, Film Thickness Probe	Referenzwafer
4.4.2	Strippen	Entwickler- und Reinigungs-bank, Trockenschleuder	Aceton, DI-Wasser, Isopropanol

5. Erzeugen der Leiterbahnstrukturen (Masken-Prozess M4)



5.1	**Beschichten mit Aluminium**		
	Erläuterung: Natives SiO_2 in den Kontaktlöchern mittels HF-Dipp entfernen. Widerstandsseite (Seite 1) mit PVD-Aluminium für die Strukturierung der Leiterbahnen beschichten (sputtern).		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
5.1.1	HF-Dipp	HF-Ätzbank	Konzentrierte HF-Lösung
5.1.2	Sputtern	Sputter Coater	Aluminium-Kathode
5.2	**Lithografie Widerstandsseite**		
	Erläuterung: Leiterbahnstrukturen (Maske 4) und Metallisierung erzeugen. Dazu einseitig Lack für die Strukturierung der Leiterbahnen (Seite 1) auftragen und Maskenstrukturen abbilden.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
5.2.1	Belacken	Spin Coater, Hot Plate	Photoresist
5.2.2	Belichten	Mask Aligner	Maske 4
5.2.3	Entwickeln	Entwickler- und Reinigungsbank	Entwicklerlösung
5.2.4	Reinigen und Trocknen	Entwickler- und Reinigungsbank, Trockenschleuder	DI-Wasser
5.2.5	Kontrollieren der entwickelten Strukturen	Lichtmikroskop	--
5.3	**Aluminium-Ätzen**		
	Erläuterung: Leiterbahnen (Seite 1, Maske 4) mit einer Aluminium-Ätzlösung (H_3PO_4, HNO_3) *erzeugen. Lack entfernen (Strippen)*		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
5.3.1	Ätzen von Aluminium	Entwickler- und Reinigungsbank	Alumium-Ätzlösung
5.3.2	Reinigen und Trocknen	Entwickler- und Reinigungsbank, Trockenschleuder	DI-Wasser
5.3.3	Kontrollieren der geätzten Strukturen	Lichtmikroskop	--
5.3.4	Strippen	Entwickler- und Reinigungsbank, Trockenschleuder	Aceton, DI-Wasser, Isopropanol

6. Aufbau- und Verbindungstechnik

			
6.1	**Anodisches Bonden**		
	Erläuterung: Strukturierten Wafer (Seite 2) mit einem Pyrexwafer zum Abdichten der Membranen, zum Schutz und zur Stabilisierung verbinden.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
6.1.1	Anodisches Bonden	Anodischer Bonder	Pyrex-/ Glaswafer
6.2	**Messen der Widerstände**		
	Erläuterung: Funktionsfähigkeit und Größe der piezoresistiven Widerstände für die einzelnen Drucksensoren ausmessen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
6.2.1	Messen der Widerstände	Waferprober	--
6.3	**Vereinzeln der Dies**		
	Erläuterung: Wafer mit Drucksensoren (Die) auf eine Adhäsionsfolie aufkleben und *mit einer Wäfersäge separieren.*		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
6.3.1	Vereinzeln	Wafersäge	Adhäsionsfolie, Sägeblatt
6.4	**Kleben der Dies**		
	Erläuterung: Drucksensoren zum Keramikträger ausrichten. Klebstoff auf den Keramikträger aufbringen. Drucksensoren auf dem Keramikträger befestigen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
6.4.1	Die-Bonden	Pick & Place (Die-Bonder)	Spannrahmen, Keramikträger, Silikon-Klebstoff
6.5	**Kontaktieren**		
	Erläuterung: Drucksensoren auf dem Keramikträger über Kontaktpads mit dem Träger kontaktieren.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
6.5.1	Drahtbonden	Drahtbonder	Golddraht

Das Reinraumlabor in Zweibrücken (vgl. Anhang A, Abb. A.1, Abb. A.2), in dem sich die meisten Fertigungsanlagen zur Herstellung des Sensors befinden, hat eine Fläche von etwa 300 m² mit einem Grauraumbereich für beispielsweise Pumpen und Zuleitungen, zwei Weißraumlaboren (Beschichtung, Nasschemie) sowie einem Gelbraumlabor (Lithografie). Die einzelnen Laborräume weisen unterschiedliche Reinraumklassen[1] von 10.000, 1000 bis 100 und 10 auf. Die überwiegende Zahl der messtechnischen Geräte wie Mikroskope oder das Ellipsometer sind in den Laboren der Beschichtung und der Lithografie untergebracht. Weiterhin gibt es außerhalb des Reinraums drei Laborräume (Labore 1, 2 und 3), die zu Prozessbeginn (Vorbereitung der Wafer) und zum Prozessende (AVT) genutzt werden. In diesen Laboren befinden sich ebenfalls Instrumente der Messtechnik.

Bei der Fertigung werden die sechs Hauptprozesse hintereinander durchgeführt, bei den Teilprozessen und Maschinen sieht es allerdings erheblich anders aus. Häufig findet ein Wechsel zwischen den Laborräumen und Anlagen innerhalb des Reinraums statt. Das Gleiche gilt für die Messtechnik, die immer wieder im laufenden Prozess zum Einsatz kommt. Der Ablauf des gesamten Herstellungsverfahrens ist in Abb. 4.7 skizziert. In der Abbildung sind die Laborräume innerhalb (Nasschemie, Beschichtung, Lithografie) und außerhalb (Labore 1, 2, 3) des Reinraums mit den durchzuführenden Hauptprozessen dargestellt. Auf die Angabe der Maschinen wird dabei verzichtet. Die jeweiligen Laborräume sind durch Pfeile, an denen die Bezeichnungen der Teilschritte stehen, verbunden. Der Pfeil mit der Beschriftung 1.3 von „Labor 1“ zur „Nasschemie“ zeigt an, dass der Teilprozess 1.3 (Vorbereitung der Wafer: Reinigen, vgl. Tab. 4.2) in der Nasschemie verrichtet wird. Alle mit dem Lichtmikroskop durchzuführenden Strukturkontrollen finden in der „Lithografie“ statt und werden in dieser Skizze nicht berücksichtigt. Aufgrund der hohen Komplexität des Verfahrens und dem damit verbundenen häufigen Tausch von Laborräumen und Maschinen wurden die Teilprozesse in der Abbildung bei Bedarf weiter unterteilt und die „Messtechnik“ gesondert von den Laborräumen dargestellt.

Das Herausgreifen des relativ kurzen 3. Hauptprozesses (Erzeugen der Membranen: Masken-Prozess M2) soll den Hergang im Reinraumlabor verdeutlichen. Die Einbindung des 3. Hauptprozesses in den gesamten Prozess und seine gesonderte Darstellung sind in Abb. 4.7 und Abb. 4.8 (Schema zum 3. Hauptprozess) dargestellt. In Abb. 4.8 sind die Labore des Reinraums, die benötigte Messtechnik, die Bezeichnung der Teilschritte und die eingesetzten Maschinen zu sehen. Nachdem im voran gegangenen Prozess die Schichtdicke gemessen wurde (vgl. Tab. 4.2, Teilschritt 2.3.4), beginnt der 3. Hauptprozess in der Lithografie mit Schritt 3.1 (Lithografie Kavitätenseite), symbolisiert durch den Pfeil 3.1. In der Lithografie werden die verschiedenen Teilschritte an vier Maschinen durchgeführt. Der Schritt 3.1 wird in der Lithografie mit

[1] RR-Klasse: Anzahl an Partikeln mit einer Größe von 0,5 µm pro Kubikfuß Umluft. Stadtluft weist nach dieser Definition über 100.000 Partikel auf (Menz & Mohr 1997, S. 40).

einer Messkontrolle am Lichtmikroskop abgeschlossen. Die Teilschritte 3.2 und 3.3 (HF-Ätzen von SiO_2 und KOH-Ätzen von Si) werden fast ausschließlich in der Nasschemie an zwei Ätzbänken durchgeführt. Lediglich das Entfernen von Haftvermittler und Lack (Strippen, Schritt 3.3.1) sowie die Kontrollen am Mikroskop (Schritte 3.2.3 und 3.3.4) finden wieder in der Lithografie statt. Letzteres wird in der Skizze nicht durch einen Pfeil gekennzeichnet. Der Laborraum Beschichtung hat in diesem Hauptprozess keine Funktion.

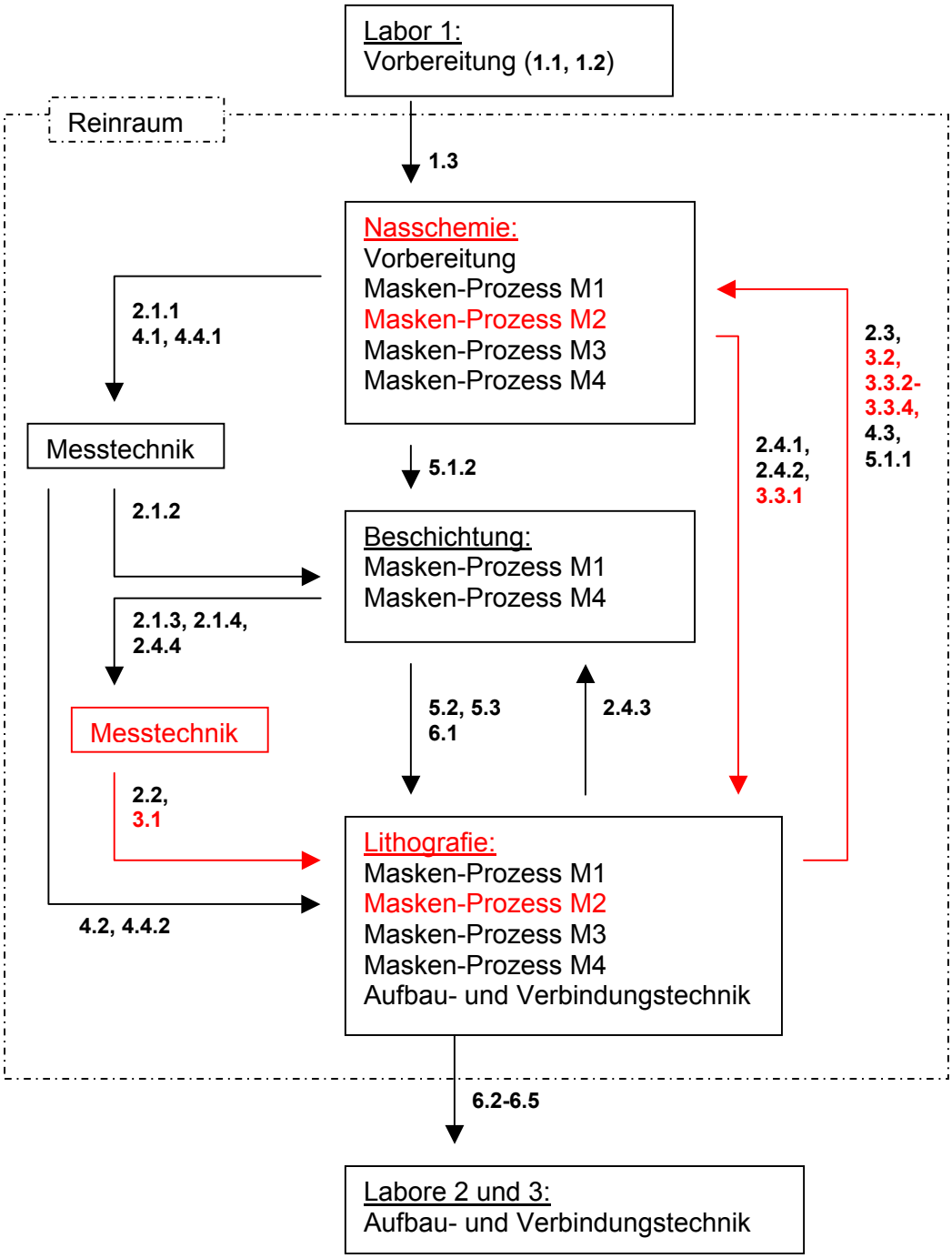


Abb. 4.7: Durchführung des gesamten Fertigungsprozesses Drucksensor, exemplarisch in rot hervorgehoben ist der 3. Hauptprozess

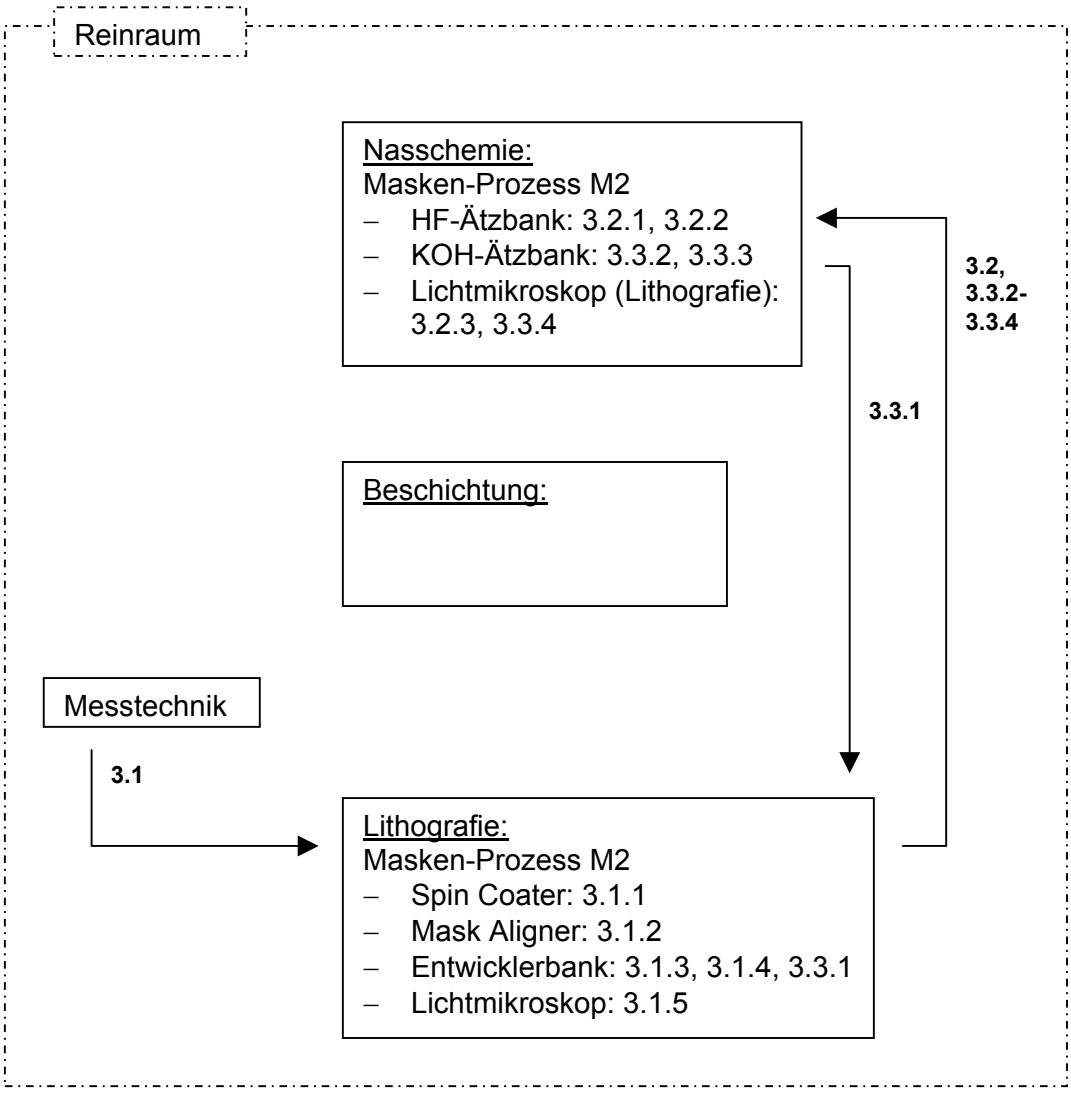


Abb. 4.8: Schema zum 3. Hauptprozess (Erzeugen der Membranen: Masken-Prozess M2)

Da sich die Dissertation mit dem Aufbau der Technologiepraktika und zwar speziell mit der Entwicklung des virtuellen Labors befasst, wird an dieser Stelle die Ausführung zum exemplarischen Fertigungsprozess beendet und auf weiterführende Literatur zur Mikrosystemtechnik verwiesen (Gerlach & Dötzel 1997, Madou 1997, Maluf 2000, Menz & Mohr 1997, Mescheder 2000, Plummer et al. 2000). Eine kurze Beschreibung zu den Reinraummaschinen ist im Anhang A zu finden.

4.2 Vorbereitungsphase und virtuelle Praktika

Die Teilschritte des exemplarischen Fertigungsprozesses wurden im virtuellen Labor, das eine Kopie des realen Reinraums mit seinen Anlagen ist, überwiegend berücksichtigt. Von den Maschinen, die für das Herstellungsverfahren notwendig sind, wurden die relevanten nach verschiedenen Kriterien ausgewählt und umgesetzt. Bei der Auswahl war wichtig, dass sich die Anlagen im Reinraum selbst befinden, umfangreich in ihren Bedienmöglichkeiten sind und zumindest teilweise über einen Prozessrechner gesteuert werden. Es wurden zunächst nur Anlagen innerhalb des Reinraums betrachtet, da die Lernenden während ihrer Ausbildung selten Zugang zu solchen Laboranlagen haben. Bei der weiteren Eingrenzung der zu programmierenden Maschinen wurden solche Anlagen berücksichtigt, die eine große Bandbreite in ihrem Bedienumfang aufweisen. Ein Training vorab mit derartigen virtuellen Maschinen vereinfacht erheblich den Umgang im realen Labor und trägt zu einem größeren Lerneffekt bei. Diese Vorauswahl des Lehrangebotes entspricht nach Kerres „der Einbettung in Handlungswelten (... Simulationen)“ (Kerres 2001, S. 391). Ein wichtiger technischer Gesichtspunkt gerade im Hinblick auf den Lernerfolg war, dass Maschinen, die über einen Prozessrechner gesteuert werden, sich leichter zu virtuellen Maschinen programmieren lassen als Anlagen, die fast vollständig manuell bedient werden. Hier sind die technischen Möglichkeiten für eine realistische Umsetzung der Simulationen größer.

Von den fast 20 Maschinen der Fertigungslinie wurden aufgrund der Auswahlkriterien aus dem Labor zur Beschichtung die Anlagen „Ellipsometer“, „Hochtemperaturofen“, „Sputter Coater“ und aus dem Labor zur Lithografie die Anlagen „Anodischer Bonder“, „Entwickler- und Reinigungsbank“, „Film Thickness Probe“ „Mask Aligner“ und „Spin Coater“ virtuell erstellt (vgl. Tab. 4.2, S. 35 und Tab. 4.4, S. 49). Beide Laborräume wurden damit nahezu vollständig abgebildet. Eine kurze Beschreibung zu den virtuellen Maschinen befindet sich im Anhang B. Die meisten der zugehörigen realen Maschinen werden weitestgehend mit einem Rechner gesteuert und der Umgang mit ihnen lässt sich gut im Vorfeld trainieren. Anlagen, die fast nur manuell bedient werden und für ein virtuelles Training deshalb weniger geeignet sind, wurden bisher nur in Ausnahmen erstellt. Dazu gehören die Nasschemie mit ihren eher manuellen Tätigkeiten an den „Reinigungs- und Ätzbänken“, welche in der Simulation „Entwickler- und Reinigungsbank vereinfacht integriert wurden, oder Maschinen der Labore 1, 2, 3, wie beispielsweise der „Drahtbonder“ aus der Aufbau- und Verbindungstechnik. Das Gleiche gilt für die „Lichtmikroskope“ der Messtechnik, die ebenfalls nur manuell bedient werden. Solche Geräte wurden für eine spätere Entwicklungsphase vorgesehen. Teilweise liegen für die noch nicht virtuell erstellten Maschinen Videos vor, in denen die Bedienung der Anlagen kurz erläutert wird. Im weitesten Sinne kann daher ein solches Video auch als virtuelle Maschine angesehen werden.

Das Training im virtuellen Labor befasst sich allerdings nicht nur mit dem Erlernen von Bedienfertigkeiten einzelner Anlagen, sondern geht noch einen Schritt weiter. Die virtuellen Maschinen werden untereinander verkettet, wodurch die Ergebnisse der einen Anlage als Input der nächsten Anlage genutzt werden. Damit kann das virtuelle Labor auch zur Vorbereitung auf einen realen Fertigungsprozess oder zumindest eine Teilprozesskette verwendet werden. Auf diese Weise rücken neben den einzelnen Maschinen und ihrer Bedienung die Abhängigkeiten der verschiedenen Teilprozesse in den Vordergrund.

Eine typische und wichtige Maschine im Reinraumlabor ist der „Sputter Coater“ (vgl. Abb. 4.9). Die Anlage wird beispielsweise zum Beschichten von Oberflächen mit Aluminium oder Kupfer eingesetzt. Sie besteht aus verschiedenen Anlagenteilen wie Vakuumkammer, Pumpen, Gaszuführungen und dem Prozessrechner. Ein Beispiel für ein komplexes Bedienfenster der realen Anlage ist in Abb. 4.10 zu sehen. Die realen Oberflächen des Prozessrechners wurden nahezu identisch mit der Software LabVIEW (National Instruments 2004) für das virtuelle Labor neu programmiert, so dass sich die Lernenden intensiv mit den einzelnen Komponenten vertraut machen können. Sie erfahren, welche Bedienelemente und Anzeigen es zu dieser Anlage gibt, welche besonders wichtig sind und wie an der Maschine eingestellte Parameter das Ergebnis eines Beschichtungsvorgangs beeinflussen.

Abb. 4.9: Maschine Sputter Coater mit Prozessrechner (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

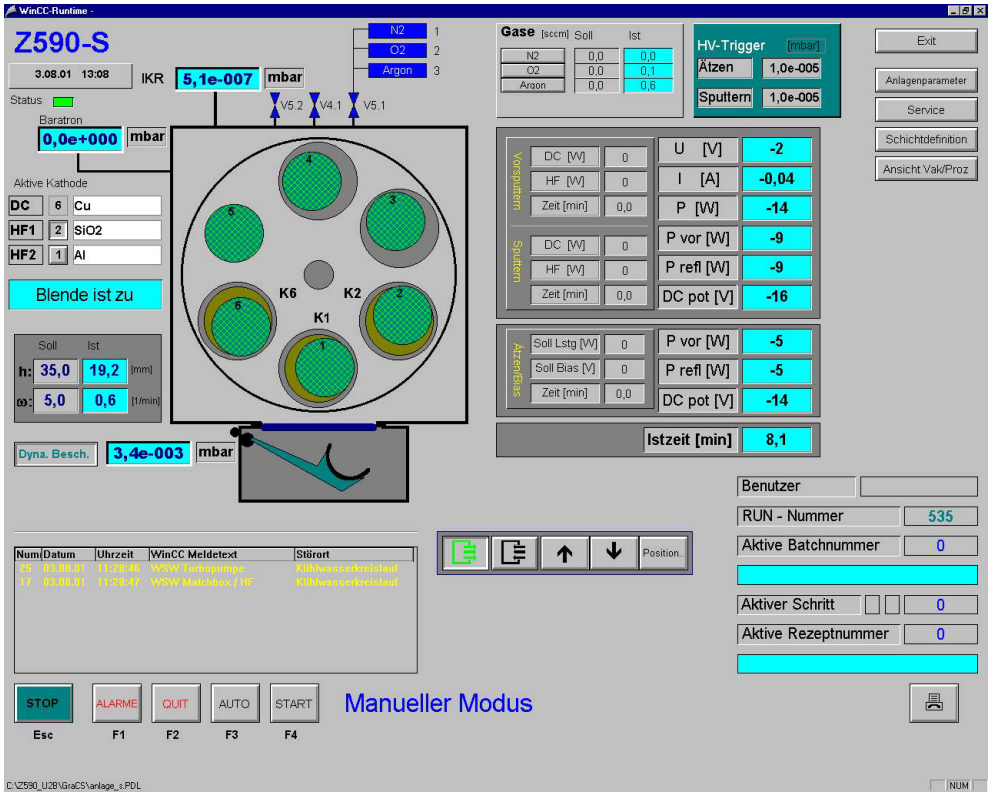


Abb. 4.10: Sputter Coater – Oberfläche des realen Prozessrechners (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Sehr wichtig beim Aufbau des virtuellen Labors ist die Tatsache, dass die virtuellen Maschinen die realen nicht ersetzen können, schon gar nicht die Erfahrungen in einem echten Labor, und dass ein rein virtuelles Praktikum keinen Sinn macht. Dieser Umstand wurde bei der Durchführung der Vorbereitungsphase und beim Erstellen der Inhalte berücksichtigt. Neben den Computersimulationen der Maschinen gehören elektronische Dokumente und Animationen von Teilprozessen, die das Verständnis zu den Fertigungsschritten unterstützen und das theoretische Hintergrundwissen erhöhen, zu den Inhalten der virtuellen Praktika. Gerade komplizierte Vorgänge wie die Brechung und Absorption von Licht an einer zu messenden Schicht (Film Thickness Probe) oder die Ausbreitung einer zähen Flüssigkeit auf einer rotierenden Scheibe (Spin Coater) werden auf einfache Weise in interaktiven Animationen visualisiert. Hier können die Lernenden durch Variation weniger Parameter direkt den veränderten Prozessvorgang erleben und verstehen.

Die elektronischen Dokumente bestehen beispielsweise aus theoretischen Erläuterungen, Handbüchern zu den jeweiligen Maschinen, Programmhilfen oder Hinweisen zu weitergehender Literatur. Auch Firmenhandbücher und Fotos zu den realen Anlagen werden bereitgestellt. Zusätzlich können die elektronischen Dokumente in gedruckter Form als klassische Nachschlagewerke genutzt werden. Für das virtuelle Labor wurden hierzu speziell zwei verschiedene „Drucksensor-Kochbücher“ konzipiert. Das erste Buch befasst sich mit den theoretischen Grundlagen zu den Prozessen (Drucksensor-Kochbuch 1). Das zweite Buch beschreibt die Bedienung von virtuellen und realen An-

lagen und kann als Maschinenhandbuch angesehen werden (Drucksensor-Kochbuch 2). Beide Bücher sind in Teilen fertig gestellt und werden in Kap. 5 näher erläutert.

Neben den virtuellen Maschinen und den zugehörigen Unterlagen gibt es darüber hinaus ein Reinraumvideo, das einen Überblick zum Aufbau des Reinraums in Zweibrücken und den Maschinen sowie zum Verhalten in einem solchen Labor gibt.

Zur Vorbereitungsphase gehören zusätzlich Vorträge seitens der Lernenden zu einzelnen Themen des virtuellen Labors. Die Vorträge der Lernenden können ebenfalls im weiteren Sinne zu den Inhalten des virtuellen Labors gerechnet werden. Eine allgemeine Aufstellung zu den Inhalten der Vorbereitungsphase und zum virtuellen Labor ist in Tab. 4.3 zu sehen. Das virtuelle Labor ist somit ein multimediales Lernangebot, bei dem die „verschiedenen Medien... inhaltlich verknüpft in digitalisierter Form vorliegen...“ (Rietsch 1997, S. 8) und das vorrangig zu „Schulungszwecken“ als Vorbereitung auf reale Praktika eingesetzt wird.

Tab. 4.3: Übersicht zu den Inhalten der Vorbereitungsphase und des virtuellen Labors

Herstellungsprozess
• Informationen in gedruckter und elektronischer Form zum exemplarischen Fertigungsprozess und dem real zu erstellenden Bauteil Drucksensor
Reinraumvideo
• Verhalten im Reinraum, Ausstattung der Labore, Funktion und Einsatz der realen Maschinen
Einführung zum virtuellen Labor mit Vorträgen
• Wiederholen und Vertiefen des theoretischen Hintergrundes (Lernende) • Einführung zum virtuellen Labor und zu den jeweiligen virtuellen Maschinen (Lehrende)
Virtuelle Maschinen
• 7 unterschiedliche Simulationen: Anodischer Bonder, Ellipsometer, Entwicklerbank, Film Thickness Probe, Hochtemperaturofen, Mask Aligner, Sputter Coater • 3 unterschiedliche Animationen: Film Thickness Probe, Spin Coater, Sputter Coater • In den Simulationen integrierte Maschinenvideos: Anodischer Bonder, Hochtemperaturofen, Mask Aligner
Anleitungen zur Bedienung der virtuellen Maschinen
• Allgemeine Programmbedienung • Detaillierte Aufgabenstellung und Konkretisierung der Lernziele • Anleitungen zur Bedienung der einzelnen Maschinen in elektronischer und gedruckter Form
Herstellerhandbücher der realen Maschinen
• Als gedruckte Exemplare zur Einsicht während der Praktikumstermine

Zurzeit besteht das virtuelle Labor aus insgesamt sechs verschiedenen Schulungsblöcken, die auch als Lernmodule bezeichnet und in ihrer Reihenfolge nach dem Ablauf der Fertigungskette behandelt werden. Jeder Schulungsblock greift ein wichtiges Thema aus der MST-Fertigung auf und folgt damit dem Prinzip des exemplarischen Lernens. Auf diese Weise dient der Herstellungsprozess Drucksensor als roter Faden für die Lernenden beim Übergang von einer Lerneinheit auf die nächste, wobei gleichzeitig in einer Lerneinheit ein Thema intensiver behandelt wird. Die Lernmodule zur Messtechnik, die immer wieder im laufenden Prozess zum Einsatz kommt und zur Kontrolle und Qualitätssicherung benötigt wird, sind am Ende des virtuellen Praktikums zu bearbeiten, um die Reihenfolge der Teilprozesse nicht zu unterbrechen. Eine Variation des Ablaufes mit stetem Einsatz der virtuellen Messtechnik jeweils innerhalb der virtuellen Prozesskette ist aus Zeitgründen nicht möglich.

Ein einzelnes Lernmodul wiederum besteht aus mindestens einer virtuellen Maschine, zumeist einer komplexeren Simulation, und den zugehörigen theoretischen Unterlagen, Handbüchern, Aufgabenstellungen sowie Musterlösungen. Insgesamt gibt es zurzeit zehn virtuelle Maschinen. Da zu einem Lernmodul meistens verschiedene Anlagen gehören, werden diese in der Reihenfolge des Teilprozesses bedient. Die Themen der Schulungsblöcke, die Einordnung der sechs Schulungsblöcke in die Fertigungskette und die Zuordnung der virtuellen Maschinen zu den Themen ist der Tab. 4.4 zu entnehmen.

Das virtuelle Labor liegt mit seinen Inhalten als CD-ROM vor, so dass die Lernenden mittels dieser CD in Vorbereitungskursen an ihrer eigenen Hochschule trainiert werden können. Die Studierenden erarbeiten in der Regel zu zweit ein Lernmodul. Innerhalb dieser Partnerarbeit können sie gemeinsam über Fragen oder Schwierigkeiten diskutieren, bevor sie auf die Betreuer zugehen. Gleichzeitig nehmen sie eine eigene Arbeitsteilung zum Lösen der gestellten Aufgaben vor. Damit ist das Lernen „nicht auf einfache kognitive Lehrinhalte beschränkt, sondern kann... beim Aufbau sozialer Verhaltenskomponenten eingesetzt werden“ (Kerres 2001, S. 108). Die Lernsituation kann „im Kontext von Multimedia... auch sozial gestaltet sein, also andere Personen einschließen...“ (Hesse et al. 1997, S. 253), wobei die Autoren die „soziale Gestaltung“ auf „vernetztes“ und „kooperatives“ Lernen beziehen, welches in abgewandelter Form auch für das beschriebene virtuelle Training zutrifft.

Ein Schulungskurs umfasst etwa zwölf Studierende, die in der Regel von zwei Personen betreut werden. Die einzelnen Lernmodule der Vorbereitungsphase werden entweder an verschiedenen Praktikumsterminen geübt oder in kompakten Trainingskursen behandelt. Bei derartigen Blockkursen können auch mehrere Lernmodule an einem Tag bearbeitet werden, wobei aus didaktischer Sicht darauf zu achten ist, dass die Teilnehmer durch die Stofffülle nicht überfordert werden. Darüber hinaus können sich die Studierenden zu Hause mit Hilfe der CD eingehender mit dem virtuellen Labor befassen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Inhalte des virtuellen Labors den Studierenden in einer Lernumgebung anzubieten. Dabei unterscheiden sich die Inhalte

und ihr Umfang von denen der CD, insbesondere bei den textlichen und grafischen Ausführungen. In der Lernumgebung liegt der Schwerpunkt auf einer eher medientechnischen Aufbereitung mit wenig Text und mehr Illustrationen, so dass ein leichtes Arbeiten am Rechner möglich ist. Dazu müssen die Schulungsunterlagen in einer für eine Lernplattform didaktisch speziell aufbereiteten Form vorliegen. Es ist geplant, den Lernenden das virtuelle Labor in einer solchen Lernumgebung zur Verfügung zu stellen, diese ist derzeit im Aufbau begriffen.

Tab. 4.4: Einordnung der Lernmodule in den realen Fertigungsprozess Drucksensor mit Zuordnung der virtuellen Maschinen

Nr.	Lernmodul/ Lerneinheit	Prozessschritt	Virtuelle Maschinen
1.	Thermische Oxidation von Silizium	Masken-Prozess M1: Teilschritt Feuchte Oxidation	Simulation Hochtemperaturofen
2.	Kontakt- und Proximity-lithografie	Masken-Prozess M2: Teilschritt Lithografie Kavitätenseite	Animation Spin Coater, Simulation Mask Aligner, Simulation Entwicklerbank
3.	Abscheidung dünner Schichten mittels Sputtern	Masken-Prozess M4: Teilschritt Beschichten mit Aluminium	Animation Sputter Coater, Simulation Sputter Coater
4.	Anodisches Bonden	Aufbau- und Verbindungstechnik: Teilschritt Anodisches Bonden	Simulation Anodischer Bonder
5.	Bestimmung optischer Parameter mittels Ellipsometrie	Messtechnik	Simulation Ellipsometer
6.	Optische Schichtdickenmessung	Messtechnik	Animation Film Thickness Probe Simulation Film Thickness Probe

Ein großer Vorteil des virtuellen Labors liegt in seiner Verfügbarkeit. Das virtuelle Training kann weitestgehend, wie bereits erwähnt, orts- und zeitunabhängig angeboten werden. Damit sind eine gleichzeitige Nutzung durch viele Personen und das kontinuierliche Üben bis zum endgültigen Verstehen möglich. Auf der anderen Seite findet keine Zerstörung hochwertiger Anlagen durch fehlerhafte Bedienung statt. Durch die Orts- und Zeitunabhängigkeit können die Schulungen extern an den jeweiligen Studienorten stattfinden und unabhängig von den Terminen des realen Reinraumpraktikums geplant werden. Nachdem die Studierenden über das virtuelle Labor auf die verschiedenen Prozessschritte sowie auf die Bedienung der unterschiedlichen Anlagen

theoretisch und praktisch vorbereitet wurden, haben sie die Möglichkeit, an einem realen Laborkurs teilzunehmen. Es ist zu erwarten, dass mit dieser Vorbereitungsmethode die Voraussetzung für die Durchführung sehr effektiver und kompakter Laborkurse geschaffen wird. Dort können die Lernenden ihr erarbeitetes Wissen sowie ihre gewonnenen Fertigkeiten direkt anwenden. Schwierigkeiten, die beim virtuellen Labor sowie beim Übergang vom virtuellen auf das reale Labor in Bezug auf Verständnis und Bedienung auftreten, müssen dabei sorgfältig beobachtet werden, damit sie behoben werden können.

4.3 Reale Praktika im Reinraumlabor

Im Gegensatz zur Vorbereitungsphase mit dem virtuellen Labor ist der Zugang zum realen Reinraumpraktikum räumlich, zeitlich und durch die Anzahl der Teilnehmer begrenzt. Die Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken bietet zurzeit Studierenden verschiedener Hochschulen in ihrem Lehrlabor die Durchführung des exemplarischen Fertigungsprozesses innerhalb eines Blockpraktikums an. Da die einzelnen Prozessschritte aufeinander aufbauen und entsprechend viel Zeit benötigen, dauert ein realer Laborkurs hier in der Regel eine Woche. Pro Kurs werden in Zweibrücken maximal zwölf Teilnehmer in vier Gruppen mit je drei Studierenden zugelassen. Nur so bekommt jeder einzelne Teilnehmer die Möglichkeit, praktisch zu arbeiten, dadurch die Maschinen konkret kennen zu lernen, die komplexen Maschinen relativ eigenständig zu bedienen sowie die Prozesse intensiver zu hinterfragen. Die Teilnehmer durchlaufen das komplette Herstellungsverfahren, wobei jede Gruppe an einer anderen Stelle des Fertigungsprozesses beginnt. Damit wird gewährleistet, dass nach einem Rotationsprinzip alle Gruppen und Teilnehmer einer Gruppe mit jeder realen Maschine mindestens einmal arbeiten können. Zu diesem Zweck hat jede Gruppe verschieden vorprozessierte Wafer, um an einer vorgegebenen Stelle des Herstellungsverfahrens einsteigen zu können. Darüber hinaus wird über „Ersatz-Wafer“ als Reserve gewährleistet, dass falsch prozessierte oder beschädigte Wafer ersetzt werden können und so der Fertigungsprozess von den Studierenden fortgeführt werden kann. Es wird erwartet, dass die Durchführung solcher kompakten Laborkurse nur aufgrund einer intensiven Vorbereitung möglich ist, und dass Lernende, die über das virtuelle Labor theoretisch und praktisch geschult wurden, das reale Laborpraktikum wesentlich intensiver und effektiver absolvieren können.

Da der Ablauf der realen Praktika weniger Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen in der Dissertation ist, sondern vielmehr von Interesse ist, inwieweit das Lernen im Reinraumpraktikum durch das vorherige virtuelle Training gesteigert und verbessert werden kann, werden die Ausführungen zu den realen Praktika an dieser Stelle zunächst beendet. Der Aufbau der Technologiepraktika (Schulungen und Rein-

raumpraktika) erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, daher sind im Anhang C (Mitwirkende Hochschulen bei den Technologiepraktika) die Beiträge der einzelnen Professoren und Mitarbeiter aufgeführt.

4.4 Geplanter Ablauf der Technologiepraktika

Die Vorbereitung der Lernenden über das virtuelle Labor führt zum einen zu einer Auffrischung und Vertiefung bestehender Vorkenntnisse sowie zum Erwerb neuen Wissens, mit dem die realen Laborpraktika von den Teilnehmern intensiver genutzt werden können. So soll eine erhöhte Motivation und Erwartung auf das Reinraumpraktikum durch das erfolgreiche Vorerleben an virtuellen Maschinen erreicht werden, da der erlebte Erfolg als Bestätigung für Lernende und ihre Motivation sehr wichtig ist (Bruchmüller & Haug 2001, S. 29ff). Der Lernerfolg soll hierbei durch das Lösen gestellter Aufgaben sichergestellt werden. Die von Kerres beschriebenen „didaktischen Funktionen von Multimedien“ werden dazu im „Lehr-Lernprozess“ eingesetzt (Kerres 1999, S. 15). So wird die „lernmotivierende Funktion“ genutzt. Die Medien werden für eine „Wissenspräsentation“ und als „Werkzeuge zur Unterstützung der Wissenskonstruktion“ verwendet. Die Aktivitäten von Lehrenden und Lernenden beider Praktika werden in Anlehnung an Gagné als „instruktionale Ereignisse“ durchlaufen, wobei die von Gagné aufgestellte Reihenfolge nicht zwingend eingehalten wird (Kerres 1999, S. 14ff). Zu diesen Ereignissen zählen für die Aktivitäten der Lehrenden beispielsweise „Aufmerksamkeit erzielen“, „Lehrziele mitteilen“, „an Vorwissen anknüpfen“ und „Lernmaterial präsentieren“. Für die Aktivitäten der Lernenden gehören im virtuellen Labor beispielsweise „Rückschlüsse auf Lernergebnisse ermöglichen“ und im realen Praktikum „Leistung in neuen Situationen erproben“ dazu.

Die Lernenden bringen für die Vorbereitungsphase erste Grundlagen mit, die in der Einführung der jeweiligen Praktikumstermine wiederholt und vertieft werden. Weiterhin werden in der Einführung die virtuellen Maschinen der aktuellen Lerneinheit vorgestellt. Danach arbeiten die Lernenden mit den virtuellen Maschinen, die sowohl einzeln und unabhängig voneinander sowie in kleinen Teilprozessketten trainiert werden, in denen mehrere virtuelle Anlagen miteinander verknüpft sind. So erfahren die Teilnehmer in betreuter Partnerarbeit die Bedienung und Reaktionsweise einer einzelnen Maschine oder lernen eine Teilprozesskette kennen. Im Selbststudium wiederholen sie über das virtuelle Labor ihr neues Wissen, um anschließend wiederum in Gruppen- oder Partnerarbeit einen realen Fertigungsprozess im Laborpraktikum durchzuführen. Diese Vorgehensweise wird dem Anspruch von „Blended-Learning“ durch die Mischung verschiedener Lernstrategien gerecht. Die geplanten Lernphasen der Technologiepraktika stehen in Tab. 4.5.

Die Lernphase 1 (Erwerb theoretischer Grundlagen) wird von den Lehrenden der jeweiligen Hochschule in den verschiedenen Lehrveranstaltungen begleitet. Die Lernphase 2 (Vertiefen der Grundlagen) ist sowohl in Präsenzveranstaltungen wie auch ortsungebunden über eine CD zum virtuellen Labor oder später über die Lernumgebung möglich. Für eine Präsenzveranstaltung werden als zeitlicher Rahmen 15 bis 60 Minuten angesetzt, je nachdem wie intensiv die Vertiefung durchgeführt werden soll. Für eine kurze theoretische Abhandlung reicht ein 15-minütiger Vortrag der Lernenden aus, der von einer Teilgruppe der Studierenden für die anderen Teilnehmer abgehalten wird. Bei einer wirksameren Vertiefung empfiehlt sich eine Vortragsdauer von 30 bis 45 Minuten. Bei einer Vorbereitung über CD oder die Lernumgebung ist der zeitliche Einsatz dem Engagement der Lernenden überlassen. Für die Einführung zu den virtuellen Maschinen werden für die Lehrenden zwischen 15 und 30 Minuten eingeplant. Weiterhin ist zu überlegen, ob die Teilnehmer eine schriftliche Zusammenfassung zu einem Thema als Praktikumsbericht abgeben sollen. Dieses ist noch festzulegen.

Während der Schulungen (Lernphase 3) erhalten die Kursteilnehmer durch die betreuenden Assistenten direkt Antworten auf ihre Rückfragen zu Prozessen oder Maschinen. Dabei soll die Betreuung eher auf zurückhaltende Weise nach dem „Prinzip der minimalen Hilfe“ geschehen, um den Lernerfolg zu steigern. Durch rechtzeitiges Eingreifen der Betreuer soll außerdem einer möglichen Demotivierung bei auftretenden Schwierigkeiten mit den komplexen Simulationsprogrammen begegnet werden. Für das Arbeiten mit den virtuellen Maschinen wird ein Zeitraum von etwa zwei bis drei Stunden pro Thema angesetzt. Der Zeitrahmen ist dabei abhängig von der Anzahl der virtuellen Maschinen zu einem Thema und den persönlichen Fähigkeiten der Studierenden. Er kann aufgrund der geringen Gruppengröße entsprechend angepasst und auf einzelne Teilnehmer abgestimmt werden. Die Präsenzveranstaltung wird mit einer Abschlussdiskussion beendet. Die zweite Möglichkeit mit dem virtuellen Labor zu arbeiten, besteht in einem Selbststudium mittels einer CD oder innerhalb der Lernumgebung. Eine Nachbereitung der gewonnenen Kenntnisse und Fähigkeiten (Lernphase 4) ist den einzelnen Teilnehmern über unterschiedliche Zugangsmöglichkeiten frei gestellt.

Beim realen Praktikum (Lernphase 5) stellen die Teilnehmer in einem einwöchigen, betreuten Kurs eigenhändig in kleinen Gruppen von zwei oder drei Teilnehmern einen Drucksensor her, wobei sie alle Fertigungsschritte durchlaufen. Unterschiedlich vorprozessierte Wafer werden bei möglichen Fertigungsproblemen (beispielsweise Maschinenstillstand durch Anlagendefekte, Verlust von bereits prozessierten Proben durch fehlerhaftes Handling) eingesetzt, um die Durchführung des gesamten Fertigungsprozesses aufrecht zu erhalten. Neben einer allgemeinen Einführung und Sicherheitseinweisungen zu Beginn des Laborpraktikums findet eine Abschlussdiskussion mit allen Kursteilnehmern und Betreuern am Ende der Veranstaltung statt. Die Lernenden erhalten einen im Laborpraktikum prozessierten Drucksensor. Auch hier ist zu überlegen, ob die Teilnehmer einen kurzen Praktikumsbericht zum Reinraumkurs abliefern

sollen, um durch Wiedergabe des Gelernten und Erlebten den Lernerfolg sowie die Nachhaltigkeit zu steigern.

Tab. 4.5: Lernphasen der Technologiepraktika

1. Erwerb theoretischer Grundlagen durch Vorlesungen und Übungen mit Schwerpunkt Mikrosystemtechnik
Die Lernenden erwerben in speziellen Vorlesungen und Übungen zusätzliches MST-Wissen, das auf schon vorhandene Kenntnisse aus allgemeinen Lehrveranstaltungen aufbaut wie • technische Grundlagen (Elektrotechnik, Mechanik, Werkstoffkunde), • Praxisbeispiele (Herstellungsverfahren, Aufbau und Handhabung von Maschinen, Einsatzgebiete und Funktionsweisen gefertigter Bauteile, Prüfverfahren), • Modelle zum Theorie- Praxisbezug (Verlauf eines Beschichtungsverfahrens, Vorgang eines Ätzprozesses).
2. Vertiefen der Grundlagen durch die Vorbereitung auf das virtuelle Training
Jede Lerneinheit behandelt ein spezielles MST-Thema, wobei die Grundlagen zu diesem Thema bei der Vorbereitung durch die Lernenden selbst weiter vertieft werden. Beim Thema „Feuchte Oxidation“ (vgl. Tab. 4.2, Teilschritt 1.4, S. 35) werden • die Werkstoffeigenschaften der eingesetzten Materialien (z. B. Silizium) behandelt, • verschiedene Oxidationsprozesse und Anwendungen wiederholt und ergänzt. • Gleichzeitig gibt es eine kurze Einführung zu den virtuellen Maschinen (wichtige Elemente der Programme und Anlagen, Bedienungshandbücher).
3. Arbeiten mit und im virtuellen Labor
Nach Erarbeitung der Grundlagen sowie einer Einweisung zu den virtuellen Maschinen stehen den Lernenden zwei Möglichkeiten zum Training mit dem virtuellen Labor offen. • Einzelne virtuelle Maschinen werden unabhängig voneinander in betreuten Einzelveranstaltungen getestet. Die Lernenden arbeiten in der Regel zu zweit mit den Maschinen anhand einer Aufgabenstellung. • Die Lernenden nehmen an komprimierten Blockveranstaltungen teil.
4. Abschließen der Vorbereitungsphase
Eine Nachbereitung der bis dahin gewonnenen Kenntnisse und Fertigkeiten bis zum Beginn des realen Laborpraktikums ist weiterhin über das virtuelle Labor möglich. Dieses wird den Lernenden auf unterschiedliche Weise zur Verfügung gestellt • vor Ort an den Hochschulen in Praktikumsräumen, • über CDs für den Computer zu Hause, • später über die Lernumgebung.
5. Durchführung der realen Reinraumpraktika
Die in der Vorbereitungsphase gewonnenen Fähigkeiten werden direkt umgesetzt und theoretisch wie auch gerade praktisch weiter gefestigt.

5 Vorbereitungsphase und virtuelles Labor

5.1 Unterschiedliche Konzepte der Vorbereitungsphase

Das virtuelle Training kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Die Schulungstermine können als Einzelveranstaltungen mit separaten Lerneinheiten stattfinden oder als Blockpraktika von mehreren Tagen angeboten werden. Die Lernmaterialien können in ihrem Umfang und in ihrem Zeitpunkt, wann sie an die Lernenden verteilt werden, variiert werden. Die Einführung zu den Maschinen durch die Betreuer kann sehr kurz oder sehr umfangreich gehalten sein. Die Lernenden selbst können aktiv durch eigene Vorträge oder eher passiv durch ein Selbststudium einbezogen sein. Und schließlich kann das Arbeiten mit den virtuellen Maschinen alleine, in Partner- oder Gruppenarbeit erfolgen. Diese verschiedenen Möglichkeiten der Vorbereitungsphase wurden bei fünf Praktika während der Dissertation unterschiedlich kombiniert, getestet und in Bezug auf die erzielten Lernerfolge untersucht.

Beim ersten Praktikum im WS 2002/03 wurden vier Einzelveranstaltungen mit den bis dahin erstellten Simulationen (Film Thickness Probe, Hochtemperaturofen, Mask Aligner, Sputter Coater, vgl. Tab. 5.1) im Abstand von einer Woche angeboten. Die Schulungsunterlagen wurden ohne die virtuellen Maschinen und ohne die Musterlösungen jeweils eine Woche vor dem nächsten Termin ausgeteilt. Die Teilnehmer erhielten am Praktikumstag zunächst durch die Betreuer eine kurze Einführung zu den virtuellen Maschinen, bevor sie zu zweit mit den Simulationen arbeiteten. Die Partnerarbeit wurde gezielt angewendet, damit die Studierenden die Prozesse mehr hinterfragen sowie die Bedienung der virtuellen Maschinen und der komplexen Anlagen leichter erlernen. Partner- und Gruppenarbeit steigert nach Kohler den Lernerfolg, da „...das Vergleichen des eigenen Lösungsansatzes und der eigenen Vorgehensweise mit den Strategien der anderen große Lernmöglichkeiten beinhaltet.“ (Kohler 2001, S. 109). Am Ende eines jeden Termins wurden die Musterlösungen ausgeteilt. Die virtuellen Maschinen wurden an die Lernenden am letzten Praktikumstermin auf CD ausgehändigt. Die kurze Einführung zu den virtuellen Maschinen und die betreute Partnerarbeit beim Lösen der gestellten Aufgaben wurden von den Lernenden sehr positiv angenommen. Das vorherige Verteilen der Unterlagen sollte die Lernenden dazu veranlassen, sich vor einem Praktikumstermin mit den entsprechenden Teilprozessen und den virtuellen Maschinen auseinander zu setzen. Es zeigte sich allerdings, dass zu Beginn der jewei-

ligen Termine weder genügend theoretisches Wissen noch ausreichende Kenntnisse zur Anlagenbedienung bei den Lernenden vorhanden waren.

Tab. 5.1: Kombination unterschiedlicher Möglichkeiten der Vorbereitungsphase

Praktikum[1)]	Praktikums-art	Austeilen der Unter-lagen	Zusätzliche Unterlagen zur Theorie	Austeilen der Lö-sungen	Austeilen der CD	Anzahl virtueller Maschinen
WS 02/03	Einzeltermine	vorher	ja	nachher	nachher	4
SS 03	Blockkurs	während	nein	nachher	nachher	4
WS 03/04	Einzeltermine	während	ja	nachher	nachher	9
SS 04	Mischung[2)]	vorher	nein	vorher	vorher	10
WS 04/05	Einzeltermine	vorher	ja	nachher	vorher	10

[1)] Verschiedene Lerngruppen von unterschiedlichen Hochschulen

[2)] Mischung aus Block- und Einzelveranstaltung

Das zweite Praktikum im SS 2003 wurde nun als Blockpraktikum an zwei aufeinander folgenden Tagen mit je zwei Lernmodulen und den gleichen Maschinen ohne vorheriges Austeilen der Unterlagen durchgeführt. Die Maschinenanleitungen lagen neben den Praktikumsrechnern aus. Informationen zum theoretischen Hintergrund wurden nicht verteilt, sondern aus den absolvierten Lehrveranstaltungen als bekannt vorausgesetzt, da es sich um eine andere Teilnehmergruppe mit anderen Voraussetzungen handelte. Die Einführung zu den virtuellen Maschinen erfolgte wie im WS 2002/03. Die Lernenden arbeiteten wieder zu zweit mit den Simulationen und erhielten die Musterlösung am Ende jeder Lerneinheit. Nach dem Blockpraktikum wurde die CD mit den virtuellen Maschinen zum weiteren Training verteilt. Auch im Blockpraktikum bewährten sich die kurze Einführung und die betreute Partnerarbeit. Das unmittelbare Austeilen der Unterlagen zu den virtuellen Maschinen im Gegensatz zum WS 2002/03 hatte keine Nachteile für die Teilnehmer beim Prozessverständnis und der Maschinenbedienung. Allerdings war die Informationsfülle an den zwei aufeinander folgenden Tagen für die Lernenden sehr umfangreich und teilweise fast zu anstrengend.

Beim dritten Praktikum im WS 2003/04 gab es inzwischen fünf Lerneinheiten, die zudem weiterentwickelt und um virtuelle Maschinen sowie Schulungsunterlagen ergänzt wurden. Wie im voran gegangenen WS 2002/03 wurde das Training im Wochenrhythmus, aber an fünf Tagen durchgeführt. Die Lernenden erhielten die Unterlagen zu den virtuellen Maschinen unmittelbar nach der Einführung und die Musterlösungen am Ende des jeweiligen Praktikumstermins. Sie bearbeiteten wieder zu zweit die gestellten Aufgaben und bekamen am Ende der Veranstaltung die CD ausgehändigt. Im Unterschied zu den beiden vorherigen Praktika wurden sie nun allerdings aktiv an der Einführung beteiligt. Unterlagen zu den theoretischen Hintergründen wurden nicht in aufbereiteter Form an die Studierenden verteilt, sondern es wurden Bücher und zusätzliche Literaturhinweise ausgegeben. Die Lernenden mussten mit diesen Unterlagen

einen eigenen Vortrag zur Theorie vorbereiten und diese ihren Kommilitonen zur Wiederholung erläutern. Während der Präsentation aufkommende Fragen wurden mit allen Teilnehmern diskutiert. Die Einführungen zu den virtuellen Maschinen behielten die Betreuer wie bisher bei. Ein neues Video zum Reinraum wurde am Ende des Praktikums gezeigt, um den Lernenden die Laborräume und Maschinen des realen Labors vorzuführen. Insgesamt kamen die Lernenden erneut gut mit den wöchentlichen Veranstaltungen zurecht. Die aktive Beteiligung der Lernenden führte zu einem präsenteren theoretischen Wissen. Nachteile bei der Bedienung der virtuellen Maschinen aufgrund der Austeilung der Unterlagen während des Praktikums wurden wie im SS 2003 nicht beobachtet. Allerdings äußerten die Studierenden den Wunsch, vor einem Termin schon zu Hause mit den Maschinen üben zu können. Weiterhin schlugen sie vor, das Reinraumvideo am ersten Praktikumstermin zu zeigen, um zu Beginn der Lehrveranstaltung eine bessere Vorstellung von den realen und virtuellen Maschinen zu bekommen.

Daher wurden beim vierten Praktikum im SS 2004 die virtuellen Maschinen mit ihren Handbüchern und Musterlösungen auf CD eine Woche vor Praktikumsbeginn in Kombination mit einer kurzen Einführung zum Drucksensorprozess ausgeteilt, so dass sich die Lernenden zeitunabhängig, zu Hause auf die Termine vorbereiten konnten. Inzwischen gab es sechs Lerneinheiten mit zehn virtuellen Maschinen, die in einer Mischung aus Block- und Einzelveranstaltung trainiert wurden. Es gab drei Termine im Abstand von einer Woche, an denen jeweils zwei Themen des Fertigungsprozesses behandelt wurden. An den jeweiligen Praktikumsterminen wurden nochmals die Aufgaben von den Studierenden gelöst. Gleichzeitig bestand die Möglichkeit zur Beantwortung von Fragen. Bei der Blockveranstaltung entfielen aus Zeitgründen die Vorträge seitens der Lernenden. Die theoretischen Grundlagen wurden bei der Teilnehmergruppe wieder als bekannt vorausgesetzt. Die Lernenden kamen gut mit der Kombination von Block- und Einzelveranstaltungen zurecht. Sie konnten zwei Module an einem Tag ohne Probleme bewältigen. Der großen Informationsfülle in einem Blockkurs wie im SS 2003 wurde durch das wöchentliche Angebot begegnet. Allerdings lösten die Lernenden die Aufgaben oft unter Zuhilfenahme der Musterlösungen und testeten daher die Maschinen weniger intensiv aus.

Beim fünften Praktikum im WS 2004/05 wurden die bisherigen Erfahrungen erneut aufgegriffen. Das Praktikum wurde in sechs Einzelveranstaltungen durchgeführt, wobei es zu jedem Lernmodul einen Praktikumstermin im Abstand von einer Woche gab. Außerdem wurde eine Woche vor Beginn des realen Laborpraktikums zusätzlich ein Termin zur Wiederholung aller Lerneinheiten angeboten, um beide Praktikumsteile zeitlich näher zusammen zu bringen und damit einen noch größeren Lernerfolg im realen Laborkurs zu erzielen. Die Lernenden erhielten eine Woche vor Praktikumsbeginn Unterlagen zum virtuellen Labor mit den Angaben zum Prozess und zu den Maschinen, aber ohne die Musterlösungen in Form einer CD ausgehändigt, um sich zu Hause mit diesen auseinander setzen zu können. Während der jeweiligen Praktikumstermine wurden die Unterlagen den Lernenden zusätzlich bereit gestellt. In der Präsenzveranstaltung

wurden die Lernenden wieder aktiv durch die Vorbereitung ihrer Vorträge eingebunden, die nun aber einen größeren Umfang hatten, um dadurch eine stärkere Vertiefung der Grundlagen zu erreichen. Nach den studentischen Vorträgen folgte eine knappe Einführung zu den virtuellen Maschinen durch die Betreuer, so dass die Lernenden einen leichten Zugang zu diesen bekamen und sich mit ihnen in Partnerarbeit auf das reale Reinraumpraktikum vorbereiten konnten. Das Video zum Reinraum wurde, wie im WS 2003/04 gewünscht, in der ersten Veranstaltung gezeigt, um so den Lernenden zunächst einen Einstieg in die Thematik zu geben. Die Musterlösungen wurden am Ende jedes Termins verteilt. Das Konzept der Einzelveranstaltungen hat sich wie die Mischung von Block- und Einzelterminen mit betreuter Partnerarbeit, aktiver Einbindung der Lernenden und einer kurzen Einführung durch die Betreuer bewährt. Das Reinraumvideo verschaffte den Teilnehmern einen guten Überblick zu den Maschinen, den Laborräumen und Prozessen, bevor sie sich intensiver mit den virtuellen Anlagen auseinander setzten. Das Verteilen der Musterlösungen am Ende der Veranstaltungen verhinderte ein stupides Ablesen der Aufgabenteile und ein gleich bleibendes Vorgehen an den virtuellen Maschinen, sondern förderte die aktive Auseinandersetzung mit den Simulationen.

Weitere Praktika sind für die kommenden Semester in Vorbereitung. Dabei sind vor allem kombinierte Block- und Einzelveranstaltungen geplant, um unabhängig von Vorlesungs- und Praktikumszeiten zu werden, solange die Technologiepraktika nicht fest in die Curricula der Hochschulen eingebunden sind. Weiterhin soll die CD zum virtuellen Labor immer vor einem Praktikum verteilt werden, um eine eigenständige Vorbereitung zu ermöglichen. Als Ergänzung zum Selbststudium ist bei Bedarf ein zusätzlicher Wiederholungstermin vorgesehen. Schulungstermine werden in betreuter Form angeboten, um Fragen der Teilnehmer zu den komplexen Anlagen direkt beantworten und auftauchende Schwierigkeiten bei den virtuellen Maschinen unmittelbar beheben zu können.

5.2 Inhalte und Struktur der Einführung

Jeder Schulungsblock des virtuellen Labors beginnt mit einer Einführung. In der Einführung werden der Reinraum in Zweibrücken mit den verschiedenen Maschinen vorgestellt, die exemplarische Fertigungskette erklärt sowie eine Übersicht zu den virtuellen Maschinen gegeben. Der genaue Inhalt der Einführung ist dabei abhängig von der Kursart. So gibt es bei Einzelveranstaltungen häufig eine spezielle Einführung zum entsprechenden Praktikumsthema. Die Einführungen können hier ausführlicher sein und damit stärker auf die Teilprozesse und virtuellen Maschinen vorbereiten. Um den Lernenden den Einstieg weiter zu erleichtern und die theoretischen Grundlagen zu wiederholen, können sie an der Einführung aktiv durch eigene Kurzvorträge zu einem

ausgewählten Thema der jeweiligen Lerneinheit beteiligt werden. Bei Blockkursen fallen die Einführungen aus zeitlichen Gründen meist wesentlich kürzer aus.

Beiden Kursarten ist ein allgemeiner Teil zum Ablauf und zur Organisation gemeinsam. Ferner werden im allgemeinen Part die Lernziele benannt und die verschiedenen Schulungsunterlagen vorgestellt. Dadurch bekommen die Teilnehmer einen Überblick zum Umfang und zum Inhalt der Materialien, mit denen sie während des Praktikums arbeiten werden. Gleichzeitig erhalten sie Anregungen für eigene Studien.

Nach dem allgemeinen Teil folgen bei den Einzelveranstaltungen die Kurzvorträge der Studierenden, bei denen die notwendigen Grundlagen zu den Teilprozessen vertieft werden. Fragen können direkt beantwortet und Unklarheiten diskutiert werden. Im Anschluss an die studentischen Vorträge folgt seitens der Betreuer eine kurze Erläuterung zu den Programmen und Geräten, mit denen an diesem Termin gearbeitet wird. Es werden Bilder von den realen Anlagen und Anlagenkomponenten sowie die wichtigsten Oberflächen der virtuellen Maschinen gezeigt, um die Lernenden mit Beidem vertraut zu machen. Die Teilnehmer können so leichter einen Bezug zwischen realen und virtuellen Anlagen herstellen und sich die realen Maschinen besser vorstellen. Das Reinraumvideo wird dabei unterstützend eingesetzt. Die Betreuer geben in der Einführung Hinweise zu relevanten Bedienfaktoren und möglichen Schwierigkeiten. Damit sollen die Teilnehmer zusätzlich für wichtige Aspekte an einer Maschine sensibilisiert werden. Die Hinweise werden sehr kurz gehalten, damit nicht zuviel vorweg genommen und der Lernerfolg vermindert wird.

5.3 Schulungsunterlagen

5.3.1 Methodik zum Erstellen der Schulungsunterlagen

Die ersten Überlegungen zum Erstellen der Schulungsunterlagen befassten sich mit den Fragen, welche Unterlagen die Lernenden mindestens für die virtuellen und realen Praktika benötigen und wie diese aufbereitet und präsentiert werden sollen. Denn die bereit gestellten Materialien sollen ein erfolgreiches Absolvieren beider Praktika mittels Lösen gestellter Aufgaben ermöglichen und unterstützen. Damit wird nach der „Inhaltskomponente des Lehrziels“ (Kerres 2001, S. 148ff) gefragt. Nach diesen Vorüberlegungen wurden die Lehrinhalte gesammelt, gegliedert sowie auf ein notwendiges Minimum reduziert und damit ein Konzept für den Aufbau der Trainingsmaterialien aufgestellt. Es wurden gewissermaßen Prototypen für beispielsweise Textdokumente oder virtuelle Anlagen entwickelt und ihre Tauglichkeit in den anstehenden Praktika getestet. „Ein Prototyp wird erstellt, um grundsätzliche programmtechnische Lösungen zu finden.“ (Rietsch 1997, S. 71). Gleichzeitig wurden die Lernprozesse berücksichtigt, denn

„Mediale Lernangebote sind so aufzubereiten, dass ihre Bearbeitung bestimmte Lernprozesse möglich machen." (Kerres 2001, S. 147). Bei der Realisierung und Umsetzung des Konzeptes wurden die Bedürfnisse beider Gruppen immer wieder überprüft und die Materialien kontinuierlich an diese nach dem „...Grundmodell des General System Designs[1]... mit den Arbeitsschritten *Analyse, Planung, Entwicklung, Einsatz, Evaluation und Revision*..." angepasst (Issing 1997, S. 200). Aufgrund der Rückmeldungen und Anregungen seitens der Lernenden und Lehrenden wurde das bestehende Konzept zum Umfang und zum Inhalt der Unterlagen weiterentwickelt. Diese Vorgehensweise wurde durch die ausgeführten Untersuchungen unterstützt und optimiert.

Für den Aufbau der textbasierten Materialien spielten Fragen nach den Themenbereichen (beispielsweise Prozesskette, Maschinen), Fragen nach der Gliederung und dem Umfang einzelner Themenblöcke, der Beschaffenheit sowie dem Angebot oder der Verfügbarkeit der jeweiligen Unterlagen eine wichtige Rolle. Die Themenbereiche lassen sich grundsätzlich in die zwei Gebiete Theorie und Praxis gliedern. Für das theoretische Hintergrundwissen müssen den Lernenden mindestens die Grundlagen zu den in den Praktika vorgestellten Teilprozessen vermittelt werden. Daher müssen die Schulungsunterlagen auf theoretischer Seite die relevanten Prozesse und Fertigungsverfahren abdecken. Neben den Vorlesungsskripten an Hochschulen gibt es umfassende Literatur zur Mikrosystemtechnik, welche für die Technologiepraktika auf ein vertretbares Minimum mit entsprechend hoher Qualität reduziert werden müssen. Da diese Unterlagen der theoretischen Wiederholung und Vertiefung dienen, werden sie von den Lernenden für die Vorbereitung auf das virtuelle Labor, für das Arbeiten an den virtuellen Maschinen, für die Nachbereitung der virtuellen Praktika und für die realen Reinraumpraktika benötigt. Daher wurden diese Unterlagen als Buch konzipiert, das sowohl ausgedruckt an den Arbeitsrechnern vorliegen sowie elektronisch in das virtuelle Labor oder die Lernumgebung implementiert werden kann. Der Prototyp für die Testphase des „Drucksensor-Kochbuches 1" bestand zunächst aus einzelnen Dokumenten zu den Teilprozessen der exemplarischen Fertigungskette und verschiedenen Kapiteln bestehender Vorlesungsskripte.

Für das praktische Training an den virtuellen und realen Anlagen werden Unterlagen benötigt, die sowohl Bediener mit geringen Vorkenntnissen wie auch professionellere Anwender beim Lernen unterstützen. Thematisch lassen sich die Unterlagen in einzelne Maschinen oder Maschinengruppen gliedern. Sie müssen inhaltlich wenigstens die wichtigsten Anlagenkomponenten und Vorgänge an den Maschinen erklären, auf mögliche Bedienfehler und Komplikationen hinweisen, die Unterschiede zwischen realem und virtuellem Labor verdeutlichen sowie das Lernen durch geeignete Aufgabenstellungen begleiten. Dabei sollen die Anleitungen zu einer einzelnen Maschine nicht zu umfangreich sein, damit die Lernenden sich schnell an den Maschinen zurecht finden können und gleichzeitig eine gute Orientierung beim Nachlesen und Blättern erhalten.

[1] Wissenschaftliche Methode zur Entwicklung von Systemen

Genutzt werden die Unterlagen beim Arbeiten mit dem virtuellen Labor an den Schulungsrechnern, auf dem Computer zu Hause und zum Teil während der realen Laborpraktika. Daher wurden diese Unterlagen wie die Materialien zur Theorie als „Drucksensor-Kochbuch 2“ entworfen. So können die Inhalte als gedruckter Begleitband an den Praktikumsrechnern ausgelegt sowie als elektronische Version in das virtuelle Labor und die Lernumgebung eingebunden werden. Der Prototyp dieses Maschinenhandbuches bestand ebenfalls aus einzelnen Dokumenten.

5.3.2 Inhalte der Schulungsunterlagen

Im Drucksensor-Kochbuch 1 (vgl. Tab. 5.2) werden verschiedene Teilprozesse theoretisch behandelt. Die jeweiligen Kapitel umfassen die wesentlichen Hintergründe zu einzelnen Prozessen, insbesondere zu Fertigungsprozessen des Drucksensors. Damit werden die Hauptthemen der Mikrosystemtechnik abgedeckt und gleichzeitig Bezug auf den exemplarischen Fertigungsprozess genommen. Zusätzlich wird Theorie zu tiefergehenden Themen in der Mikrosystemtechnik in Anlehnung an den behandelten Themenbereich gegeben. Diese zusätzliche Theorie ist als Ergänzung und Erweiterung gedacht, falls sich Lernende intensiver, über die Grundlagen hinaus, mit einem Thema befassen möchten. Die Gestaltung der Inhalte zu den Kapiteln obliegt den jeweiligen Autoren. Die Autoren wiederum haben industrielle Erfahrungen, sind überwiegend in die MST-Lehre eingebunden und besitzen daher ausgezeichnete Fachkenntnisse zu ihrem Themengebiet. So wird sichergestellt, dass die theoretischen Grundlagen für die Lernenden inhaltlich von hoher Qualität sind. Die Unterlagen sind zurzeit in Bearbeitung und somit nicht abschließend fertig gestellt.

Im Drucksensor-Kochbuch 2 werden die realen und virtuellen Anlagen erläutert. Das Buch setzt sich aus einzelnen Kapiteln zu den Maschinen, Programmhilfen sowie einer Einführung zum realen Reinraum und zum virtuellen Labor zusammen. In den Kapiteln „Installation“ und „Programmhilfen“ wird erläutert, wie mit der CD des virtuellen Labors zu arbeiten ist, und welche zusätzlichen Programme für die virtuellen Maschinen benötigt werden. Ein einzelnes Maschinenkapitel gliedert sich in mehrere Unterkapitel zu den realen und virtuellen Anlagen. Diese enthalten Angaben zu den wesentlichen Bedienfenstern und -möglichkeiten sowie Hinweise zu den Unterschieden zwischen realen und virtuellen Geräten. Die Anleitungen zu den virtuellen Maschinen sind als kurze Handbücher zur Maschinenbedienung gedacht und haben einen entsprechend geringen Umfang von bis zu etwa 50 Seiten. Die Beschreibungen zu den realen Anlagen sind als kurze Zusammenfassungen der tatsächlichen, meist sehr umfassenden Herstellerhandbücher anzusehen, die um spezielle, erfahrungsbedingte, geräte- und prozesstechnische Angaben ergänzt wurden. Die wichtigsten Anlagenkomponenten sowie Oberflächen der Prozessrechner werden abgebildet und erklärt, so dass die Lernenden eine Kombination von realen und virtuellen Maschinenbeschreibungen vorliegen haben. Zudem gibt es zu jeder Maschine verschiedene Aufgabenstellungen mit Lösun-

gen. Allen Maschinenkapiteln gemeinsam sind, neben den Erläuterungen zur Maschinenbedienung und speziellen Aufgaben oder Übungen, Hinweise zu Bedienfehlern und Tipps zum typischen Handling. Die Gliederung eines Maschinenkapitels ist in Tab. 5.2 vereinfacht am Beispiel des Hochtemperaturofens zu sehen. Auch diese Unterlagen, insbesondere zu den realen Anlagen, sind zurzeit nicht vollständig fertig gestellt.

Tab. 5.2: Wichtige Kapitel der Drucksensor-Kochbücher, Auszug entspricht teilweise dem tatsächlichen Inhaltsverzeichnis

Drucksensor-Kochbuch 1
1. Einführung in die Mikrosystemtechnik 2. Der Werkstoff Silizium 3. Prozess zur Herstellung eines Drucksensors 4. Reinraumtechnik 5. Oxidation 6. Dotierung 7. Lithografie 8. PVD-Verfahren 9. Ätzverfahren 10. Aufbau- und Verbindungstechnik 11. Prozessmesstechnik 12. Industrielle Prozesse und Realisierung
Drucksensor-Kochbuch 2
1. Installation der CD virtuelles Labor 2. Einführung 2.1. Reales Reinraumlabor 2.2. Virtuelles Labor 3. Programmhilfen 4. Hochtemperaturofen 4.1. Virtuelle Maschine 4.1.1. Lernziele 4.1.2. Definitionen und Abkürzungen 4.1.3. Oberflächen der virtuellen Maschine 4.1.4. Hinweise und Bedienfehler 4.2. Übungen zur virtuellen Maschine 4.3. Reale Maschine 4.3.1. Reale Maschinenbedienung 4.3.2. Fertigung Drucksensor 4.4. Unterschiede zwischen realer und virtueller Maschine

Die Zweiteilung der Unterlagen wurde gewählt, um die zugrunde liegenden theoretischen Vorgänge von der praktischen Maschinenbedienung zu entkoppeln. Die Drucksensor-Kochbücher wurden als elektronische Dokumente im virtuellen Labor hinterlegt und können über die virtuellen Maschinen aufgerufen werden. Gleichzeitig werden die Bücher in den Schulungen mit den Aufgabenstellungen und Lernzielen als, ausgedruckte Nachschlagewerke angeboten. Beide Varianten werden eingesetzt, da sich bei den Schulungen gezeigt hat, dass zum schnellen Nachsehen eine elektronische Version der Unterlagen völlig ausreicht. Um aber eine Maschinenanleitung direkt an einer Anlage umsetzen zu können, ist das parallele Betrachten von Maschine und Lesen der Bedienungsanleitung nach Angaben der Lernenden häufig günstiger.

Die geplante Lernumgebung kann im weiteren Sinne auch zu den Schulungsunterlagen gerechnet werden, da sie zu den realen und virtuellen Maschinen Informationen liefert und die Lernenden an die Anlagen heranführt. Strukturell muss sie für komplexe Systeme benutzerfreundlich aufgebaut sein und inhaltlich dem Lernen an einem Computer gerecht werden, also wenig Text und dafür mehr Bilder enthalten. Es ist geplant, dass Lernende innerhalb der Lernumgebung zunächst einen Maschinenführerschein zu einer einzelnen virtuellen Maschine erwerben, indem sie sich mit dieser intensiver auseinander setzen und die gestellten Aufgaben lösen. Der Erwerb mehrerer Maschinenführerscheine erlaubt danach die Verknüpfung der virtuellen Anlagen untereinander, so dass eine Prozesskette mit mehreren Maschinen bis hin zum Gesamtprozess aufgebaut werden kann. Die Lernumgebung wurde überwiegend an der Fachhochschule Kaiserlautern/ Zweibrücken konzipiert und existiert zurzeit als nicht getesteter Prototyp. Zusätzliche Begleitmaterialien wie beispielsweise Plakate zum Fertigungsverfahren, die in den Schulungsräumen aufgestellt werden können, oder einseitige Übersichten zur Theorie und zum Handling an den realen Maschinen, die insgesamt den Lernenden als Orientierung dienen, sind geplant, wurden aber bisher aufgrund knapper Ressourcen nicht realisiert.

5.4 Virtuelle Maschinen

5.4.1 Methodik zum Entwickeln der virtuellen Maschinen

Für die Entwicklung einer virtuellen Maschine müssen die realen manuellen Tätigkeiten, die benötigten Oberflächen des Prozessrechners oder der Steuereinheit sowie der vollständige Ablauf an der Anlage und damit die Komplexität der Teilschritte berücksichtigt werden. Diese drei Kriterien führen zu einer Entscheidung für oder gegen bestimmte und damit bevorzugte Typen von Lernprogrammen. Schulmeister unterscheidet nach dem „Grad der Interaktionsfreiheit“ neun Typen von „Multimedia-Lern-

programmen“. „Drill & Practice-Programme“ bieten die geringste Interaktivität zwischen den Lernenden und dem Lernprogramm. Einer geführten Version („Guided Tours“) ordnet Schulmeister eine mittlere Interaktionsfreiheit zu. Die höchsten Freiheiten besitzen „Simulationen“ und zuletzt echte „Interaktive Programme“ (Schulmeister 2002, S. 66ff). Schulmeister schreibt weiter: „Zu den wichtigsten Lernzielen von Simulationen zählen: Systematische Konzepte, Regeln und Prozesse und deren rekursives Zusammenwirken zu entdecken...“ (Schulmeister 2002, S. 379). Haack begründet die Bedeutung der Interaktivität mit den „Funktionen der Individualisierung und Motivierung... Motivierendes Lernen, verstanden als aktiver Einbezug des Lernenden in das Lerngeschehen, kann gleichermaßen durch interaktive Techniken gefördert werden.“ (Haack 1997, S. 271). Oder, wie Strzebkowski schreibt: „Kognitionspsychologisch betrachtet, soll durch das Provozieren von Interaktionen auf der Seite des Lernenden die aktive Verknüpfung neuer Informationen mit bereits vorhandenem Wissen gefördert werden.“ (Strzebkowski 1997, S. 271). Somit fördern Interaktionen Lernmotivation und Lernerfolg.

Die Bedienung der realen Anlagen reicht von überwiegend manuell, wie zum Beispiel beim „Anodischen Bonder“ (AVT), über halbmanuell, wie beispielsweise beim „Mask Aligner“ (Labor Lithografie), bis nahezu vollständig rechnergesteuert, wie beim „Hochtemperaturofen“ (Labor Beschichtung). Zudem sind die Maschinen teilweise sehr komplex. Trotzdem sollen die virtuellen Maschinen nach technischen und didaktischen Gesichtspunkten möglichst nahe an die realen Maschinen angepasst sein, damit für die Lernenden ein hoher Lernerfolg, zum Beispiel durch Wiedererkennungseffekte, gegeben ist. Dabei sind Vereinfachungen, die das Lernen positiv beeinflussen und fördern sowie gleichzeitig die Umsetzung erleichtern, bewusst gewünscht. Bei der Entwicklung der Simulationen müssen daher die manuell zu bedienenden Anlagenkomponenten in abstrahierter Form in die Oberfläche der virtuellen Maschine integriert werden. Weiterhin sollen die einzelnen virtuellen Maschinen miteinander verknüpft werden, so dass ein virtueller Herstellungsprozess durchgeführt werden kann. Dazu muss die Möglichkeit des Datenaustausches zwischen den einzelnen Anlagen in einer gemeinsamen virtuellen Laborumgebung geschaffen werden. Die Lernenden sollen zudem in Interaktion mit den virtuellen Maschinen stehen und entsprechende Rückmeldungen zu ihren vorgenommenen Einstellungen erhalten. Die virtuellen Maschinen sollen trotz der vielen Anforderungen mit einer möglichst geringen Anzahl an Software-Programmen erstellt werden, um den Programmieraufwand zu verringern, die Anzahl zusätzlich zu installierender Programme einzudämmen und die Verknüpfung der Maschinen zu erleichtern.

Bei der Umsetzung gab es aber noch weitere Anforderungen. Neben der Frage nach der Aufsplittung in manuelle und rechnergesteuerte Bedienungen an einer realen Anlage lauten weitere Fragen: Was soll konkret an jeder einzelnen virtuellen Maschine den Lernenden vermittelt werden? Welche Einschränkungen und Vereinfachungen bei den virtuellen Maschinen sind zulässig, um die beiden wesentlichen Lernziele zum Prozessverständnis und zur Maschinenbedienung zu erreichen? Wo stößt das Virtuelle an

seine Grenzen und was muss oder kann das reale Praktikum leisten? Welche Form und Art der Umsetzung für eine virtuelle Maschine muss zu diesem Zweck gewählt werden? Es wird also nach den Möglichkeiten und Vorteilen unterschiedlicher Medien und deren Einsatz gefragt; ob es beispielsweise sinnvoll ist, eine Simulation oder eher eine Animation zu erstellen. Diesen Anforderungen an die virtuellen Maschinen stehen manuelle und anlagentechnische Gegebenheiten der realen Anlagen gegenüber, die beim Entwickeln der virtuellen Maschinen miteinander in Einklang gebracht werden müssen (vgl. Tab. 5.3 und Tab. 5.4).

Tab. 5.3: Anlagentechnische Rahmenbedingungen

Oberflächen der Prozessrechner
• Unterschiedliche Anzahl und Zugänglichkeit der Maschinenoberflächen • Unterschiedliche Fenstertitel • Gliederung der Maschinenoberflächen in verschiedene Teilbereiche • Beeinflussung der Maschinenoberflächen durch manuelle Einstellungen • Verschiedene Sprachen (englisch, deutsch) • Unterschiedliche Bedienmöglichkeiten (Maus, Tastatur)
Manuelle Handlungen
• Proben auflegen und entnehmen • Anlagenkomponenten ein- und ausschalten sowie bewegen • Prozessgase und -flüssigkeiten zu- und abschalten sowie überwachen • Mikroskope für verschiedene Anwendungen bedienen • Werkzeuge und Hilfsmittel benutzen (Reinraumkleidung, Pinzetten, Chemikalien, Träger, Spannrahmen, weitere Hilfsmittel)

Um nach den Anforderungen und technischen Rahmenbedingungen virtuelle Maschinen zu entwickeln, wurde zunächst zwischen den beiden grundsätzlichen Anlagenbedienungen unterschieden. Die manuellen Einstellungen sind meistens an jeder Anlage anders und daher maschinenspezifisch. Im Gegensatz dazu gibt es zwischen den Oberflächen der Prozessrechner, die sich im Detail unterscheiden, einige strukturelle Gemeinsamkeiten. Nach Einschalten eines Maschinenrechners erscheint in der Regel ein sogenannter „Startbildschirm“, von dem aus auf weitere Fenster verzweigt wird. Dieses Startfenster ist der Zugang zu einer virtuellen Maschine und fungiert als Eingangsfenster. Ist an einem Maschinenrechner ein solches Eingangsfenster vorhanden, wurde es nahezu identisch für die virtuelle Maschine verwendet. Fehlt dieses Fenster, wurde ein entsprechendes Startfenster für die virtuelle Maschine erstellt. Der Startbildschirm und alle Oberflächen eines Anlagenrechners werden mit dem Begriff „Maschinenoberfläche“ bezeichnet, um sie von der zusätzlich ergänzten „Navigationsleiste“ zu unterscheiden. Über die Navigationsleiste werden den Lernenden Funktionen zur Verfügung gestellt, die über die rechnergesteuerte Maschinenbedienung hinaus gehen.

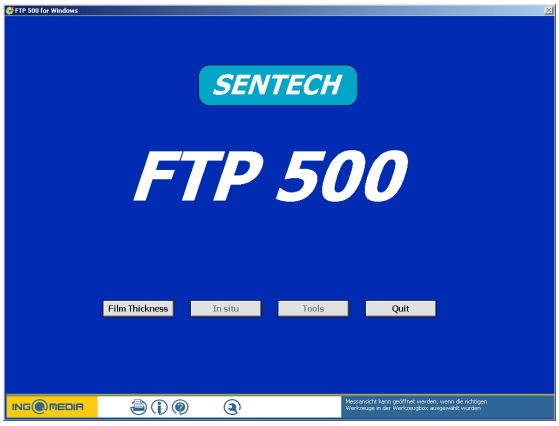
Tab. 5.4: Anforderungen an die Maschinen des virtuellen Labors

Virtuelle Maschine
• Realitätsnahe Bedienoberflächen schaffen • Oberflächen der Prozessrechner auf die wesentlichen Komponenten beschränken und bei Bedarf vereinfachen • Prozessparameter auf die wesentlichen Parameter beschränken • Manuelle Tätigkeiten auf die wesentlichen Handgriffe beschränken, vereinfachen und implementieren • Möglichen Bedienfehlern an realen Maschinen vorbeugen • Lösen von Aufgaben und Übungen zulassen • Lösen der Aufgaben in einem für das Praktikum vertretbaren Zeitraum bewerkstelligen • Hinweise zu Unterschieden zwischen realen und virtuellen Maschinen geben • Den Transfer auf ähnliche Anlagentypen fördern • Einen Datenaustausch zwischen den Maschinen zulassen
Unterlagen
• Schulungsunterlagen an jede virtuelle Maschine anpassen • Lernziele an den einzelnen Maschinen konkretisieren • Rückgriff auf Schulungsunterlagen für alle virtuellen Maschinen zulassen
Lernumgebung
• Alle virtuellen Maschinen den Lernenden anbieten • Maschinen verknüpfen
Medien
• Geeignete Medien auswählen und zweckgerichtet einsetzen • Multimedial arbeiten, dabei so viele Medien wie nötig, aber so wenige wie möglich verwenden • Lernende in Interaktion versetzen
Software
• Erstellen von realistischen Maschinenoberflächen mit möglichst schon vorgegebenen Bedienelementen in angemessener Zeit durchführen • Einbinden von Text, Bildern, Videos und Formeln ermöglichen • Datenexport und –import in einem Standardformat zulassen • Erstellen abgeschlossener, eigenständiger Programme (Exe-File) erreichen

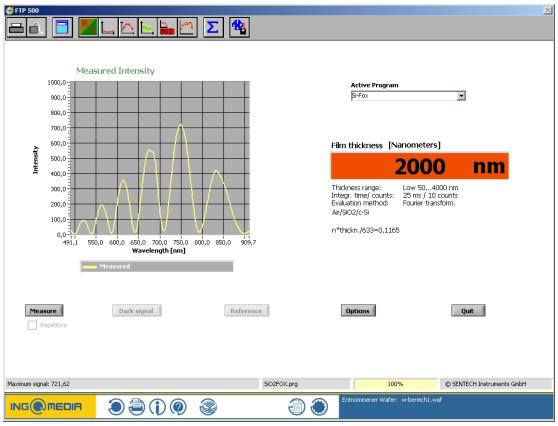
Die Maschinenoberflächen wurden weitestgehend realitätsgetreu in den virtuellen Maschinen abgebildet. Manuell zu bedienende Anlagenkomponenten werden in einem gesonderten Fenster mit dem Namen „Maschineneinstellungen“ zusammengefasst. Dieses Fenster wird über die Navigationsleiste aufgerufen. Im Fenster Maschineneinstellungen werden die an einer Anlage durchzuführenden manuellen Einstellungen vereinfacht dargestellt und teilweise um Videos oder Anlagenbilder ergänzt. Damit be-

stehen die virtuellen Maschinen auf Benutzerseite aus einem Startfenster, den Oberflächen des Prozessrechners, einer Navigationsleiste und einer vereinfachten Darstellung der für manuelle Bedienungen benötigten Gerätekomponenten. Als Beispiel hierzu ist das virtuelle Messgerät Film Thickness Probe in Abb. 5.1 zu sehen. Neben dem Startfenster sind zwei weitere Maschinenoberflächen (Messansicht, Optionen) und das Fenster Maschineneinstellungen exemplarisch abgebildet.

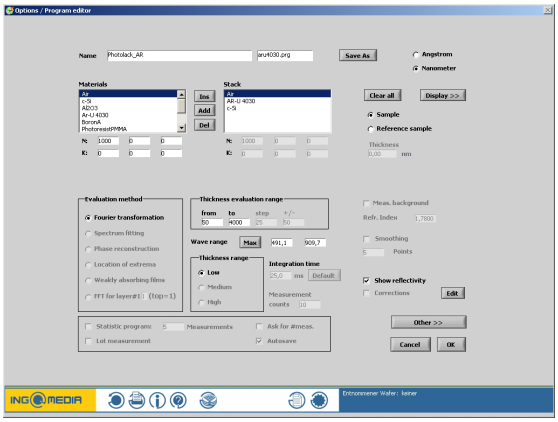
„Startfenster“



Fenster „Messansicht“



Fenster „Optionen“



Fenster „Maschineneinstellungen

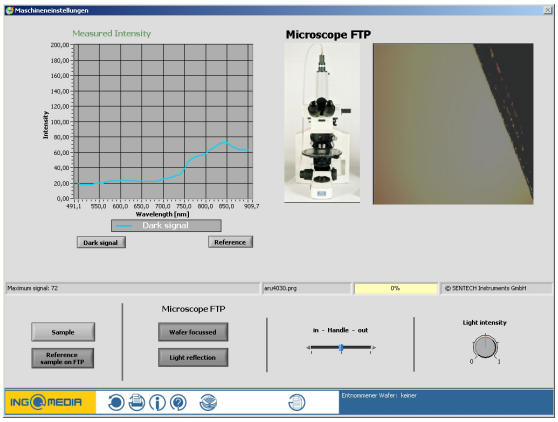


Abb. 5.1: Typische Ansichten von Oberflächen einer virtuellen Maschine am Beispiel „Film Thickness Probe“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Funktionen einer Oberfläche, die für das Lernen nicht benötigt werden, sind in den virtuellen Maschinen dargestellt, aber nicht aktiv. Eine Maschinenoberfläche kann zudem eine eigene Menüzeile besitzen, die ebenfalls integriert wird. Im virtuellen Labor wurden vor allem drei Typen von Lernprogrammen (vgl. Schulmeister 2002, S. 66) realisiert, und zwar Animationen als „Präsentationen“ (beispielsweise Film Thickness Probe, Sputter Coater), geführte Programme, die aufgrund extremer Komplexität und vertretbarer Praktikumszeiten nicht mehr als Simulationen geeignet sind (beispielsweise Mask Aligner), und echte Simulationen (Hochtemperaturofen, Messtechnik usw.).

5.4.2 Physikalische Modellierung der realen Maschinen

Jede Simulation gibt den Lernenden ein virtuelles Prozessergebnis als Feedback zu den vorgenommenen Einstellungen und virtuell durchgeführten Prozessen zurück. Bei den realen Anlagen ist das Ergebnis ebenfalls von den eingestellten Parametern abhängig. Mathematisch lässt sich in der Regel aus diesen ein theoretisch zu erwartendes Resultat berechnen, das vom tatsächlichen Prozessergebnis aufgrund anlagentypischen Verhaltens abweicht. Die mittels der mathematischen Zusammenhänge kalkulierten Ergebnisse dienen den Laboringenieuren als Richtwerte zum Austesten der realen Maschinen. Beim Aufnehmen der Messreihen werden die für einen Prozess relevanten Parameter variiert und so das maschinenspezifische Verhalten ermittelt.

Bei den virtuellen Maschinen müssen ebenfalls die Eingabedaten (Input-Parameter), die vom Bediener verändert werden, und die Ausgabedaten oder Prozessergebnisse (Output-Parameter) miteinander verknüpft werden. Hierzu gibt es drei Möglichkeiten. Der physikalische Zusammenhang der Daten kann durch Gleichungen dargestellt, durch ein Maschinenkennfeld der Messreihen abgebildet oder durch das Festlegen von Grenzwerten vorgegeben werden, innerhalb derer sich die eingestellten Parameter bewegen müssen, um ein sinnvolles Ergebnis zu erhalten. Für jede virtuelle Maschine wird geprüft, ob Gleichungen den Zusammenhang der Input- und Output-Parameter bei den Reinraummaschinen ausreichend beschreiben, oder der reale Sachverhalt nur durch Kennfelder dargestellt werden kann.

Bei mathematischen Gleichungen müssen zum einen alle Input-Werte für die Parametereingabe aufgenommen werden. Zum anderen enthalten die meisten mathematischen Gleichungen für die Verknüpfung von Input- und Output-Parametern maschinenspezifische Konstanten, die an experimentell bestimmte Werte angepasst werden müssen.

Für die Bestimmung eines Kennfeldes werden zahlreiche Messreihen, insbesondere bei Berücksichtigung vieler Einflussgrößen, benötigt. Alleine für zwei Parameter, Temperatur und Zeit, wurden in Zweibrücken am Hochtemperaturofen für die Bestimmung der Abhängigkeit der Oxidschichtdicke von diesen beiden Parametern über 10 Messkurven aufgenommen, um ein zweidimensionales Kennfeld zu erzeugen. Mit jedem neuen Parameter steigt die Zahl der notwendigen Messreihen signifikant an. Soll beispielsweise beim Hochtemperaturofen das Kennfeld mit zwei Parametern um einen weiteren Parameter (Gasfluss) mit fünf neuen Messpunkten (fünf unterschiedliche Gasflüsse) erweitert werden, so müssen (5-1) x 10, also 40 weitere Messkurven aufgenommen werden. Deswegen ist es aus wirtschaftlichen Gründen notwendig, die Zahl der Messreihen auf die für den speziell interessierenden Prozess wirklich wichtigen Parameterwerte zu beschränken. Mit diesen lassen sich für die virtuellen Maschinen mehrdimensionale Kennfelder erstellen, die lediglich wenige Stützstellen besitzen und zwischen denen zur Ermittlung anderer Ergebniswerte mittels Interpolationsfunktionen (linear, quadratisch, spline usw.) interpoliert werden muss.

Neben der physikalischen Modellierung der Prozesse (vgl. Tab. 5.5) werden darüber hinaus die Leistungsgrenzwerte der realen Maschinen berücksichtigt und für die Steuerung der Maschinenprogramme sowie für die Kontrolle der vom Bediener eingegebenen Input-Werte hinterlegt.

Beim virtuellen Hochtemperaturofen werden ausschließlich mathematische Gleichungen für die Beschreibung der physikalischen Zusammenhänge eingesetzt. So werden die Temperaturen der verschiedenen Heizzonen eines Ofenrohres nach einer Ofenkennlinie mit exponentiellem Zusammenhang gesteuert, die in Abhängigkeit der vom Anwender festgelegten Temperaturen (Solltemperaturen) berechnet wird. Es gibt zwei verschiedene Ofenkennlinien, eine zum Aufheizen (vgl. Gl. 5.1) und eine zum Abkühlen des Ofenrohres. Das Prozessergebnis, die Dicke der simulierten Oxidschicht, wird in Abhängigkeit der eingestellten Temperatur und der Prozesszeit nach dem Deal-Grove-Modell für dünne und dicke Siliziumdioxidschichten berechnet (vgl. Gl. 5.2). Das Durchführen eines Prozesses mit unterschiedlichen Temperaturen wie bei der Bor-Dotierung (Diffusion: 870 °C, Verglasen: 1000 °C) ist in der Simulation derzeit nicht implementiert. Die für die Siliziumoxidation von Hilleringmann aufgeführten Vorfaktoren (Hilleringmann 1996, S. 29) sind maschinenspezifisch und werden zur Annäherung des berechneten Ergebnisses an die in Zweibrücken gemessenen Schichtdickenwerte angepasst.

Die Bestimmung der Oxidschicht kann auch mittels eines zweidimensionalen Kennfeldes für Temperatur und Zeit mit den in Zweibrücken aufgenommenen Messreihen erfolgen. Für die Beschreibung der Oxidschicht reichte allerdings schon das Deal-Grove-Modell als einfach zu programmierende Formel aus, so dass auf ein Kennfeld verzichtet wurde.

$$T_i = (T_s - T_r)(1 - e^{-t/\tau}) + T_r$$

mit: T_i, T_s, T_r = Ist- bzw. Solltemperatur des Ofenrohres, Raumtemperatur

t = Zeit ab Start des Aufheizvorgangs

$\tau = aT_s + b$, temperaturabhängige Aufheizzeitkonstante

a, b = Konstanten, [s/K] bzw. [s]

Gl. 5.1: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Berechnen der Ofenkennlinie „Aufheizen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Beim virtuellen Mask Aligner gibt es vier verschiedene Parameter (Ausrichtungsabstand, Belichtungsabstand, Belichtungszeit, Justagegenauigkeit), die das Prozessergebnis beeinflussen. Da diese Parameter innerhalb bestimmter Grenzen liegen müssen, um ein verwertbares Ergebnis zu erhalten, werden die vom Anwender eingestellten Werte mit den Grenzwerten verglichen. Je nach Eingabewert des Parameters erhält der Anwender eine klassifizierte Rückmeldung zu seiner Einstellung.

Tab. 5.5: Abbilden des physikalischen Verhaltens realer Anlagen in den Simulationen

Modellierung	Erläuterung
Hochtemperaturofen	
Berechnen von Ofenkennlinien (Parameter: Zeit)	Exponentielle Gleichung zum Aufheizen und Abkühlen des Ofenrohres, gestützt auf reale Messwerte
Berechnen einer Oxidschichtdicke (Parameter: Temperatur, Zeit)	Berechnen der Dicke einer SiO_2-Schicht nach dem Deal-Grove-Modell
Mask Aligner	
Vorgabe von Grenzwerten für vier Parameter (Ausrichtungsabstand, Belichtungsabstand, Belichtungszeit, Justagegenauigkeit)	Klassifizierung der Ergebnisse in drei Kategorien (sehr gut, brauchbar, unbrauchbar)
Sputter Coater	
Aufstellen eines fünfdimensionalen Kennfeldes aus echten Messreihen (Kathodenabstand[1], Bias-Spannung[2], Leistung, Gasfluss, Zeit)	Lineare Interpolation im Kennfeld unter Berücksichtigung von Randbedingungen zum Bestimmen der aufgesputterten Schichtdicke (Sättigungseffekte)
Anodischer Bonder	
Vorgabe von Grenzwerten für fünf Parameter (Temperatur von Wafer und Glaswafer, Kammerdruck, Anpressdruck, Spannung), Beachten des Materials der obersten Schicht (Silizium, Siliziumdioxid)	Klassifizierung der Ergebnisse in zwei Kategorien (bond ok, bond nicht ok)
Ellipsometer	
Berechnen der Änderung des Polarisationszustands von polarisiertem Licht definierter Wellenlänge bei der Reflexion an der Oberfläche einer Probe (Parameter: Brechungsindex, Absorptionskoeffizient, Schichtdicke)	Verwenden der Fresnel'schen Gleichungen, Ergebnisse sind optische Parameter und die Schichtdicke von SiO_2
Film Thickness Probe	
Berechnen der Wellenlängenabhängigkeit der Reflektivität (Parameter: Schichtaufbau)	Verwenden der Fresnel'schen Gleichungen unter Berücksichtigung von Interferenzeffekten, Ergebnisse sind wellenlängenabhängige Intensität und Reflektivität sowie eine Schichtdicke

[1] Abstand zwischen Kathode und Wafer, auch als „Tellerhöhe" bezeichnet

[2] Zusätzlich am Substrathalter angelegte Spannung, auf dem sich die Wafer befinden

Beim virtuellen Sputter Coater werden die in Zweibrücken aufgenommenen Messreihen verwendet, um ein fünfdimensionales Kennfeld mit den Parametern Kathodenabstand, Bias-Spannung, Leistung (Gleichstrom/ DC, Wechselstrom/ AC), Gasfluss und Zeit mittels linearer Gleichungen zu erzeugen. Beispielsweise nimmt die Schichtdicke des aufgesputterten Kathodenmaterials kontinuierlich mit der Zeit zu. Eine weitere wichtige Größe ist das Kathodenmaterial, das aber in der derzeitigen Simulation nicht berücksichtigt wird. Stattdessen wird dem Anwender das Kathodenmaterial zusammen mit der Schichtdicke als Ergebnis an der virtuellen Maschine angezeigt. Zudem wurden beide Ergebnisse als virtuelle Waferdaten in die maschinenübergreifende Datenverwaltung aufgenommen.

$$d = -\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} + \beta(t + t_0)}$$

mit: $\beta = C_P \cdot \exp\left(-\frac{E_P}{k_B T}\right)$ $\alpha = \frac{\beta}{C_L \cdot \exp\left(-\frac{E_L}{k_B T}\right)}$

d = Schichtdicke

C_P = Vorfaktor, [nm²/min]

C_L = Vorfaktor, [nm/min]

E_P, E_L = Aktivierungsenergien

k_B = Boltzmannkonstante

T = Temperatur

t = Zeit

t_0 = Zeitkonstante (für natürliche Oxidschicht)

Gl. 5.2: Berechnen einer Siliziumdioxidschichtdicke nach Deal-Grove-Modell (Hilleringmann 1996, S. 28ff)

Beim Anodischen Bonder werden ähnlich wie beim virtuellen Mask Aligner die an der Maschine eingestellten Parameter (Temperaturen von Pyrexwafer und Wafer, Kammerdruck, Anpressdruck, Spannung) innerhalb vordefinierter Grenzen überprüft. Zudem wird für das Bondergebnis die oberste Schicht des Wafers (Material: Silizium, Siliziumdioxid; Schichtdicke von Siliziumdioxid) berücksichtigt. Ein positives Bondergebnis liegt vor, wenn, neben den korrekt eingestellten Parametern, physikalisch das Bonden[1] der obersten Schicht mit einem Pyrexwafer überhaupt möglich ist (Silizium, Siliziumdioxid von maximal 500 nm Dicke).

[1] Dauerhafte Verbindung zwischen Glaswafer und Wafer

Bei den beiden virtuellen Messgeräten Ellipsometer und Film Thickness Probe wird das physikalische Verhalten über die Parameter Brechungsindex (n) und Absorptionskoeffizient (k), die beide von der Wellenlänge abhängen, und der Schichtdicke (d) mit Hilfe der Fresnel'schen Gleichungen abgebildet.

Am Ellipsometer wird die Änderung des Polarisationszustandes des monochromatischen Laserlichtes (Phasenverschiebung Δ und Amplitudenverhältnis $\tan(\psi)$ des s- und p-Anteiles) bei der Reflexion an der Waferoberfläche nach Gl. 5.3 für einen virtuellen Siliziumwafer berechnet (Substratmessung).

$$\rho = \frac{E_p}{E_s} = \frac{|E_p|\exp(i\delta_p)}{|E_s|\exp(i\delta_s)} = \tan(\psi)\exp(i\Delta)$$

$$\varepsilon = \sin^2(\varphi)[1+\tan^2(\varphi)\frac{(1-\rho)^2}{(1+\rho)^2}]$$

$$\mathrm{Re}(\varepsilon) = \sin^2(\varphi)[1+\tan^2(\varphi)\frac{\cos^2(2\psi)-\sin^2(2\psi)\sin^2(\Delta)}{(1+\sin(2\psi)\cos(\Delta))^2}]$$

$$\mathrm{Im}(\varepsilon) = -\sin^2(\varphi)\tan^2(\varphi)\frac{\sin(4\psi)\sin(\Delta)}{(1+\sin(2\psi)\cos(\Delta))^2}$$

$$n = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{\mathrm{Re}(\varepsilon)^2+\mathrm{Im}(\varepsilon)^2}+\mathrm{Re}(\varepsilon))}$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{2}(\sqrt{\mathrm{Re}(\varepsilon)^2+\mathrm{Im}(\varepsilon)^2}-\mathrm{Re}(\varepsilon))}$$

mit: E_p, E_s = elektrische Feldstärke parallel (p) und senkrecht (s) zur Einfallsebene des Lichtes

ρ = Verhältnis der elektrischen Feldstärken in paralleler und senkrechter Richtung zur Einfallsebene

ε = komplexe dielektrische Funktion

$\mathrm{Re}(\varepsilon)$, $\mathrm{Im}(\varepsilon)$ = Real- und Imaginärteil der dielektrischen Funktion

$\tan(\psi) = E_{op}/E_{os}$ = gemessenes Amplitudenverhältnis

$\Delta = \delta_p - \delta_s$ = gemessene Phasenverschiebung zwischen E_p und E_s

φ = Einfallswinkel

n = Brechungsindex

k = Absorptionskoeffizient

Gl. 5.3: Anwendung der Fresnel'schen Gleichungen in der Ellipsometrie (Völklein & Zetterer 2000, S. 370)

Dazu werden die in einer Datenbank hinterlegten optischen Parameter (Brechungsindex, Absorptionskoeffizient) zum Oberflächenmaterial (Silizium, Siliziumdioxid) in die Gleichungen eingesetzt und nach der Messung zusammen mit den Δ- und ψ-Werten angezeigt. Bei Messung der optischen Parameter einer Schicht geht aufgrund der Interferenzeffekte zusätzlich die Schichtdicke des Materials ein. In Gl. 5.3 sind zwecks Übersichtlichkeit nur die Gleichungen für ellipsometrische Messungen an einem Substrat dargestellt.

$$I(\lambda) = R(\lambda) I_0(\lambda)$$

$$R(\lambda) = E(\lambda) * \overline{E(\lambda)}$$

$$E(\lambda) = r_1 + \sum_{k=1}^{\infty} t_1 r_2^k e^{i\delta(\lambda)k} r_3^{(k-1)} t_3 \qquad \delta(\lambda) = \frac{4\pi}{\lambda} n_2 d$$

$$t_1 = \frac{2n_1}{n_1 + n_2} \qquad r_1 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

$$t_2 = \frac{2n_2}{n_2 + n_3} \qquad r_2 = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}$$

$$t_3 = \frac{2n_2}{n_1 + n_2} \qquad r_3 = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}$$

mit: $I(\lambda)$ = gemessene Intensität

$I_0(\lambda)$ = maximal gemessene Intensität

$R(\lambda)$ = reflektierte normierte Intensität

$E(\lambda)$ = elektrische Feldstärke des einfallenden Lichtes

$\overline{E(\lambda)}$ = komplexkonjugierte elektrische Feldstärke des einfallenden Lichtes

$\delta(\lambda)$ = Phasenverzögerung beim Durchlaufen der obersten Schicht

λ = Wellenlänge, [nm]

d = Schichtdicke, [nm]

$t_1(\lambda)$, $t_2(\lambda)$, $t_3(\lambda)$ = Transmissionskoeffizienten für Luft, Schicht bzw. Substrat

$r_1(\lambda)$, $r_2(\lambda)$, $r_3(\lambda)$ = Reflexionskoeffizienten für Luft, Schicht bzw. Substrat

$n_1(\lambda)$, $n_2(\lambda)$, $n_3(\lambda)$ = Brechungsindizes von Luft, Schicht bzw. Substrat

Gl. 5.4: Berechnen der Wellenlängenabhängigkeit der Reflektivität bei der Film Thickness Probe (Kämper 2005)

Bei Messung der optischen Parameter der virtuellen Schicht am Ellipsometer werden Phasenverschiebung und Amplitudenverhältnis mit den vom Anwender vorgegebenen

Parametern berechnet. Gleichzeitig werden die hinterlegten Tabellenwerte zu diesen Parametern für eine Vergleichsberechnung genutzt. Bei Messung einer Schichtdicke wird zusätzlich der Messwinkel variiert. Hat der Anwender alle Parameter für die virtuelle Messung einwandfrei eingestellt, so werden ihm die korrekten Werte aus der Datenbank (Brechungsindex, Absorptionskoeffizient, Schichtdicke) als gesuchte Messergebnisse angezeigt.

Bei der Film Thickness Probe gehen die Fresnel'schen Gleichungen und Interferenzeffekte in einer anderen, etwas einfacheren Darstellung in die Modellierung ein (vgl. Gl. 5.4). Die Brechungsindizes unterschiedlicher Materialien (Silizium, Siliziumdioxid, Resiste usw.) sind auch hier in einer Materialdatenbank in der Software hinterlegt. Diese werden benutzt, um eine Reflektivitätskurve zu berechnen und anzeigen zu können. Zuvor hat der Bediener einen Schichtaufbau (beispielsweise Luft/ Siliziumdioxid/ Silizium) am virtuellen Messgerät festgelegt. Zu dieser Schichtenfolge wird ebenfalls eine Kurve berechnet und als Vergleichskurve, wie am echten Messgerät, angezeigt. Für eine korrekte Messung müssen beide Kurven übereinstimmen. Die nicht normierte Kurve der Intensität zu einer Reflektivitätskurve wird aus den Funktionswerten der Reflektivitätskurve mittels einer virtuellen Referenzintensität ermittelt. Die Werte der Referenkurve wiederum wurden aus den Werten einer Messreihe an der realen Film Thickness Probe bestimmt, ebenfalls in der Datenbank festgehalten und an die vom Lernenden voreingestellten Lichtintensität gekoppelt. Mit diesem Verfahren können den Lernenden an dem Messgerät zwei von der Wellenlänge abhängige virtuelle Messkurven und eine kalkulierte Kurve angezeigt werden. Die Schichtdicke als Ergebnis wird direkt aus der Datenbank ausgelesen.

5.4.3 Navigationsleiste

Die Navigationsleiste (vgl. Abb. 5.2) dient der Kommunikation zwischen Lernenden und virtuellen Maschinen. Sie besitzt über die Maschinenoberfläche hinausgehende Funktionen wie beispielsweise „Hilfe", „Drucken", „Beenden". Die Funktionen der Navigationsleiste sind für alle Maschinen identisch, sie unterscheiden sich lediglich in der Darstellung. Lernende können über die Navigationsleiste Hilfe anfordern, Anleitungen einsehen, spezielle Einstellungen in der Simulation vornehmen oder eine direkte Rückmeldung zu einer Aktion bekommen.

Abb. 5.2: Navigationsleiste mit allgemeinen und speziellen Elementen (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Die Elemente der Navigationsleiste lassen sich in zwei Funktionsbereiche gliedern, und zwar in allgemeine, maschinenübergreifende sowie in spezielle, zur aktuellen Maschine gehörende Funktionen (vgl. Tab. 5.6). Jedes Element, mit Ausnahme des Textfeldes für Informationstexte, wurde als Button mit einem eigenen, auf die Funktion

bezogenen Piktogramm umgesetzt. Die allgemeinen Elemente befinden sich auf der linken Seite der Navigationsleiste und sind in jedem Fenster aktiv. Die speziellen Elemente befinden sich rechts in der Navigationsleiste und sind nur aktivierbar, wenn die entsprechende Funktion belegt ist. Zum Beispiel wird am Messgerät Ellipsometer kein Video gezeigt, daher ist der Button Video inaktiv. Beim Anodischen Bonder hingegen gibt es ein Video, welches das Auflegen von Wafer und Glaswafer auf den Ladearm zeigt und das über die Navigationsleiste aufgerufen werden kann. Die Informationstexte als spezielles Element geben Hinweise zu vorgenommenen Einstellungen. So werden beispielsweise der Name eines in der Waferbox ausgewählten Wafers (vgl. Beispiel Waferbox, S. 77), eine Zeitangabe zur Dauer des Prozesses oder ein Rezeptname angezeigt.

Tab. 5.6. Elemente der Navigationsleiste und ihre Funktion (Design der Piktogramme Fachhochschule Aachen, W. Kock)

Allgemeine Elemente		
Beenden		Beenden der virtuellen Maschine
Zurück		Schließen des aktuellen Fensters und Aktivieren des zuvor aktiven Fensters
Drucken		Drucken des aktuellen Fensters
Info		Öffnen des Drucksensor-Kochbuches 1
Hilfe		Öffnen des Drucksensor-Kochbuches 2
Spezielle Elemente		
Waferbox		Öffnen eines neuen Fensters mit verschiedenen Wafer-Vorlagen und eigenen, prozessierten Wafern
Werkzeugbox		Öffnen eines neuen Fensters mit Werkzeugen, die für den aktuellen Prozess zu entnehmen sind
Video		Öffnen eines neuen Fensters und Abspielen der aktuellen Videos
Ton		Ein- und Ausschalten der realen Hintergrundgeräusche und akustischen Hinweise
Laborbuch		Öffnen eines neuen Fensters mit einer Tabelle zu den eingestellten Parametern und prozessierten Ergebnissen
Maschineneinstellungen		Öffnen eines neuen Fensters, in dem die manuellen Einstellungen durchzuführen sind
Informationstext		Anzeige von Kommentaren und Hinweisen zu Handlungen, die vorgenommen wurden oder vorzunehmen sind.

Die Navigationsleiste wurde nicht in alle virtuellen Maschinen integriert (vgl. Tab. 5.7). Bei den Animationen und einfachen Simulationen fehlt sie, da die Animationen als geführte Darstellung keinen hohen Anspruch auf Interaktion mit den Lernenden stellen. Bei einfachen Simulationen, wie der virtuellen Maschine „Entwicklerbank“, wurde die Navigationsleiste nicht realisiert, da hier nur wenige Parameter eingestellt werden können, die Bedienung aufgrund der einfachen Oberflächengestaltung sehr intuitiv ist und die Lernenden unmittelbar eine Rückmeldung zu ihren vorgenommenen Einstellungen erhalten. Bei den umfangreicheren Simulationen hingegen kommt der Navigationsleiste eine wichtige Rolle zu, insbesondere bei den manuellen Tätigkeiten (Maschineneinstellungen, Waferbox, Werkzeugbox), bei den Informationen zu den Prozessen und Maschinen sowie bei der Präsentation der Ergebnisse (Laborbuch). Weiterhin besitzt die Navigationsleiste große Bedeutung für die Datenverwaltung, da alle Prozessdaten zu einem Wafer über die Waferbox eingesehen werden können. Nachfolgend werden einige spezielle Funktionen detaillierter erläutert.

Tab. 5.7: Übersicht zur implementierten Navigationsleiste und zu den integrierten Videos

Virtuelle Maschine	Simulation	Animation	Navigationsleiste	Video
Anodischer Bonder	+		+	+
Ellipsometer	+		+	
Entwicklerbank	+			
Film Thickness Probe	+	+	+[1)]	
Hochtemperaturofen	+		+	+
Mask Aligner	+		+	+
Spin Coater		+		
Sputter Coater	+	+	+[1)]	

[1)] Ist nur in den Simulationen enthalten

Bei der Waferbox (vgl. Abb. 5.3) haben die Lernenden die Möglichkeit, einen virtuellen Wafer für die aktuelle Maschine zu entnehmen und diesen zu prozessieren, so wie es in der Realität im Reinraum üblich ist. Beispielsweise kann am Hochtemperaturofen eine gereinigte, aber unprozessierte Wafer-Vorlage für den Teilschritt „Feuchte Oxidation“ entnommen werden. Für jede Simulation gibt es unterschiedliche Wafer-Vorlagen, die bestimmten Zuständen im Herstellungsprozess entsprechen. Dadurch können die Lernenden mit jeder virtuellen Maschine unabhängig arbeiten und mit verschiedenen Teilprozessen beginnen, so wie es im realen Laborkurs praktiziert wird. Außerdem erhalten die Lernenden über die Waferbox Informationen zu den Prozessdaten der Wafer, unabhängig davon, ob es sich um Vorlagen oder eigene Wafer handelt (vgl. Abb. 5.4). Die Daten eines Wafers können die Lernenden in der Waferbox einsehen, die in der Reihenfolge der selbst gewählten Teilschritte aufgeführt werden. Die Waferbox wurde unterschiedlich in den virtuellen Maschinen realisiert, je nachdem, ob es sich um eine echte Simulation oder ein geführtes Programm handelt. Zu den Prozess-

daten zählen unter anderem Angaben zum Wafernamen, zum Wafertyp, zum Prozesstraining (hier: Drucksensorprozess), zu den eingesetzten Maschinen und den erzeugten Ergebnissen. Zukünftig ist die virtuelle „Produktion“ weiterer Komponenten wie beispielsweise anderer Sensoren oder Aktoren geplant, so dass die Lernenden zwischen verschiedenen Trainingsarten wählen können. Über die Waferbox werden die Datenverwaltung und der Datenaustausch zwischen den Simulationen für die Anwender visualisiert. Legt der Lernende in der Waferbox den prozessierten Wafer zurück, so werden die simulierten Daten in eine Datei geschrieben und stehen anderen Maschinen zur Verfügung.

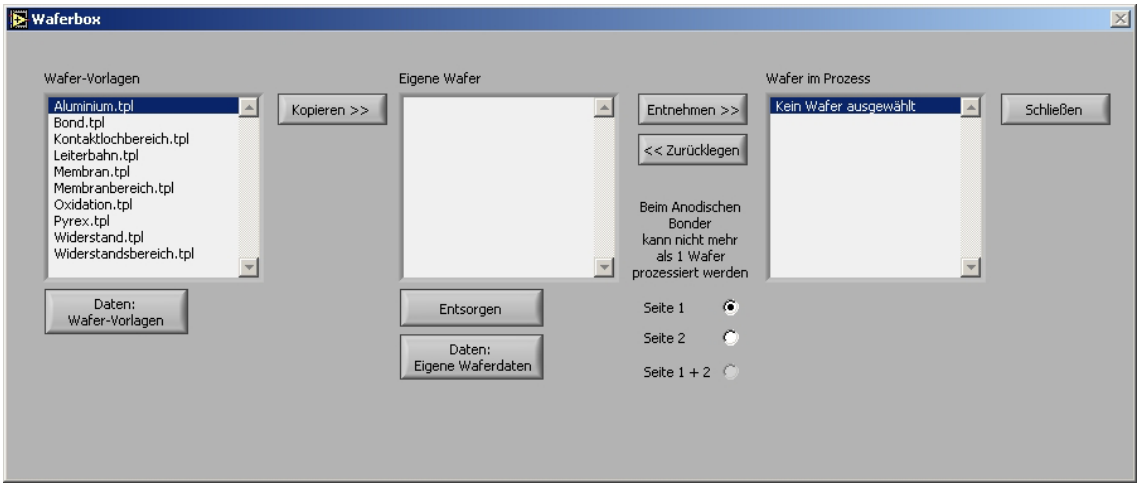


Abb. 5.3: Beispiel „Waferbox“, in allen LabVIEW -Simulationen implementiert (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

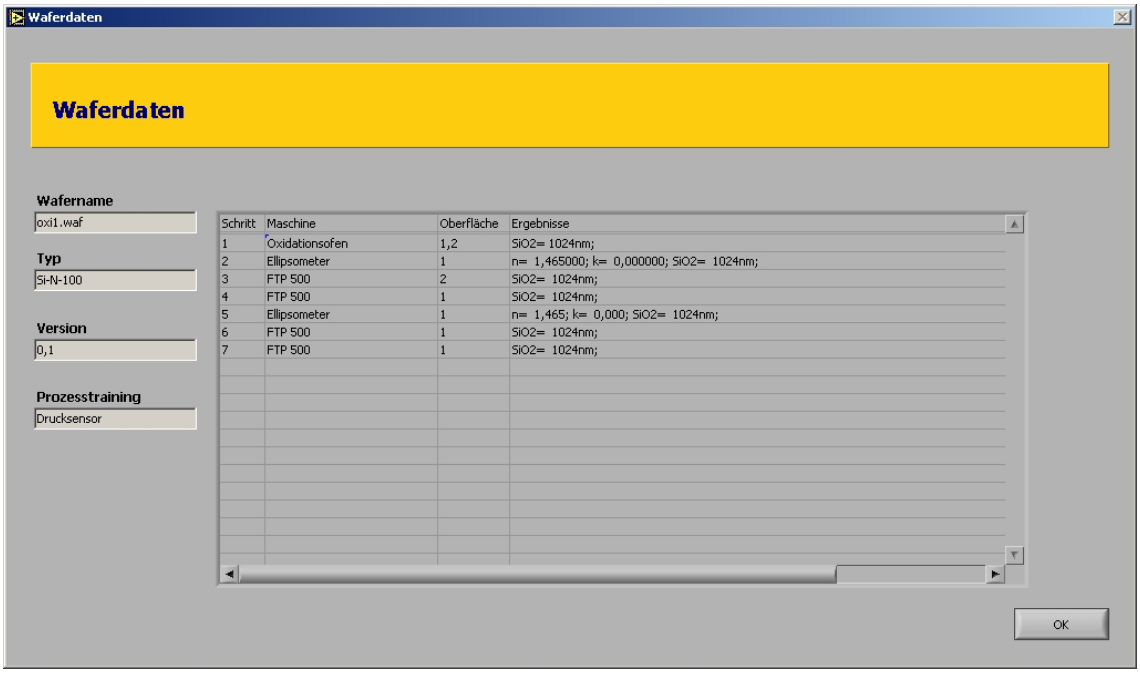


Abb. 5.4: Beispiel Anzeige „Waferdaten“ für einen virtuellen Wafer (Fachhochschule Aachen, S. Merten, nach Graß 2004, S. 33)

In der Werkzeugbox sind die wesentlichen Werkzeuge, die im Reinraum verwendet werden, aufgelistet (vgl. Abb. 5.5). Sie werden in verschiedene Kategorien unterteilt, um den Lernenden die richtige Auswahl zu erleichtern. Die Kategorien lauten „Reinraumkleidung“, „Werkzeug“, „Persönliche Schutzausrüstung“ und „Material“. Beispielsweise wird unter Reinraumkleidung die vollständige Montur aufgeführt, die vor Betreten des Reinraums anzulegen ist. Bei der persönlichen Schutzausrüstung handelt es sich um zusätzliche Laborkleidung, die in der Nasschemie beim Arbeiten mit gefährlichen und gesundheitsschädlichen Stoffen (beispielsweise HF-/ Flusssäure) übergezogen werden muss. Unter Material werden benötigte Chemikalien und Substanzen verstanden. Jedes Werkzeug wird mit einem Foto dargestellt, damit die Lernenden eine Vorstellung von den Werkzeugen bekommen und diese im realen Reinraumpraktikum schneller wieder erkennen können.

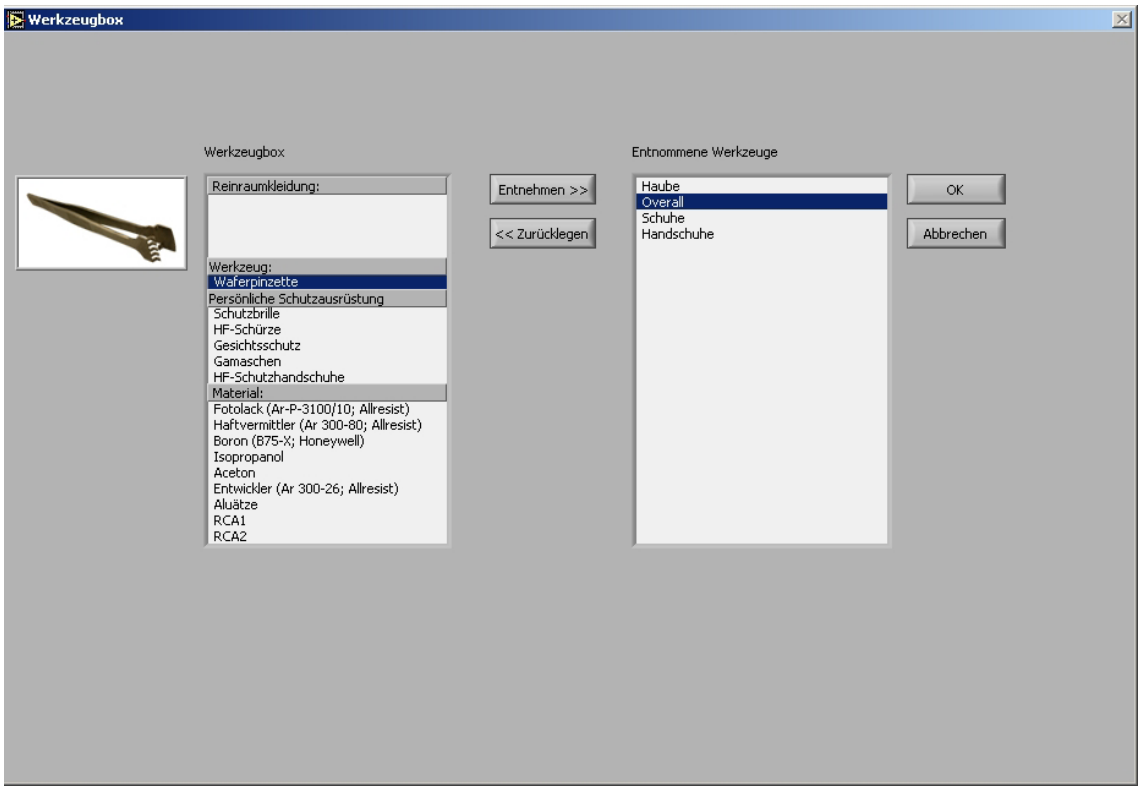


Abb. 5.5: Beispiel „Werkzeugbox“, in allen LabVIEW -Simulationen implementiert (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Das virtuelle Laborbuch (vgl. Abb. 5.6) ist an das reale Laborbuch angelehnt. Dieses liegt im Reinraum an der entsprechenden Maschine aus und dient der Dokumentation bei verschiedenen Anwendungen und Benutzern. Bei den virtuellen Maschinen nimmt es den Wafernamen, das Prozessdatum, die eingestellten Parameter und das prozessierte Ergebnis auf. Weiterhin haben die Lernenden die Möglichkeit, Ergebnisse selbst zu kommentieren, diese Kommentare abzuspeichern und das Laborbuch auszudrucken.

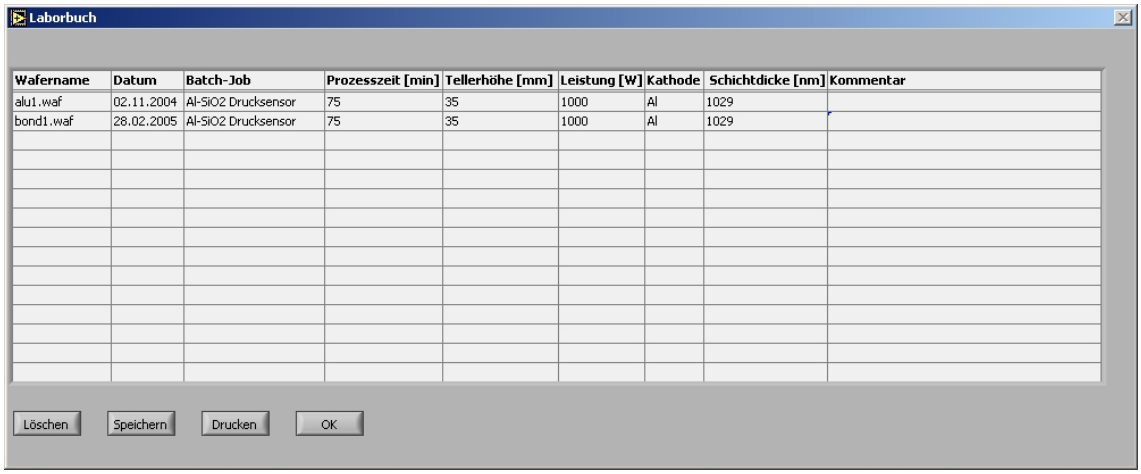


Abb. 5.6: Beispiel „Laborbuch“, virtuelle Maschine Sputter Coater (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Bei den Maschineneinstellungen werden die manuellen Handgriffe vereinfacht visualisiert. Beim Messgerät Film Thickness Probe beispielsweise sind dieses die Einstellungen am Mikroskop (Wafer focussed, Light reflection, in-handle-out) und an der Beleuchtungseinheit (Light intensity) sowie das Auflegen der Wafer (Reference sample, Sample, vgl. Abb. 5.7).

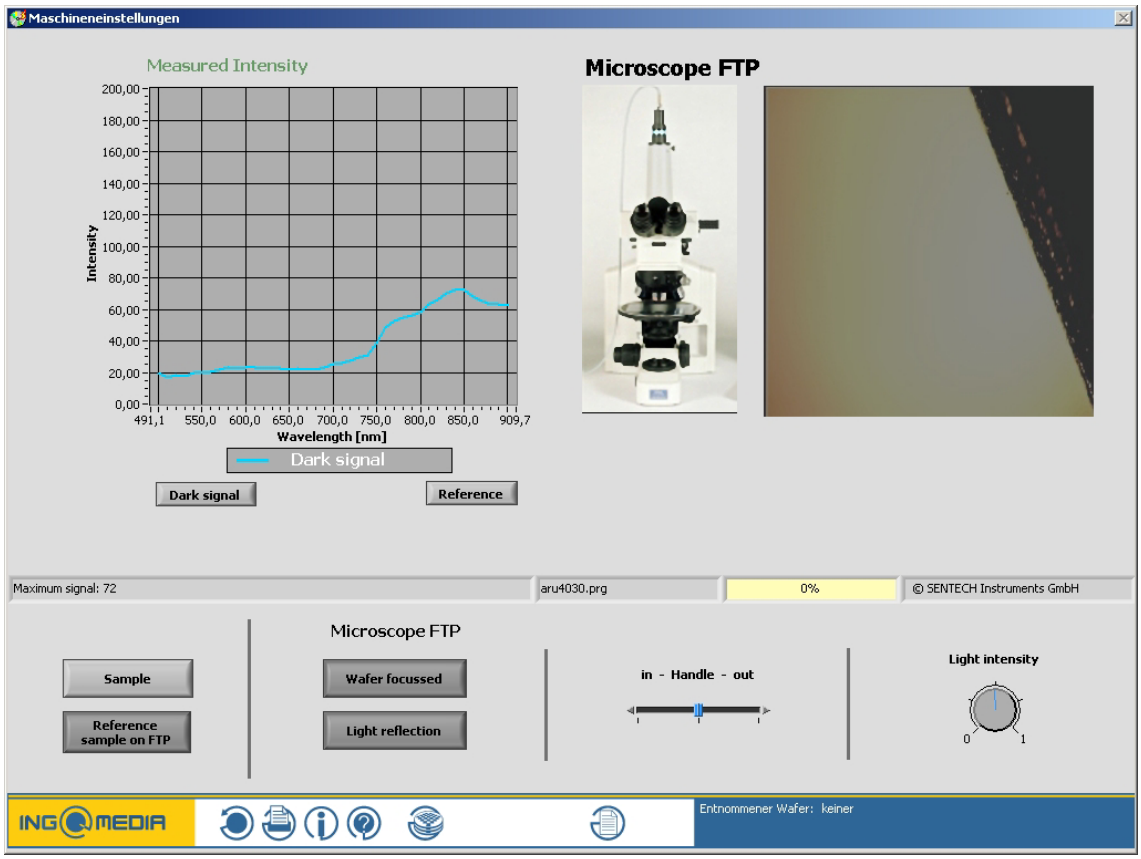


Abb. 5.7: Virtuelle Maschine Film Thickness Probe, Fenster „ Maschineneinstellungen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

5.4.4 Eingesetzte Software

Die Anforderungen und technischen Rahmenbedinungen haben dazu geführt, dass verschiedene Software-Programme für das Erstellen der virtuellen Maschinen getestet, verwendet und der Aufbau einer Lernumgebung in Angriff genommen wurden. Bisher wurden drei unterschiedliche Software-Programme und zwar „LabVIEW“, „Director“ und „Flash“ eingesetzt.

Die Software LabVIEW (National Instruments 2004) wird in der Mess- und Regeltechnik zur Steuerung von Anlagen verwendet und ist eine grafische Programmiersprache. LabVIEW steht für Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Sie stellt Funktionen und Menüs bereit, mit denen relativ einfach rechnerbasierte Oberflächen für Maschinen erstellt werden können. Numerische Eingabefelder, Buttons, Auswahlfelder, Anzeigen beispielsweise sind fertige Elemente dieser Software, die aus einer Bibliothek standardmäßig ausgewählt und direkt eingesetzt werden können. Solche Anzeigen- und Bedienelemente lassen sich programmiertechnisch leicht verknüpfen und in ihrem Design anpassen, ohne die Funktionalität zu verändern oder einen hohen Programmieraufwand nach sich zu ziehen. Damit ist die Software LabVIEW besonders für Maschinen geeignet, die überwiegend mit einem Rechner gesteuert und bedient werden. Die PC-Oberflächen können relativ schnell und realitätsnah für die Lernenden erzeugt werden. Die komplizierte Logik zur Steuerung der virtuellen Maschinen bleibt einem Bediener verborgen, wie beispielsweise das aufwendige Programmieren einer Ofenkennlinie zur Steuerung der Temperaturen des Hochtemperaturofens oder das Berechnen einer Reflektivitätskurve an der Film Thickness Probe. Mit der Software LabVIEW, Version 7.0 für Windows, wurden in Aachen die virtuellen Maschinen „Anodischer Bonder“, „Ellipsometer“, „Film Thickness Probe“, „Hochtemperaturofen“ und „Sputter Coater“ erstellt. Weitere Maschinen wie die „Wafersäge“ sind in Planung.

Die Software Director (Macromedia 2004) basiert auf der Programmiersprache Lingo und bietet durch Interaktivität zwischen Anwender und Programm im Gegensatz zur Software LabVIEW mehr Freiräume. Dafür besitzt sie nicht, wie die Software LabVIEW, eine Bibliothek mit vorgegebenen Bedienelementen. Hier gibt es dafür eine Art Bühne, auf der jedes Element wie ein Schauspieler auf- und abtreten kann, wobei jedem Element bestimmte Eigenschaften zugewiesen werden. Das Programmieren von Eingabefeldern und Buttons ist in Director wesentlich aufwendiger, dafür sind gerade die interaktive Eigenschaft des Programms und die Freiheit beim Oberflächen-Design von großem Vorteil. Aus diesem Grund wurde das Programm Director für die Umsetzung von realen Maschinen eingesetzt, die eher manuell bedient werden oder ein hohes Maß an Kommunikation zwischen Bediener und Anlage erfordern. Durch die freie Gestaltung der Oberflächen können gerade auch manuelle Handlungen vereinfacht und gleichzeitig verständlich dargestellt werden. Außerdem ist diese Software für das Programmieren einer Lernumgebung gut geeignet und eine gängige Software für das Erstellen von Programmen auf CD-ROM. Denn große Datenmengen wie bei Videos (Director arbeitet pixel-basiert) sollen den Lernenden auf einer CD verfügbar sein, um

ihnen unnötige Zeiten und Kosten durch das Internet zu ersparen. Mit der Software Director, Version 8.5, wurden in Zweibrücken die virtuellen Maschinen „Mask Aligner“, „Entwicklerbank“ und die Lernumgebung erstellt.

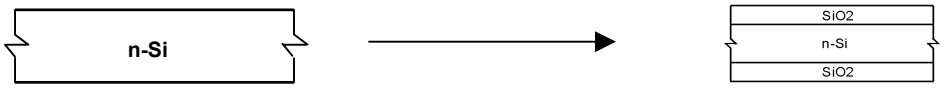
Die Software Flash (Macromedia 2004) verwendet als Programmiersprache Action-Skript und besitzt wie die Software Director große Freiräume in der Oberflächengestaltung und Interaktivität. Dafür bietet sie aufgrund ihres einfacheren Aufbaus im Vergleich zur Software Director andere Programmiermöglichkeiten. Insbesondere der Bereich der Datenerstellung und des Datenaustausches fehlten bei den ersten Flash-Versionen. Das Programm (Flash arbeitet vektor-basiert) liefert Anwendungen mit geringem Speicherumfang, die für das Internet geeignet sind. Mit der Software Flash, Version MX, wurden als virtuelle Maschinen in Zweibrücken, der „Spin Coater“, die Animation „Film Thickness Probe“ und in Aachen die Animation „Sputter Coater“ erstellt.

Für die Nutzung der virtuellen Maschinen werden zusätzliche Software-Treiber benötigt, die auf den entsprechenden Rechnern installiert werden müssen und den Lernenden auf der CD-ROM mitgeliefert werden. Für die Maschinen, die mit der Software LabVIEW erstellt wurden, wird eine LabVIEW-Runtime-Engine verwendet. Für die Maschinen, die mit der Software Director erstellt wurden, ist ein Decodierer zum Abspielen der Videos erforderlich. Für die virtuellen Maschinen, die mit der Software Flash programmiert wurden, ist ein Flash-Player notwendig. Für das Abspielen zusätzlicher Videos reicht der im Office-Paket enthaltene Windows Media-Player. Für die implementierten pdf-Dokumente wird der Acrobat Reader gebraucht. Alle Programme wurden für Windows-Betriebssysteme erstellt und laufen unter den Betriebssystemen Windows 2000/ NT/ XP, die LabVIEW -Programme auch unter Windows ME und 98.

5.4.5 Beispiel virtueller Teilprozess „Feuchte Oxidation“

Anhand des Teilprozesses „Feuchte Oxidation“ (Hauptprozess „Vorbereitung der Wafer“, Teilprozess 1.4, vgl Tab. 5.8) wird genauer erläutert, wie eine virtuelle Maschine entsteht. Zum Teilprozess Oxidation gehören die Anlagen Hochtemperaturofen sowie die Messgeräte Ellipsometer und Film Thickness Probe. Der reale Hochtemperaturofen wird fast ausschließlich über den Prozessrechner gesteuert. Die Messgeräte dagegen erfordern aufgrund der Mikroskope mehr manuelle Handgriffe. Da die Funktionen beider Messgeräte ähnlich sind, das Ellipsometer sogar noch etwas umfangreicher in seiner Bedienung ist, reichen für unsere Betrachtung die zwei Anlagen „Hochtemperaturofen“ und „Ellipsometer“ aus.

Tab. 5.8: Ausschnitt der detaillierten Aufstellung zur exemplarischen Fertigungskette – Teilprozess „Feuchte Oxidation“

1. Hauptprozess: Vorbereitung der Wafer			
			
1.1	Typisieren		
1.2	Überprüfen der Maßhaltigkeit		
1.3	Reinigen		
1.4	**Feuchte Oxidation**		
	Erläuterung: Beidseitig (Waferseite 1 und 2) SiO_2 als Isolationsschicht und Ätzmaskengrundlage mittels feuchter Oxidation erzeugen.		
	Prozesse	Maschinen	Hilfsmittel
1.4.1	Messen des Brechungsindex und des Absorptionskoeffizienten von Si	Ellipsometer	--
1.4.2	Feuchte Oxidation	Hochtemperaturofen	O_2, H_2O
1.4.3	Messen des Brechungsindex und der Schichtdicke von SiO_2	Ellipsometer, Film Thickness Probe	Referenzwafer

Zuerst wurden die allgemein formulierten Lernziele (vgl. Tab. 3.2, S. 23) in Bezug auf die Maschinen, die in diesem Teilprozess eingesetzt werden, konkretisiert (vgl. Tab. 5.9). Danach wurden die technischen Rahmenbedienungen der beiden Anlagen abgeklärt. Die manuellen Vorgänge wurden ermittelt und die wesentlichen Maschinenoberflächen bestimmt. Beim Hochtemperaturofen gehören zu den manuellen Einstellungen das Einschalten und optische Kontrollieren der Prozessgase, das Einfüllen von destilliertem Wasser in einen Kolben sowie das Ausschalten des akustischen Alarms über ein Bedienpult, der bei einer Fehlbedienung ausgelöst wird (vgl. Tab. 5.10). Beim Ellipsometer sind einige Handgriffe mehr erforderlich (vgl. Tab. 5.11). Hier müssen der Laser eingeschaltet, die Intensität des Laserlichtes auf einen maximalen Wert eingestellt, die Messwinkel an Laser und Detektor korrigiert und die Wafer über Drehräder ausgerichtet werden. Beiden Anlagen gemeinsam sind das Auflegen und Entnehmen der Wafer, das über die virtuelle Waferbox erfolgt. Die realen Anlagen sind in Abb. 5.8 und Abb. 5.9 zu sehen.

In Anlehnung an den exemplarischen Fertigungsprozess wurden für beide Anlagen die wichtigsten Bedienfenster festgelegt. Dabei wurden die verschiedenen Funktionen und Teilbereiche der Oberflächen tabellarisch gegliedert, in schriftlicher Form festgehalten und mit Hilfe der Herstellerhandbücher sowie des Laborpersonals erläutert. In dieser Liste wurden ebenfalls für das Technologiepraktikum nicht benötigte Aktionen aufgenommen. Zu jedem Bedienelement wurde vermerkt, ob es an der virtuellen Maschine

realisiert werden soll und ob Änderungen oder Vereinfachungen in der Funktion vorgesehen sind. Weiterhin wurde definiert, ob zusätzliche Elemente wie Videos oder Bilder mit den Bedienelementen verknüpft werden. Außerdem wurde notiert, wie sich die manuellen Einstellungen an der realen Anlage, die Anzeigen und die Einstellungen am Prozessrechner gegenseitig beeinflussen, um sie bei der Programmierung berücksichtigen zu können.

Tab. 5.9: Konkrete Lernziele zum Hochtemperaturofen und zum Ellipsometer für den Teilprozess „Feuchte Oxidation“

Erwerb von Grundlagen zum Teilprozess
• Prozesse der „Oxidation“ verstehen (trockene und feuchte Oxidation...) • Wesentliche Einflussgrößen bei Oxidationsprozessen und ihre gegenseitige Abhängigkeit begreifen (Gleichung zum Wachstum von Siliziumdioxid...) • Messgeräte zum Bestimmen von Schichtdicken präsent haben (Ellipsometer, Film Thickness Probe…)
Erwerb von Grundlagen zum Drucksensorprozess
• Die Teilschritte „Reinigen“, „Feuchte Oxidation“ und „Messtechnik“ kennen und einordnen • Wesentliche Parameter der feuchten Oxidation benennen (Temperatur, Prozesszeit, Sauerstoff- und Wasserdampfkonzentration...) • Wesentliche Parameter der Messgeräte erfassen (Messwinkel, Wellenlänge, Brechungsindex...)
Erwerb von Fertigkeiten zur Bedienung eines realen Hochtemperaturofens
• Wesentliche Komponenten einer realen Anlage kennen (Ofenrohre, Gaszuflüsse...) • Wesentliche manuelle Bedienvorgänge beherrschen (Wafer einsetzen und entnehmen...) • Unterschiede zwischen virtueller und realer Anlage verstehen (vereinfachte Rezeptdateien, vereinfachte Überwachung der Prozessgase...) • Wesentliche Parameter einstellen können • Bedienfehler an der realen Anlage vermeiden (richtige Prozessgase wählen, korrekte Rezepte erstellen...)
Erwerb von Fertigkeiten zur Bedienung eines realen Ellipsometers
• Wesentliche Komponenten eines realen Messgerätes kennen (Mikroskop, Laser, Detektor...) • Wesentliche manuelle Bedienvorgänge beherrschen (Fokussieren, Wafer ausrichten...) • Unterschiede zwischen virtuellem und realem Messgerät verstehen (vereinfachte Darstellung von Laser und Mikroskop...) • Wesentliche Parameter einstellen können • Bedienfehler am realen Messgerät vermeiden (mit Laserlicht korrekt arbeiten, richtige Proben messen...)

Tab. 5.10: Anlagentechnische Rahmenbedingungen des Hochtemperaturofens

Maschinenoberfläche
• Sechs relevante Fenster des Prozessrechners • Kein eigenes Startfenster • Unterschiedliche Fenstertitel • Gliederung der Maschinenoberflächen in verschiedene Teilbereiche • Ofenrohr kalibrieren, öffnen und schließen (über Prozessrechner) • Fehler quittieren • Steuern der realen Anlage über programmierte Rezepte oder direkt über Handbetrieb • Maus und Tastatur als Bedienmöglichkeiten
Manuelle Handlungen
• Prozessgase optisch kontrollieren • Deionisiertes Wasser einfüllen und Füllstand kontrollieren (Bubbler[1)]) • Wafer einsetzen und entnehmen • Akustischen Alarm über Handpult ausschalten • Pinzette als Werkzeug benutzen

[1)] Bubbler = Kolbengefäß

Tab. 5.11: Anlagentechnische Rahmenbedingungen des Ellipsometers

Maschinenoberfläche
• Zehn relevante Fenster des Prozessrechners • Unterschiedliche Fenstertitel • Gliederung der Maschinenoberflächen in verschiedene Teilbereiche • Englisch als Benutzersprache • Einzige Bedienmöglichkeit über Tastatur
Manuelle Handlungen
• Wafer auf- und zurücklegen • Mit Mikroskop Wafer fokussieren • Wafer zu Laser und Detektor ausrichten • Messwinkel einstellen • Laser ein- und ausschalten • Lichtintensität des Lasers einstellen • Pinzette als Werkzeug benutzen

Abb. 5.8: Reale Anlage Hochtemperaturofen (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Abb. 5.9: Reales Messgerät Ellipsometer (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Dieser Katalog ist eine gute Grundlage für die spätere Überarbeitung der virtuellen Maschinen. Denn das Programmieren der virtuellen Maschinen ist ein dynamischer Prozess. Mit jedem durchgeführten Praktikum gibt es neue Rückmeldungen durch die Lernenden und Lehrenden, die in den Aufbau und die Weiterentwicklung der virtuellen Maschinen fortschreitend einfließen.

Ein Versionsmanagment zum Entwicklungsstand der einzelnen Programme wurde, mit Ausnahme des virtuellen Mask Aligners, noch nicht aufgestellt, da sich die Programme bisher in der Aufbauphase befanden. Dieses ist jedoch für die nächste Programmgeneration vorgesehen.

Nachdem die manuellen Handgriffe, Bedienoberflächen und -elemente für das Erstellen der Maschinen feststanden, wurden die Art der Lernprogramme und damit die Software sowie die weiteren zu implementierenden Medien festgelegt. Für beide Anlagen wurde als Lerntyp die „Simulation“ gewählt. Da der überwiegende Teil der Bedienungen über einen Rechner erfolgt, fiel die Entscheidung auf die Software LabVIEW. Für den Hochtemperaturofen wurde ein Video zum Kalibrieren des Ofenrohres eingebunden. Beim Ellipsometer wurden zusätzlich Anlagenbilder im Fenster Maschineneinstellungen verwendet.

Nun stellte sich die Frage nach den für die jeweilige Maschine wesentlichen Werkzeugen und Prozessparametern sowie deren Grenzwerten. Die benötigten Werkzeuge sind für beide Anlagen gleich. Aus der virtuellen Werkzeugbox müssen die als Werkzeuge definierte „Reinraumkleidung“ und die „Waferpinzette“ entnommen werden (vgl. Ausführungen zur Werkzeugbox, S. 78ff). Beim Hochtemperaturofen gibt es aufgrund der vielschichtigen Ofensteuerung, die über mehrere Dateien mit über 20 Seiten programmiert wird, viele verschiedene Parameter, deren Anzahl erheblich eingeschränkt werden musste. Zu den ausgewählten Parametern zählen Temperaturen für die Heizbänder, Einstellungen für die Prozesszeiten, verschiedene Gaszuflüsse und das Kalibrieren des Ofenrohres. Beim Ellipsometer gibt es erheblich weniger Parameter, da es sich um ein optisches Messgerät für die Bestimmung von Brechungsindizes, Absorptionskoeffizienten und Schichtdicken handelt. Als zu messende Oberflächen und Schichten wurden Silizium sowie Siliziumdioxid berücksichtigt.

Nachdem diese Fragen geklärt waren, konnte mit dem Aufbau der Maschinenoberflächen begonnen werden. Beim Hochtemperaturofen wurden vier Oberflächen realisiert und um ein Startfenster ergänzt, da die reale Maschine ein solches nicht besitzt. Es gibt zwei Oberflächen zum Prozess (Prozessansicht, Bedienpult), eine zur Fehleranzeige und das Fenster Maschineneinstellungen (vgl. Abb. 5.10 bis Abb. 5.14). Die Oberfläche für das Schreiben von Rezepten, in denen die Parameter für einen Oxidationsprozess festgelegt werden, wurde erheblich vereinfacht. Ein Rezept an der realen Maschine besteht aus mehreren Dateien mit vielen Seiten, das in der Simulation auf zwei Seiten beschränkt wurde. Die Eingabefelder für die Parameter wurden für die Lernenden speziell gekennzeichnet, indem sie weiß hinterlegt wurden (vgl. Abb. 5.13).

Weitere interessante, aber für den Lernprozess weniger relevante Funktionen (beispielsweise Profiling[1]) wurden durch reale Bilder des Prozessrechners veranschaulicht.

Beim Ellipsometer wurden zehn Oberflächen realisiert, die wie beim echten Messgerät nur wenige Funktionen enthalten (vgl. Abb. 5.15).

Für die Fenster „Maschineneinstellungen“ wurden jeweils separate Lösungen gewählt. Da beim Hochtemperaturofen nur wenige manuelle Einstellungen vorzunehmen sind, wurde hier eine sehr vereinfachte Darstellung gewählt (vgl. Abb. 5.14). Die Gaszuflüsse und das Befüllen mit deionisiertem Wasser werden lediglich mit einem Knopf ein- oder ausgeschaltet. Um den Lernenden trotzdem ein Gefühl für diese Komponenten zu geben, werden Bilder zu den Anlagenteilen in der Einführung gezeigt und Fotos in den Schulungsunterlagen abgebildet. Ein akustischer Alarm wurde nicht berücksichtigt, sondern mit dem optischen Alarm verknüpft. Die Lernenden hatten keine Schwierigkeiten mit dieser sehr abstrahierten Darstellung, wie die durchgeführten Untersuchungen gezeigt haben.

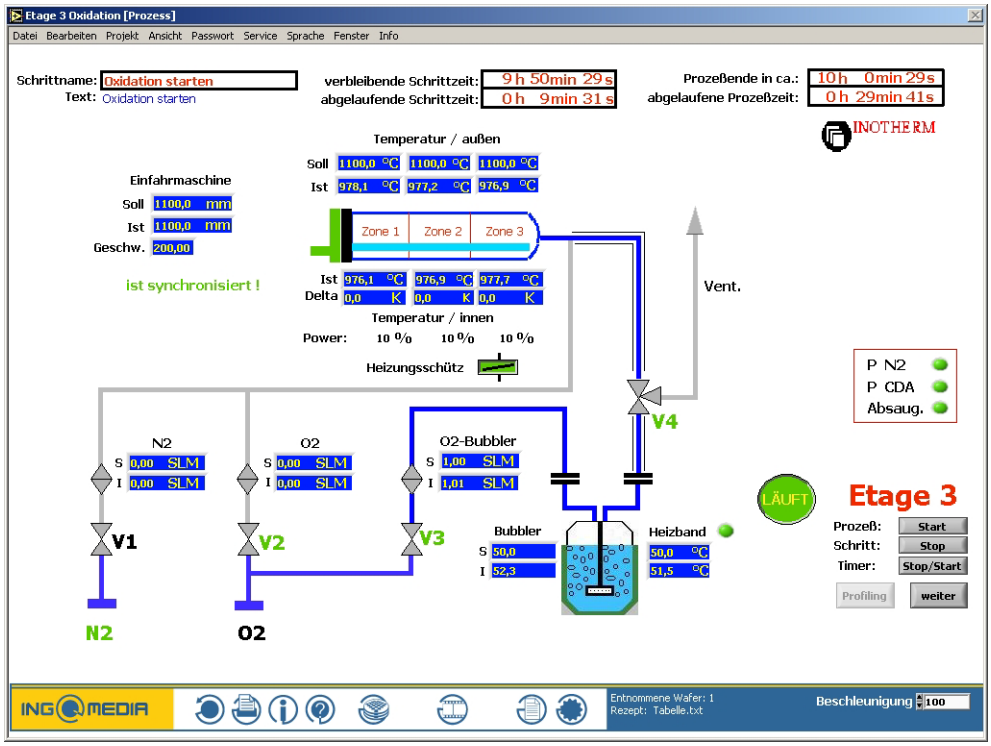


Abb. 5.10: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Fenster „Prozess“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

[1] Spezielle Tabelle mit Differenz-Temperaturen für eine exakte Temperatursteuerung im Ofenrohr

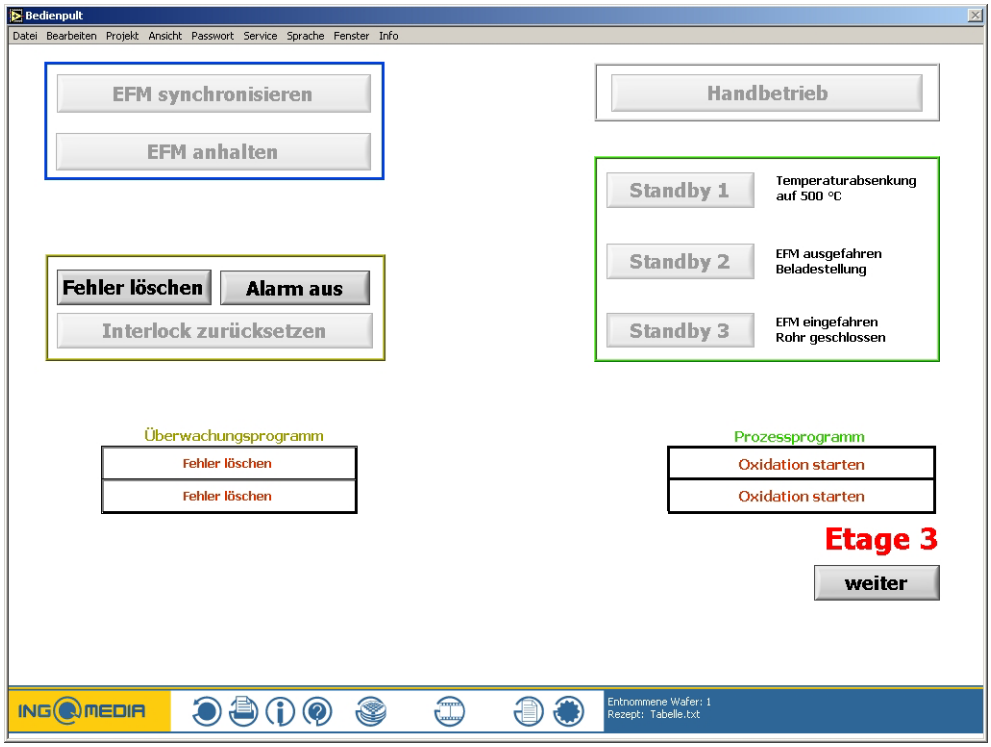


Abb. 5.11: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Fenster „Bedienpult“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

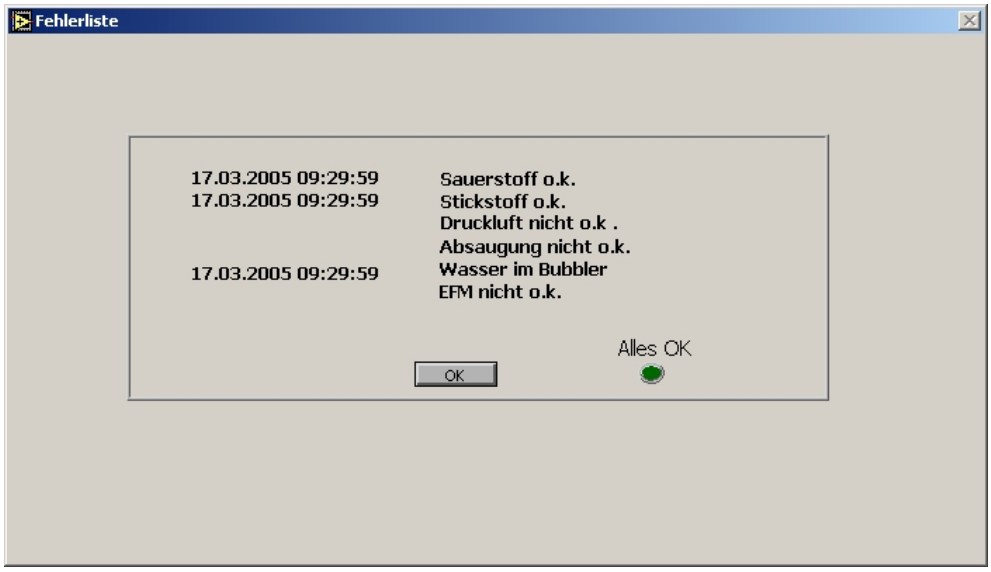


Abb. 5.12: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Fenster „Fehlerliste“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

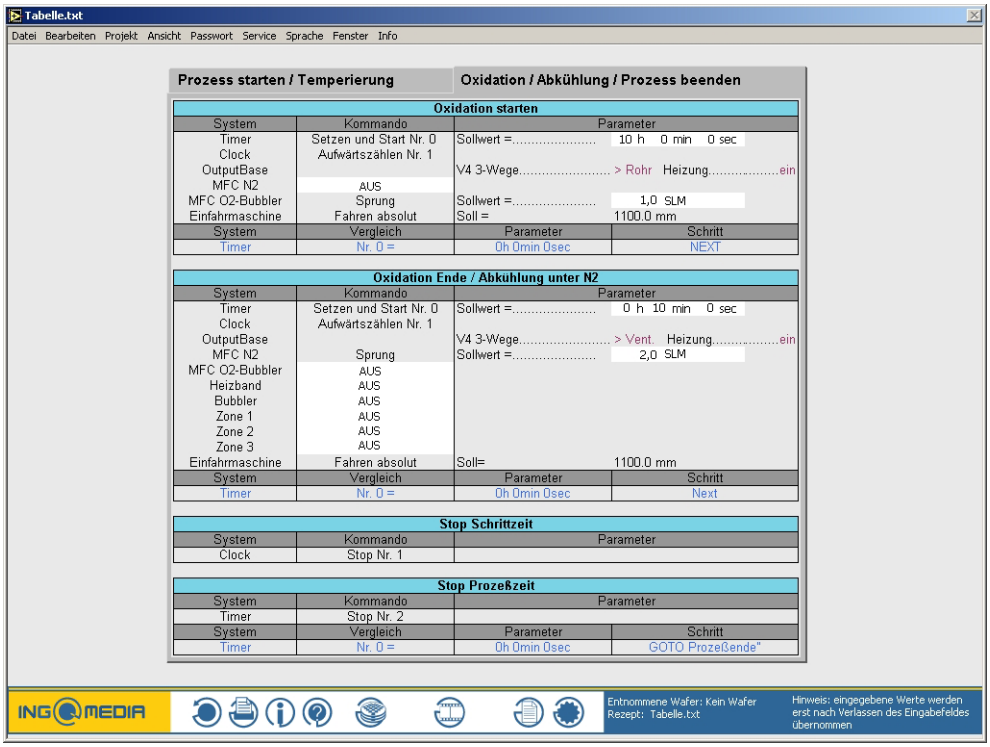


Abb. 5.13: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Fenster „Rezept“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

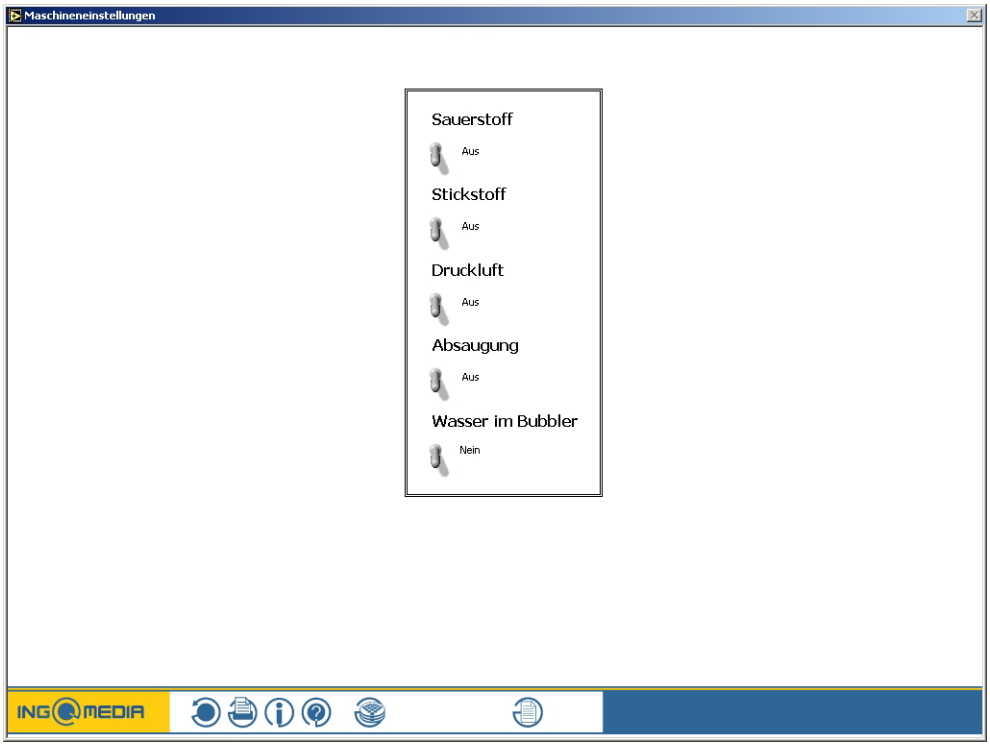


Abb. 5.14: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Fenster „Maschineneinstellungen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Beim Ellipsometer wurden die manuellen Handlungen ebenfalls vereinfacht, aber dafür vollständig berücksichtigt (vgl. Abb. 5.16). Das Ellipsometer selbst ist als Grafik zu sehen. Dieses Bild ändert sich jeweils mit den eingestellten Winkeln so wie an der realen Maschine. Das Öffnen der Blende (Laser Freigabe), das Einstellen der Intensität des Lasers (Intensity) und das Ausrichten der Wafer (Okular) erfolgen direkt am realen Gerät und wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit für den Lernenden separat dargestellt.

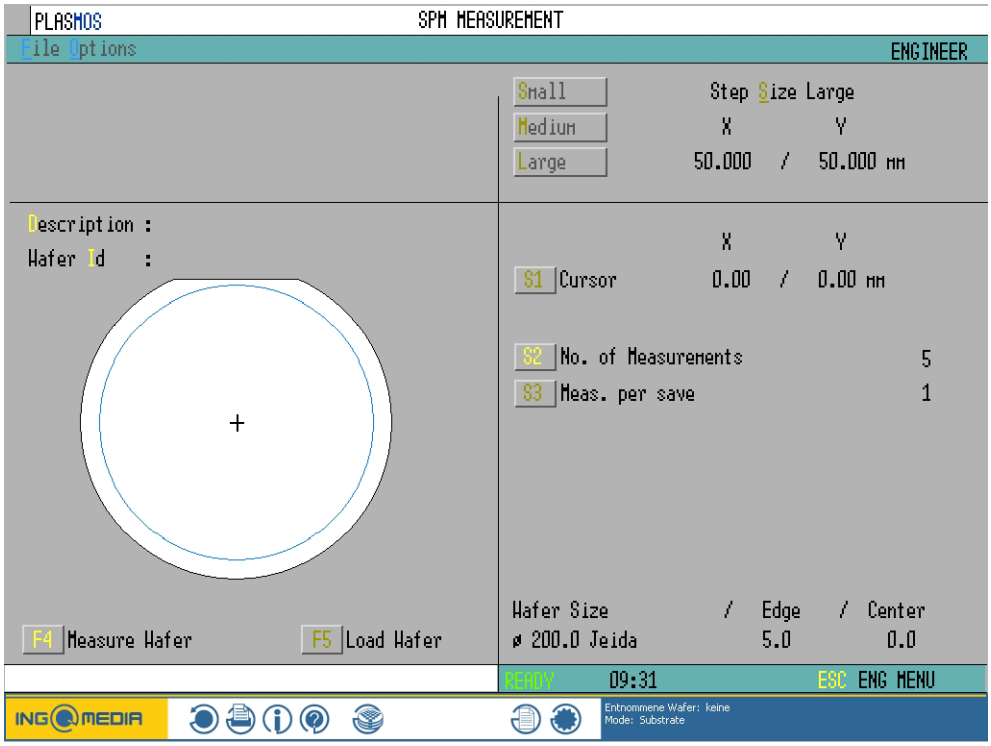


Abb. 5.15: Virtuelle Maschine Ellipsometer, Fenster „Measurement“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Um den Lernenden das Auffinden von Maschinenkomponenten und Funktionen zu erleichtern, wurden in den Schulungsunterlagen Grafiken mit Erläuterungen und in den virtuellen Maschinen Tooltipps des Mauszeigers verwendet. Bewegt ein Lernender den Mauszeiger über den Bildschirm, so erscheint als Text die Bezeichnung des jeweiligen Elementes. Diese Funktion hat sich gerade bei Oberflächen in englischer Sprache wie beim Ellipsometer oder bei der Film Thickness Probe bewährt, da die Erklärungen in den Schulungsmaterialien einheitlich in deutscher Sprache erstellt werden. Weiterhin wurden zahlreiche Hinweis-Fenster in die virtuellen Maschinen integriert, welche die Lernenden auf vorzunehmende Einstellungen, mögliche Bedienfehler oder Unterschiede zwischen realen und virtuellen Maschinen hinweisen (vgl. Abb. 5.17). Diese Hinweis-Fenster haben, unabhängig von den virtuellen Maschine, das gleiche Aussehen und eine von den Maschinenoberflächen abweichende Gestaltung, damit sie als solche erkannt werden. Sie unterscheiden sich lediglich in ihren Fenstertiteln und in ihren Hinweis-Texten.

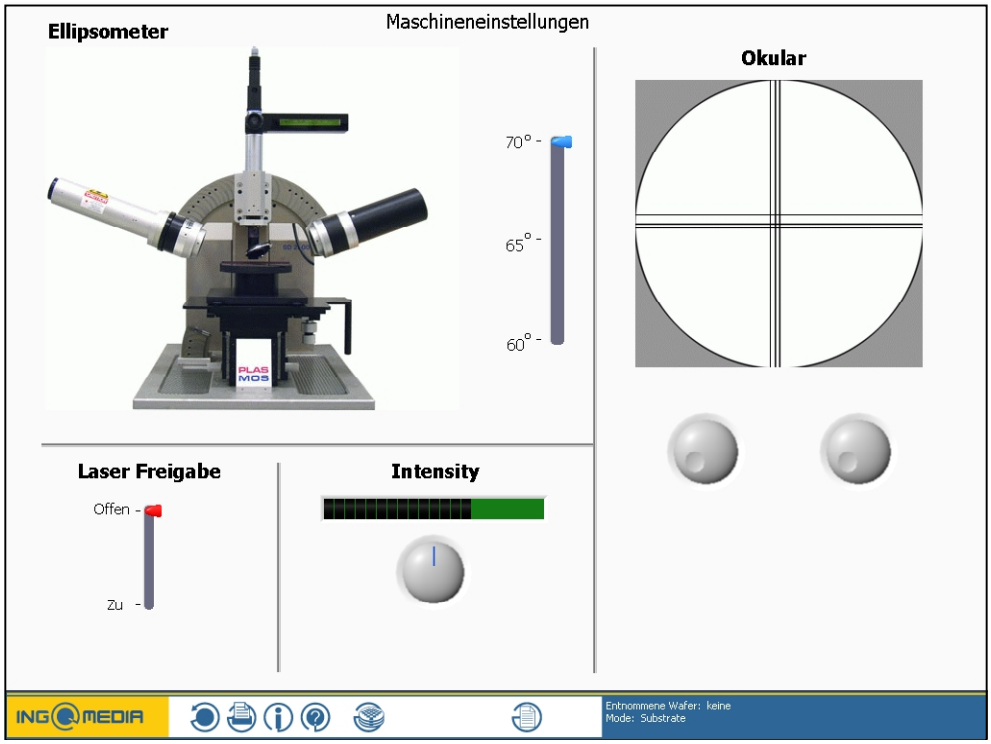


Abb. 5.16: Virtuelle Maschine Ellipsometer, Fenster „Maschineneinstellungen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

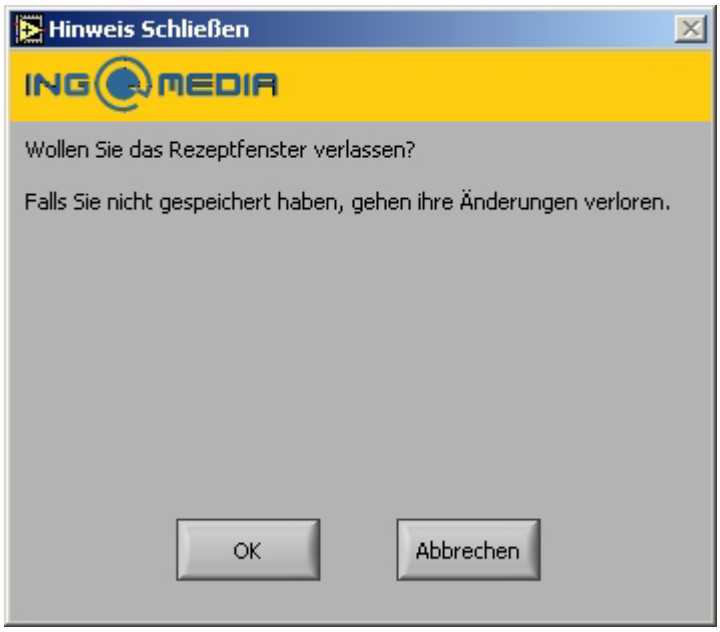


Abb. 5.17: Beispiel „Hinweis-Fenster“, Funktion „Schließen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Im Teilprozess „Feuchte Oxidation“ werden die virtuellen Maschinen „Ellipsometer“, „Hochtemperaturofen“ und „Film Thickness Probe“ miteinander verknüpft. Will nun ein Lernender den gesamten Teilprozess durchführen, muss er sich über die Navigations-

leiste in der Waferbox aus einer Liste von Wafer-Vorlagen einen zu prozessierenden Wafer aussuchen. Er entnimmt die für die jeweilige Maschine notwendigen Werkzeuge, nimmt manuelle Handlungen vor, schreibt Rezepte und startet den entsprechenden Prozess. Am Ende jedes Prozesses werden die eingestellten Parameter im Laborbuch der verschiedenen Maschinen mit dem Prozessergebnis aufgenommen. Beim Hochtemperaturofen ist das Ergebnis eine Schichtdicke, beim Ellipsometer und bei der Film Thickness Probe sind das je nach Messmodus die optischen Parameter oder eine Schichtdicke. Für den Teilprozess feuchte Oxidation sieht der Vorgang konkret so aus, dass zunächst am Ellipsometer die optischen Parameter gemessen und die im Laborbuch vermerkten Messergebnisse zu einem Wafer mit diesem verknüpft werden. Die virtuellen Waferdaten stehen so jeder weiteren Maschine zur Verfügung. Danach wird die eigentliche Oxidation am Hochtemperaturofen mit dem gleichen virtuellen Wafer durchgeführt und eine Schichtdicke erzeugt. Die Schichtdicke wiederum wird am Ellipsometer gemessen und an der Film Thickness Probe kontrolliert. Die an einer Maschine zu lösenden Teilschritte müssen die Lernenden den Schulungsunterlagen entnehmen. Hier werden die Aufgaben gestellt und aufgeführt.

Die Programmierung der virtuellen Maschinen für den Teilprozess „Feuchte Oxidation“ ist abgeschlossen. Das Realisieren anderer Simulationen (beispielsweise Mask Aligner, Sputter Coater) erfolgte auf ähnliche Weise. Beim Erstellen der Animationen, die zwar einfacher in ihrer Darstellung sind, aber einen anderen Lernzweck erfüllen, wurde zunächst eine gemeinsame Vorlage erzeugt. Diese wurde für jede Maschine spezifisch angepasst. Für das Reinraumvideo wurde ein spezielles Drehbuch geschrieben. Die einzelnen virtuellen Maschinen sind im Anhang B beschrieben.

5.4.6 Entwickeln eigener Fertigungsprozesse

Zu Beginn der Projekte INGMEDIA und **pro-mst** war geplant, das virtuelle Labor mit einzelnen Modulen und Maschinen so aufzubauen, dass Lernende nicht nur den exemplarischen Fertigungsprozess durchführen und einen einfachen Drucksensor herstellen können. Sie sollten auch die Möglichkeit haben, ihre gewonnenen Kenntnisse auf andere Herstellungsverfahren zu übertragen, indem sie die Prozessschritte und Maschinen anders miteinander verknüpfen und auf diese Weise andere Produkte herstellen. Zu diesem Zweck ist eine Lernumgebung erforderlich, in der die verschiedenen Maschinen und Prozesse für unterschiedliche Fertigungsschritte verwaltet und koordiniert werden. Der Aufbau der Lernumgebung ist allerdings dazu noch nicht weit genug fortgeschritten. Daher können Lernende derzeit keine eigenen Fertigungsprozesse zusammenstellen. Der modulare Aufbau der virtuellen Maschinen indes lässt diese Erweiterung für die Zukunft zu.

6 Methoden zur Untersuchung der erzielten Lernerfolge

6.1 Untersuchungsgruppen

In der Dissertation wurden vom WS 2002/03 bis WS 2004/05 Untersuchungen zu fünf Praktika ausgewertet. Dabei fanden drei Vorbereitungskurse an der Fachhochschule Aachen und zwei an der Universität des Saarlandes statt. Die erste Untersuchung wurde an der Fachhochschule Aachen durchgeführt und hochschuldidaktisch von der HDSB der Fachhochschule Aachen (HDSB = Hochschuldidaktische Studienberatung) begleitet. Das virtuelle Training wurde mit Studierenden nach dem Vordiplom abgehalten, die sich innerhalb des im aktuellen Lehrplan angebotenen MST-Praktikums mit vier unterschiedlichen, virtuellen Fertigungsanlagen vorbereiten konnten. Das Praktikum bestand aus vier Terminen im Abstand von jeweils einer Woche und einem zeitlichen Umfang von je drei Stunden. Insgesamt nahmen 21 Studierende als erste Testgruppe an der virtuellen Vorbereitung und von diesen sieben am realen Praktikum in Zweibrücken teil (vgl. Tab. 6.1).

Die nächste Untersuchung wurde im SS 2003 als Blockveranstaltung mit einer kleinen Gruppe Studierender und Assistenten der Universität des Saarlandes mit den gleichen virtuellen Maschinen wie im WS 2002/03 durchgeführt. Der Blockkurs wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit je zwei Maschinen pro Tag angeboten, wobei die zweite Testgruppe bis zu zwei Stunden Zeit für jede Maschine hatte. Die Teilnehmer aus Saarbrücken setzten sich aus vier Studierenden mit Vordiplom und drei Assistenten zusammen. Sie absolvierten das reale Laborpraktikum zusammen mit vier Studierenden der Fachhochschule Aachen, welche am virtuellen Training zuvor im WS 2002/03 teilgenommen hatten und aufgrund ihrer persönlichen Studienplanung das Reinraumpraktikum erst im darauf folgenden SS 2003 besuchen konnten. Daher wurden die Studierenden der Fachhochschule Aachen in einem eintägigen Auffrischungskurs erneut auf das reale Praktikum vorbereitet. Insgesamt bestand die zweite Testgruppe aus elf Teilnehmern.

Im WS 2003/04 wurde die Untersuchung wieder mit Studierenden aus Aachen nach dem Vordiplom durchgeführt. Es gab neun virtuelle Maschinen, die an fünf Einzelterminen im Wochenrhythmus zu je drei Stunden belegt wurden. Diese Testgruppe bestand aus zehn Studierenden, die sowohl an der Vorbereitung wie auch am Reinraumpraktikum teilnahmen. Für die beiden letzten Untersuchungen im SS 2004 und WS 2004/05

standen alle zehn virtuellen Maschinen zur Verfügung. Von der Universität des Saarlandes trainierten im SS 2004 neun Studierende für das reale Praktikum. Im WS 2004/05 nahmen zehn Studierende von der Fachhochschule Aachen an beiden Praktikumsabschnitten teil.

Tab. 6.1: Anzahl der Teilnehmer und Betreuer in den untersuchten Technologiepraktika

Semester	Anzahl Teilnehmer Vorbereitung	Anzahl Teilnehmer Reinraumpraktikum	Anzahl Betreuer Reinraumpraktikum	Teilnehmer der Hochschule
WS 02/03	21[1)]	7[2)]	9[2)]	Aachen[3)]
SS 03	7	4 + 7[4)]	6	Aachen + Saarbrücken[5)]
WS 03/04	10	10	6	Aachen
SS 04	9	9	6	Saarbrücken
WS 04/05	10	10	6	Aachen

[1)] Davon haben 10 Teilnehmer nicht am Reinraumpraktikum teilgenommen.

[2)] Die zeitliche Planung der Versuchsschritte deckte sich nicht immer mit den freien Ressourcen der vorgesehenen Betreuer, so dass zusätzliche Betreuerkapazitäten eingesetzt wurden.

[3)] Studiengang „Mechatronik“, Fach Mikrotechnik

[4)] 4 Teilnehmer aus Aachen (virtuelles Training im WS 02/03, eintägige Wiederholung im SS 03), 7 Teilnehmer aus Saarbrücken

[5)] Studiengänge „Mikro- und Nanostrukturen“, „System- und Elektrotechnik“, im SS 03 zusätzlich Assistenten mit einem abgeschlossenen Studium im Bereich Elektrotechnik

Insgesamt erstreckten sich die Untersuchungen auf etwa 60 Teilnehmer für die Vorbereitungsphase und auf 50 Teilnehmer für das Reinraumpraktikum in einem Zeitraum von zweieinhalb Jahren. Die Anzahl der Betreuer, die ebenfalls als Untersuchungsgruppe berücksichtigt wurden, umfasste bei der virtuellen Vorbereitung ein bis zwei Lehrende. Beim Reinraumpraktikum schwankte die Anzahl zwischen sechs und neun Assistenten, je nach Zeitplan der Lehrenden.

6.2 Eingesetzte Datenerhebungsinstrumente

Ausgehend von den Lernzielen – „Evaluation ist ziel- und zweckorientiert. Sie hat primär das Ziel, praktische Maßnahmen zu überprüfen, zu verbessern oder über sie zu entscheiden.“ (Wottawa & Thierau 2003, S. 14, vgl. Will et al. 1987, S. 14) – wurden verschiedene Methoden angewendet, um die Wirksamkeit des virtuellen Labors und die Auswirkungen auf das reale Reinraumpraktikum zu untersuchen (vgl. Deutsche Gesellschaft für Evaluation 2002). Ziel dieser „Formativen Evaluation“ oder „Prozess-

evaluation“ (vgl. Stufflebeam 1972, S. 132ff; Will et al. 1987, s. 18ff; Fricke 1997, S. 406) ist es, die Inhalte der Technologiepraktika möglichst optimal auf die Zielgruppe der Studierenden auszurichten und so einen hohen Lernerfolg zu erzielen. Dieses wurde über direkte Rückmeldungen aus der Zielgruppe sichergestellt, wobei die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse durch die nachfolgenden Forschungen aufgegriffen und kontinuierlich in die Weiterentwicklung der Schulungsunterlagen, Laborkurse sowie in die Anpassung der Datenerhebungsinstrumente einflossen. Dabei wurden gerade in der ersten Untersuchung die Instrumente in verschiedener Form (standardisierte Fragebögen, Gruppendiskussion, Einzelinterviews, Leitfadengespräch) eingesetzt. Die Fragebögen können als „Entwicklungs-Pretest[1]“ (vgl. Converse & Presser 1986, S. 65ff) für das Erstellen der nächsten Fragebögen verstanden werden. Untersuchungen ab dem WS 2003/04 basierten auf einigen ausgewählten Verfahren. Zu diesen zählten zum einen „standardisierte Fragebögen“ und die „Gruppenbefragung“ als Methoden der Befragung, zum anderen „unstrukturierte Beobachtungen“ als Beobachtungsmethode (vgl. Schnell et al. 2005, S. 319ff). Bei allen Untersuchungen wurden die vier Schritte „Theoretische Vorarbeiten“, „Planung und Durchführung der Datenerhebung“, „Datenerfassung und Datenaufbereitung“ sowie „Auswertung“ (vgl. Porst 1998, S. 5) durchgeführt.

6.2.1 Standardisierte Fragebögen

Nach Schnell (Schnell et al. 2005, S. 319ff) gehören standardisierte Fragebögen bei der Datenerhebung zum Verfahren der „Befragung“. Er unterscheidet nach der Art der Durchführung vier unterschiedliche Formen, von denen die mündliche (vgl. Kap. 6.2.2, Gruppendiskussion und -befragung) und die schriftliche Befragung bei der vorgenommenen Datenerhebung eingesetzt wurden. Für die schriftliche Befragung wurden standardisierte Fragebögen entwickelt, in denen die befragten Personen einer Untersuchungsgruppe die gleichen Fragen mit gleicher Formulierung und Reihenfolge der Fragen erhielten. Damit handelte es sich bei der Untersuchung um eine „stark strukturierte Interviewsituation“. Bei der Konstruktion der Fragen wurden die „Allgemeinen Regeln der Frageformulierung“ berücksichtigt (Porst 2000, S. 2ff; Schnell et al. 2005, S. 334ff). Strukturell wurden offene, halboffene und geschlossene Fragen[2] mit geordneten Antwortkategorien[3] sowie Testfragen zur Kontrolle verwendet.

---

[1] Vorversuch für Datenerhebungsinstrumente

[2] Bei offenen Fragen gibt der Befragte Antworten in seinen eigenen Worten an, bei geschlossenen Fragen hat er dagegen nur vorgegebene Antwortmöglichkeiten. Halboffene Fragen kombinieren beide Varianten.

[3] Vorgegebene Antworten sind nach einem Schema beispielsweise „sehr gut“ bis „sehr schlecht“ angeordnet.

Für die ersten beiden Untersuchungen (WS 2002/03, SS 2003) wurde jeweils ein mehrseitiger Fragebogen für das virtuelle Training und für das reale Praktikum in Zusammenarbeit mit Dr. M. Heger (HDSB, vgl. Anhang E – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2002/03 und SS 2003), entwickelt. Im Fragebogen zum virtuellen Labor wurden Aspekte zu den schriftlichen Unterlagen, zu den Simulationen, zu Videos, technischen Funktionsproblemen, zur Praktikumszeit, Partnerarbeit und Betreuung als Schwerpunkte abgefragt. Der Fragebogen zum realen Praktikum hatte als Kernpunkte die Themen Simulation, Simulationsvorbereitung, Simulationsaufzeichnungen, Simulation/ Praxis, Video, Praktikumszeit, Betreuung, Partnerarbeit, Wünsche und Lernerfolg. Beide Fragebögen bezogen sich auf die vier bis dahin programmierten Maschinen (Film Thickness Probe, Hochtemperaturofen, Mask Aligner, Sputter Coater). Sie wurden jeweils am letzten Praktikumstermin ausgeteilt und nach dem Ausfüllen direkt wieder eingesammelt.

Für die beiden nächsten Untersuchungen (WS 2003/04, SS 2004) wurden vier verschiedene Fragebögen für Lernende und Betreuer erstellt, um die Antworten beider Personengruppen miteinander vergleichen und die Fragen zielgerichteter aufstellen zu können. Die Fragebögen wurden für die Lernenden auf die unterschiedlichen Praktikumsarten (Blockkurs, Einzeltermine) angepasst. Demnach gab es für das virtuelle Training je einen Fragebogen zu den Einzelveranstaltungen und Blockpraktika sowie für die Reinraumpraktika je einen Fragebogen für die Lernenden und für die Betreuer (vgl. Anhang F – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2003/04 und SS 2004). Die Fragebögen zum virtuellen Labor bezogen alle virtuellen Maschinen ein und gliederten sich in die Themenkomplexe „Allgemeine Angaben“, „Vorbereitungsphase“, „Simulation“, „Praktikumszeit“, „Materialien/ Unterlagen“ und „Betreuung“. Zu den „Allgemeinen Angaben“ zählen beispielsweise Studiengang, Semesterzahl und Alter. Beim Thema „Vorbereitungsphase“ wurde nach der Verständlichkeit der Aufgaben gefragt. In der Rubrik „Simulation“ wurden Fragen zum Bedienen sowie zu Unterschieden zwischen realen und virtuellen Maschinen gestellt. Alle Fragen, abgesehen von den allgemeinen Fragen, mussten bei den Einzelveranstaltungen (WS 2003/04) auf jede Maschine bezogen und damit mehrfach von den Lernenden beantwortet werden. Bei den Einzelveranstaltungen wurde immer ein Fragebogen pro Praktikumstermin unmittelbar nach der Veranstaltung ausgeteilt und wieder eingesammelt. Für die Blockveranstaltung (SS 2004) wurde dieser Fragebogen leicht abgewandelt, um die Rückmeldungen zu allen Maschinen in einem Fragebogen aufnehmen zu können. Beide Fragebögen können nach Converse ebenfalls als Pretest oder „Abschluss-Pretest“ (Converse & Presser 1986, S. 65ff) angesehen werden.

Für die letzte Untersuchung (WS 2004/05) wurden die vorhandenen Fragebögen nochmals überarbeitet und insbesondere um offene Fragen ergänzt (vgl. Anhang G – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2004/05). Die einzelnen Fragebögen, insbesondere der zur Vorbereitungsphase, können zu Untersuchungen für weitere, neue virtuelle Maschinen mit maschinenspezifischen Änderungen, verwendet werden. Ein solcher

angepasster Fragebogen für neue Maschinen ist im Anhang aufgeführt (vgl. Anhang H – Fragebogen zur Evaluation neuer virtueller Maschinen).

Für das reale Reinraumpraktikum wurde jeweils ein Fragebogen für die Lernenden und ein Fragebogen für die Betreuer erstellt. Der Fragebogen für die Lernenden gliederte sich in die Bereiche „Simulationsvorbereitung“, „Simulation/ Praxis“, „Betreuung“, „Reinraumpraktikum“ und „Organisation“. Der Fragebogen für die Betreuer enthielt als Themen „Maschinenbedienung“, „Fertigungsprozess“, „Simulation/ Praxis“, „Praktikumsunterlagen“ und „Qualität des Reinraumpraktikums“. In beiden Fragebögen wurden Aspekte zum Bedienen und zu Bedienfehlern der Maschinen, zum Verständnis sowie zum eigenständigen Umgang gestellt, so dass die Antworten beider Personengruppen bei der Auswertung in Beziehung zueinander gesetzt werden konnten. Für die letzte Untersuchung im WS 2004/05 wurden diese Fragebögen ebenfalls um offene Fragen erweitert. Die Fragebögen wurden jeweils am letzten Praktikumstermin in der Abschlussdiskussion ausgeteilt und sofort wieder eingesammelt.

6.2.2 Gruppendiskussion und -befragung

Um neben den Antworten aus den Fragebögen zusätzliche Informationen und weitere Rückmeldungen zu den virtuellen Maschinen und zu den Praktika zu erhalten, wurde mit den Teilnehmern über die Inhalte und den Ablauf der Veranstaltungen diskutiert. Diese Diskussionen waren teilweise bis kaum strukturiert und gehören wie die standardisierten Fragebögen zur Methode der Befragung und zwar speziell zur „Gruppenbefragung“ (vgl. Schnell et al. 2005, S. 323). Kaum strukturiert bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Befragung ohne genaue Vorgaben durchgeführt wurde, so dass der Interviewer frei in der Fragegestaltung war und diese an die befragten Personen anpassen konnte. Bei der teilstrukturierten Befragung wurden im Vorfeld Fragen vorbereitet, die in beliebiger Reihenfolge aber vollständig gestellt werden sollten. Dazu wurde ein Fragenkatalog aufgebaut und ständig weiter entwicklelt, der ähnlich wie bei den Fragebögen Fragen zum Verständnis, zum Bedienen der Maschinen, zu den Unterlagen und zur Durchführung enthielt. Die teilstrukturierte Gruppenbefragung wurde unmittelbar am Ende eines Praktikumstermins bei Einzelveranstaltungen oder nach einem Lernabschnitt bei Blockveranstaltungen durchgeführt. Beim Reinraumpraktikum fand eine Gruppendiskussion als Abschlussdiskussion am Ende des Praktikums gemeinsam mit den Lernenden und den Betreuern statt.

Ziel dieser Befragungsmethode war, neben positiven Rückmeldungen auch Schwierigkeiten und Probleme aufzudecken und mögliche Lösungsansätze in einem gemeinsamen Gespräch zu entwickeln. Außerdem wurden auf diese Weise gerade in der Anfangsphase vorhandene Fehler in den Maschinenprogrammen aufgedeckt, sofern sie nicht schon während des eigentlichen Praktikums aufgefallen waren. Insgesamt wurden über die einzelnen Diskussionen Informationen zu positiven Aspekten des vir-

tuellen und realen Labors gesammelt. Es wurde weiterhin festgehalten, an welchen Punkten das virtuelle Labor einschließlich der Unterlagen erweitert oder überarbeitet werden sollte, wie das virtuelle Labor günstig auf das reale Praktikum und umgekehrt abzustimmen ist, und um welche Aspekte das reale Praktikum ergänzt werden kann.

6.2.3 Beobachtung

Bei der „Beobachtung“ handelt es sich neben der „Befragung“ um eine weitere grundlegende Evaluationsmethode. Diese wurde bei den Untersuchungen lediglich ergänzend zu den Fragebögen und Diskussionen eingesetzt. Sie fand als „direkte“, „unstrukturierte“ und „teilnehmende“ Beobachtung durch die Betreuer statt (vgl. Schnell et al. 2005, S. 391ff). Mit direkt ist in diesem Zusammenhang gemeint, dass die Lernenden und ihr Verhalten im Praktikum sowie ihr Umgang mit den Maschinen beobachtet wurden. Diese fanden in dem Sinne unstrukturiert statt, dass die Betreuer als Beobachter keinem expliziten Schema folgten, sondern allgemein auf spezielles Verhalten oder Auffälligkeiten achten sollten. Da die Betreuer selbst als Beobachter fungierten und in Interaktion zu den Lernenden standen, handelte es sich um eine teilnehmende Beobachtung. Außerdem war den Lernenden bewusst, dass sie beobachtet wurden. In der Regel wurde das beobachtete Verhalten der Lernenden am Ende eines Praktikumstermins kurz zusammengefasst, beurteilt und mit Erklärungsansätzen kommentiert, woraus das jeweilige Verhalten resultieren und wie unerwünschtes Verhalten vermieden werden könnte. Ziel der Beobachtung war, direkte Probleme in der Vorbereitungsphase und im Reinraumpraktikum beim Arbeiten mit den Maschinen aufzudecken. Auf diese Weise können Änderungsvorschläge und Verbesserungen umgehend an die Entwickler der virtuellen Maschinen oder an die Betreuer der Anlagen zurückgegeben werden.

6.2.4 Weitere Untersuchungsmethoden

Bei der ersten Untersuchung (WS 2002/03) wurden weitere Methoden der Befragung und Beobachtung angewendet. In der Vorbereitungsphase wurde ein Student bei einem Praktikumstermin an einer virtuellen Maschine (Film Thickness Probe) gefilmt, wobei er seine Überlegungen und Handlungen direkt laut äußern sollte (Stimulated Recall). Im Anschluss daran wurde die Versuchsperson nach dem Prinzip eines Leitfadengespräches zu verschiedenen Passagen der Videoaufnahmen, die dem Interviewer interessant erschienen, befragt. Auch dieses Interview wurde mit einer Kamera aufgezeichnet. Die Aufnahmen wurden als Bericht zusammengefasst und als kommentierte Auswertung bereit gestellt. Durch das Leitfadenspräch sollten Schwierigkeiten beim Verstehen und Bedienen der virtuellen Maschine sowie Defizite der Unterlagen aufgedeckt werden. Ziel war hier, die Umsetzung einer realen Maschine zu einer virtuellen in

den Grundsätzen zu prüfen und Anregungen zu erhalten, wie die Anleitungen sowie Hintergrundinformationen für nachfolgende Praktika entsprechend angepasst werden können.

Beim realen Praktikum wurden zum einen einzelne Betreuer während des Praktikums interviewt, zum anderen wurden Passagen des realen Praktikums mit einer Videokamera aufgezeichnet. Bei den Interviews mit den Betreuern war Ziel, direkte Vorteile durch das virtuelle Training zu erfassen und mögliche Anpassungen des realen Praktikums auf diese Vorbereitung festzustellen. Es galt über die Betreuer zu erfahren, ob die Vorgehensweise nach dem Blended-Learning-Konzept, die Kombination des virtuellen und realen Labors, den Lernerfolg erhöhen sowie nachhaltiges Lernen fördern. Weiterhin war bedeutend, an welchen Punkten die Lernenden besser vorbereitet waren, leichter mit den Maschinen zurecht kamen, wo weiterer Entwicklungsbedarf bestand oder sogar Nachteile aufgetreten waren. Die allgemeinen Videoaufnahmen im Reinraum hatten den Zweck, den Ablauf des Praktikums grundsätzlich sowie das Lernen an speziellen Maschinen, die in der virtuellen Vorbereitung trainiert wurden, festzuhalten sowie die Ergebnisse aus den Interviews mit den Betreuern zu stützen. Alle Aufnahmen wurden durch die HDSB durchgeführt und ausgewertet sowie als schriftliche Zusammenfassung mit Ergebnissen und Empfehlungen an die Lehrenden zurückgegeben.

7 Ergebnisse der ersten Untersuchungsphase – WS 2002/03 und SS 2003

Die Fragebögen zu den virtuellen und realen Praktika wurden im Vorfeld nicht in einzelne Bereiche gegliedert, sondern die Fragen bei der Auswertung zu Themenkomplexen zusammengefasst. Weiterhin wurden in der ersten Phase der Untersuchung zusätzliche Instrumente wie Befragungen und Videoaufnahmen eingesetzt. Daher erfolgt eine Gliederung der Ergebnisse für die realen Praktika in die Themenbereiche „Betreuung", „Praktikumszeit", „Praktikumsinhalt und Durchführung" sowie „Simulationsvorbereitung". Für die Auswertung der Vorbereitungsphase und des virtuellen Trainings liegen die Themen „Unterlagen", „Simulationssoftware", „Betreuung", „Praktikumszeit" und „Praktikumsinhalt und Durchführung" vor. In der ersten Untersuchungsphase gab es als Trainingsprogramme vier Simulationen (Hochtemperaturofen, Mask Aligner, Sputter Coater, Film Thickness Probe). Die Untersuchungsgruppen stammten aus Aachen und Saarbrücken. Auf diese Weise wurden unterschiedliche Vorkenntnisse der Teilnehmer von Universitäten und Fachhochschulen berücksichtigt. Im WS 2002/03 nahmen 21 Studierende der Fachhochschule Aachen an der Vorbereitungsphase und sieben am realen Reinraumpraktikum teil, das von neun Betreuern begleitet wurde. Im SS 2003 gab es insgesamt elf Teilnehmer beider Hochschulen, davon vier aus Aachen und sieben aus Saarbrücken, die von sechs Assistenten begleitet wurden (vgl. Kap. 6, Tab. 6.1). Die Teilnehmer aus Saarbrücken setzten sich aus vier Studierenden und drei Doktoranden zusammen.

7.1 Vorbereitungsphase und virtuelle Praktika

7.1.1 Ergebnisse der Untersuchung WS 2002/03

Etwa 3/4 der Lernenden (insgesamt 21 Studierende, wöchentliche viermalige Einzelveranstaltung) hatten die schriftlichen „Unterlagen" zu den virtuellen Maschinen durchgearbeitet, wobei sich zum ersten Termin (Hochtemperaturofen, M1) deutlich mehr Studierende gründlich auf das virtuelle Training vorbereitet hatten als bei den Folgeterminen (vgl. Tab. 7.1). Bei der Vorbereitung wurden nach den Beobachtungen und Befragungen die Materialien zu den theoretischen Grundlagen sowie zu den Prozessen eher selten von den Teilnehmern gelesen, sondern vorrangig die Maschinenanleitungen genutzt.

Tab. 7.1: Vorbereitung mit schriftlichen Unterlagen - WS 2002/03 (Heger 2003, S. 16)

Frage (Item 6): Das Handout der jeweiligen Maschinen habe ich bereits vorher, zu den einzelnen Terminen durchgearbeitet. (Bezugsgröße N[1)] = 20)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Gründlich	30 %	0 %	5 %	10 %
Ein wenig	45 %	75 %	75 %	60 %
Gar nicht	20 %	25 %	15 %	25 %
Keine Angabe	5 %	0 %	5 %	5 %

[1)] Nachfolgend wird die Bezugsgröße nur mit „N“ angegeben

Inhaltlich wurden die Unterlagen von den Lernenden relativ gut beurteilt (vgl. Abb. 7.1). Allerdings wiesen sie auch einige Mängel auf. So waren den Lernenden die Materialien zu den Maschinen teilweise zu unstrukturiert. Sie orientierten sich nach Angaben der Teilnehmer nicht immer am Ablauf der virtuellen Maschinen, was ihnen Schwierigkeiten bereitete. Die einzelnen Arbeitsschritte zum Lösen der Aufgabenstellung und die Reihenfolge der Arbeitschritte waren den Lernenden nicht immer klar. Dieses wurde ebenfalls durch das Leitfadengespräch bestätigt. Ebenso wurden die Unterschiede zwischen virtueller und realer Maschine nicht immer deutlich. Gerade bezüglich der theoretischen Grundlagen wiesen die Unterlagen Defizite auf, dieses zeigte das Leitfadengespräch zum Messgerät „Film Thickness Probe“ besonders deutlich. Den Teilnehmern reichten die Hinweise zu den theoretischen Vertiefungen wie beispielsweise weiterführende Literatur nicht aus. Darüber hinaus wünschten sie sich einen stärkeren Bezug zwischen den Grundlagen und den zugehörigen virtuellen Maschinen sowie mehr Beispiele und Übungen. Der Rückgriff auf die schriftlichen Unterlagen während des virtuellen Trainings war nach Meinung der Lernenden für eine erfolgreiche Simulationsdurchführung oft wichtig (vgl. Tab. 7.2).

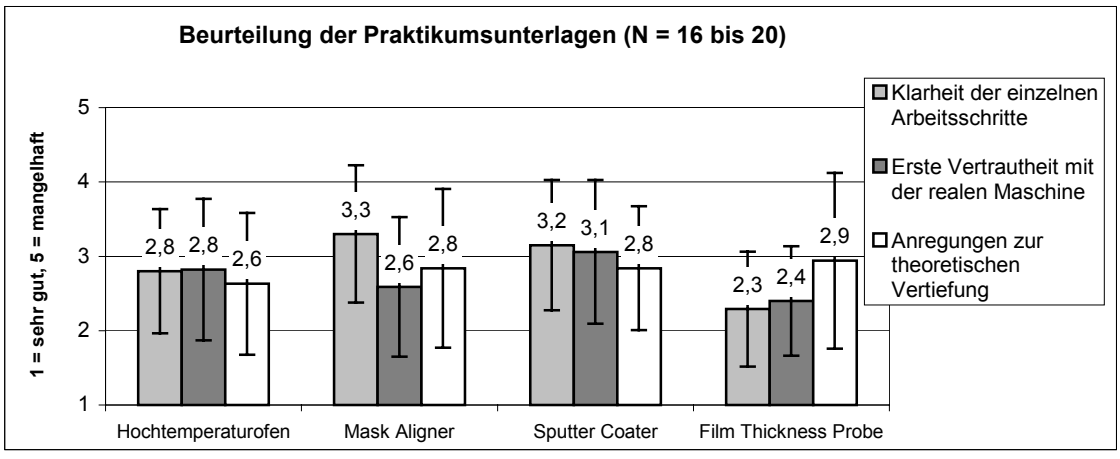


Abb. 7.1: Frage (Item 5): Beurteilung des Handouts für die einzelnen Maschinen - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 2ff, überarbeitet)

Tab. 7.2: Rückgriff auf schriftliche Unterlagen - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 5, überarbeitet)

Frage (Item 14): Der häufige Rückgriff auf die schriftlichen Handouts war für die erfolgreichen Simulationsdurchführungen wichtig. (N = 19 für M1 bis M3, N = 18 für M4)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Sehr wichtig	42 %	47 %	47 %	33 %
Wichtig	37 %	26 %	32 %	22 %
Teilweise wichtig	11 %	16 %	21 %	33 %
Wenig wichtig	5 %	0 %	0 %	6 %
Gar nicht wichtig	5 %	11 %	0 %	6 %

Mit der „Simulationssoftware“ kam die Mehrheit der Lernenden gut zurecht, da sie die verschiedenen Prozessparameter genügend austesten konnten (vgl. Tab. 7.3). Beim „Mask Aligner“ und beim „Sputter Coater“ gab es nach den Beobachtungen eher Schwierigkeiten beim Umgang mit der Software. Da den Lernenden die einzelnen Arbeitsschritte und ihre Reihenfolge nicht immer klar waren, hatten sie auch einige Teilschritte an den Maschinen nicht durchgängig verstanden. Zudem war ihnen nur teilweise bewusst, wie lange die Prozesse oder einzelne Schritte an den realen Maschinen dauern würden, wobei der „Hochtemperaturofen“ am Besten abschnitt (vgl. Abb. 7.2). Aufgetretene Schwierigkeiten beim Umgang mit den virtuellen Maschinen wurden nicht immer bei den gleichen Personen beobachtet, sondern kamen meist unabhängig von den Teilnehmern oder Praktikumspaaren vor.

Tab. 7.3: Durchspielen der Prozessparameter - WS 2002/03 (Heger 2003, S. 5, überarbeitet)

Frage (Item 12): Ich (wir) konnten die verfügbare Praktikumszeit ausreichend zum Durchspielen verschiedener Prozessparameter nutzen. (N = 20)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Ja	95 %	90 %	85 %	90 %
Nein	5 %	10 %	15 %	10 %

Die in den Simulationen enthaltenen Rückmeldungen zu Manipulationen waren nach Ansicht der meisten Lernenden nur zum Teil „ausreichend“ bis sogar „verbesserungsbedürftig“ (vgl. Tab. 7.4). Die Teilnehmer machten während der Diskussionen Verbesserungsvorschläge und gaben Anregungen hierzu. Sie wünschten sich vor allem eine deutlichere Hervorhebung der Unterschiede zwischen den virtuellen Maschinen und den realen Prozessen. Die Hinweise zu diesen Unterschieden wurden als überwiegend verständlich beurteilt, aber teilweise auch als verwirrend empfunden (vgl. Tab. 7.5).

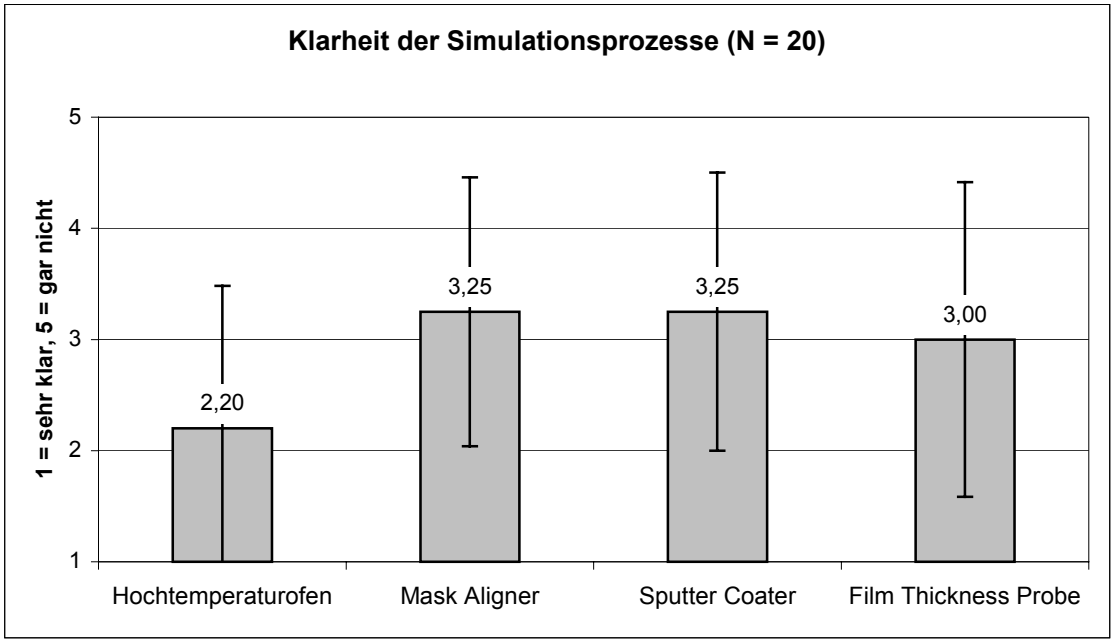


Abb. 7.2: Frage (Item 24): Während der einzelnen Simulationsprozesse war mir stets klar, was da wie lange an der realen Maschine ablaufen würde - WS 2002/03. (Fiebig 2003a, S. 18, überarbeitet)

Die in der Simulation „Mask Aligner" integrierten Videos wurden von den Lernenden aufmerksam verfolgt und mit „sehr hilfreich" bis „etwas hilfreich" beurteilt (vgl. Anhang E, Item 22). Technische Probleme bei den virtuellen Maschinen führten bei den Lernenden teilweise zu Motivationsverlusten, dabei lag der Anteil bei der weniger weit entwickelten Simulation „Mask Aligner" am höchsten. Mit Fortschritt des Praktikums sanken diese Motivationsverluste.

Tab. 7.4: In der Simulationssoftware enthaltene Rückmeldungen - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 22, überarbeitet)

Frage (Item 26): Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen/ Reaktionsnachweise zu ausgeführten Manipulationen waren. (N = 20)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Sehr angemessen	15 %	15 %	5 %	15 %
Ausreichend	35 %	20 %	25 %	25 %
Verbesserungsbedürftig	50 %	65 %	70 %	60 %

Tab. 7.5: Verständlichkeit der Hinweise zu den Unterschieden zwischen Simulation und realem Fertigungsprozess - WS 2002/03 (Heger 2003, S. 7, überarbeitet)

Frage (Item 23): Die Hinweise zu den Unterschieden zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen waren für mich... (N = 18 für M1 bis M3, N = 15 für M 4)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Verständlich	33 %	28 %	39 %	47 %
Teilweise verständlich	61 %	44 %	33 %	53 %
Verwirrend	6 %	28 %	28 %	0 %

Etwa 3/4 der Lernenden beurteilten die eher zurückhaltende „Betreuung“ im virtuellen Praktikum positiv, da sie ihnen zum Teil durch das eigenständige Lösen von Aufgabenschritten und durch echtes Verstehen der prozesstechnischen Zusammenhänge mehrfach Erfolgserlebnisse eröffnete (vgl. Tab. 7.6). Eine ferndiagnostische Betreuung beispielsweise über Internet bei gleichzeitig privater Vorbereitung lehnten etwa 2/3 der Lernenden ab (vgl. Tab. 7.7).

Tab. 7.6: Gewinn von Erfolgserlebnissen durch zurückhaltende Betreuung - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 15, überarbeitet)

Frage (Item 16): Die eher zurückhaltende Betreuung im Praktikum eröffnete mir Aha- und Erfolgserlebnisse - Selbst darauf gekommen. (N = 18)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Mehrfach	61 %	28 %	56 %	56 %
Kaum	28 %	61 %	33 %	39 %
Nie	11 %	11 %	11 %	6 %

Tab. 7.7: Wunsch nach ferndiagnostischer Betreuung - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 16, überarbeitet)

Frage (Item 17): Eine ferndiagnostische Betreuung (Telefon, E-Mail, Chat...) bei privater Bearbeitung der Simulationssoftware außerhalb einer Lehrveranstaltung hätte mir ausgereicht. (N = 20 für M1 bis M3, N = 19 für M4)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Ja	35 %	30 %	30 %	37 %
Nein	65 %	70 %	70 %	63 %

Die „Praktikumszeit“ erschien den meisten Lernenden mit drei Stunden zu lang, wobei die Tendenz mit Fortschritt des Praktikums steigend war (vgl. Tab. 7.8). Etwa 3/4 der Lernenden gab an, dass sie bei den virtuellen Maschinen mit weniger Zeit auskommen

könnten, beim „Hochtemperaturofen“ war es etwa die Hälfte. Die übrigen Lernenden empfanden die angesetzte Praktikumszeit als genau passend. Dadurch konnte die Praktikumszeit auch intensiv zum Testen und Durchspielen der Prozessparameter genutzt werden.

Tab. 7.8: Praktikumszeit - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 10, überarbeitet)

Frage (Item 11): Die Praktikumszeit war für die Bewältigung der jeweiligen Aufgaben... (N = 20)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Zu lang	55 %	70 %	75 %	80 %
Passend	45 %	30 %	25 %	20 %
Zu kurz	0 %	0 %	0 %	0 %

Im Praktikum („Praktikumsinhalt und Durchführung“) standen bei den Lernenden für das Vorgehen an den virtuellen Maschinen die beiden Aspekte „Verstehen der technischen Prozesse“ und „Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte“ in dieser Reihenfolge im Vordergrund (vgl. Tab. 7.9). Die beiden Aspekte „Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit“ sowie „Erarbeiten der theoretischen Hintergründe“ spielten nur eine untergeordnete Rolle. Bezüglich der notwendigen Fertigkeiten und theoretischen Hintergründe fühlte sich die Mehrheit der Lernenden gut auf das reale Praktikum vorbereitet, obwohl sie gerade bei den schriftlichen Unterlagen mehr Theorie gefordert hatten. Der „Mask Aligner“, der im Reinraumpraktikum überwiegend manuell bedient werden muss, schnitt dabei etwas schlechter ab (vgl. Abb. 7.3, Abb. 7.4).

Tab. 7.9: Persönliche Rangfolge des Vorgehens an den virtuellen Maschinen - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 12ff, überarbeitet)

Frage (Item 13): Während der Praktikumszeit war für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen entscheidend: (N = 15) 1 = höchster Rang, 4 = niedrigster Rang				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit	3,0	2,9	3,1	3,0
Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine	1,8	1,7	1,6	1,8
Erarbeitung theoretischer Hintergründe	3,2	3,3	3,2	3,1
Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte	2,2	2,1	2,4	2,4

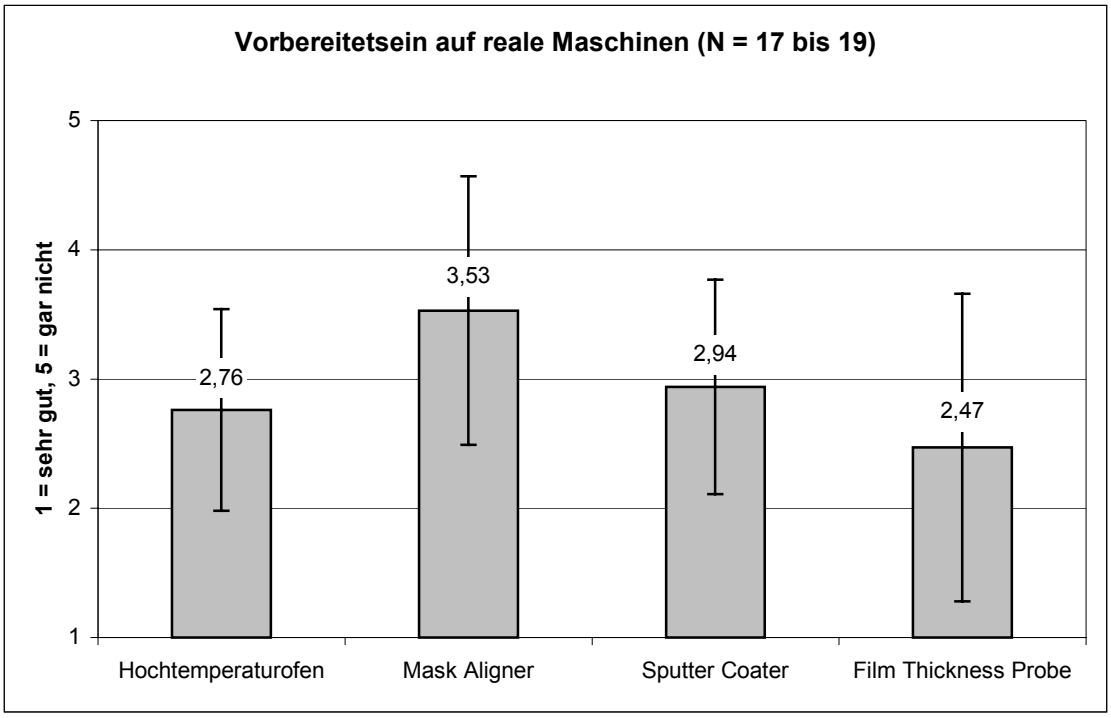


Abb. 7.3: Frage (Item 31): Mit dem Simulationspraktikum fühle ich mich gut auf die Arbeit an den realen Maschinen bzgl. der notwendigen Fertigkeiten/ Arbeitsschritte vorbereitet - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 20, überarbeitet)

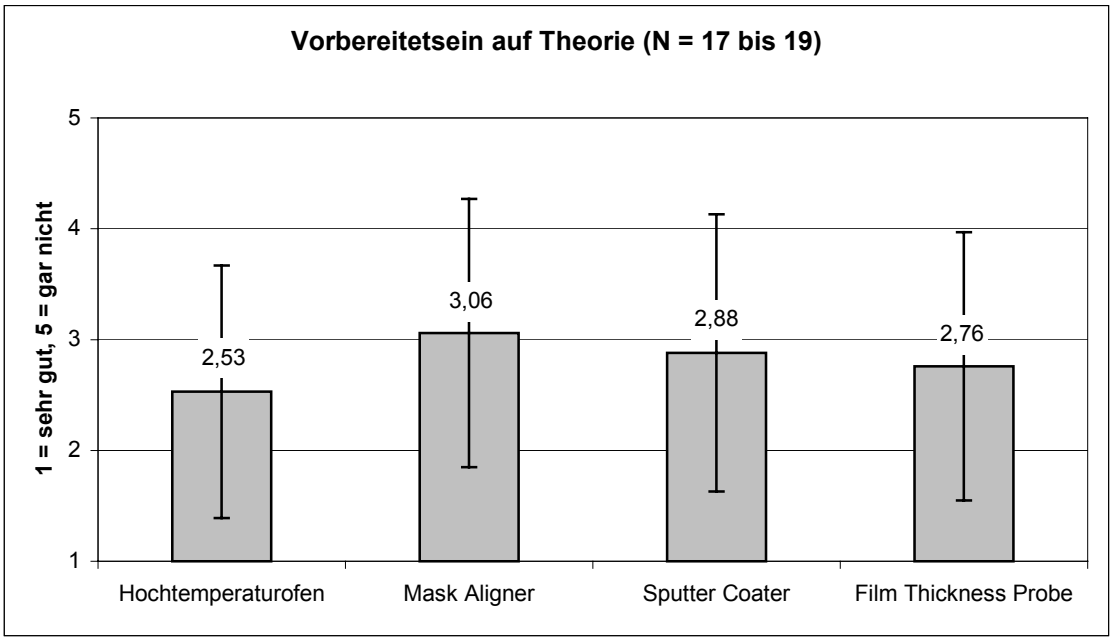


Abb. 7.4: Frage (Item 31): Mit dem Simulationspraktikum fühle ich mich gut auf die Arbeit an den realen Maschinen bzgl. der theoretischen Hintergründe vorbereitet - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 20, überarbeitet)

Für eine verständliche Vorbereitung wünschten sich die Lernenden im Nachhinein eine stärkere Betonung der konkreten Arbeitsschritte, sofern die Mischung von Fertigkeiten und Theorie nicht richtig war (vgl. Tab. 7.10). Zudem würden sie gerne für die Vorbereitung auf das reale Praktikum die Simulationssoftware privat nutzen. Insgesamt nahm die Hälfte der Lernenden mit großer Freude an der virtuellen Vorbereitung teil. Bei den meisten Teilnehmern wurde sogar das Interesse am realen Praktikum durch das virtuelle Training verstärkt (vgl. Tab. 7.11).

Tab. 7.10: Anregungen für eine zukünftige Vorbereitung - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 19, überarbeitet)

Frage (Item 25): Für eine verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir im Nachhinein... (N = 19 für M1 und M3, N = 18 für M2 und M4)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stärkere Betonung der einzelnen Arbeitsschritte	47 %	67 %	63 %	22 %
Stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe	11 %	11 %	5 %	33 %
Mischung zwischen Fertigkeiten und Theorie war richtig	42 %	22 %	32 %	44 %

Tab. 7.11: Interesse am realen Praktikum - WS 2002/03 (Fiebig 2003a, S. 23, überarbeitet)

Frage (Item 30): Das Simulationspraktikum (M1 – M4) hat mein Interesse an dem/ meine Vorfreude auf das reale Fertigungspraktikum verstärkt. (N = 20)	
Sehr verstärkt	35 %
Verstärkt	30 %
Weder noch	35 %
Wenig	0 %
Gar nicht	0 %

7.1.2 Ergebnisse der Untersuchung SS 2003

Bis zum SS 2003 wurden an den Simulationen geringfügige Detailverbesserungen vorgenommen, welche die Bedienung der Programme im Vergleich zum WS 2002/03 kaum veränderten. Die schriftlichen Unterlagen wurden beibehalten. Die Lernenden (4 Studierende und 3 Doktoranden, zweitägiger Blockkurs) erhielten die jeweiligen „Unterlagen“ zu den Simulationen erst unmittelbar vor einer Schulungseinheit und konnten sich so vorher nicht auf die virtuellen Maschinen vorbereiten. Die theoretischen Kenntnisse wurden bei ihnen aufgrund ihrer Vorbildung (Studierende kurz vor dem Ab-

schluss, Mitarbeiter mit einem abgeschlossenen Studium) vorausgesetzt. Inhaltlich wurden die Unterlagen in Saarbrücken ähnlich bewertet wie in Aachen (vgl. Tab. 7.12). Die Klarheit der einzelnen Arbeitsschritte wurde hier im Durchschnitt mit „gut“ bis „befriedigend“ beurteilt, wobei der „Mask Aligner“ am Besten abschnitt (vgl. Abb. 7.5). Die beiden Aspekte „Vertrautheit mit der realen Maschine“ und „Anregungen zur theoretischen Vertiefung“ wurden teilweise mit einer ganzen Note schlechter bewertet. Auch in Saarbrücken wünschten sich die Teilnehmer wesentlich mehr Informationen zu den theoretischen Hintergründen. Der häufige Rückgriff auf die Unterlagen wurde dort ebenfalls als wichtig für die erfolgreiche Simulationsdurchführung angesehen (vgl. Tab. 7.13).

Tab. 7.12: Beurteilung der schriftlichen Unterlagen in Aachen und Saarbrücken – Phase 1

Frage (Item 5): Beurteilung des Handouts für die einzelnen Maschinen - Mittelwerte			
	Klarheit der einzelnen Arbeitsschritte	Erste Vertrautheit mit der realen Maschine	Anregung zur theoretischen Vertiefung
Aachen	2,3 – 3,3	2,4 – 3,1	2,6 – 2,9
Saarbrücken	2,0 – 3,0	3,4 – 3,6	3,2 – 3,7

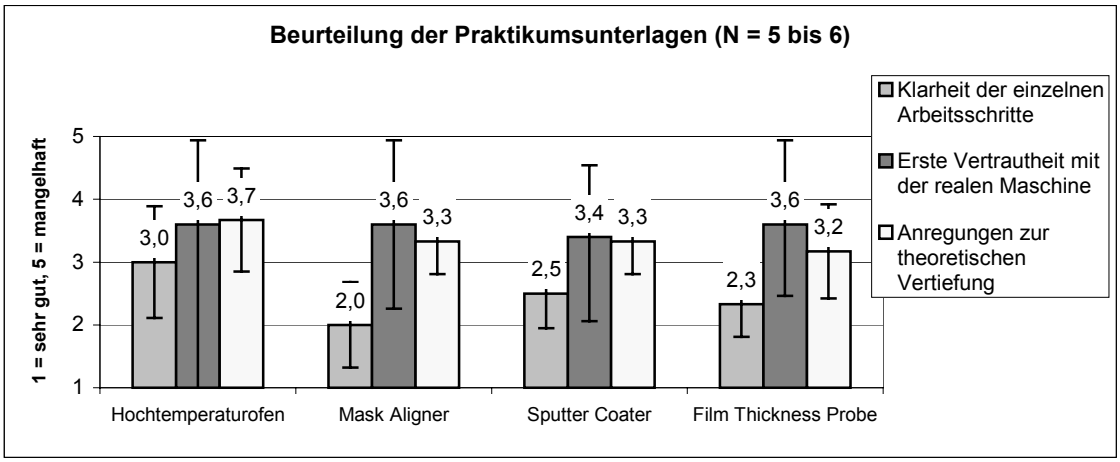


Abb. 7.5: Frage (Item 5): Beurteilung des Handouts für die einzelnen Maschinen - SS 2003

Mit der „Simulationssoftware“ kamen die Lernenden relativ gut zurecht, wobei sich eine andere Tendenz im Vergleich zu Aachen abzeichnete. Am Besten konnten die Lernenden hier den „Mask Aligner“ bedienen im Gegensatz zu Aachen, der dort im Vergleich zu den übrigen Maschinen als schwerer zu bedienen galt. In Saarbrücken gab es wie in Aachen auch größere Schwierigkeiten mit dem „Sputter Coater“. Dagegen hatten die Teilnehmer aus Saarbrücken im Gegensatz zu Aachen mit dem „Hochtemperaturofen“ Probleme. Weiterhin war den Lernenden wie in Aachen nur teilweise bewusst, wie die Prozesse an den einzelnen Maschinen ablaufen und wie lange diese dauern (vgl. Abb. 7.6).

Tab. 7.13: Rückgriff auf schriftliche Unterlagen - SS 2003

Frage (Item 14): Der häufige Rückgriff auf die schriftlichen Handouts war für die erfolgreichen Simulationsdurchführungen wichtig. (N = 7)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Sehr wichtig	29 %	29 %	29 %	29 %
Wichtig	57 %	14 %	29 %	29 %
Teilweise wichtig	0 %	29 %	29 %	14 %
Wenig wichtig	14 %	14 %	14 %	29 %
Gar nicht wichtig	0 %	14 %	0 %	0 %

Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen zu Manipulationen wurden von den meisten Teilnehmern mit „ausreichend“ bewertet, wobei der „Mask Aligner“ am Besten abschnitt (vgl. Tab. 7.14). Die Lernenden gaben an, dass die virtuellen Maschinen nur teilweise „verbesserungsbedürftig“ seien im Gegensatz zu Aachen, wo der Anteil erheblich höher lag (50 – 70 %). Die Hinweise zu den Unterschieden zwischen den Simulationen und Fertigungsprozessen waren hier ähnlich verständlich und wurden im Gegensatz zu Aachen von keinem Teilnehmer als verwirrend empfunden.

Die in den Simulationen integrierten Videos wurden von den Lernenden aufmerksam verfolgt und ebenfalls mit „sehr hilfreich“ bis „etwas hilfreich“ beurteilt (vgl. Anhang E, Item 22). Die technischen Funktionsprobleme führten in Saarbrücken im Gegensatz zu Aachen zu fast keinen Motivationsverlusten.

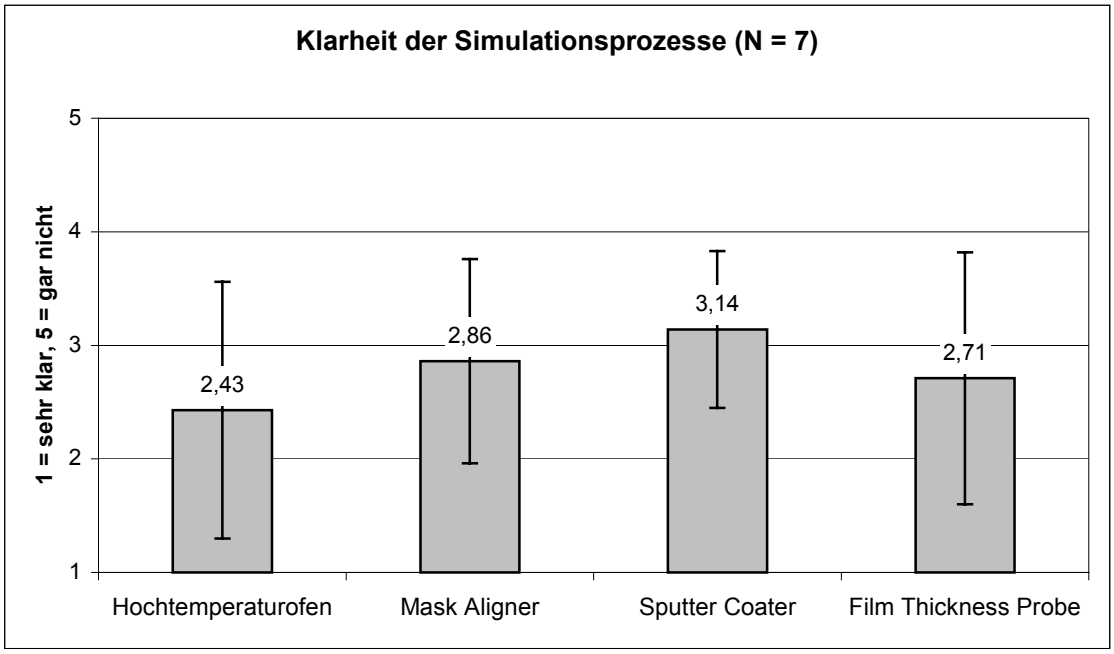


Abb. 7.6: Frage (Item 24): Während der einzelnen Simulationsprozesse war mir stets klar, was da wie lange an der realen Maschine ablaufen würde - SS 2003

Tab. 7.14: In der Simulationssoftware enthaltene Rückmeldungen - SS 2003

Frage (Item 26): Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen/ Reaktionsnachweise zu ausgeführten Manipulationen waren. (N = 7)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Sehr angemessen	0 %	14 %	0 %	14 %
Ausreichend	57 %	71 %	57 %	57 %
Verbesserungsbedürftig	43 %	14 %	43 %	29 %

Die zurückhaltende „Betreuung“ wurde wie in Aachen für alle Maschinen überdurchschnittlich gut beurteilt. Sie eröffnete den Lernenden in Saarbrücken durch das eigenständige Lösen der einzelnen Arbeitschritte (vgl. Tab. 7.15) sogar noch mehr Erfolgserlebnisse im Vergleich zu Aachen (28 – 61 %). Eine ferndiagnostische Betreuung über Internet oder Telefon bei gleichzeitig privater Vorbereitung lehnten hier noch mehr Teilnehmer (71 – 86 %) ab.

Tab. 7.15: Gewinn von Erfolgserlebnissen durch zurückhaltende Betreuung - SS 2003

Frage (Item 16): Die eher zurückhaltende Betreuung im Praktikum eröffnete mir Aha- und Erfolgserlebnisse - Selbst darauf gekommen. (N = 7 für M1, M3, M4, N = 6 für M2)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Mehrfach	43 %	50 %	71 %	71 %
Kaum	57 %	33 %	29 %	29 %
Nie	0 %	17 %	0 %	0 %

Die „Praktikumszeit“ von etwa 90 bis 120 Minuten pro Simulation wurde in Saarbrücken mit überwiegend „passend“ bis teilweise „zu lang“ angegeben (vgl. Tab. 7.16). Im Vergleich dazu wurden in Aachen drei Stunden Übungszeit häufig (bis zu 70 % der Teilnehmer) mit wesentlich „zu lang“ beurteilt. Gleichzeitig reichte auch in Saarbrücken die Zeit zum Durchspielen der Prozessparameter völlig aus, wie alle Teilnehmer angaben. Daher sind bis zu zwei Übungsstunden optimal.

Im Praktikum („Praktikumsinhalt und Durchführung“) waren bei den Lernenden anders als in Aachen für das Vorgehen an den virtuellen Maschinen die vier Aspekte „Erarbeiten der theoretischen Hintergründe“, „Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte“, „Verstehen der technischen Prozesse“ und „Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit“ in der genannten Reihenfolge wichtig (vgl. Tab. 7.17). Damit waren in Saarbrücken die theoretischen Hintergründe besonders wichtig im Gegensatz zu Aachen, wo das Verstehen der technischen Prozesse entscheidend war. Die Bewältigung der Software stand bei beiden Untersuchungsgruppen an zweiter Position. Der

Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit dagegen war bei beiden Kursgruppen eher unwichtig.

Insgesamt fühlten sich die Teilnehmer in Saarbrücken (vgl. Abb. 7.7) bezüglich der Fertigkeiten gut, sogar etwas besser als die Teilnehmer aus Aachen (Mittelwerte 2,5 bis 3,5) auf die Arbeit an den realen Maschinen vorbereitet. Bezogen auf die theoretischen Hintergründe gaben sie an, mäßig und damit etwas schlechter als die Studierenden aus Aachen (Mittelwerte 2,5 bis 3,0) geschult zu sein (vgl. Abb. 7.8).

Tab. 7.16: Praktikumszeit - SS 2003

Frage (Item 11): Die Praktikumszeit war für die Bewältigung der jeweiligen Aufgaben... (N = 7)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Zu lang	43 %	29 %	29 %	43 %
Passend	57 %	71 %	71 %	57 %
Zu kurz	0 %	0 %	0 %	0 %

Tab. 7.17: Persönliche Rangfolge des Vorgehens an den virtuellen Maschinen in Aachen und Saarbrücken

Frage (Item 13): Während der Praktikumszeit war für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen entscheidend; 1 = höchste Priorität, 4 = niedrigste Priorität		
	Aachen	Saarbrücken
Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit	3 - 4	4
Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine	1	3
Erarbeitung theoretischer Hintergründe	3 - 4	1
Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte	2	2

Für eine verständliche Vorbereitung wünschten sich die Teilnehmer aus Saarbrücken im Nachhinein eine „stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe“ im Gegensatz zu Aachen, wo eine „stärkere Betonung der Fertigkeiten“ gefordert wurde. Dieses deutet auf die eher theoretische Ausrichtung an Universitäten im Vergleich zu Fachhochschulen hin. Außerdem wünschten sich die meisten Lernenden die private Nutzung der Simulationssoftware. Die Mehrheit der Teilnehmer hatte große Freude am virtuellen Labor. Auch bei ihnen wurde das Interesse am realen Praktikum durchgängig durch das virtuelle Training verstärkt.

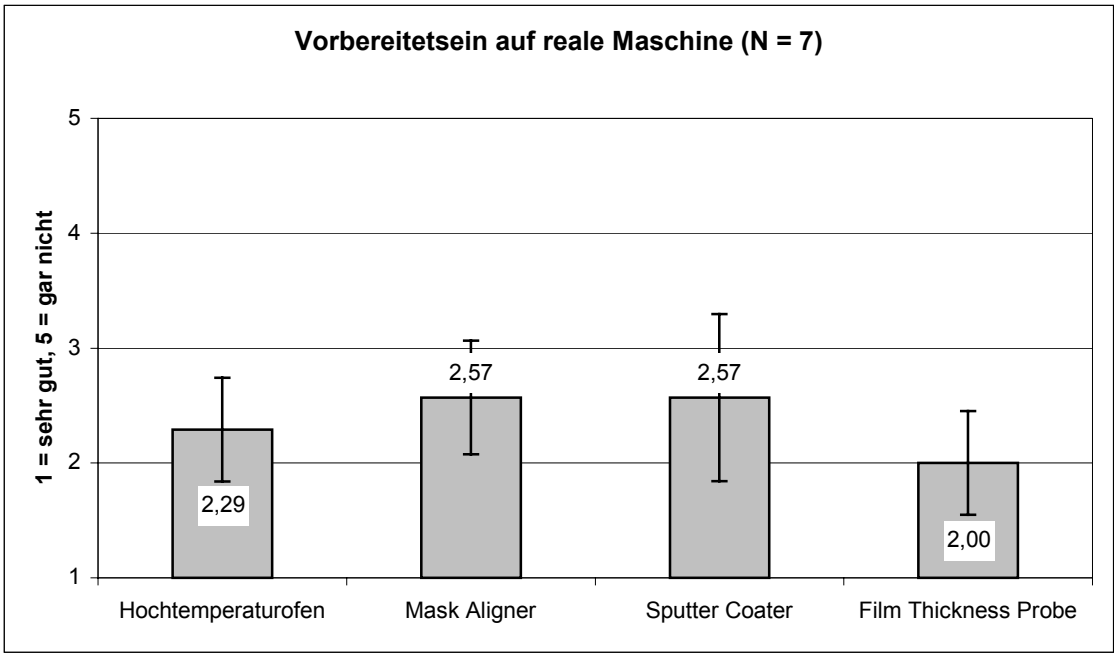


Abb. 7.7: Frage (Item 31): Mit dem Simulationspraktikum fühle ich mich gut auf die Arbeit an den realen Maschinen bzgl. der notwendigen Fertigkeiten/ Arbeitsschritte vorbereitet - SS 2003

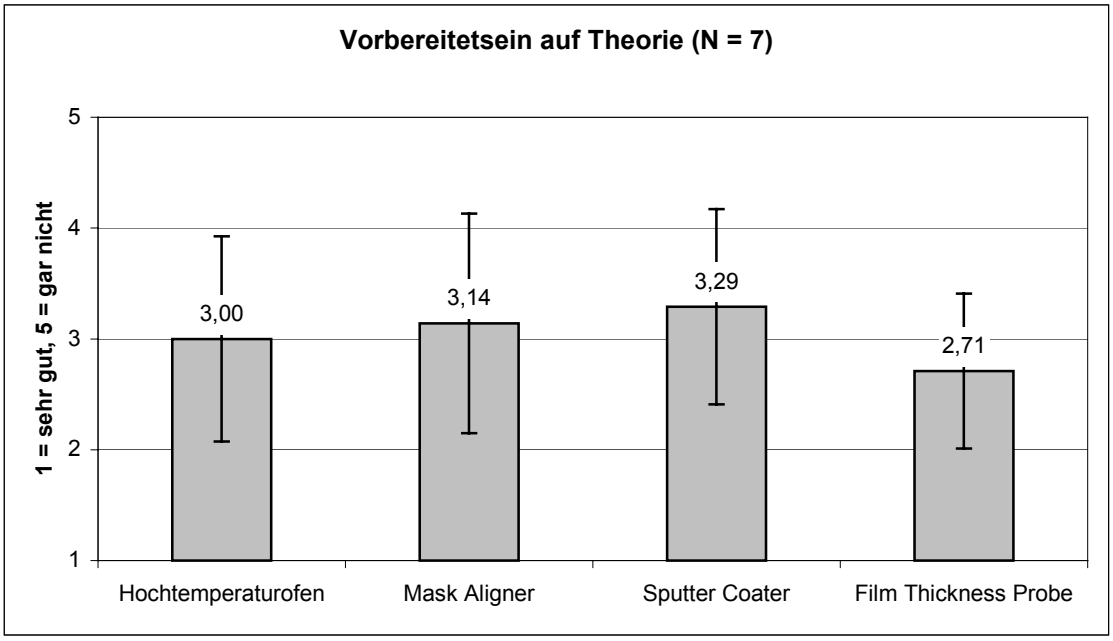


Abb. 7.8: Frage (Item 31): Mit dem Simulationspraktikum fühle ich mich gut auf die Arbeit an den realen Maschinen bzgl. der theoretischen Hintergründe vorbereitet - SS 2003

7.2 Reale Reinraumpraktika

7.2.1 Ergebnisse der Untersuchung WS 2002/03

Die Lernenden (7 Studierende aus Aachen) fühlten sich durch die „Simulationsvorbereitung“ in der Regel gut auf das Reinraumpraktikum (einwöchiger Blockkurs) im Hinblick auf die Aspekte „Klarheit der einzelnen Arbeitsschritte“, „Schnelles Zurechtfinden an den realen Maschinen“ und „theoretisches Verständnis“ vorbereitet und bekundeten einen Nutzen durch die Simulationsvorbereitung (vgl. Abb. 7.9). Dabei wurde der Gewinn beim „Mask Aligner“, der bereits bei der Vorbereitung als Simulationsprogramm den Lernenden Probleme bereitete, etwas geringer gesehen im Vergleich zu den übrigen Maschinen. Den Teilnehmern bereitete der Umgang mit den realen Anlagen aufgrund des virtuellen Trainings kaum Schwierigkeiten, da ihnen diese präsent und vertraut waren (vgl. Tab. 7.18).

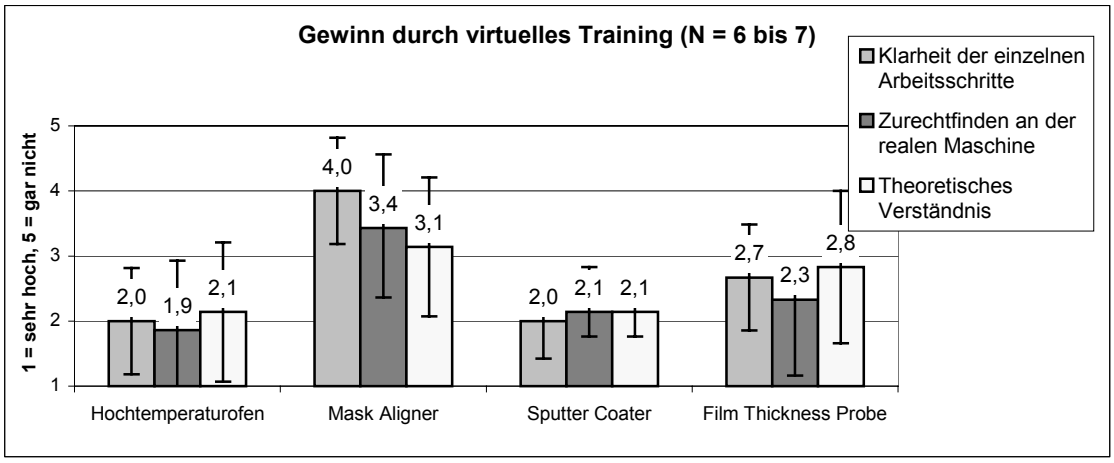


Abb. 7.9: Frage (Item 1): Beurteilung des Gewinns durch die INGMEDIA-Simulationen für die einzelnen Maschinen und einzelnen Aspekte - WS 2002/03 (Fiebig 2003b, S. 1ff, überarbeitet)

Tab. 7.18: Vorhandensein der Simulationserfahrungen - WS 2002/03 (Fiebig 2003b, S. 5, überarbeitet)

Frage (Item 5): Meine Erfahrungen aus dem Simulationspraktikum waren in der Zwischenzeit bis zum Reinraumpraktikum doch schon wieder verschüttet/ vergessen. (N = 7)	
Gar nichts vergessen	14 %
Wenig vergessen	71 %
Teilweise vergessen	14 %
Viel vergessen	0 %
Sehr viel vergessen	0 %

Es gab für die Lernenden an den realen Anlagen wegen der Simulationsprogramme deutliche Wiedererkennungseffekte, die lediglich beim „Mask Aligner“ etwas geringer waren (vgl. Abb. 7.10). Das Bedienen der Maschinen fiel den Lernenden nach eigenen Angaben teilweise an den realen Anlagen sogar leichter. Sie hatten nach den Diskussionen und Beobachtungen der Betreuer eine Vorstellung von den echten Maschinen, konnten gezielter an diese herantreten und schließlich konkreter Fragen an die Assistenten richten im Gegensatz zu untrainierten Teilnehmern. Diese Beobachtung wurde ebenfalls durch die Videoaufnahmen und Interviews mit den Betreuern bestätigt.

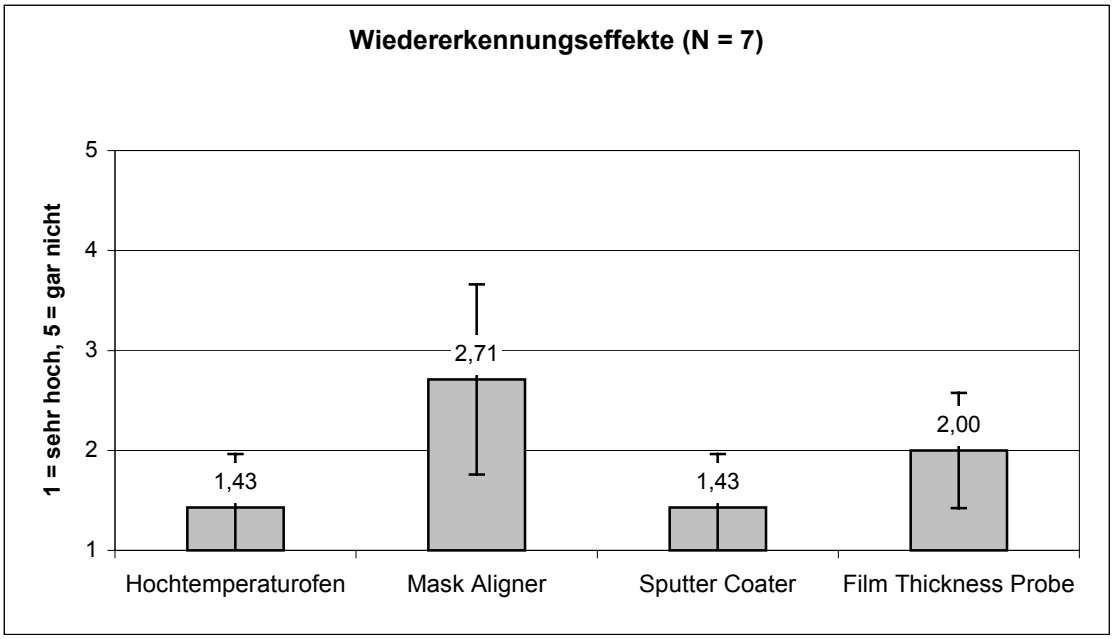


Abb. 7.10: Frage (Item 2): Bzgl. der einzelnen Simulationsangebote erlebte ich im Reinraum deutliche Wiedererkennungseffekte - WS 2002/03 (Fiebig 2003b, S. 3, überarbeitet)

Angesichts der im Reinraumpraktikum realisierten Aufgabenstellungen und der Betreuung gaben die Lernenden an, dass sie die Maschinen teilweise auch ohne die Simulationssoftware bewältigt hätten (vgl. Tab. 7.19).

Für eine gute und verständliche Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünschten sich die Lernenden in den Simulationen im Nachhinein bei fast allen Maschinen eine „stärkere Betonung des theoretischen Hintergrundes“ sowie am „Mask Aligner“ eine „stärkere Betonung der konkreten Arbeitsschritte und manuellen Fertigkeiten“ (vgl. Tab. 7.20). Die Rückmeldungen zu Manipulationen in der Software wurden auch im Nachhinein mit überwiegend „verbesserungsbedürftig“ angegeben. Außerdem wünschten sich die Lernenden mehr Videos und Fotos zu den realen Fertigungsprozessen, da diese das virtuelle Training noch lehrreicher gemacht hätten.

Tab. 7.19: Bedeutung der Simulationsvorbereitung - WS 2002/03 (Fiebig 2003b, S. 4, überarbeitet)

Frage (Item 9): Angesichts der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung hätte ich das Praktikum auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt. (N = 7)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stimme voll zu	14 %	29 %	14 %	14 %
Stimme zu	29 %	14 %	14 %	14 %
Stimme teilweise zu	42 %	29 %	43 %	43 %
Stimme nicht zu	14 %	29 %	29 %	14 %
Stimme gar nicht zu	0 %	0 %	0 %	14 %

Tab. 7.20: Anregungen für eine zukünftige Vorbereitung nach Abschluss des gesamten Praktikums - WS 2002/03 (Fiebig 2003b, S. 16, überarbeitet)

Frage (Item 19): Für eine verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir in den Simulationen im Nachhinein... (N = 7)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stärkere Betonung der Arbeitsschritte/ Fertigkeiten	29 %	57 %	29 %	29 %
Stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe	29 %	43 %	43 %	43 %
Mischung zwischen Fertigkeiten und Theorie war richtig	43 %	0 %	29 %	29 %

Die „Betreuung“ wurde von den Lernenden durchgängig mit „gut“ beurteilt hinsichtlich der drei Aspekte „Vermittlung von Zuversicht und Erfolgsgewissheit“, „Aufgreifen der Simulationsvorkenntnisse“ und „Raum geben für selbständiges Experimentieren“ (vgl. Abb. 7.11). Weiterhin gaben sie an, dass aufgrund des virtuellen Trainings die Betreuer das Lernen im realen Praktikum unterstützen und fördern konnten. Darüber hinaus erhielten die Lernenden viele zusätzliche, über das virtuelle Training hinaus gehende Bedienungshinweise zu den einzelnen Anlagen und weiterführende Erklärungen, wie die Videoaufnahmen zeigten.

Ein Nachteil im Praktikum war, dass die Betreuer nicht immer mit der Simulationssoftware vertraut waren, obwohl sie im Vorfeld zur Verfügung stand. Bedingt durch diese Tatsache konnten die Assistenten nur teilweise die Vorkenntnisse der trainierten Teilnehmer berücksichtigen und ihre Betreuung entsprechend anpassen, wie die Videoaufnahmen und Interviews belegten. Die Betreuer nahmen zum Teil durch ihre ausführlichen Erklärungen sogar einiges vorweg, wodurch die Lernenden nur teilweise ihre

zuvor gewonnenen Kenntnisse anwenden konnten. Auf der anderen Seite gingen einige Betreuer stärker auf die vorbereiteten Studierenden und ihre Fragen ein. Sie gaben an, dass sich die trainierten Teilnehmer durch das Stellen anderer und tiefergehender Fragen auszeichneten. Ihrer Ansicht nach könnte das Praktikum sogar in begrenztem Ausmaße verändert und auf das virtuelle Training angepasst werden.

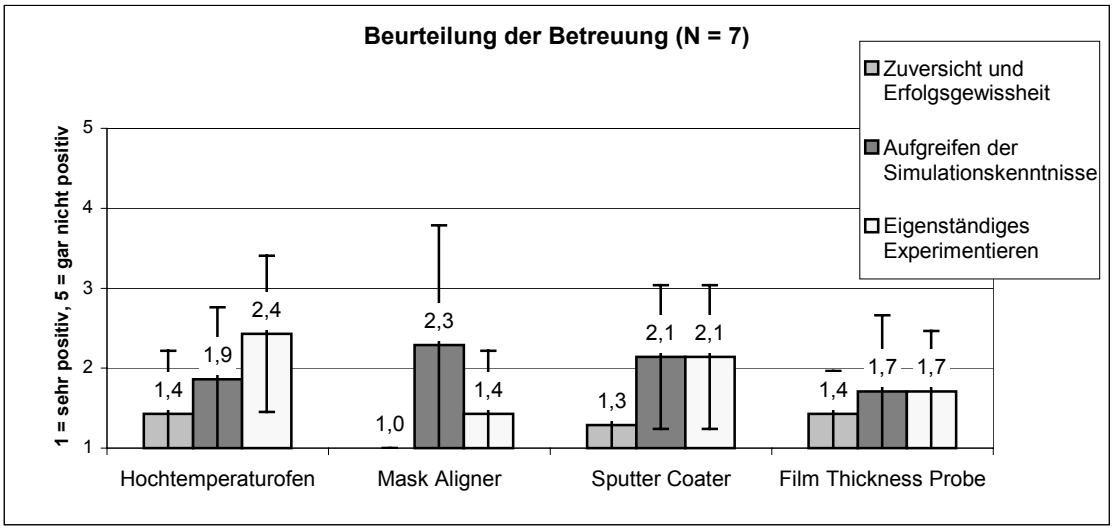


Abb. 7.11: Frage (Item 12): Die Betreuung im Praktikum beurteile ich für die einzelnen Maschinen - WS 2002/03 (Fiebig 2003b, S. 10, überarbeitet)

Nach Angaben der Lernenden wurde die verfügbare „Praktikumszeit“ durch die Aufgabenstellungen und Betreuung fast immer angemessen genutzt (vgl. Tab. 7.21). Sie war ausreichend für die Durchführung der Arbeitsschritte und konnte an den einzelnen Anlagen zum Durchspielen verschiedener Parameter eingesetzt werden (vgl. Tab. 7.22). Weiterhin wurde sie für das Stellen und Beantworten weiterführender Fragen genutzt.

Tab. 7.21: Nutzung der Praktikumszeit - WS 2002/03 (Heger 2003, S. 13, überarbeitet)

Frage (Item 8): Die jeweils verfügbare Praktikumszeit wurde durch Aufgabenstellung und Betreuung für meine/ unsere Simulationsvorkenntnisse angemessen genutzt. (N = 6)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stimme voll zu	33 %	50 %	33 %	33 %
Stimme zu	50 %	50 %	50 %	67 %
Stimme teilweise zu	0 %	0 %	17 %	0 %
Stimme nicht zu	17 %	0 %	0 %	0 %

Tab. 7.22: Durchspielen der Prozessparameter - WS 2002/03 (Heger 2003, S. 13, überarbeitet)

Frage (Item 10): Ich (wir) konnten die verfügbare Praktikumszeit ausreichend zum Durchspielen verschiedener Prozessparameter (Experimentieren) nutzen. (N = 7)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stimme voll zu	43 %	71 %	43 %	43 %
Stimme zu	14 %	14 %	43 %	14 %
Stimme teilweise zu	29 %	14 %	14 %	29 %
Stimme nicht zu	0 %	0 %	0 %	14 %
Stimme gar nicht zu	14 %	0 %	0 %	0 %

Im Praktikum („Praktikumsinhalt und Durchführung“) standen bei den Lernenden für das Vorgehen an den realen Maschinen der Aspekt „Durchführen der konkret vorgegebenen Versuchsschritte“ an erster Position und die beiden Aspekte, „Orientierung/ Planung der einzelnen Schritte“ sowie „Verstehen der technischen Prozesse an der realen Maschine“ an zweiter Stelle (vgl. Tab. 7.23). Das „Erarbeiten der theoretischen Hintergründe“ spielte eine untergeordnete Rolle.

Tab. 7.23: Persönliche Rangfolge des Vorgehens an den realen Maschinen - WS 2002/03 (Fiebig 2003b, S. 8, überarbeitet)

Frage (Item 11): Während der Praktikumszeit stand für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen im Vordergrund: (N = 6) 1 = sehr im Vordergrund, 5 = gar nicht				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Orientierung, Planung der einzelnen Arbeitsschritte	2,2	2,0	2,3	2,2
Durchführen der Versuchsschritte	1,7	1,5	1,8	2,0
Verstehen der technischen Prozesse	2,2	2,0	2,3	2,7
Erarbeiten theoretischer Hintergründe	2,7	2,7	2,7	3,0

Der Handlungsspielraum zum selbständigen Experimentieren war bei einigen Maschinen teilweise sehr gering aufgrund der Komplexität, wie beispielsweise beim „Sputter Coater“, oder den langen Prozesszeiten, wie beispielsweise beim „Hochtemperaturofen“. Beim „Mask Aligner“ gab es aus technischer Sicht dagegen mehr Handlungsspielräume, die von den Lernenden auch genutzt wurden. Weiterhin konnten zum Teil Bedienungsfehler an den realen Anlagen aufgrund des virtuellen Trainings vermieden

werden (vgl. Tab. 7.24). Technische Funktionsprobleme, die während des Praktikums auftraten, wurden von den Lernenden einstimmig positiv beurteilt. Sie halfen nach ihren Angaben, den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen, da die Funktionsprobleme ein gutes Abbild der Wirklichkeit waren, und führten daher nicht zu Motivationsverlusten. Die schriftlichen Unterlagen aus der Schulung durften aus prozesstechnischen Gründen nicht mit in den Reinraum genommen werden, was als Vorteil angesehen wurde, da die Unterlagen nach Ansicht der Lernenden ablenken könnten. Allen Teilnehmern hat das Praktikum gut gefallen.

Tab. 7.24: Vermeidung von Bedienfehlern - WS 2002/03 (Heger 2003, S. 18, überarbeitet)

Frage (Item 14): Dank meiner/ unserer Simulationsvorbereitung (im Vgl. zur Vorstellung ohne Vorbereitung) konnten im Reinraumpraktikum in sinnvoller Weise Fehler vermieden werden. (N = 4)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stimme voll zu	0 %	0 %	0 %	0 %
Stimme zu	50 %	50 %	75 %	75 %
Stimme teilweise zu	50 %	25 %	25 %	25 %
Stimme nicht zu	0 %	25 %	0 %	0 %

7.2.2 Ergebnisse der Untersuchung SS 2003

Sowohl das Konzept wie auch die Durchführung der Reinraumpraktika wurden für das SS 2003 genauso wie im WS 2002/03 beibehalten. Die Lernenden[1] aus Saarbrücken (4 Studierende aus Aachen, 4 Studierende und 3 Doktoranden aus Saarbrücken) fühlten sich durch die „Simulationsvorbereitung“ gut, im Vergleich zu Aachen teilweise besser auf das Reinraumpraktikum (einwöchiger Blockkurs) im Hinblick auf die Aspekte „Klarheit der einzelnen Arbeitsschritte“, „Schnelles Zurechtfinden an den realen Maschinen“ und „theoretisches Verständnis“ vorbereitet (vgl. Abb. 7.12, Tab. 7.25). Bei getrennter Betrachtung der Gruppe Saarbrücken, also beim Splitten der Teilnehmer in Aachen SS 2003 und Saarbrücken SS 2003, ist nach Tab. 7.25 eine ähnliche Tendenz der Studierenden in Aachen im SS 2003 wie zu denen im WS 2002/03 zu verzeichnen.

Die Lernenden aus Saarbrücken hatten ihre Kenntnisse aus dem virtuellen Training „teilweise vergessen“ (vgl. Tab. 7.26) und damit nach eigener Einschätzung weniger präsent als die Teilnehmer aus Aachen (71 % „wenig vergessen“), obwohl der Zeitraum zwischen der Vorbereitung und dem realen Praktikum in Saarbrücken mit vier

[1] Die Teilnehmer des Reinraumpraktikums im SS 2003 kamen aus Saarbrücken (N = 7) und Aachen (N = 4), werden aber durchgängig mit Saarbrücken bezeichnet, um sie von den Studierenden aus Aachen im WS 2002/03 zu unterscheiden.

Wochen ähnlich hoch war wie in Aachen mit drei Wochen. Das galt auch für den Wiederholungstermin im SS 2003 für die vier Studierenden dieser Gruppe aus Aachen. Die Teilnehmer aus Saarbücken (SS 2003) erlebten wie die aus Aachen (WS 2002/03) sehr hohe Wiedererkennungseffekte (vgl. Abb. 7.13), wobei hier der „Mask Aligner" besser abschnitt als in Aachen (Mittelwert 2,7).

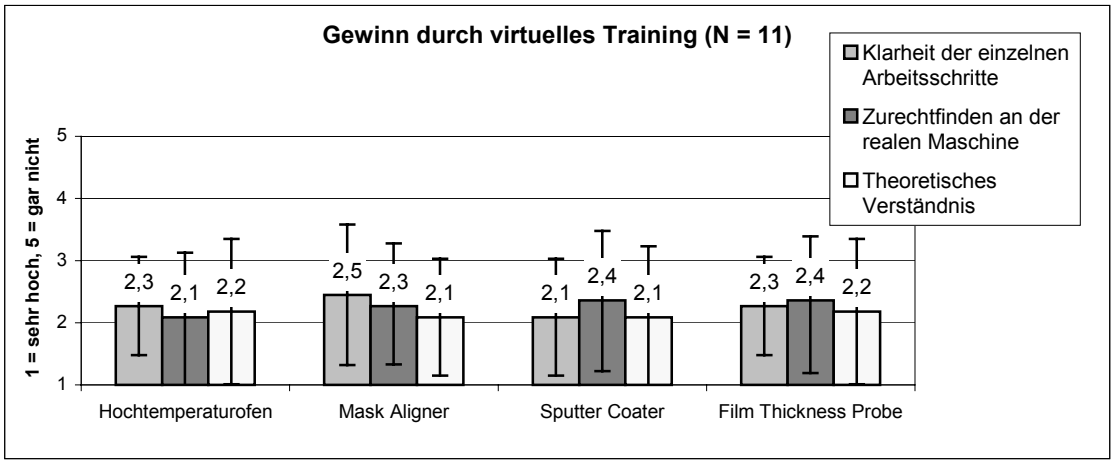


Abb. 7.12: Frage (Item 1): Beurteilung des Gewinns durch die INGMEDIA-Simulationen für die einzelnen Maschinen und einzelnen Aspekte - SS 2003

Tab. 7.25: Gewinn durch virtuelles Training – Phase 1

Frage (Item 1): Beurteilung des Gewinns durch die INGMEDIA-Simulationen für die einzelnen Maschinen und einzelnen Aspekte – Mittelwerte 1 = sehr im Vordergrund, 5 = gar nicht			
	Klarheit der einzelnen Arbeitsschritte	Zurechtfinden an der realen Maschine	Theoretisches Verständnis
Aachen	2,0 – 4,0	1,9 – 3,4	2,1 – 3,1
Saarbrücken	2,1 – 2,5	2,1 – 2,4	2,1 – 2,2
Dazu gesonderte Auswertung für Saarbrücken SS 2003[1)]			
AC SS 2003	2,5 – 2,8	2,0 – 2,7	2,3 – 2,8
SB SS 2003	1,9 – 2,3	2,1 – 2,3	1,9 – 2,0

[1)] AC = Aachen, SB = Saarbrücken

Das Bedienen der Maschinen fiel ihnen ebenfalls häufig leichter an den realen Anlagen, da dort das richtige Verständnis gefestigt wird. Etwa 1/3 bis die Hälfte der Lernenden gab wie die Teilnehmer aus Aachen an, dass sie das Praktikum auch ohne die Simulationsvorbereitung bewältigt hätten (vgl. Tab. 7.27).

Tab. 7.26: Vorhandensein der Simulationserfahrungen - SS 2003

Frage (Item 5): Meine Erfahrungen aus dem Simulationspraktikum waren in der Zwischenzeit bis zum Reinraumpraktikum doch schon wieder verschüttet/ vergessen. (N = 11)			
	Insgesamt	Nur Aachen	Nur Saarbrücken
Gar nichts vergessen	0 %	0 %	0 %
Wenig vergessen	27 %	25 %	29 %
Teilweise vergessen	46 %	25 %	57 %
Viel vergessen	27 %	50 %	14 %
Sehr viel vergessen	0 %	0 %	0 %

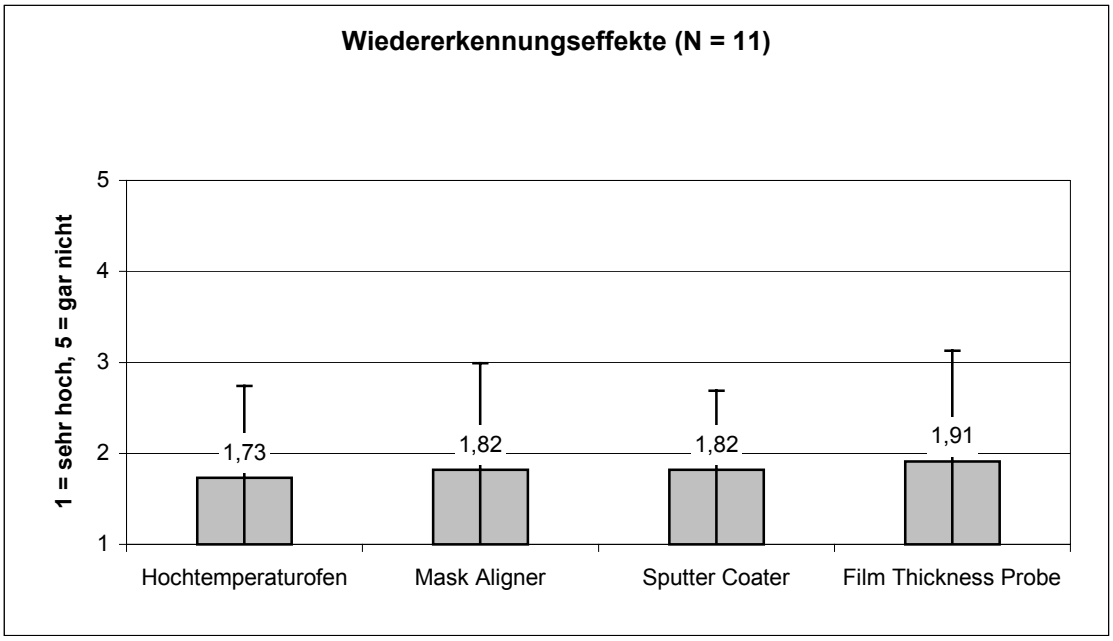


Abb. 7.13: Frage (Item 2): Bzgl. der einzelnen Simulationsangebote erlebte ich im Reinraum deutliche Wiedererkennungseffekte - SS 2003

Für eine gute und verständliche Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünschten sich die Lernenden im Nachhinein für die Simulationen „Hochtemperaturofen“ und „Mask Aligner“ eine „stärkere Betonung der konkreten Arbeitsschritte und Fertigkeiten“ (vgl. Tab. 7.28). Bei den Simulationen „Sputter Coater“ und „Film Thickness Probe“ war das „Mischungsverhältnis von Fertigkeiten und theoretischem Hintergrund“ überwiegend richtig. Diese Aussage unterscheidet sich von den Angaben der Teilnehmer aus Aachen, die etwas schwankten und die häufig eine stärkere Betonung des theoretischen Hintergrundes bei den Maschinen wünschten.

Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen zu Manipulationen waren im Nachhinein für die Lernenden weiterhin „ausreichend“ und selten „verbesserungsbedürftig“ im Gegensatz zu den Teilnehmern aus Aachen, welche die Rückmeldungen

mit eher „verbesserungsbedürftig“ angaben. Diese Tendenz liegt ebenfalls bei getrennter Betrachtung innerhalb des SS 2003 bei den vier Studierenden aus Aachen und den sieben Teilnehmern aus Saarbrücken vor. Weiterhin meinten die Lernenden aus Saarbrücken (SS 2003) wie die aus Aachen (WS 2002/03), dass mehr Videos und Fotos von den realen Anlagen die Simulationen noch lehrreicher gemacht hätten.

Tab. 7.27: Bedeutung der Simulationsvorbereitung - SS 2003

Frage (Item 9): Angesichts der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung hätte ich das Praktikum auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt. (N = 7)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stimme voll zu	9 %	9 %	9 %	9 %
Stimme zu	27 %	27 %	27 %	46 %
Stimme teilweise zu	0 %	18 %	0 %	9 %
Stimme nicht zu	36 %	18 %	27 %	27 %
Stimme gar nicht zu	27 %	27 %	36 %	9 %

Tab. 7.28: Anregungen für eine zukünftige Vorbereitung nach Abschluss des gesamten Praktikums - SS 2003

Frage (Item 19): Für eine verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir in den Simulationen im Nachhinein... (N = 11)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stärkere Betonung der Arbeitsschritte/ Fertigkeiten	46 %	46 %	27 %	36 %
Stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe	9 %	18 %	18 %	9 %
Mischung zwischen Fertigkeiten und Theorie war richtig	46 %	36 %	55 %	55 %

Die „Betreuung“ wurde wie von den Teilnehmern aus Aachen sehr positiv hinsichtlich der beiden Aspekte „Vermittlung von Zuversicht und Erfolgsgewissheit“ und „Aufgreifen der Simulationsvorkenntnisse“ beurteilt (vgl. Abb. 7.14). Nur der Aspekt „Raum geben für selbständiges Experimentieren“ wurde hier, im Gegensatz zu Aachen (Note „gut“), eher mit „befriedigend“ bewertet. Ebenfalls gaben auch hier die Lernenden an, dass aufgrund des virtuellen Trainings die Betreuer das Lernen im Reinraum besser unterstützen und fördern konnten.

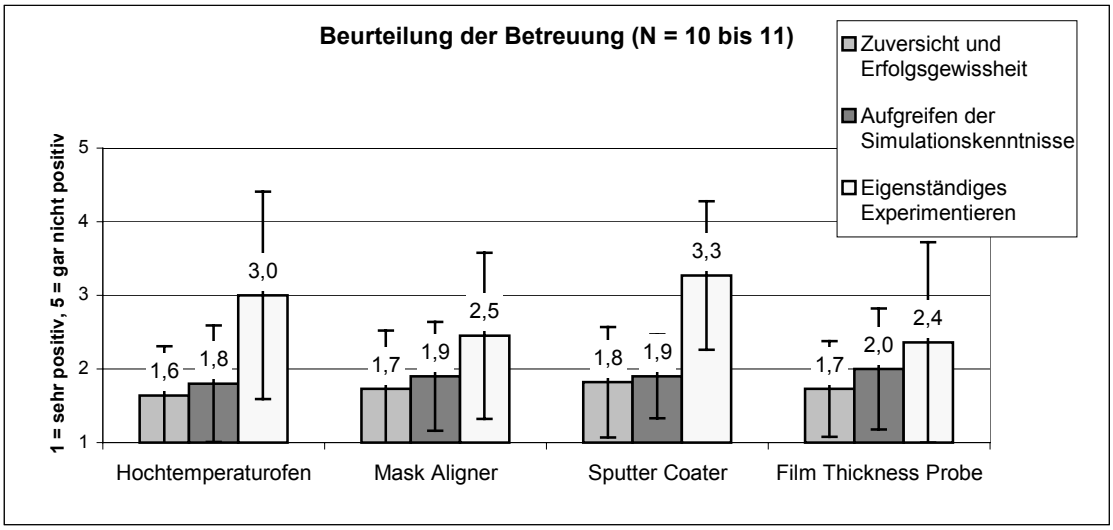


Abb. 7.14: Frage (Item 12): Die Betreuung im Praktikum beurteile ich für die einzelnen Maschinen - SS 2003

Die verfügbare „Praktikumszeit“, die in etwa gleich war zum WS 2002/03, wurde nach Angaben der Lernenden durch die Aufgabenstellungen und Betreuung fast immer angemessen genutzt. Allerdings reichte die Zeit nur teilweise zum Durchspielen der Prozessparameter aus, insbesondere beim „Hochtemperaturofen“ und beim „Sputter Coater“ (vgl. Tab. 7.29). Der Handlungsspielraum zum selbständigen Experimentieren wurde dort teilweise recht eingeschränkt empfunden. Im Gegensatz dazu gaben die Teilnehmer aus Aachen zu einem wesentlich höheren Anteil an, dass sie ausreichend und gerade am „Mask Aligner“ und am „Sputter Coater“ (über 80 % „stimme voll zu“ und „stimme zu“) experimentieren konnten.

Tab. 7.29: Durchspielen der Prozessparameter - SS 2003

Frage (Item 10): Ich (wir) konnten die verfügbare Praktikumszeit ausreichend zum Durchspielen verschiedener Prozessparameter (Experimentieren) nutzen. (N = 11)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stimme voll zu	27 %	27 %	18 %	55 %
Stimme zu	9 %	36 %	27 %	18 %
Stimme teilweise zu	18 %	18 %	9 %	27 %
Stimme nicht zu	18 %	9 %	18 %	0 %
Stimme gar nicht zu	27 %	9 %	27 %	0 %

Im Praktikum („Praktikumsinhalt und Durchführung“) waren bei den Lernenden für das Vorgehen an den realen Maschinen die drei Aspekte „Orientierung/ Planung der einzelnen Schritte“, „Durchführen der konkreten Arbeitsschritte“ und „Verstehen der technischen Prozesse“ gleichermaßen wichtig (vgl. Tab. 7.30). Das „Erarbeiten der

theoretischen Hintergründe“ spielte eine untergeordnete Rolle, ähnlich wie bei den Teilnehmern aus Aachen. Damit lag auch hier der Schwerpunkt mehr auf dem praktischen Umgang mit den echten Maschinen. Die Lernenden gaben auch an, dass teilweise Bedienungsfehler aufgrund der virtuellen Vorbereitung vermieden wurden (vgl. Tab. 7.31). Technische Funktionsprobleme haben hier ebenso nicht zu Motivationsverlusten geführt, sondern das Verständnis zu den realen Prozessen erhöht. Insgesamt hat den Lernenden das Praktikum sehr gut gefallen.

Tab. 7.30: Persönliche Rangfolge des Vorgehens an den realen Maschinen - SS 2003

Frage (Item 11): Während der Praktikumszeit stand für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen im Vordergrund: (N = 10) 1 = sehr im Vordergrund, 5 = gar nicht				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Orientierung, Planung der einzelnen Arbeitsschritte	1,9	1,9	2,2	2,5
Durchführen der Versuchsschritte	2,1	1,8	1,9	1,9
Verstehen der technischen Prozesse	2,1	2,1	2,2	2,1
Erarbeiten theoretischer Hintergründe	2,4	2,4	2,5	2,3

Tab. 7.31: Vermeidung von Bedienfehlern - SS 2003

Frage (Item 14): Dank meiner/ unserer Simulationsvorbereitung (im Vgl. zur Vorstellung ohne Vorbereitung) konnten im Reinraumpraktikum in sinnvoller Weise Fehler vermieden werden. (N = 11)				
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Film Thickness Probe (M4)
Stimme voll zu	46 %	36 %	36 %	36 %
Stimme zu	18 %	0 %	27 %	0 %
Stimme teilweise zu	18 %	36 %	27 %	46 %
Stimme nicht zu	18 %	27 %	9 %	18 %

7.3 Diskussion der Ergebnisse der ersten Untersuchungsphase

7.3.1 Schriftliche Unterlagen zur Vorbereitungsphase

Die Studierenden der Fachhochschule Aachen hatten sich bezüglich der schriftlichen Unterlagen kaum mit den theoretischen Grundlagen befasst, die zusammen mit den Maschinenanleitungen eine Woche vor dem jeweiligen Praktikumstermin ausgeteilt wurden. Dennoch forderten sie mehr Theorie, obwohl sie im Vorfeld die bereit gestellten Materialien wenig nutzten. Die Teilnehmer der Universität des Saarlandes erhielten aufgrund ihrer Vorbildung die Unterlagen innerhalb der Vorbereitungsphase erst unmittelbar vor dem virtuellen Training, so dass sie diese vorher nicht durcharbeiten konnten. Trotzdem forderten sie zur Wiederholung und für ein besseres Verständnis mehr Anregungen und Vertiefungen zur Theorie. Dem Wunsch nach einer ausreichenden theoretischen Grundbildung und der relativ geringen Vorbereitung kann durch mehrere Schritte begegnet werden. Zum einen sollten bestehende Ausführungen ergänzt und die Materialien um weitere Kapitel zu den Grundlagen sowie um spezielle Unterlagen zur exemplarischen Fertigungskette erweitert werden. Zum anderen sollten die Unterlagen mehr Hinweise zu weiterführender Literatur enthalten. Eine Ergänzung mit Testfragen zur eigenen Wissensüberprüfung ist ebenfalls sinnvoll. Weiterhin könnte das virtuelle Labor um einfache Animationen zu den prozesstechnischen Vorgängen erweitert werden, weil hierüber prinzipiell die theoretischen Grundlagen zu den Teilprozessen demonstriert werden können.

Mit den Maschinenanleitungen hatten sich die Lernenden in Aachen anders als bei den theoretischen Materialien relativ gründlich vorbereitet. In Saarbrücken erhielten die Teilnehmer diese ebenfalls erst unmittelbar vor dem Training mit den virtuellen Anlagen, so dass sie sich mit diesen vorher nicht befassen konnten. Trotzdem zeigten sich beim Arbeiten mit dem virtuellen Labor für die Lernenden aus Saarbrücken im Vergleich zu denen aus Aachen keine Nachteile. Das lag daran, dass es sich bei den Bedienungsanleitungen um Begleitmaterial zu den Maschinen und weniger um unabhängige Vorbereitungsunterlagen handelt. Im Gegenteil: nach Äußerungen der Lernenden aus Aachen erschien ihnen das Durcharbeiten der Maschinenanleitungen ohne gleichzeitiges Anwenden und Üben mit der Software weniger praktikabel. Es reicht daher aus, den Lernenden die Unterlagen zu den Anleitungen direkt vor einer Schulungseinheit zu geben, sofern sie nicht im Vorfeld zusammen mit den virtuellen Maschinen verteilt werden.

In beiden Untersuchungsgruppen hatten die Lernenden Schwierigkeiten mit den „Arbeitsschritten“ und ihrer Reihenfolge, deren Verstehen zum Lösen der gestellten Aufgaben notwendig ist. Beides war ihnen nicht immer klar, wobei der in der Bedienung kompliziertere „Mask Aligner“ in Saarbrücken relativ gut abschnitt (vgl. Abb.

7.15). Dieses kann auf die umfassendere Vorbildung der Teilnehmer (Doktoranden, Studierende kurz vor dem Abschluss) zurückgeführt werden, da sie aufgrund bereits erworbener Kenntnisse eher wissen, welche Arbeitsschritte theoretisch nötig sind.

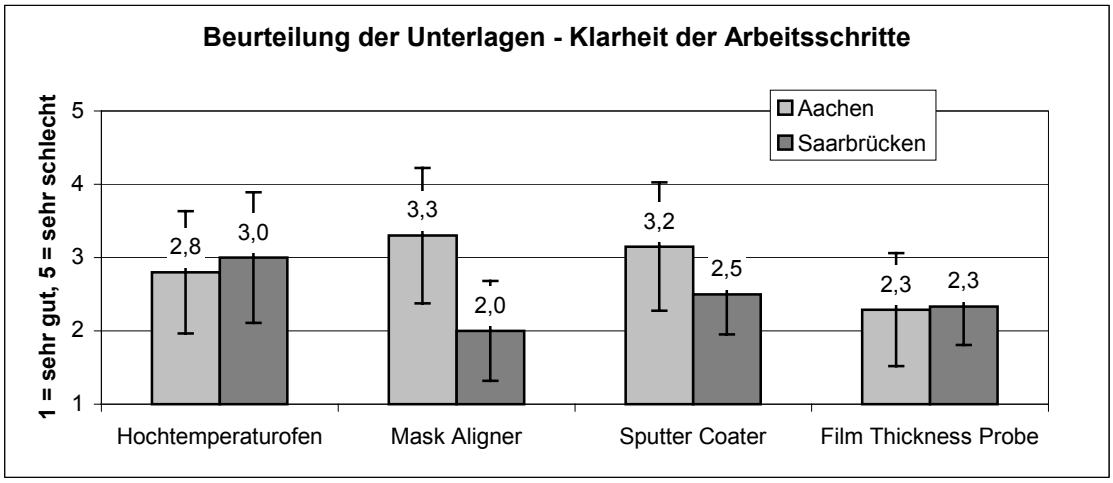


Abb. 7.15: Vergleich zur Beurteilung der schriftlichen Praktikumsunterlagen – Phase 1 (Item 5a)

Anders verhält es sich bei der „Vertrautheit mit der realen Maschine“ (vgl. Abb. 7.16). Hier fühlten sich die Lernenden aus Aachen durchgängig besser vorbereitet als die Teilnehmer aus Saarbrücken. Das kann zum einen mit der unterschiedlichen Vorbildung begründet und zum anderen auf die verschiedenen Kursarten zurückgeführt werden. Aufgrund der bereits vorhandenen Kenntnisse sind vermutlich die Ansprüche bei den Lernenden aus Saarbrücken höher, um sich gut auf die realen Maschinen vorbereitet zu fühlen und mit diesen vertraut zu sein. Bei den Studierenden aus Aachen dagegen sind geringere Erfahrungen vorhanden, so dass ihnen schon einfache Ausführungen reichen, um einen ersten Bezug zu den realen Anlagen herstellen zu können. Wenige und kompakte Angaben sind für sie sogar verständlicher, da sie sich so nicht mit zu vielen Informationen auseinander setzen müssen. Der Blockkurs in Saarbrücken, der im Gegensatz zu den wöchentlichen Einzelveranstaltungen in Aachen an zwei aufeinander folgenden Tagen durchgeführt wurde, hat dieses Phänomen noch verstärkt. Die Teilnehmer aus Saarbrücken hatten maximal zwei Stunden und damit weniger Zeit für eine einzelne Lerneinheit im Gegensatz zu Aachen, wo ein Lernmodul drei Stunden dauerte. Trotzdem mussten die Teilnehmer aus Saarbrücken innerhalb dieser zwei Tage das virtuelle Labor genau so gut beherrschen. Damit stand ihnen insgesamt weniger Zeit für das Arbeiten mit den Unterlagen und Maschinen zur Verfügung, wodurch sie eine geringere Vertrautheit zu den einzelnen Anlagen entwickelten.

Da von allen Lernenden der Rückgriff auf die Unterlagen während des Praktikums, die parallel zur Software genutzt wurden, als wichtig angesehen wurde (vgl. Tab. 7.32), empfiehlt sich neben dem elektronischen Angebot ein Ausdruck der vollständigen Schulungsunterlagen an jedem Praktikumsplatz. Die Drucksensor-Kochbücher selbst

sollten zusammen mit den virtuellen Maschinen vor dem Praktikum oder am ersten Termin ausgeteilt werden.

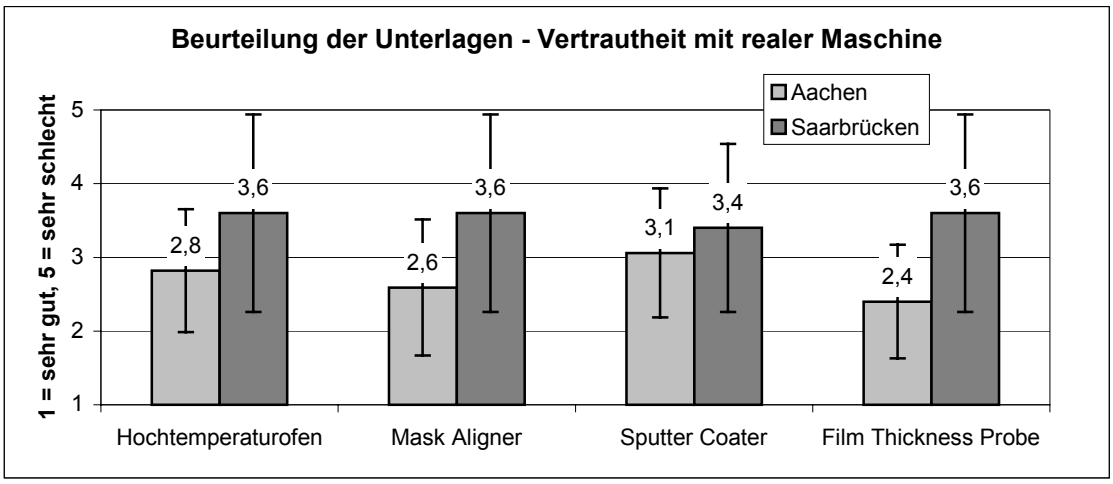


Abb. 7.16: Vergleich zur Beurteilung der schriftlichen Praktikumsunterlagen – Phase 1 (Item 5c)

Tab. 7.32: Vergleich zum Rückgriff auf die schriftlichen Unterlagen – Phase 1

Frage (Item 14): Der Rückgriff auf die schriftlichen Unterlagen bei den einzelnen Maschinen war für die erfolgreiche Simulationsdurchführung...			
	„Sehr wichtig“ und „Wichtig“	„Teilweise wichtig“	„Wenig“ und „Gar nicht wichtig“
Aachen	56 - 79 %	11 - 33 %	0 - 11 %
Saarbrücken	33 - 86 %	0 - 29 %	0 - 14 %

Insgesamt waren den Lernenden aus Aachen die Unterlagen zu unstrukturiert und zu umfangreich. Sie enthielten nach ihren Angaben zu wenige Beispiele und orientierten sich nicht immer am Ablauf der Maschinen. Beide Gruppen forderten mehr Bilder zu den Anlagen und Prozessen, um einen stärkeren Bezug zu den realen Maschinen herstellen zu können sowie Unterschiede zwischen virtuellen und realen Maschinen zu begreifen. Daher empfiehlt sich eine Neustrukturierung der Anleitungen, die mit dem Aufbau der Drucksensor-Kochbücher in Angriff genommen wurde. Die Zweiteilung der Unterlagen in theoretische Grundlagen und Maschinenanleitungen hatte sich in den zwei Kursen gut bewährt. Im Grundlagenbuch werden tiefergehende Themen aufgegriffen und Angaben zu weiterführender Literatur gegeben. Damit werden die theoretischen Grundlagen erheblich erweitert. Die vielen Unterlagen zu einer Maschine und zur Prozesskette wurden jeweils zu einem Kapitel zusammengefasst. Nach Anregungen der Lernenden entstanden eigene Kapitel zu den virtuellen und realen Anlagen mit einer Übersicht zu den wesentlichen Bedienelementen, kurzen Erläuterungen zu den Unterschieden zwischen virtuellen und realen Anlagen, einem Glossar sowie einem Index. Umfangreiche Texte wurden gekürzt, wichtige Aspekte für die Lernenden kennt-

lich gemacht und die Aufgabenstellungen in mehr Teilaufgaben gegliedert. Beide Bücher sind noch nicht fertig gestellt, sondern weiter im Aufbau begriffen.

Tab. 7.33: Empfehlungen zum virtuellen Labor - Schulungsunterlagen

Schriftliche Unterlagen und weitere Materialien	Realisiert in Phase 2	Geplant für später
• Drucksensor-Kochbuch 1 und 2 (Theoretische Grundlagen, Maschinenhandbuch) erstellen	+[1)]	+
• Unterlagen um Theorie und spezielle Aspekte zum exemplarischen Fertigungsprozess ergänzen		+
• Praxisbeispiele aufzeigen		+
• Prozesskette über Prozessfließbilder und andere Medien verdeutlichen	+[1)]	+
• Messwerttabellen zu den realen Prozessen bereitstellen		+
• Mehr Bilder zu den realen Anlagen einbinden		+
• Mehr Hinweise und Anregungen zur Vertiefung über weiterführende Literatur geben	+	
• Testaufgaben zur Theorie einführen		+
• Unterlagen zu den Maschinenbedienungen neu strukturieren, jeweils ein Kapitel für jede Maschine vorsehen	+	
• Arbeitsschritte klar gliedern	+	
• Weitere Aufgaben und Übungen zu den Maschinen stellen, die zudem teilweise aufeinander aufbauen		+
• Sprache des realen Maschinenprogramms für Bezeichnungen beibehalten	+	
• Glossar mit technischen Fachbegriffen erstellen		+
• Unterlagen zu den theoretischen Grundlagen spätestens eine Woche vor dem virtuellen Praktikum verteilen	+	
• Maschinenbedienungen unmittelbar vor dem virtuellen Training verteilen	+	
• Maschinenanleitung immer in Kombination mit der Software ausgeben	+	
• Drucksensor-Kochbücher und Schulungsunterlagen als gedruckte Version an jedem Praktikumsplatz bereitstellen	+	
• Reale Handbücher der Hersteller bei Bedarf vorlegen	+	

[1)] Anregungen wurden teilweise in der zweiten Untersuchungsphase (Phase 2) realisiert, weitere Umsetzungen sind für später geplant.

Andere Maßnahmen bestehen in dem Angebot von mehr Übungen oder Beispielen, um die einzelnen Arbeitsschritte und den Ablauf klarer zu vermitteln oder Tests durchzuführen, die auf bereits erworbene Kenntnisse aufbauen. Die konkreten Arbeitsschritte könnten zusätzlich schon in der Einführung angesprochen werden. Maschinenspezifische Bezeichnungen sollten möglichst in der Originalsprache verwendet werden, um keine Verwirrung beim Bedienen der Anlagen zu erzeugen. Für einen stärkeren Praxisbezug sollten beide Bücher mehr Bilder, Beispiele und Erfahrungswerte zu realen Parametern wie beispielsweise Tabellen zu echten Prozessen enthalten. Weiterhin ist eine Erweiterung des aktuellen Glossars mit Fachbegriffen aus der industriellen Anwendung zum Erlernen der Fachsprache sinnvoll. Alle Empfehlungen zu den schriftlichen Unterlagen sind in Tab. 7.33 aufgeführt. Einzelne Aspekte, die in der zweiten Untersuchungsphase lediglich teilweise realisiert wurden, bleiben als Vorschläge für spätere Entwicklungen bestehen. Die Tabellen zu den Empfehlungen sind in die Themen „Schulungsunterlagen“, „Simulationssoftware“, „Virtuelles Training“, „Praktikumszeit“, „Reinraumpraktika“ und „Evaluation“ gegliedert. Sie befinden sich jeweils in den entsprechenden Unterkapiteln.

7.3.2 Simulationssoftware

Insgesamt kamen die Lernenden gut mit der Software zurecht. Die Teilnehmer lernten die Bedienung der Maschinen kennen und wurden gleichzeitig aufmerksamer für eigene Bedienfehler. Dabei schnitten in Aachen die beiden Anlagen „Mask Aligner“ und „Sputter Coater“ und in Saarbrücken die beiden Maschinen „Hochtemperaturofen“ und „Sputter Coater“ etwas schlechter ab. Der „Hochtemperaturofen“ erschien den Teilnehmern aus Saarbrücken schwieriger, da diese Maschine als erste in der Vorbereitung behandelt wurde, die Lernenden noch nicht mit den virtuellen Oberflächen sowie dem Ablauf vertraut waren und sie im Vergleich zu den Studierenden aus Aachen weniger Zeit zur Verfügung hatten. Eine kurze Übung in der Einführung oder eine intensivere Erklärung anhand eines einfachen Beispieles könnten den Einstieg in das virtuelle Labor bei einer kompakten Veranstaltung erleichtern. Die Bedienung der virtuellen Maschine „Mask Aligner“ schnitt bei den Studierenden aus Aachen schlechter ab, weil sie andere Vorkenntnisse als die Teilnehmer aus Saarbrücken besaßen, die Schulungsunterlagen weniger auf die virtuelle Maschine abgestimmt und die Maschine noch nicht so weit entwickelt war. Hier fehlte beispielsweise die Durchführung der Justage[1]. Die Lernenden aus Saarbrücken kamen aufgrund ihrer umfassenderen Vorbildung hingegen gut mit dieser Maschine zurecht und waren weniger von den Unterlagen abhängig. Beide Gruppen hatten mehr Schwierigkeiten beim „Sputter Coater“, da an dieser Maschine noch keine ausreichenden Ergebnisse bei unterschiedlich eingestellten Parametern abgerufen werden konnten, wodurch das Austesten dieser Einfluss-

[1] Ausrichten der Masken- und Waferstrukturen zueinander

größen weniger der Realität entsprach. Die fehlenden Ergebnisse führten bei beiden Untersuchungsgruppen teilweise sogar zu Motivationsverlusten. Zudem ist das Erlernen der Maschinenbedienung bei der freien und nicht geführten Simulation „Sputter Coater“ sehr schwierig, da die Anlage umfangreicher als beispielsweise ein Hochtemperaturofen ist.

Bei allen Maschinen war den Untersuchungsgruppen nur teilweise klar, wie lange die realen Prozesse dauern und wie diese ablaufen, wobei der „Hochtemperaturofen“ am verständlichsten war (vgl. Abb. 7.17). Dieses hängt zum einen mit den Prozesszeiten zusammen, die im Kochrezept der realen und damit virtuellen Maschine festgelegt werden. Zum anderen ist der Ablauf an einem „Hochtemperaturofen“ wesentlich einfacher zu verstehen und damit die gesamte Prozesszeit leichter einzuschätzen als bei den komplexeren Vorgänge an einem Messgerät wie der „Film Thickness Probe“ oder dem Handling von Maske und Wafer am „Mask Aligner“. Das Verstehen der prozesstechnischen Zusammenhänge an den Maschinen steht bei beiden Gruppen in direkter Abhängigkeit zur Komplexität der Anlagen. So ist der „Hochtemperaturofen“ am leichtesten verständlich und erhält die beste Note, gefolgt vom Messgerät „Film Thickness Probe“. An dritter und vierter Stelle stehen „Mask Aligner“ und „Sputter Coater“. Durch mehr Praxisbeispiele und Animationen zum theoretischen Hintergrund könnten die Prozesse verständlicher vermittelt werden.

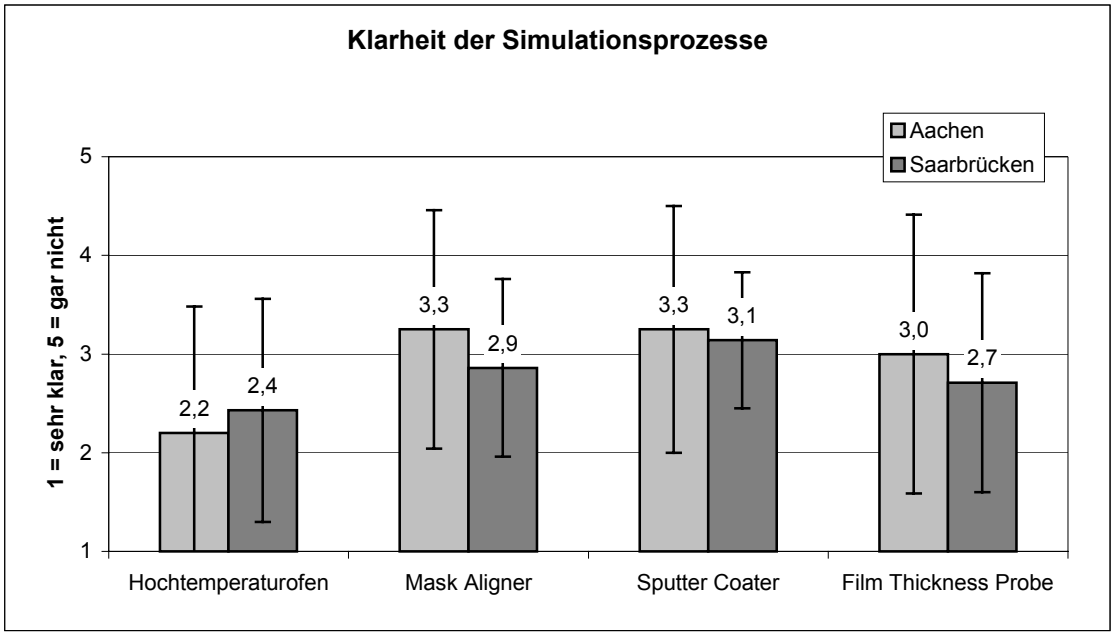


Abb. 7.17: Vergleich zum Verständnis und zum Ablauf der Simulationsprozesse – Phase 1 (Item 24)

Rückmeldungen zu den virtuellen Maschinen und den daran vorgenommenen Einstellungen wurden von den Lernenden in beiden Gruppen mit „ausreichend“ bis „verbesserungsbedürftig“ angegeben (vgl. Tab. 7.34). Dabei wurden die Maschinen in Aachen schlechter als in Saarbrücken bewertet. Die Teilnehmer in Aachen wurden teilweise

sogar durch die Rückmeldungen der Programme verwirrt, die ihnen nicht eindeutig verständlich waren, was in Saarbrücken nicht der Fall war. Auch dieses kann mit der umfassenderen Vorbildung der Teilnehmer aus Saarbrücken begründet werden. Nach dem Reinraumpraktikum, nachdem ein direkter Vergleich zwischen den virtuellen und realen Maschinen möglich war, machten beide Gruppen wieder die gleiche Aussage zu den Rückmeldungen. Insgesamt müssen daher die Unterschiede zwischen den virtuellen und realen Anlagen deutlicher hervorgehoben sowie entsprechende Rückmeldungen durch spezielle Hinweise in der Software verdeutlicht werden. Diese zusätzlichen, von den Entwicklern programmierten Hinweise müssen sich von den echten Rückmeldungen der realen Anlagen deutlich abheben.

Tab. 7.34: Vergleich zu den in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen – Phase 1

Frage (Item 26): Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen/ Reaktionsweisen zu ausgeführten Manipulationen waren...			
	Sehr angemessen	Ausreichend	Verbesserungsbedürftig
Aachen	5 - 15 %	20 - 35 %	50 - 70 %
Saarbrücken	0 - 14 %	57 - 71 %	14 - 43 %

Die integrierten Videos beim „Mask Aligner“ wurden von beiden Teilnehmergruppen sehr positiv aufgenommen, da sie halfen, manuelle Vorgänge zu verstehen. Beide Gruppen forderten darüber hinaus mehr Videos zu den Anlagen und Prozessen, da diese das virtuelle Training lehrreicher machen würden. Die Videos helfen einen Bezug zu den realen Maschinen herzustellen. Ein zusätzliches Video zum allgemeinen Ablauf im Reinraum bietet den Lernenden sogar eine gute Orientierung zum Einstieg in die Praktika. Dieses Video ist, wie die Bilder in den schriftlichen Unterlagen, eine gute Ergänzung für die Einführung. Insgesamt sollten weitere Videos gezielt in das virtuelle Labor aufgenommen werden. Außerdem stellen weitere Animationen oder Videofilme zum praktischen Arbeiten an anderen realen Maschinen, wie beispielsweise zu den Arbeitstischen in der Nasschemie, eine gute Ergänzung zu den vorhandenen virtuellen Maschinen dar.

Vereinfachungen im manuellen Bedienbereich bereiteten in der Regel keine oder kaum Schwierigkeiten. So kamen die Lernenden sehr gut mit den Vereinfachungen am „Hochtemperaturofen“ klar, bei dem das Zu- und Abschalten von Prozessgasen durch simple Hebel veranschaulicht wurde. Schwierigkeiten gab es eher bei komplizierten Vorgängen wie beispielsweise beim Kalibrieren des Messgerätes „Film Thickness Probe“. Hier empfehlen sich daher entweder eine vorgeschaltete Animation zur Erklärung, ähnlich wie beim „Sputter Coater“, als erfolgreiche Vorübung in der zweiten Untersuchungsphase, noch stärker gegliederte Teilaufgaben, welche die Lernenden mehr anleiten, oder ein entsprechendes Video. Auf jeden Fall sollte beim Entwickeln weiterer Maschinen das bisherige Vorgehen beibehalten werden, Vereinfachungen gegenüber

der Realität bei komplexen Sachverhalten zu bevorzugen. Überarbeitete und erweiterte Unterlagen unterstützen dabei die Softwarebedienung.

Technische Funktionsprobleme wie Programminstabilitäten führten in Saarbrücken gar nicht und in Aachen zum Teil zu Motivationsverlusten, die mit fortschreitendem Praktikum aufgrund eines Gewöhnungseffektes nachließen. Ausgereiftere Programme, wie sie später vorlagen, bereiteten keine oder selten Probleme.

In Saarbrücken wurde der Wunsch nach zwei Programmversionen zu einer Maschine – eine geführte und eine freie Variante mit noch mehr Spielmöglichkeiten – geäußert. Modulare Programme, wie beispielsweise eine virtuelle Waferbox oder Werkzeugbox, wurden aber bisher weniger umgesetzt, da selbst diese Unterprogramme an die jeweilige Maschine angepasst werden müssen. Daher sollte für die Zukunft ein Konzept aufgestellt werden, das eine solche Vorgehensweise bei der Programmentwicklung vorsieht und den Lernenden nach einer Einführung zu einer virtuellen Maschine die Wahl zwischen einer geführten und freien Simulation erlaubt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es schwierig, dem Wunsch nach zwei Versionen nachzukommen, da die Programmierung der Simulationen, erst recht verschiedener Varianten, sehr aufwendig und kaum bei den gegebenen Ressourcen an den Hochschulen möglich ist. Zudem ist zu beachten, dass in Saarbrücken aufgrund des Blockkurses weniger Zeit zum Testen und Spielen vorhanden war, und die virtuellen Maschinen erst in der Aufbauphase und damit noch nicht vollständig fertig gestellt waren.

Tab. 7.35: Empfehlungen zum virtuellen Labor - Simulationssoftware

Simulationen, Animationen, Videos	Realisiert in Phase 2	Geplant für später
• Programmfehler beheben und vorhandene Maschinen vervollständigen	+	
• Neue Maschinen umsetzen (Wafersäge etc.)		+
• Animationen zu Prozessvorgängen und zum theoretischen Hintergrund erstellen (Wachsen einer SiO_2-Schicht etc.)		+
• Animationen zur Maschinenbedienung programmieren (Nasschemie etc.)	+[1)]	+
• Weitere Videos für manuelle Vorgänge aufnehmen (Nasschemie, Drahtbonder etc.)		+
• Vereinfachungen vor der Realität bei komplexen Sachverhalten bevorzugen	+	
• Deutliche Hinweise zu Unterschieden zwischen realen und virtuellen Maschinen geben	+	
• Virtuelles Labor auf CD vorsehen	+	
• Software über sich selbst installierende CD verteilen		+

[1)] Anregungen wurden teilweise in der zweiten Untersuchungsphase (Phase 2) realisiert, weitere Umsetzungen sind für später geplant.

Um trotzdem dem Wunsch der Lernenden nach mehr Flexibilität nachzukommen, wäre ein schrittweises Arbeiten mit den virtuellen Maschinen denkbar. So könnte zuerst an einem einfachen Beispiel eine kleine Aufgabe gelöst werden. Weitere Übungen, die aufeinander aufbauen und mehr Kenntnisse sowie Fertigkeiten fordern, könnten zu einem intensiveren Arbeiten und damit Austesten der Simulationen führen. Dazu müssen natürlich die Trainingsprogramme auch eine entsprechende Bandbreite in ihren Bedienmöglichkeiten anbieten. Um die Transferleistung der Lernenden für andere Prozesse oder Maschinen zu fördern, müssten weitere Beispiele in die Simulationssoftware integriert werden. Die in der zweiten Untersuchungsphase berücksichtigten Empfehlungen in Bezug auf die Simulationssoftware sowie Anregungen für spätere Praktika sind in Tab. 7.35 zu sehen. Empfehlungen, die sich insgesamt auf das virtuelle Training beziehen, stehen in Kap. 7.3.5 (vgl. Tab. 7.39, S. 138).

7.3.3 Betreuung der virtuellen Praktika

Die zurückhaltende Betreuung lieferte den Lernenden zum Teil „mehrfach Erfolgserlebnisse“ beim Lösen der Aufgaben, wobei in Saarbrücken der Anteil mit 43 – 71 % aufgrund der umfassenderen Vorbildung vermutlich höher war als in Aachen (28 – 61 %). Wegen dieser positiven Resonanz sollte die Betreuung in der bisherigen Form beibehalten werden. Sie sollte zurückhaltend, mitgehend, nach dem Prinzip der minimalen Hilfe, fordernd und hinführend zugleich sein, da den Lernenden auf diese Weise Lernchancen eröffnet werden.

Eine ferndiagnostische Betreuung bei privater Nutzung der Software reichte beiden Untersuchungsgruppen nicht aus und wurde von 2/3 der Lernenden abgelehnt. Das muss beim Angebot weiterer Kurse an anderen Hochschulen und beim Aufbau der zukünftigen Lernumgebung beachtet werden. Betreute Einzelveranstaltungen oder Blockkurse am jeweiligen Hochschulstandort bei gleichzeitiger Bereitstellung der CD „Virtuelles Labor“ für ein Training zu Hause haben sich auf jeden Fall bewährt. Schulungskurse mit einem geringeren Betreuungsaufwand an anderen Hochschulen könnten so gestaltet sein, dass Assistenten vor Ort für eine Betreuung ihrer Praktika trainiert werden. Eine weitere Möglichkeit ist, das virtuelle Labor Praktikumsteilnehmern zunächst ohne Betreuung anzubieten und nach einer eigenen Einarbeitung mit einem eintägigen Praktikumstag für Fragen und Übungen zu versehen. Beim Lernen mittels einer Lernumgebung muss ausgetestet werden, inwieweit eine rein tutorielle Begleitung ausreicht, oder ob auch hier eine kurze anwesenheitspflichtige Veranstaltung von beispielsweise einem Tag nach dem virtuellen Training als Ergänzung durchgeführt werden sollte. Die hier beschriebenen Empfehlungen zur Betreuung werden weiter unten in Kap. 7.3.5 zusammen mit dem virtuellen Training aufgeführt (vgl. Tab. 7.39, S. 138).

7.3.4 Praktikumszeit der Vorbereitungsphase

In Aachen war den meisten Lernenden die Praktikumszeit mit drei Stunden für eine virtuelle Maschine „zu lang“ (vgl. Tab. 7.36). Bei der ersten virtuell durch die Studierenden erarbeiteten Maschine „Hochtemperaturofen“ gab dagegen etwa die Hälfte der Lernenden an, dass die Praktikumszeit „passend“ sei (vgl. Anhang E, Item 11). Das lässt sich damit erklären, dass die Teilnehmer den Umgang mit den virtuellen Maschinen noch nicht kannten. Nachdem ihnen aber Funktionen und Oberflächen des virtuellen Labors vertraut waren, benötigten sie viel weniger Zeit, um eine neue Maschine kennen zu lernen. In Saarbrücken wurde die Zeit von etwa eineinhalb bis zwei Stunden eher mit „passend“ bis teilweise „zu lang“ angegeben. Durch den Blockkurs konnten sie ihre Kenntnisse immer direkt auf die nächste Maschine übertragen und kamen so mit dem geringeren Zeitangebot sehr gut zurecht. Allen Teilnehmern aus Aachen und Saarbrücken reichte daher die Zeit aus, um die verschiedenen Parameter an den Anlagen zu variieren und zu testen.

Tab. 7.36: Vergleich der Praktikumszeit – Phase 1

Frage (Item 11): Die Praktikumszeit war für die Bewältigung der jeweiligen Aufgabe...			
	Zu lang	Passend	Zu kurz
Aachen	55 - 80 %	20 - 45 %	0 %
Saarbrücken	29 - 43 %	57 - 71 %	0 %

Tab. 7.37: Empfehlungen zum virtuellen Labor - Praktikumszeit

Lerneinheiten, Einführung, Praktikumszeit	Realisiert in Phase 2	Geplant für später
• Einzeltermine und Blockveranstaltungen beibehalten, Mischung aus Block- und Einzelveranstaltung bevorzugen	+	
• Blockveranstaltungen mit maximal zwei Schulungseinheiten und mindestens eintägiger Pause vorsehen	+	
• Theorie mit einem Zeitumfang von 15 bis 60 Minuten je Schulungseinheit wiederholen und vertiefen	+	
• Kurze Diskussion zwischen der Einführung und dem virtuellen Training abhalten	+	
• Etwa zwei Stunden Praktikumszeit für Lerneinheiten mit komplexen Simulationen ansetzen, für einfachere Maschinen entsprechend weniger	+	

Nach den Zeitangaben sind für die aufwendigen Simulationen maximal zwei Stunden Vorbereitungszeit ausreichend. Diese sollte sich an den Vorkenntnissen der Lernenden und an den zusätzlich eingesetzten Animationen und Videos orientieren. Je nach Kursart müssen weiterhin bei der Einführung Zeiten für das Wiederholen der theoreti-

schen Grundlagen und für Diskussionen, die häufig zur Klärung von Fragen genutzt wurden, veranschlagt werden. Zusätzliche Zeiten für Übungsaufgaben sind ebenfalls sinnvoll. Bei Blockkursen ist außerdem zu beachten, dass Lernende bezüglich Konzentration und Aufnahmefähigkeit mit zwei Lernmodulen pro Tag ausreichend gefordert sind, wie es sich in Saarbrücken gezeigt hat. Daher kann es sinnvoll sein, bei Blockveranstaltungen die Anzahl aller virtuellen Maschinen zu einer Schulungseinheit zu reduzieren und zwischen den Blöcken eine mindestens eintägige Pause einzuplanen. Die Empfehlungen zur Praktikumszeit sind in Tab. 7.37 zu sehen.

7.3.5 Virtuelles Training

In Aachen stand bei den Lernenden während des virtuellen Trainings das „Verstehen der technischen Prozesse“ im Vordergrund (vgl. Tab. 7.17, S. 112). Im Gegensatz dazu war in Saarbrücken das „Erarbeiten der theoretischen Hintergründe“ besonders wichtig, was wiederum in Aachen eher unwichtig war. Damit zeigt sich wieder ein deutlicher Unterschied zwischen den ausgewählten Teilnehmern und den beiden Hochschulformen, die an Universitäten mehr theoretisch und an Fachhochschulen eher praktisch ausgerichtet sind. Bei beiden Untersuchungsgruppen stand die „softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte“ an zweiter Stelle. Das ist sehr positiv zu sehen, da nicht die Software an sich gelernt, sondern Verständnis und Fertigkeiten über die Software vermittelt werden sollen. Der „Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit“ war bei beiden Untersuchungsgruppen unbedeutend, da die Lernenden davon ausgingen, dass sie das Praktikum und die Aufgaben bewältigen können.

Bezüglich der „notwendigen Fertigungsschritte“ an den realen Maschinen fühlten sich die Teilnehmer aus Saarbrücken insgesamt besser vorbereitet als die Studierenden aus Aachen (vgl. Abb. 7.18). Diese wiederum gaben an, dass sie sich bei den „theoretischen Hintergründen“ gut und damit besser als die Lernenden aus Saarbrücken auf das reale Praktikum vorbereitet fühlten (vgl. Abb. 7.19). Das kann wiederum mit den verschiedenen Hochschulformen zusammenhängen. Die Studierenden der Fachhochschule Aachen wünschten sich „optimal praktisch“ und die Teilnehmer der Universität des Saarlandes „besonders gut theoretisch“ geschult zu sein. Beide Untersuchungsgruppen bestätigten auch nach dem realen Praktikum, dass sie einen Gewinn durch das virtuelle Training hatten. Bei beiden Gruppen wurde die Vorbereitung auf die Anlagen „Mask Aligner“ und „Sputter Coater“ etwas schlechter beurteilt. Das liegt daran, dass der „Sputter Coater“ insgesamt schwieriger zu bedienen ist, am „Mask Aligner“ zahlreiche manuelle Handgriffe durchzuführen sind und beide Maschinen zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht fertig gestellt waren.

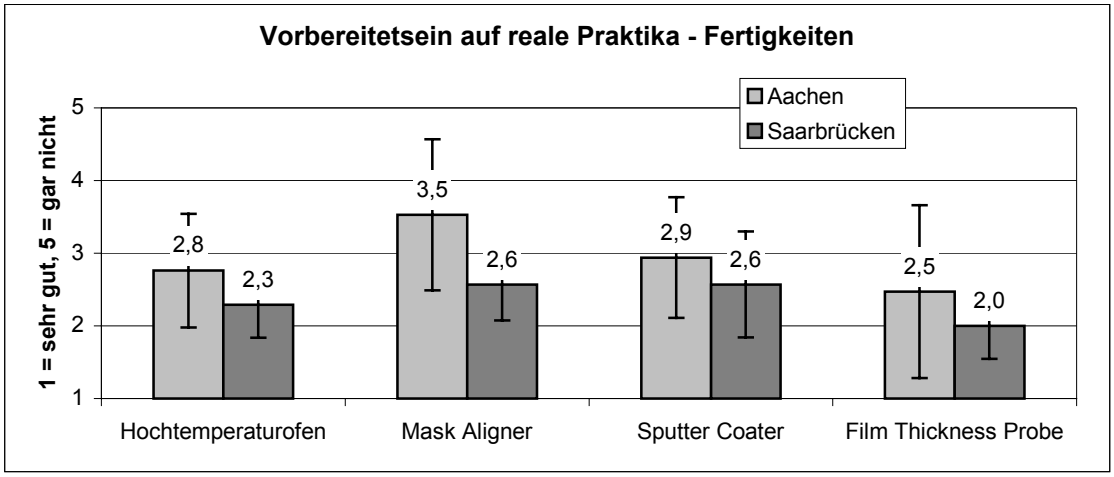


Abb. 7.18: Vergleich zum Vorbereitetsein für das Reinraumpraktikum aufgrund des Simulationspraktikums – Phase 1 (Item 31a)

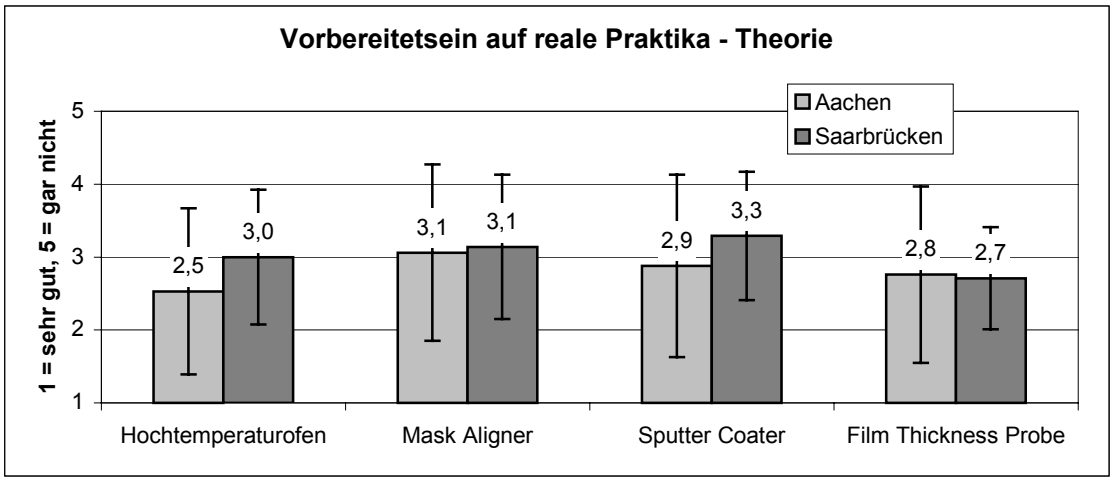


Abb. 7.19: Vergleich zum Vorbereitetsein für das Reinraumpraktikum aufgrund des Simulationspraktikums – Phase 1 (Item 31b)

Für eine verständlichere Vorbereitung wurden nach dem virtuellen Training in Abhängigkeit der Hochschulen in Aachen eine „stärkere Betonung der konkreten Arbeitsschritte und Fertigkeiten“ sowie in Saarbrücken eine „stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe“ gefordert, sofern das Mischungsverhältnis zwischen Theorie und Fertigkeiten nicht richtig war (vgl. Tab. 7.38). Nach dem Reinraumpraktikum drehte sich die Aussage von beiden Gruppen. Die Lernenden aus Aachen forderten für die Vorbereitung eine „stärkere Betonung des theoretischen Hintergrundes“ und die Teilnehmer aus Saarbrücken eine „stärkere Betonung der Arbeitsschritte und Fertigkeiten“. Damit zeigt sich, dass beide Teile – Theorie und Praxis – für ein erfolgreiches Praktikum wichtig sind, und dass die verschiedenen Ausrichtungen an den Hochschulen entsprechend ergänzt werden müssen.

Tab. 7.38: Anregung für zukünftige Vorbereitung vor und nach Abschluss des Reinraumpraktikums – Phase 1

Frage (Item 19): Für eine verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir im Nachhinein…			
	Stärkere Betonung der Arbeitsschritte/ Fertigkeiten	Stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe	Mischung zwischen Fertigkeiten und Theorie war richtig
Nach dem virtuellen Training/ vor dem Reinraumpraktikum			
Aachen	Ø 50 %	Ø 15 %	Ø 35 %
Saarbrücken	Ø 7 %	Ø 46 %	Ø 46 %
Nach dem Reinraumpraktikum			
Aachen	Ø 36 %	Ø 40 %	Ø 25 %
Saarbrücken	Ø 39 %	Ø 14 %	Ø 48 %

Um die theoretischen Grundlagen stärker an das virtuelle Labor zu koppeln, wäre ein noch anderes Angebot der Schulungseinheiten denkbar. Und zwar könnte jeweils ein Lernmodul in Anlehnung an die Vorlesungen und Übungen terminlich so geplant werden, dass die Lernenden direkt ihre Kenntnisse aus den Lehrveranstaltungen im virtuellen Training anwenden können. Auf jeden Fall muss dann aber ein zusätzlicher Wiederholungstermin in der Vorbereitungsphase kurz vor Beginn des Reinraumpraktikums vorgesehen werden, damit die gewonnenen Kenntnisse und Fertigkeiten direkt im realen Technologiepraktikum präsent sind.

Weiterhin ist wichtig, dass die Lernenden einen Gesamtüberblick über die realen Fertigungsprozesse gewinnen. Dieser muss in der Einführung beispielsweise durch ein Prozessfließbild oder über andere Medien, auf welche die Lernenden während beider Praktika zurückgreifen können, vermittelt werden.

Das Interesse am realen Praktikum wurde durch das virtuelle Labor bei fast allen Teilnehmern verstärkt, da die virtuellen Maschinen einen Einblick zum realen Praktikum gaben und damit ihre Neugierde weckten. Alle Empfehlungen zur Betreuung und zum virtuellen Training befinden sich in Tab. 7.39.

Tab. 7.39: Empfehlungen zum virtuellen Labor – Virtuelles Training

Betreuung, Prozesse, virtuelle Maschinen	Realisiert in Phase 2	Geplant für später
• Lernmodule in Anlehnung an bestehende Lehrveranstaltungen während der Vorlesungszeit anbieten		+
• Wiederholungstermine kurz vor Beginn des Reinraumpraktikums vorsehen	+	
• Vorträge zur Theorie seitens der Lernenden fordern	+	
• Allgemeines Reinraumvideo am ersten Einführungstag vorführen und zur Verfügung stellen	+	
• Mehr Bilder und Videos zu den realen Anlagen und Prozessen zeigen	+[1)]	+
• Erste Sicherheitsanweisungen zum allgemeinen Reinraumverhalten geben		+
• Erste Maschine zur Erklärung der Maschinenoberfläche verwenden	+	
• Mögliche Bedienfehler an realen und virtuellen Anlagen ansprechen	+	
• Einzelne Arbeitsschritte konkret an virtuellen Maschinen in Abhängigkeit von Bedienkomplexität vorstellen		+
• Kurze Übungen gemeinsam mit Teilnehmern lösen		+
• Einzelne Übungen schrittweise aufeinander aufbauen		+
• Lernende über Teilaufgaben und simple Animationen schrittweise an komplexe Simulationen heranführen	+[1)]	+
• Animationen als Vorübung für Simulationen in Bezug auf Theorie und/ oder Bedienung nutzen	+	
• Anlagen, die im Reinraumpraktikum weniger zum Testen geeignet sind, als virtuelle Maschine intensiv zum Lernen einsetzen (Hochtemperaturofen etc.)	+	
• Zurückhaltende Betreuung nach dem Prinzip der minimalen Hilfe beibehalten	+	
• Partnerarbeit mit selbst organisierter Arbeitsteilung unterstützen	+	
• Assistenten des virtuellen Trainings mit aktueller Simulationssoftware schulen	+	
• Keine reine eLearning-Vorbereitung anbieten, sondern immer mit einem betreuten Part schulen	+	
• Vorbereitung mittels Lernumgebung und tutorieller Begleitung testen		+
• Tests zur Wissensüberprüfung anbieten		+
• Anfertigen eines Praktikumsberichtes einfordern	+	

[1)] Anregungen wurden teilweise in der zweiten Untersuchungsphase (Phase 2) realisiert, weitere Umsetzungen sind für später geplant.

7.3.6 Betreuung der realen Praktika

Die Lernenden beider Untersuchungsgruppen beurteilten die Betreuung einheitlich sehr gut, obwohl ihre Vorkenntnisse nur teilweise von den Betreuern aufgegriffen wurden. Sie waren bezüglich des selbständigen Experimentierens überwiegend zufrieden. Dem Wunsch nach mehr eigenständigem Arbeiten gerade auch bei den Lernenden aus Saarbrücken kann aus technischer Sicht aufgrund der Prozessdauer (beispielsweise Hochtemperaturofen), der Komplexität der Anlagen (beispielsweise Mask Aligner) oder sicherheitstechnischen Gründen (beispielsweise HF-Ätzbank) nicht immer entsprochen werden.

Um die Vorkenntnisse der Lernenden noch stärker zu nutzen und das selbständige Experimentieren zu fördern, sollten die Betreuer mit den virtuellen Maschinen, die sie real im Reinraum betreuen, vertraut sein. Dann ist auch eine Anpassung der Reinraumpraktika an das virtuelle Labor in begrenztem Maße, wie es die Assistenten angeregt haben, möglich. Um andererseits das Bedienverhalten der Lernenden an den realen Anlagen bei der Entwicklung der Lernsoftware zu beachten und möglichen Schwierigkeiten zu begegnen, ist das Einbinden der Programmierer als betreuende Assistenten in die Reinraumpraktika sinnvoll.

Insgesamt wurde das Lernen im Reinraum durch die Betreuung und das virtuelle Training gefördert, wie beide Teilnehmergruppen unabhängig voneinander angaben. Damit wurden die zwei wesentlichen Lernziele – „Verstehen der Prozesse“ und „Bedienen komplexer Maschinen“ – erreicht. Alle Empfehlungen zu den Reinraumpraktika in Bezug auf Betreuung, Praktikumszeit und Praktikumsablauf stehen in Tab. 7.42 (vgl. Kap. 7.3.8, S. 142).

7.3.7 Praktikumszeit der realen Praktika

Die Praktikumszeit wurde nach Angaben der Lernenden durch Aufgaben und Betreuung fast immer angemessen genutzt. Damit wurde die Praktikumszeit über die gesamte Dauer sinnvoll eingesetzt. Den Lernenden aus Aachen reichte dabei die Zeit zum Testen der Parameter außer am „Hochtemperaturofen“ aus. Da dort der reale Prozess einen Tag dauerte, war es den Studierenden nicht möglich, die Parameter auszuprobieren. Die Lernenden aus Saarbrücken waren hingegen nur teilweise mit der verfügbaren Zeit zufrieden, da sie wegen ihrer umfassenderen Vorbildung mehr experimentieren wollten. Lediglich am Messgerät „Film Thickness Probe“ konnten von ihnen die Parameter genügend variiert werden, da hier in kurzer Zeit beliebig viele Messungen möglich sind. Aufgrund der technischen Gegebenheiten werden auch in Zukunft Maschinen wie beispielsweise der „Hochtemperaturofen“ oder „Sputter Coater“ nur begrenzt zum Testen für die Lernenden zur Verfügung stehen. Anders verhält es sich mit Messgeräten wie eben der „Film Thickness Probe“ oder dem „Ellipsometer“.

Daraus lässt sich für das virtuelle Labor positiv ableiten, dass Lernende durch das Training mit den virtuellen Maschinen, die im Reinraum nur begrenzt geübt werden können, diese teilweise intensiver erfahren als im echten Praktikum. Trotzdem sollten die Lernenden im Reinraum so viele Freiheiten wie möglich bei entsprechender Betreuung haben, weil damit ein höherer Lernerfolg verbunden ist.

7.3.8 Inhalte und Durchführung der realen Praktika

Die Vorkenntnisse aus dem virtuellen Training hatten die Lernenden aus Aachen nach ihren eigenen Angaben kaum vergessen, obwohl die Zeit zwischen den beiden Praktika vom ersten bzw. letzten Vorbereitungstermin acht bzw. drei Wochen betrug (vgl. Tab. 7.40). Die Teilnehmer aus Saarbrücken gaben bei einem Zeitraum von vier Wochen an, dass sie ihre Vorkenntnisse „teilweise vergessen“ hatten. Die Abstände zwischen dem Training an den virtuellen Maschinen und dem Bedienen der realen Anlagen war für die Teilnehmer aus Saarbrücken zu groß, so dass sie sich weniger an die erlernten Fertigkeiten erinnern konnten. Hierbei ist zu beachten, dass 1/3 der Teilnehmer im Sommersemester 2003 aus Aachen kam, wo die Vorbereitung schon im vorangegangenen Wintersemester stattgefunden hatte. Diesen Studierenden wurde zur Auffrischung der Kenntnisse eine Wiederholung von einem Tag kurz vor Beginn des Reinraumpraktikums angeboten. Möglicherweise hat die erste Teilnehmergruppe aus Aachen auch einen weniger hohen Anspruch an die Praktika als die Teilnehmer aus Saarbrücken, so dass sie glaubten, dass ihre Vorkenntnisse relativ gut präsent seien. Dennoch wird aus den Angaben deutlich, dass der Zeitraum zwischen beiden Praktikumsteilen nicht so groß sein sollte und zukünftig verringert werden muss. Trotzdem besaßen beide Untersuchungsgruppen hohe Wiedererkennungseffekte, die nur bei den Lernenden aus Aachen beim „Mask Aligner“ etwas geringer ausfielen (vgl. Abb. 7.20).

Tab. 7.40: Vergleich zum Vorhandensein der Simulationserfahrungen – Phase 1

Frage (Item 5): Meine Erfahrungen aus dem Simulationspraktikum waren in der Zwischenzeit bis zum Reinraumpraktikum doch schon wieder verschüttet/ vergessen.				
	Gar nichts vergessen	Wenig vergessen	Teilweise vergessen	Viel vergessen
Aachen	14 %	71 %	14 %	0 %
Saarbrücken	0 %	27 %	46 %	27 %

Beim virtuellen Training hatten sie auch hier mit der weniger weit entwickelten Maschine mehr Schwierigkeiten im Vergleich zu anderen Anlagen. Das Bedienen der übrigen realen Anlagen fiel den Lernenden beider Untersuchungsgruppen teilweise sogar leichter als das Arbeiten mit den virtuellen Maschinen, aber auf jeden Fall nicht schwerer. Sie traten gezielter an die Maschinen heran als untrainierte Teilnehmer und richteten

tiefergehende Fragen an die Betreuer. Damit wurden wieder die beiden wesentlichen Lernziele „theoretische Kenntnisse“ und „manuelle Fertigkeiten“ erreicht. Um einen noch größeren Lernerfolg zu erzielen, sollten die Zeiten zwischen beiden Praktika möglichst gering gehalten werden. Optimal ist, die realen Praktika schon eine Woche nach dem virtuellen Training durchzuführen. Bei längeren Zeiträumen hilft wahrscheinlich ein verstärktes Angebot von Übungen und Wiederholungsterminen kurz vor Beginn der Reinraumpraktika, um die Vorkenntnisse präsenter zu halten.

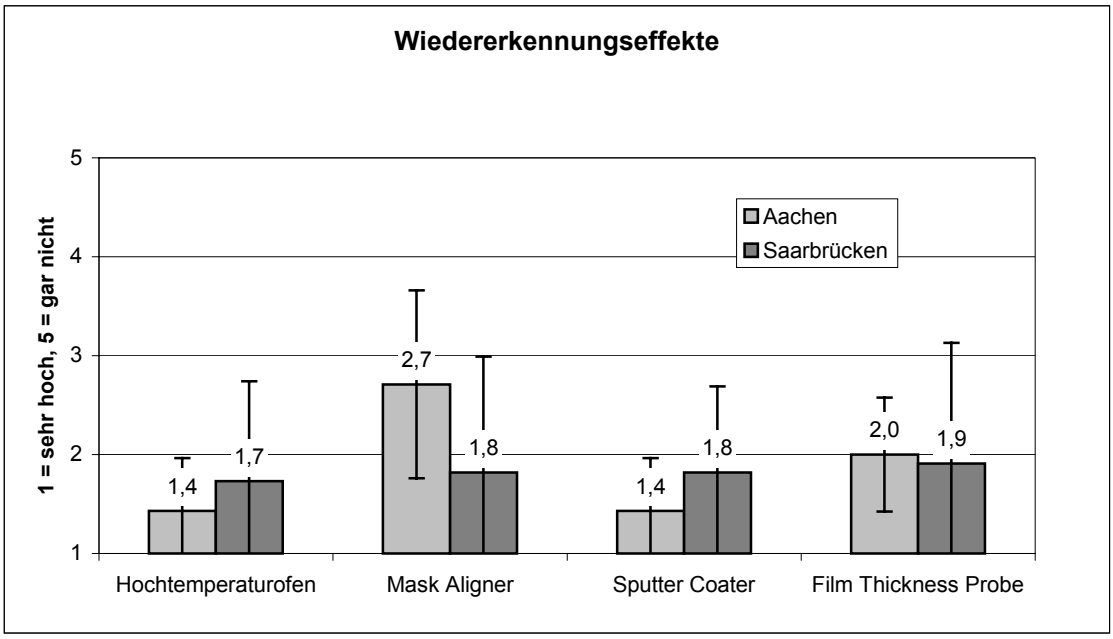


Abb. 7.20: Vergleich der Wiedererkennungseffekte – Phase 1 (Item 2)

Beim realen Praktikum selbst standen an erster Stelle das „Durchführen der konkreten Arbeitsschritte“ und die beiden Aspekte „Planen der einzelnen Schritte“ sowie „Verstehen der technischen Prozesse“ an zweiter Position (vgl. Tab. 7.41). Damit lag die Ausrichtung eindeutig im praktischen Bereich, wie es im realen Praktikum auch sein sollte. Das „Erarbeiten der theoretischen Hintergründe“ war eher unwichtig, diese sollten aber aufgrund der virtuellen Vorbereitung präsent sein.

Die Lernenden aus Aachen gaben an, dass sie sich für eine verständlichere Vorbereitung im Nachhinein eine „stärkere Betonung des theoretischen Hintergrundes“ wünschten, die Teilnehmer aus Saarbrücken dagegen eine „stärkere Betonung der konkreten Arbeitsschritte“. Daher sollte die Vorbereitung eine umfassende Vermittlung der Theorie beinhalten und sich an Aufgaben orientieren, die auch im Reinraumpraktikum gestellt und gelöst werden müssen. Bedienungsfehler wurden an den realen Anlagen durch das virtuelle Training teilweise vermieden, womit ein weiteres Lernziel erreicht wurde („Stimme voll zu“ bis „Stimme zu“: bis 64 %).

Tab. 7.41: Persönliche Rangfolge des Vorgehens an den realen Maschinen im Vergleich

Frage (Item 11): Während der Praktikumszeit stand für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen im Vordergrund – Mittelwerte 1 = sehr im Vordergrund, 5 = gar nicht				
	Orientierung, Planung der einzelnen Arbeitsschritte	Durchführen der Versuchsschritte	Verstehen der technischen Prozesse	Erarbeiten theoretischer Hintergründe
Aachen	2,0 – 2,3	1,5 – 2,0	2,0 – 2,7	2,7 – 3,0
Saarbrücken	1,9 – 2,5	1,8 – 2,1	2,1 – 2,2	2,3 – 2,5

Technische Funktionsprobleme wie beispielsweise der vorübergehende Ausfall oder Stillstand einer Anlage führten, im Gegensatz zum virtuellen Labor, im Reinraum nicht zu Motivationsverlusten, sondern lieferten den Lernenden ein reales Bild von der Praxis und damit ein intensiveres Verständnis der Prozesse. Daher sollten auch in Zukunft technische Probleme mit den Lernenden besprochen und sofern möglich gemeinsam gelöst werden. Die Mitnahme der Schulungsunterlagen in den Reinraum war nicht gestattet. Dieses sahen die Lernenden als Vorteil an, da sie dadurch weniger abgelenkt wurden. Trotzdem empfiehlt sich, eine etwa einseitige Übersicht mit einer Kurzbeschreibung zu jeder Maschine, die als Erinnerungshilfe für die gewonnenen Vorkenntnisse dient, und an denen sich die Lernenden orientieren können.

Tab. 7.42: Empfehlungen zu den Reinraumpraktika

Betreuung, Praktikumszeit, Reinraumpraktika	Realisiert in Phase 2	Geplant für später
• Gesamtüberblick zur Prozesskette geben	+	
• Reinraumpraktikum möglichst zeitnah zur virtuellen Vorbereitung nach etwa einer Woche anbieten	+	
• Einseitige Übersicht und/ oder Kurzbeschreibung zur Orientierung an realen Anlagen im Reinraum bereit halten		+
• Betreuer über den aktuellen Stand der virtuellen Vorbereitung (Unterlagen und Maschinen) informieren	+	
• Softwareentwickler als Betreuer in die Reinraumpraktika integrieren	+	
• Lernenden möglichst viele Freiräume in Abhängigkeit der technischen Möglichkeiten und Sicherheitsaspekte gewähren	+	
• Technische Funktionsprobleme mit den Lernenden angehen	+	
• Anfertigen eines Praktikumsberichtes einfordern		+

Dass die Lernenden teilweise mehr über die realen Maschinen durch das Training an den virtuellen Anlagen gelernt haben, ist ein großer Vorteil. Denn gerade bei den Simulationen können lange Prozesszeiten virtuell dennoch in kurzer Zeit simuliert und beliebig oft Parameter getestet werden. Das ist im realen Praktikum bei lang andauernden Prozessen oder komplexen Anlagen nicht möglich. Damit ergänzen sich beide Praktika optimal, da auch in der virtuellen Vorbereitung Kenntnisse und Fertigkeiten vermittelt werden, die nicht immer in einem realen Laborpraktikum geübt werden können. Die Empfehlungen zu den realen Praktika befinden sich in Tab. 7.42.

7.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und der Lernerfolge

Die Unterlagen und die Simulationssoftware wurden relativ gut bewertet, sind aber teilweise hinsichtlich der theoretischen Grundlagen und der einzelnen Arbeitsschritte verbesserungsbedürftig. Eine neue Strukturierung der Unterlagen mit entsprechenden Ergänzungen auch zu den realen Anlagen und mehr Übungen wurden durchgängig von den Lernenden angeregt. Für die Simulationssoftware wurde ein stärkerer Praxisbezug sowie deutlichere Hinweise zu den Unterschieden zwischen den realen und virtuellen Maschinen gefordert. Mit den virtuellen Maschinen und den Vereinfachungen in den Simulationen kamen die Teilnehmer gut zurecht. Integrierte Videos wurden dabei häufig als hilfreich beurteilt und die eher zurückhaltende Betreuung positiv bewertet. Eine ferndiagnostische Betreuung bei privater Nutzung der Software wurde in der Regel abgelehnt. Eine Praktikumszeit von zwei Stunden für die virtuelle Vorbereitung wurde als passend und ausreichend angesehen, um mit verschiedenen Prozessparametern an den Maschinen zu experimentieren. Im realen Laborpraktikum gab es für die Lernenden teilweise sehr deutliche Wiedererkennungseffekte an den realen Anlagen, obwohl die Teilnehmer nicht immer ihr Wissen aus der Vorbereitung präsent hatten. Sie konnten insgesamt die realen Maschinen gezielter bedienen, teilweise Bedienfehler durch die Vorbereitung vermeiden und die Praktikumszeit angemessen für weiterführende Fragen zu den Prozessen nutzen. Die Betreuer wiederum konnten positiv auf das hohe Vorwissen sowie die gewonnenen Fertigkeiten der trainierten Teilnehmer zurückgreifen und so intensiver mit den Lernenden arbeiten. Aufgetretene technische Funktionsprobleme im Reinraum wurden von allen als lehrreich für ein tieferes Prozessverständnis angesehen und führten nicht zu Motivationsverlusten.

Damit wurden die verschiedenen Lernziele zu den Haupt- und Teilprozessen, zur exemplarischen Fertigungskette sowie zum Erwerb der Bedienfertigkeiten ganz oder teilweise erreicht (vgl. Tab. 7.43). Die Lernenden kannten häufig die wesentlichen Komponenten der betreffenden Maschinen und ihre Funktionsweise sowie die zugehörigen Prozessparameter und sie wussten mit Messgeräten umzugehen. Sie hatten

nicht immer den gesamten Fertigungsprozess präsent, aber die Teilprozesse zum exemplarischen Herstellungsverfahren waren ihnen recht gut bewusst. Die Unterschiede zwischen den realen und virtuellen Anlagen waren den Lernenden nicht immer verständlich. Trotzdem fiel ihnen das Bedienen der realen Anlagen nach dem virtuellen Training leichter und sie konnten sich mehr auf die Prozesse als auf die eigentliche Maschinenbedienung konzentrieren. Damit gingen ein selbständigeres Arbeiten und das Vermeiden von Bedienfehlern einher. Ob die Lernenden leichter gleichwertige Maschinen handhaben können, ist zu vermuten, kann aber nicht belegt werden. Insgesamt sind die erzielten Lernerfolge mit den ersten vier virtuellen Prototypen äußerst positiv zu sehen.

Tab. 7.43: Erreichte Lehr- Lernziele – Phase 1

Erwerb von Grundlagen zu verschiedenen Hauptprozessen	
• Wesentliche Teilprozesse kennen	+[1)]
Erwerb von Grundlagen zu verschiedenen Teilprozessen	
• Wesentliche Parameter überblicken	+
• Wechselseitige Einflussnahme der Parameter verstehen	(+)
• Verfahren zur Qualitätskontrolle kennen	+
Erwerb von Grundlagen zu einem exemplarischen Fertigungsprozess	
• Tieferes Verständnis für Fertigungsprozesse erwerben	+
• Haupt- und Teilprozesse erfassen	+
• Einflussnahme von Prozessparametern maschinenübergreifend verstehen	(+)
• Verfahren zur Qualitätskontrolle für den gesamten Fertigungsprozess präsent haben	(+)
Erwerb von Fertigkeiten zur Bedienung realer Fertigungsanlagen im Reinraumlabor	
• Wesentliche Komponenten realer Anlagen kennen	+
• Wesentliche manuelle Bedienvorgänge an den realen Anlagen beherrschen	(+)
• Unterschiede zwischen virtuellen und realen Anlagen verstehen	(+)
• Durch Wiedererkennungseffekte an den realen Anlagen eine schnelle Einarbeitung erreichen	+
• Sicheren und relativ eigenständigen Umgang mit realen Anlagen fördern	+
• Wesentliche Parameter eines Teilprozesses korrekt einstellen können	+
• Bedienfehlern vorbeugen	(+)
• Transfer des Gelernten auf die Bedienung gleichwertiger Fertigungsanlagen ähnlichen Typs erleichtern	(+)

[1)] Lernziel wurde erreicht: +, Lernziel wurde teilweise erreicht: (+)

Für repräsentativere Rückmeldungen zu den Technologiepraktika sollten größere Stichproben - falls möglich - gewählt sowie die Daten nach Geschlecht spezifiziert ausgewertet werden. Für die virtuelle Vorbereitung könnten dazu weitere Hochschulen genutzt werden. Für weitere Untersuchungen zum realen Reinraumpraktikum könnten zum Vergleich Lehrveranstaltungen anderer Professoren in Zweibrücken in Betracht gezogen werden. Um gerade neu entwickelte und noch nicht im Praktikum eingesetzte virtuelle Maschinen optimal auf die Lernenden abzustimmen, sollten die Software-Entwickler am virtuellen Training zwecks direkter Rückmeldung durch die Lernenden sowie an den Reinraumpraktika beteiligt werden. Empfehlungen zu zukünftigen Forschungen sind in Tab. 7.44 aufgelistet. Diese wurden teilweise in der zweiten Untersuchungsphase angewendet.

Tab. 7.44: Empfehlungen für zukünftige Evaluationen

Datenerhebungsinstrumente, Untersuchungen	Realisiert in Phase 2	Geplant für später
• Getrennte Fragebögen für Studierende und Betreuer erstellen	+	
• Neue Fragebögen nach Themen gliedern	+	
• Daten nach Geschlecht spezifizieren	+	
• Andere Hochschulen in die Vorbereitungsphase und Technologiepraktika einbinden		+
• Lehrveranstaltungen anderer Professoren in Zweibrücken in die Untersuchung einbeziehen		+
• Größere Stichproben wählen		+
• Software-Entwickler an den Technologiepraktika beteiligen	+[1)]	+

[1)] Anregungen wurden teilweise in der zweiten Untersuchungsphase (Phase 2) realisiert, weitere Umsetzungen sind für später geplant.

8 Ergebnisse der zweiten Untersuchungsphase – WS 2003/04, SS 2004 und WS 2004/05

Aus den Ergebnissen, Diskussionen, Vorschlägen und Anregungen seitens der Lernenden und Lehrenden lassen sich vielfach Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Technologiepraktika ableiten. Diese wurden teilweise direkt in der zweiten Untersuchungsphase umgesetzt. So wurden die Schulungsunterlagen erweitert und verbessert, bestehende virtuelle Maschinen weiterentwickelt und neue Maschinen mit den gewonnenen Erkenntnissen erstellt. Die Lernenden mussten einleitende Vorträge zu einzelnen Themen halten, um das theoretische Wissen nachhaltig zu vertiefen. Zusätzliche Übungen und Tests sind denkbar, wurden aber noch nicht realisiert. Die Interaktionen zwischen den Lernenden und den virtuellen Maschinen wurden teilweise erweitert. Sehr wesentlich war, dass die Schwierigkeiten, die beim virtuellen Labor sowie beim Übergang vom virtuellen auf das reale Labor in Bezug auf Verständnis und Maschinenbedienung aufgetreten waren, behoben wurden.

Die zweite Untersuchungsphase umfasste die beiden WS 2003/04, 2004/05 an der Fachhochschule Aachen und das SS 2004 an der Universität des Saarlandes. An den Befragungen nahmen jeweils zehn Studierende im Wintersemester und neun im Sommersemester teil, wobei sich ein Student im WS 2004/05 aufgrund eines Firmenpraktikums mit der CD zum virtuellen Labor ohne Teilnahme an den betreuten Schulungen vorbereitet hat. Zu den vier bestehenden Simulationen der ersten Untersuchungsphase kamen die Programme „Anodischer Bonder“ und „Ellipsometer“ dazu. Im WS 2003/04 existierte für die Vorbereitungsphase die Simulation „Ellipsometer“ und damit das Lernmodul „Bestimmung optischer Parameter mittels Ellipsometrie“ noch nicht. Weiterhin wurden einige neue Animationen eingesetzt, beispielsweise zum „Sputter Coater“ oder zum Messgerät „Film Thickness Probe“. Die Reinraumpraktika in Zweibrücken wurden jeweils von sechs Assistenten betreut.

Die eingesetzten Fragebögen gliederten sich in unterschiedliche Themenbereiche, wobei für die zuletzt durchgeführte Untersuchung die Fragebögen um weitere offene Fragen ergänzt wurden, um noch gezielter konkrete Rückmeldungen und zusätzliche Anregungen für das virtuelle Labor sowie das Reinraumpraktikum zu erhalten. Neben den Fragebögen gab es Diskussionsrunden mit den Studierenden und den Betreuern. Da sich viele Ergebnisse der zweiten Untersuchung mit der ersten decken oder ähnliche Tendenzen zeigen, werden diese zusammengefasst vorgestellt und lediglich einige wichtige Aspekte oder Unterschiede hervorgehoben. Tabellen zu den Resultaten befinden sich in den Anhängen F und G.

8.1 Vorbereitungsphase und virtuelles Training

Die Teilnehmer der drei Untersuchungsgruppen vom WS 2003/04, SS 2004 und WS 2004/05 hatten sich wesentlich intensiver auf die einzelnen Praktikumstermine vorbereitet als die Studierenden im WS 2002/03. Bezüglich der theoretischen Grundlagen griffen sie in der Mehrheit auf die angebotenen Unterlagen und Anleitungen, auf Vorlesungs- und Übungsskripte oder auf das Internet zurück. Etwa die Hälfte der Lernenden befasste sich vorab mit den virtuellen Maschinen, sofern diese auf CD mit den entsprechenden Unterlagen vor Praktikumsbeginn verteilt wurden. Die Aufgabenstellungen und konkreten Arbeitsschritte waren bei den einzelnen Maschinen im Gegensatz zu den Praktika in der ersten Untersuchungsphase fast allen Teilnehmern nach der Neustrukturierung der Materialien klar und verständlich, so dass sie zuversichtlich waren, die Aufgaben lösen zu können (vgl. Tab. 8.1). Nur im WS 2003/04 hatte die Hälfte der Studierenden mit den Unterlagen zum „Mask Aligner" Schwierigkeiten, die noch nicht überarbeitet waren. Ebenso gab es in der Regel keine Verständnisprobleme beim Umgang mit den beiden Drucksensor-Kochbüchern. Selten forderten die Teilnehmer Ergänzungen zu den bestehenden Materialien. Zu den offenen Fragen gaben sie einige Anregungen, die sich auf die Vorgehensweise an den virtuellen Maschinen sowie auf die Abstimmung zwischen den Unterlagen und den virtuellen Maschinen bezogen.

Tab. 8.1: Klarheit der Arbeitsschritte – Phase 2

Frage (Item 10): Waren die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar? – Antwort „Ja" (N = 6 bis 10)						
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
WS 2003/04	90 %	50 %	90 %	80 %	--[1)]	100 %
SS 2004	100 %	100 %	100 %	100 %	86 %	100 %
WS 2004/05	88 %	78 %	63 %	67 %	86 %	100 %

[1)] Das virtuelle „Ellipsometer" existierte noch nicht im WS 2003/04.

Insgesamt wünschten sich die Lernenden mehr Videos, Animationen und Bilder mit Erklärungen, die sich zum einen auf die Bedienung der realen Anlagen oder auf die Prozesse selbst bezogen und daher den Umgang mit den Anlagen erleichtern sowie das Prozessverständnis erhöhen sollten. So wurden beispielsweise eine vorgeschaltete Animation zum Kalibrieren des Messgerätes „Film Thickness Probe", ähnlich wie beim „Sputter Coater", zum Schreiben von Rezepten oder mehr Erklärungen zum Ausrichten von Wafer und Maske am „Mask Aligner" vorgeschlagen. Die verschiedenen Schwierigkeiten bei der Simulation „Sputter Coater", wie sie in der ersten Untersuchungsphase beobachtet wurden, konnten in der zweiten Untersuchungsphase durch das Weiterentwickeln des Programms und durch eine zusätzliche Animation behoben

werden, welche die Bedienung der Sputteranlage in den Grundzügen erläutert. Zur Erhöhung des Prozessverständnisses wurden von den Lernenden Animationen zu grundsätzlichen Prozessabläufen wie zu den Beschichtungsvorgängen an Hochtemperaturöfen und Sputteranlagen angeregt. Eine einseitige Kurzanleitung, die keine Erklärungen enthält, wurde zum Schnelleinstieg an den virtuellen Maschinen befürwortet.

Der Rückgriff auf die Unterlagen zum Lösen der Aufgabenstellung an den virtuellen Maschinen erfolgte eher selten bei diesen drei Kursen, wurde aber auch, wie in den beiden vorherigen Semestern, als wichtig angesehen. Mit der Software zu den Anlagen kamen die Studierenden gut zurecht. Sie konnten diese nicht nur bedienen, sondern hatten auch verstanden, wie die Programme auf ihre Einstellungen reagierten und welche Parameter auf welche Weise das simulierte Prozessergebnis beeinflussten (vgl. Tab. 8.2).

Tab. 8.2: Zurechtkommen mit der Simulationssoftware – Phase 2

Frage (Item 13): Haben Sie verstanden, wie die virtuelle Maschine auf Ihre Einstellungen und Handgriffe reagiert? – Mittelwerte (N = 6 bis 10) 1 = Ja, 2 = Überwiegend, 3 = Ein wenig, 4 = Nein						
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
WS 2003/04	1,2	1,5	1,4	1,1	--	1,7
SS 2004	1,6	1,6	1,4	1,9	2,0	1,7
WS 2004/05	1,5	1,8	1,3	1,5	1,6	1,3

Das Gleiche galt für die Vereinfachungen im manuellen Bedienbereich, bei denen es nur vereinzelt mit dem „Mask Aligner“ (WS 2003/04, Nein: 20 %), dem „Sputter Coater“ (WS 2004/05, Nein: 13 %) und dem erst teilweise umgesetzten „Anodischen Bonder“ (WS 2004/05, Nein: 33 %) Schwierigkeiten gab. Größere Probleme mit den beiden Simulationen „Mask Aligner“ und „Sputter Coater“, wie sie in der ersten Untersuchungsphase beobachtet wurden, gab es nicht mehr. Diese beiden Lernmodule wurden verbessert, indem beide Programme fast in ihrer Endversion in den Praktika eingesetzt und die Lerneinheit „Abscheiden dünner Schichten mittels Sputtern“ um eine erklärende Animation ergänzt wurden.

Die Unterschiede zwischen den virtuellen Maschinen und den realen Fertigungsprozessen waren den meisten Lernenden ebenfalls verständlich (vgl. Tab. 8.3). Trotzdem fühlten sich einige Lernende auf den „Mask Aligner“ etwas weniger gut vorbereitet, da sie das geführte Programm relativ leicht bedienen konnten, aber den tatsächlichen Ablauf kritischer sahen.

Die bei drei Maschinen hinterlegten Videos wurden häufig als „hilfreich“ angesehen, insbesondere beim „Mask Aligner“ und beim „Anodischen Bonder“ (vgl. Abb. 8.1).

Tab. 8.3: Klarheit der Unterschiede zwischen der Simulationssoftware und den realen Maschinen – Phase 2

Frage (Item 16): Sind Ihnen die Unterschiede zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen klar? – Mittelwerte (N = 6 bis 10) 1 = Klar, 2 = Teilweise, 3 = Unklar						
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
WS 2003/04	1,5	1,2	1,4	1,2	--	1,2
SS 2004	1,4	1,3	1,3	1,7	1,6	1,3
WS 2004/05	1,5	1,1	1,0	1,2	1,4	1,0

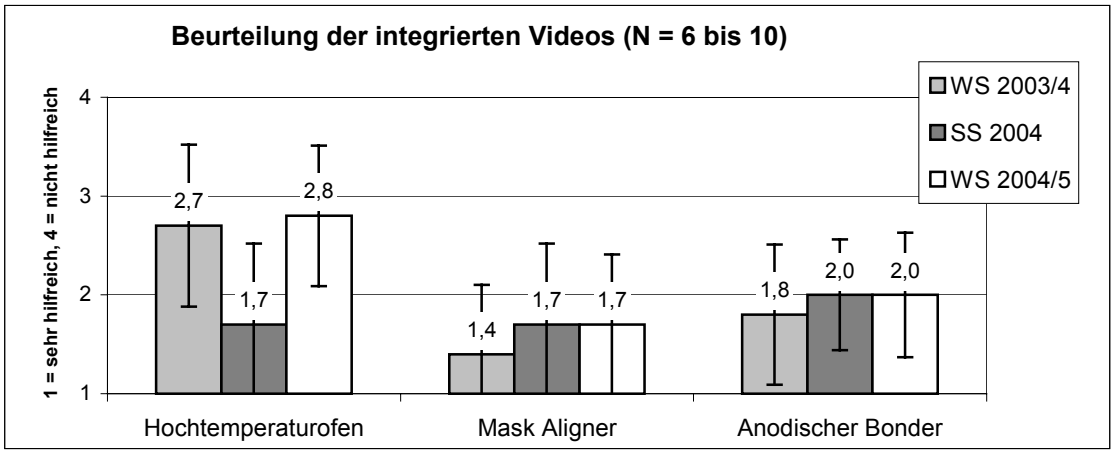


Abb. 8.1: Frage (Item 24): Waren die angebotenen Videos über die Funktionsweise der realen Maschinen für Ihr Verständnis zum tatsächlichen Fertigungsprozess hilfreich? – Phase 2

Interessant ist, dass es bei den verschiedenen Fragen keine signifikanten Unterschiede in den Angaben bezüglich der Hochschulform (Fachhochschule, Universität) im Gegensatz zur ersten Untersuchungsphase, der Kursart (Einzeltermine, Blockkurse) und zwischen den Antworten von Frauen und Männern gab. Damit deckt das virtuelle Labor Theorie, Praxis und manuelle Fertigkeiten hinreichend in der Vorbereitung auf die Reinraumpraktika ab, und zwar unabhängig von den Voraussetzungen einer Hochschule oder den Schwerpunkten in der Lehre. Beispielsweise gaben die Studierenden aus Aachen zu den Prozesszeiten an, dass ihnen meistens klar war, wie lange die einzelnen Prozesse dauern (Ja: 66 - 100 %). Im Rahmen dieser Frage wurde auch die reale Prozesszeit (vgl. Anhang G, Item 17) abgefragt und hierzu gegebene Antworten stimmten in der Regel. Im Vergleich dazu war die Prozessdauer den Lernenden aus Saarbrücken eher bedingt bewusst (Ja: bis zu 43 %, Nur bedingt: bis zu 57 %). Die Frage nach der Einordnung der einzelnen Maschinen in den gesamten Fertigungsprozess wurde von den Teilnehmern meist korrekt beantwortet.

Die Maschinenprogramme wurden fast immer beendet, weil die gestellten Aufgaben gelöst waren. Nur zwei Teilnehmer aus den drei Praktika (insgesamt 28 Teilnehmer) gaben an, dass die Zeit zum Lösen der Aufgaben nicht ausreichte. Insgesamt haben die Studierenden zwischen 30 und 90 Minuten für die Bewältigung der gestellten Aufgaben an den virtuellen Maschinen gebraucht. Dabei benötigten die Lernenden aus Saarbrücken etwas weniger Zeit, wobei sie, im Gegensatz zu den Teilnehmern aus Aachen, direkt mit den Programmen vor Praktikumsbeginn auch schon die Musterlösungen erhielten. Die Studierenden aus Aachen beanspruchten eher 60 bis 90 Minuten für die Maschinenprogramme. Im WS 2003/04 beendeten sie den „Anodischen Bonder" bereits nach 30 Minuten, weil diese Maschine noch nicht so weit entwickelt war und daher einen geringeren Handlungsspielraum bot. Mit der ausreichenden Übungszeit von 90 Minuten ist ebenfalls verknüpft, dass viele Teilnehmer genügend Zeit hatten, um zusätzlich mit den virtuellen Maschinen zu experimentieren, wobei etwa zwei Stunden für das virtuelle Training in den Praktika angesetzt wurden.

Die Betreuung in der Vorbereitungsphase wurde durchgängig positiv gesehen. So wurde die Einführung mit den Vorträgen seitens der Lernenden und den Vorbesprechungen zu den virtuellen Maschinen von allen mit „gut" bis „sehr gut" beurteilt. Das Gleiche galt für die Beantwortung der Fragen während des virtuellen Trainings, für die nach Angaben der Lernenden fast immer genügend Zeit zur Verfügung stand. Einige Lernende wünschten sich in der Einführung noch mehr Bilder zu den realen Anlagen. Sie regten an, Probleme und Fehlerquellen an den realen und virtuellen Maschinen direkt in der Einführung anzusprechen. Das allgemeine Video zum Reinraum in Zweibrücken wurde als sehr nützlich für den Einstieg in das Technologiepraktikum angesehen.

8.2 Reinraumpraktika – Studierendenbefragung

Die Lernenden fühlten sich gut durch das virtuelle Training auf die realen Fertigungsprozesse vorbereitet (vgl. Tab. 8.4). Sie hatten nach eigenen Angaben ihre Kenntnisse aus der Simulationsvorbereitung häufig „nicht" oder nur „teilweise" vergessen und damit präsent (vgl. Tab. 8.5), so dass der Umgang mit den realen Anlagen durch die intensive Schulung an den virtuellen Maschinen bei allen drei Untersuchungsgruppen fast immer erleichtert (70 – 100 %) und bei keinem Teilnehmer erschwert wurde. Im Gegenteil: die Studierenden besaßen eine größere Sicherheit im Umgang mit den realen Maschinen (WS 2003/04, Ja: 40 – 70 %, WS 2004/05, Ja: 90 – 100 %).

Die theoretischen Grundlagen für die Bewältigung der geforderten Aufgaben waren ihnen durch die Simulationsvorbereitung klar und die einzelnen Arbeitsschritte hatten sie meistens verstanden. Sie konnten durch das Üben mit den virtuellen Maschinen die

gleichen Aufgaben an den realen Maschinen gut, teilweise sogar ohne Probleme lösen. Dabei war das Mischungsverhältnis im virtuellen Training zwischen den „manuellen Fertigkeiten“ und den „theoretischen Hintergründen“ auch im Nachhinein oft „genau richtig“.

Die Hinweise zu den Unterschieden zwischen den Simulationen und den realen Maschinen reichten auch hier, im Gegensatz zur ersten Untersuchungsphase, fast immer aus. Nur im WS 2003/04 wurden zum „Anodischen Bonder“ (Nein: 40 %) und zum „Mask Aligner“ (Nein: 30 %) mehr Hinweise gefordert.

Tab. 8.4: Vorbereitetsein durch virtuelles Training – Phase 2

Frage (Item 9): Waren Sie durch das Training mit den virtuellen Maschinen gut auf die realen Fertigungsprozesse vorbereitet? – Mittelwerte (N = 6 bis 10)						
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
WS 2003/04[1)]	1,4	2,1	1,4	1,7	--	1,6
SS 2004[1)]	2,1	2,0	2,0	2,8	1,1	1,6
WS 2004/05[2)]	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1

[1)] 1 = Trifft zu, 2 = Trifft ein wenig zu, 3 = Teils-teils, 4 = Trifft kaum zu, 5 = Trifft nicht zu

[2)] 1 = Ja, 2 = Teilweise, 3 = Nein

Tab. 8.5: Vorhandensein der Kenntnisse aus dem virtuellen Training – Phase 2

Frage (Item 2): Hatten Sie Ihre Kenntnisse aus der Simulationsvorbereitung in der Zwischenzeit vergessen? (N = 6 bis 10)						
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
Antwort “Trifft nicht zu”						
WS 2003/04	40 %	30 %	50 %	40 %	--	50 %
SS 2004	0 %	14 %	0 %	14 %	29 %	43 %
WS 2004/05	67 %	56 %	56 %	25 %	44 %	89 %
Antwort “Teilweise”						
WS 2003/04	60 %	60 %	40 %	40 %	--	40 %
SS 2004	100 %	86 %	86 %	86 %	71 %	57 %
WS 2004/05	33 %	44 %	44 %	71 %	56 %	11 %

Den Zeitraum von zwei Wochen zwischen der Vorbereitung und den realen Praktika beurteilten die Lernenden meistens mit passend. Einige Teilnehmer aus Aachen gaben an, dass der Zeitraum mit neun Wochen aufgrund der wöchentlichen Einzelveranstaltungen zu lang sei. Wie hoch der Stellenwert der Vorbereitungsphase war, zeigt Tab.

8.6. Die Aussagen der Teilnehmer sind von Semester zu Semester etwas indifferent, trotzdem gaben die Studierenden im Mittel an, dass sie nur teilweise das Reinraumpraktikum ohne die Vorbereitung bewältigt hätten. Ein Student äußerte sich so: „Bewältigt ja, aufgrund der guten Betreuung, durch die Simulationen war das Verständnis viel besser, die Maschinen wurden viel schneller verstanden...“. Die Hälfte der Studierenden im WS 2004/05 gab sogar an, dass sie das Reinraumpraktikum ohne Training nicht geschafft hätten.

Tab. 8.6: Bewältigung des Reinraumpraktikums ohne virtuelles Training – Phase 2

Frage (Item 4): Hätten Sie das Reinraumpraktikum bezüglich der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt? – Mittelwerte (N = 7 bis 9)

1 = Bewältigt, 2 = Teilweise, 3 = Nicht bewältigt

	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
WS 2003/04	2,0	2,0	1,8	1,8	--	2,0
SS 2004	1,7	1,9	1,7	1,9	2,0	2,0
WS 2004/05	2,5	2,6	2,1	2,4	2,5	2,4

Für eine gute Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse lieferten die Lernenden einige Anregungen. So wünschten sie sich beispielsweise Videos zum Arbeiten im Labor „Nasschemie“ und weitere Simulationen zum „Die-Bonden“ oder „Drahtbonden“. Auch Animationen zu noch nicht realisierten Anlagen oder zur Justage am „Mask Aligner“ wurden vorgeschlagen.

Bezüglich der Schulungsunterlagen waren die Meinungen unterschiedlich. Einige Teilnehmer äußerten, dass sie während der Vorbereitung fast zu viele Unterlagen zur Verfügung hatten, andere wiederum wünschten sich im Nachhinein noch mehr erklärenden Text, mehr Theorie sowie mehr Fotos zu den realen Anlagen. Im WS 2003/04 gaben sie an, dass die Ausführungen zur Maschinenbedienung für die Vorbereitung auf das Reinraumpraktikum teilweise noch zu unübersichtlich waren, wobei sich die Drucksensor-Kochbücher erst in der Aufbauphase befanden. Die Teilnehmer forderten für ein leichteres Arbeiten mit den Unterlagen ein deutlicheres Hervorheben der wesentlichen Gesichtspunkte. Etwa 1/3 der Studierenden im WS 2003/04 hätte gerne zusätzlich im Reinraum eine Kurzanleitung zu den Prozessen oder Maschinen genutzt. Diese Aussage wurde in den beiden nachfolgenden Semestern nur noch vereinzelt bestätigt.

Fast alle Teilnehmer gaben an, dass die Betreuer ihre Kenntnisse aus dem virtuellen Labor beim Umgang mit den realen Anlagen berücksichtigt oder zumindest teilweise beachtet hatten. Sie wurden sogar darüber hinaus von den Assistenten oft zusätzlich durch weiterführende Fragen und Aufgabenstellungen unabhängig von den Maschinen und Betreuern gefordert (SS 2004 und WS 2004/05, Ja: 86 - 100 %). Zusätzlich lernten

sie spezielle Sicherheitsaspekte und das Verhalten im Reinraum kennen, was über das virtuelle Labor in der Form nicht vermittelt werden kann.

Während der Durchführung der Praktika gab es Anlagen mit technischen Funktionsproblemen. Dazu zählten beispielsweise der „Anodische Bonder“ und der „Mask Aligner“. Aber auch die „Wafersäge“ sowie eine Anlage zur Deionisierung des Laborwassers waren betroffen. Leider halfen die aufgetretenen Probleme den Studierenden selten, den realen Prozess zu begreifen, im Gegensatz zur ersten Untersuchungsphase, weil beispielsweise leichte Defekte an einem Mikroskop (Mask Aligner) nicht zur Erhöhung des Prozessverständnisses beitrugen. Bei der „Wafersäge“ hingegen wurde durch Benutzung eines anderen Sägeblattes ein Wafer beschädigt, so dass die Teilnehmer verstanden, warum es für unterschiedliche Anwendungen und Werkstoffe verschiedene Blattausführungen gibt.

Die Dauer des Reinraumpraktikums war mit einer Woche für die Studierenden aus Aachen meistens „gerade richtig“. Die Lernenden aus Saarbrücken wünschten sich teilweise eine längere über die vier angebotenen Tage hinaus gehende Praktikumszeit. Sie empfanden die langen Praktikumstage von 9:00 bis 19:00 Uhr sehr anstrengend und empfahlen eine zeitliche Ausdehnung von vier auf fünf Tage.

Insgesamt war das Reinraumpraktikum für alle Teilnehmer eine sehr interessante Erfahrung, die nach Anregungen der Studierenden um eine Testphase zur Funktionalität des selbst gefertigten Drucksensors ergänzt werden sollte. Ein solcher Druckmessplatz mit entsprechenden Messvorrichtungen könnte an der „Entsendehochschule“ eingerichtet werden, an der sich die Studierenden in der Regel auf die Reinraumpraktika vorbereiten. In Zweibrücken selbst ist dieses aus kapazitiven Gründen zum Abschluss des einwöchigen Blockpraktikums nicht möglich. Damit würden die Technologiepraktika an den jeweiligen Hochschulen der Lernenden beendet.

8.3 Reinraumpraktika – Betreuerbefragung

Für die Auswertung der Betreuerbefragung lagen im WS 2003/04 und SS 2004 jeweils fünf und im WS 2004/05 drei ausgefüllte Fragebögen vor. Da die Anzahl der betreuenden Assistenten zu einer Maschine mit in der Regel ein bis zwei Personen sehr klein war, werden die Ergebnisse rein tendenziell aufgeführt.

Nach Angabe der Betreuer hatten die Studierenden teilweise Verständnisschwierigkeiten bezüglich der Unterschiede zwischen realen und virtuellen Maschinen, wobei diese als gering angesehen wurden. Im WS 2004/05 waren allen Studierenden die Unterschiede klar. Die Teilnehmer kamen aufgrund der Vorbereitung mit der Bedienung der realen Anlagen meistens „besser als“ unvorbereitete Studierende oder zumindest „genau so gut wie“ diese zurecht. Durch das virtuelle Training traten so gut wie keine

Schwierigkeiten bei der Anlagenbedienung auf. Nur ein Betreuer gab an, dass geringe Bedienungsprobleme beim „Mask Aligner“ im WS 2003/04 bestanden und zwar bei der Justage sowie bei der Anordnung der Bedienelemente, die am realen Gerät räumlich getrennt und an der virtuellen Maschine direkt präsent auf dem Bildschirm zu sehen sind. Diese Aussage wurde gestützt durch die Angabe, dass am „Mask Aligner“ aufgrund des virtuellen Trainings Bedienungsfehler aufgetreten waren. Am Messgerät „Film Thickness Probe“ wurden ebenfalls im WS 2003/04 Bedienungsfehler beim Kalibrieren und Fokussieren beobachtet. Weitere Bedienungsfehler aufgrund der Vorbereitung wurden nicht verzeichnet. Der Umgang mit den realen Maschinen wurde durch das virtuelle Training fast immer „erleichtert“ und nie „erschwert“ (vgl. Tab. 8.7), so dass die Studierenden an den Maschinen auf jeden Fall eigenständiger agieren konnten. Häufig wurden von ihnen infolge des virtuellen Trainings sogar weniger Bedienungsfehler gemacht (vgl. Tab. 8.8).

Tab. 8.7: Sicherheit im Umgang mit realen Anlagen nach dem virtuellen Training – Phase 2

Frage (Item 10 bzw. 3[1)]): Wurde der Umgang mit den realen Maschinen durch das Training an den virtuellen Maschinen erleichtert oder erschwert? – Summe über WS 2003/04 bis WS 2004/05						
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
Erleichtert	7	1	3	2	0	5
Weder noch	0	1	0	0	1	0
Erschwert	0	0	0	0	0	0

[1)] Item 10 für WS 2003/04 und SS 2004, Item 3 für WS 2004/05

Tab. 8.8: Vermeidung von Bedienungsfehlern aufgrund des virtuellen Trainings – Phase 2

Frage (Item 12[1)]): Haben die vorbereiteten Studierenden weniger Bedienungsfehler gemacht als die unvorbereiteten? – Summe über WS 2003/04 bis SS 2004						
	Hochtemperaturofen (M1)	Mask Aligner (M2)	Sputter Coater (M3)	Anodischer Bonder (M4)	Ellipsometer (M5)	Film Thickness Probe (M6)
Weniger Fehler	3	2	0	2	0	2
Gleich viele Fehler	1	0	1	0	1	0
Mehr Fehler	0	0	0	0	0	0

[1)] Item 5 für WS 2004/05, für alle Maschinen: Ja = 4, Nein = 2

In der Regel hatten die Teilnehmer ein erhöhtes Verständnis für das Zusammenwirken der Prozessparameter. Sie hatten damit auch die Prozesskette besser verstanden und stellten inhaltlich tiefergehende Fragen, die nicht näher spezifiziert wurden. Ein Betreu-

er meinte, dass die Studierenden „...ja, sehr viele Fragen und gute!“ stellen. Für ein besseres Verständnis im Reinraum könnten nach Angaben der Betreuer zusätzliche Unterlagen wie beispielsweise Skizzen zur Lage und Anordnung realer Bedienelemente, zu Absperrventilen und -hähnen im Grauraum des Labors oder zum generellen Aufbau einer Anlage sorgen. Die Handbücher der Hersteller sollten ebenfalls bereit liegen sowie im Vorfeld Videos zum Auflegen der Proben an den verschiedenen Maschinen gezeigt werden.

Für die Bewältigung der gestellten Aufgaben benötigten die Studierenden an den Anlagen „genau so lange“ oder „weniger“ Zeit als untrainierte Teilnehmer, sofern es das Handling an den Maschinen zuließ. Dadurch konnten die Betreuer sich häufig intensiver mit den Teilnehmern an den Maschinen beschäftigen. Die Zusammenarbeit mit den Studierenden, die sich seitens der Lernenden oft in positiver Kritik widerspiegelte, war durchgängig „sehr gut“ bis „gut“. Positive Rückmeldungen der Teilnehmer bezogen sich auf ein besseres Verständnis zum Fertigungsprozess, welches über das reale Training erst richtig gefestigt wurde, auf das eigenständige Vorgehen, die echte Handarbeit und die intensive sowie geduldige Betreuung.

Alle Assistenten hielten die Vorgehensweise der Kombination eines virtuellen Labors zur Vorbereitung auf das anschließende Reinraumpraktikum für sehr geeignet. Sie gaben viele weitere Anregungen in Bezug auf Inhalt und Ablauf der Praktika, welche in die zukünftigen Technologiepraktika aufgenommen werden sollten. Dazu gehörten beispielsweise ein ausgeprägtes Wiederholen der Prozesskette zu Beginn des realen Praktikums, die bereits erwähnten Ergänzungen zu den Unterlagen, eine intensivere Einführung zum allgemeinen Reimraumverhalten sowie eine zeitlich sehr nahe Abfolge beider Laborpraktika.

8.4 Diskussion der Ergebnisse im Vergleich zur ersten Untersuchung

8.4.1 Schulungsunterlagen und virtuelles Training

Beim ersten Technologiepraktikum gab es zu den vier durchgeführten Lerneinheiten jeweils Materialien zum theoretischen Hintergrund der Prozesse sowie zur Bedienung der virtuellen Maschinen, die aus einzelnen Dokumenten bestanden. Die Aufgaben und Arbeitsschritte wurden dabei sehr kurz gehalten. Den Bedürfnissen der Lernenden nach mehr Theorie, verständlicheren Arbeitsschritten sowie übersichtlicheren Unterlagen wurde mit dem Aufbau der Drucksensor-Kochbücher begegnet. Wichtige Themen der Mikrosystemtechnik, die anhand des exemplarischen Herstellungsprozesses wiederholt und gelehrt werden sollten, wurden im Drucksensor-Kochbuch 1 (Theoretische

Grundlagen) aufgenommen. Zudem wurden den Teilnehmern zahlreiche Hinweise für ein vertiefendes Selbststudium gegeben. Die einzelnen Dokumente zu den Maschinenanleitungen wurden zu separaten Kapiteln im Drucksensor-Kochbuch 2 (Maschinenhandbuch) zusammengefasst und gleichzeitig wurden die Arbeitsschritte detaillierter gegliedert. Beides führte dazu, dass den Studierenden die Aufgabenstellung fast immer klar war und sie gut mit den Unterlagen zurecht kamen, wie die zweite Untersuchungsphase belegte. Die Lernenden regten nur selten weitere Ergänzungen zu den bestehenden schriftlichen Unterlagen an, sondern befürworteten das Erstellen von Animationen zu Prozessabläufen, wie beispielsweise das Entstehen einer Oxidationsschicht in einem Hochtemperaturofen, oder Animationen zur leichteren Bedienung der virtuellen Maschinen (beispielsweise „Film Thickness Probe“). Daher sollten noch nicht überarbeitete und neu zu erstellende Unterlagen nach dem bisherigen Prinzip in die Drucksensor-Kochbücher eingebunden und bezüglich der Arbeitsschritte kritisch im laufenden Praktikum betrachtet werden.

Alle fünf Untersuchungsgruppen äußerten gleichermaßen, dass der Rückgriff auf die Unterlagen während des Praktikums zum Lösen der Aufgaben wichtig war. Dabei arbeitete an den virtuellen Maschinen ein Teil der Studierenden parallel mit den ausgedruckten und ein Teil gleichzeitig mit den elektronischen Dokumenten. Um beiden Lerngewohnheiten gerecht zu werden, sollten daher, wie es sich bewährt hat, die Schulungsunterlagen während des Praktikums sowohl elektronisch wie auch als Printversion vorliegen.

Damit die Lernenden die notwendigen theoretischen Grundlagen, die im WS 2002/03 von den Studierenden kaum wiederholt wurden, präsent haben, sollten sie stärker aktiv in die Vorbereitungsphase eingebunden werden. Dazu bieten sich Vorträge seitens der Teilnehmer in der Einführungsphase zum virtuellen Training an, wie es seit dem WS 2003/04 in Aachen praktiziert wird. Auf diese Weise werden die Lernenden zur Theorie hingeleitet und zur Wiederholung gezwungen, und letztlich können alle Studierenden auf bestehendes Wissen zurückgreifen sowie wichtige Kenntnisse vertiefen.

Mit den virtuellen Maschinen kamen die Studierenden bezüglich der beiden Aspekte Bedienung und Verständnis zunehmend besser zurecht, da die Programme kontinuierlich vervollkommnet und die Lerneinheiten um erklärende Animationen sowie Videos ergänzt wurden. Zudem wurden spezielle Hinweise und Rückmeldungen in den Programmen, die es nicht an den realen Anlagen gab, die aber seitens der Lehrenden als wichtig erachtet wurden, in besonderer Weise gekennzeichnet, so dass sie von den echten Rückmeldungen unterschieden werden konnten. Dadurch wurde ebenfalls die Klarheit zu den Unterschieden zwischen den virtuellen Maschinen und den realen Anlagen erhöht. Damit wurden die Anfangsprobleme behoben, die in der ersten Untersuchungsphase bestanden und teilweise zur Verwirrung der Lernenden führten.

Beim Aufbau neuer Maschinen sollten zudem die Programmierer der Lernsoftware am ersten Einsatz im Praktikum beteiligt werden, da sie so über die eigenen Beobachtungen und Diskussionen mit den Studierenden direkte Rückmeldungen zu möglichen

Schwierigkeiten oder Verständnisproblemen sowie positiv realisierten Aspekten bekommen. Dieses ist sehr hilfreich für die weitere Entwicklung der virtuellen Maschinen.

Tab. 8.9: Empfehlungen zur Vorbereitungsphase für zukünftige Schulungen

Schulungsmaterialien
• Drucksensor-Kochbuch 1 und 2 um weitere Kapitel vervollständigen • Glossar mit technischen Fachbegriffen erstellen • Unterlagen um spezielle Aspekte zum exemplarischen Fertigungsprozess ergänzen • Prozesskette über Prozessfließbilder und andere Medien verdeutlichen • Praxisbeispiele aufzeigen • Messwerttabellen zu den realen Prozessen bereitstellen • Mehr Bilder zu den realen Anlagen einbinden • Testaufgaben zur Theorie einführen • Weitere Aufgaben und Übungen zu den Maschinen stellen • Tests zur Wissensüberprüfung anbieten
Virtuelle Maschinen
• Neue Maschinen umsetzen • Animationen zum theoretischen Verständnis von Prozessvorgängen erstellen • Animationen zur Maschinenbedienung programmieren • Weitere Videos für manuelle Vorgänge aufnehmen • Software über sich selbst installierende CD zur Verfügung stellen
Betreuung
• Lernmodule in Anlehnung an bestehende Lehrveranstaltungen während der Vorlesungszeit anbieten • Erste Sicherheitsanweisungen zum allgemeinen Reinraumverhalten geben • Einzelne Arbeitsschritte konkret an virtuellen Maschinen in Abhängigkeit der Bedienkomplexität vorstellen • Kurze Übungen gemeinsam mit Teilnehmern lösen • Übungen schrittweise aufeinander aufbauen • Vorbereitung mittels Lernumgebung und tutorieller Begleitung testen

Die implementierten Videos, über die gerade manuelle Vorgänge an den Maschinen visualisiert wurden, waren für alle Untersuchungsgruppen hilfreich. Dabei hing der Grad der Hilfestellung vom Umfang der vorzunehmenden manuellen Handlungen ab. Beim „Anodischen Bonder“ oder „Mask Aligner“, zwei mehr manuell zu bedienende Anlagen, war der Nutzen durch die Videos wesentlich höher als beim eher über den Prozessrechner zu steuernden „Hochtemperaturofen“. Ein sehr erfreuliches Ergebnis ist, dass die Vereinfachungen bei den Simulationsprogrammen, die gerade im manuellen Bedienbereich vorgenommen wurden, von den Lernenden sehr positiv gesehen

wurden und ihnen keine oder nur selten Schwierigkeiten bereiteten. Insgesamt fühlten sich die Lernenden gut auf das reale Praktikum vorbereitet.

Die meisten Teilnehmer beendeten die virtuellen Maschinen, weil sie die gestellten Aufgaben gelöst hatten. Dabei benötigten sie häufig zwischen 30 und 90 Minuten in Abhängigkeit von der Anzahl der virtuellen Maschinen pro Lerneinheit und dem Entwicklungsstand der Programme. Daher sollte zukünftig eine Lernzeit von 60 bis 90 Minuten je Schulungseinheit rein für das virtuelle Training eingeplant werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die Schulungen betreut werden. Dieses gilt sowohl für die Einführung, bei der die Teilnehmer auf die Theorie und die virtuellen Maschinen vorbereitet werden, wie auch für das eigentliche Simulationstraining, bei dem die Assistenten direkt für Fragen zur Verfügung stehen und bei Schwierigkeiten unterstützend eingreifen können. Weiterhin haben sich als Schulungsform sowohl wöchentliche Einzelveranstaltungen mit einem abschließenden Wiederholungstermin sowie die Mischung aus Einzel- und Blockterminen bewährt, bei denen zwischen den einzelnen ganztägigen Praktikumsveranstaltungen ein- bis mehrtägige Pausen eingehalten wurden. Empfehlungen zur Vorbereitungsphase und zum virtuellen Training, die bisher in den beiden Untersuchungsphasen noch nicht realisiert wurden, aber für zukünftige Schulungskurse interessant sind, stehen in Tab. 8.9.

8.4.2 Kompakte Reinraumpraktika

Die Teilnehmer der fünf Untersuchungsgruppen hatten ihre Kenntnisse aus dem virtuellen Training nur teilweise vergessen, so dass sie schneller und leichter mit der Bedienung der realen Anlagen zurecht kamen und sicherer im Umgang mit diesen waren. Sie konnten die gleichen Aufgaben wie an den virtuellen Maschinen nahezu ohne Probleme lösen. Mit zunehmender Weiterentwicklung der Technologiepraktika stimmte dabei für die Vorbereitungsphase auch im Nachhinein die Mischung aus theoretischem Hintergrund und manuellen Fertigkeiten, so dass die Schulungsunterlagen den Bedürfnissen der Lernenden gerecht wurden.

Die Hinweise zu den Unterschieden zwischen virtuellen und realen Anlagen reichten den Studierenden aufgrund der Weiterentwicklung der Maschinenprogramme - zehn virtuelle Maschinen wurden während der durchgeführten Untersuchung fast vollständig fertig gestellt - auch im Nachhinein aus. Zudem konnten typische Bedienungsfehler an den echten Maschinen aufgrund der intensiven Vorbereitung und der hohen Wiedererkennungseffekte vermieden werden. Nur in einzelnen Fällen traten in der ersten Untersuchungsphase Handlungsfehler seitens der Lernenden aufgrund des Trainings mit den Maschinenprogrammen auf. Damit verbunden waren in Einzelfällen geringe Verständnisschwierigkeiten bezüglich der Unterschiede zwischen virtuellen und realen Anlagen. Den Bedienungsfehlern und Verständnisschwierigkeiten könnte zukünftig durch Erweiterung der Schulungsunterlagen vorgebeugt werden, und zwar durch aus-

führlichere Erläuterungen, oder durch fortschrittlichere Programme und zusätzliche erklärende Animationen. Auf der anderen Seite besaßen die Studierenden aber auch ein tieferes Prozessverständnis. Um dieses weiter zu festigen, müssen die echten Prozesszeiten (beispielsweise Hochtemperaturofen: mindestens 10 Stunden) in der Realität, also während des Praktikums nicht eingehalten werden. Zu lange Wartezeiten tragen nicht zu einem höheren Verständnis bei, sondern verlängern unnötig die kostbare Praktikumszeit. Die verschiedenen Aussagen zur Anlagenbedienung wurden sowohl seitens der Betreuer wie auch der Lernenden gemacht.

Aufgrund der guten Vorkenntnisse der Teilnehmer konnten die Assistenten teilweise intensiver mit ihnen an den einzelnen Anlagen arbeiten, wodurch die positiven Erfahrungen der Studierenden weiter erhöht wurden. Wichtig ist dabei, dass die Assistenten den aktuellen Stand der virtuellen Maschinen kennen. Damit wurden nicht nur „manuelle Fähigkeiten“ als erreichtes Lernziel vermittelt, sondern auch das Lernziel eines „tieferen Prozessverständnisses“ realisiert. Dieses äußerte sich bei den Studierenden dadurch, dass sie weitergehende Fragen an die Betreuer richteten. Die Assistenten beurteilten den Gewinn durch das virtuelle Training sogar noch höher als die Studierenden selbst und hielten die Kombination von virtuellem und realem Labor als sehr geeignet für die Lehre.

Technische Funktionsprobleme an den Anlagen, die während des Reinraumpraktikums auftraten, halfen den Lernenden nur zum Teil, die Prozesse besser zu verstehen. Dies war dann der Fall, wenn diese sich auf den Vorgang selbst bezogen (Wafersäge: unterschiedliche Sägeblätter) oder den Einblick in Komponenten erlaubten, die sonst nicht sichtbar waren (Sputter Coater: Innenaufbau der Kammer). Sofern es sich um andere Anlagendefekte handelte, konnten die Teilnehmer keinen Gewinn aus den Funktionsproblemen ziehen (Mask Aligner: Mikroskop).

Um die Vorbildung der Lernenden aus der Schulung optimal zu nutzen, sollte nach Angabe aller Beteiligten der Zeitraum zwischen beiden Praktikumsteilen möglichst gering gehalten werden. Dabei ist der Zeitraum von einer Woche für das kompakte Reinraumpraktikum gerade passend für die Lernenden in Bezug auf Durchführen sowie Verstehen eines gesamten Herstellungsverfahrens und bezüglich der gegebenen Ressourcen in Zweibrücken gerade noch realisierbar.

Die Unterlagen aus der Vorbereitung wurden während der Reinraumpraktika von den Lernenden nicht mehr benötigt, dafür regten beide Seiten zusätzliche Unterlagen wie beispielsweise einseitige Übersichten zu den Anlagen an. Diese sollten den Aufbau der Maschine, die Anordnung der Bedienelemente und den Prozessablauf dokumentieren und zur Orientierung dienen. Weiter wird eine kurze Übersicht zum gesamten Prozess benötigt und es sollte die Möglichkeit bestehen, bei Bedarf die Handbücher der Hersteller einzusehen sowie die Funktionalität des selbst gefertigten Drucksensors, beispielsweise an der Heimathochschule, auszutesten.

Schließlich ist zu überlegen, ob die Teilnehmer einen Praktikumsbericht zum Reinraumpraktikum verfassen und so nochmals die einzelnen Prozesse wiederholen, damit

sie neben ihrem selbst hergestellten Bauteil und den Schulungsunterlagen auch eine eigene Dokumentation für einen späteren Rückgriff besitzen. Empfehlungen zur Durchführung der Reinraumpraktika, die bisher teilweise oder noch nicht verwirklicht wurden, sind nochmals in Tab. 8.10 aufgelistet.

Tab. 8.10: Empfehlungen für zukünftige Reinraumpraktika

Prozesse, Maschinen und Unterlagen
• Echte Prozesszeiten nur für kurze Prozesse einhalten, ansonsten reduzieren. • Bedienungsfehler und Verständnisprobleme festhalten, um Hinweise zur Vermeidung in den Schulungsunterlagen geben zu können. • Einen Plan zum gesamten Fertigungsprozess anfertigen. • Kurze Übersichten zum Aufbau der Anlagen und zu den Prozessen erstellen. • Selbst gefertigten Drucksensor auf Funktionalität testen. • Praktikumsbericht einfordern.

9 Wesentliche Erkenntnisse aus den Technologiepraktika

Ausgehend von den Zielgruppen und Lernzielen sowie den gestellten Anforderungen an die virtuellen Maschinen seitens der Lehrenden und den technischen Rahmenbedingungen realer Anlagen, wurde das virtuelle Labor in Kombination mit kompakten Reinraumpraktika aufgebaut und kontinuierlich verbessert. Dabei handelte es sich um einen dynamischen Optimierungsprozess, der inhaltlich auf den Lernerfolg der Teilnehmer abgestimmt war. Dazu wurden verschiedene Möglichkeiten der Vorbereitung getestet, wie beispielsweise unterschiedliche Kursformen oder Angebote der Unterlagen. Die bei den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse und die Rückmeldungen von Lernenden und Lehrenden waren nicht immer speziell auf die vorgestellten Technologiepraktika beschränkt, sondern sind auf andere Bildungsangebote ähnlichen Charakters übertragbar. Die wesentlichen Empfehlungen und Erkenntnisse, die in den vorangegangenen Kapiteln geschildert und diskutiert wurden und für solche Bildungsangebote interessant sind, werden kurz dargelegt. Spezielle Anregungen und Vorschläge zum virtuellen Training, zu den Maschinen oder zum Reinraumpraktikum wurden projektintern festgehalten und stehen als Kurzfassung im Anhang I.

Schulungsunterlagen wie die Drucksensor-Kochbücher des Technologiepraktikums müssen didaktisch gut aufbereitet, sinnvoll gegliedert und auf die Lernprogramme, hier speziell auf die virtuellen Maschinen, abgestimmt sein. Beim exemplarischen Lernen sollten sie immer in Bezug zu den ausgewählten Anwendungen stehen. Sie sollten ausreichend Beispiele und Aufgaben enthalten, welche die Lernenden führen und gleichzeitig fordern, aber trotzdem nicht zuviel vorwegnehmen. Klare Aufgabenstellungen und eine verständliche Gliederung der Arbeitsschritte sind eine wichtige Voraussetzung zum erfolgreichen Arbeiten mit der Lernsoftware. Die Ausgabe der Unterlagen ist von ihrem Inhalt abhängig. So bietet sich an, Materialien für den theoretischen Hintergrund schon ein bis mehrere Wochen vorab zu verteilen, damit die Lernenden genug Zeit haben, sich mit diesen zu befassen. Beschreibungen rein zur Software sollten nur in Verbindung mit dieser ausgegeben werden. Diese sollten dann vorher ausgeteilt werden, wenn sich die Teilnehmer die Lerninhalte überwiegend selbständig außerhalb eines intensiv betreuten Praktikums erarbeiten sollen und nur an einem speziellen Termin kurz vor Beginn des praktischen Teiles Fragen an die Assistenten richten können. Um Lernende mehr zur Vorbereitung auf die betreuten Praktika zu veranlassen, sollten die Teilnehmer stärker aktiv in die durchgeführten Kurse eingebunden werden. Bei den Technologiepraktika erfolgte dieses durch das Verfassen von Vorträgen. So mussten sich die studentischen Referenten gründlich mit einem Thema auseinander setzen und dieses verständlich vor ihren Kommilitonen vortragen.

Lernprogramme zu schwierig zu bedienenden Anlagen, wie sie für die Technologiepraktika entwickelt wurden, die zudem ein hohes Maß an theoretischem Hintergrundwissen voraussetzen, fallen in ihrem Bedienumfang ebenfalls häufig komplex aus, da sie den realen Sachverhalt möglichst echt wiedergeben sollen. Bei solchen umfassenden Simulationen sollten verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Um den Lernenden den Einstieg zu erleichtern, sind oft vorgeschaltete Animationen zur Theorie oder zum manuellen Umgang hilfreich, wie es sich bei der virtuellen Maschine „Sputter Coater“ bewährt hat. Um die Lerninhalte auf wesentliche Punkte für die Lernenden zu beschränken und gleichzeitig den Programmieraufwand bei knappen Ressourcen einzudämmen, sind Vereinfachungen vorzunehmen, welche das Verständnis erhöhen, die Bedienung erleichtern, aber keinesfalls verfälschen. Es ist darauf zu achten, dass keine Erschwerung der realen Maschinenbedienung durch die Lernsoftware erfolgt. Die Visualisierung gerade manueller Handlungen mittels Videos ist in diesem Zusammenhang äußerst nützlich.

Da solche Programme dennoch möglichst realitätsnah erstellt werden sollen, und es gleichzeitig zu Verwirrungen bei den Lernenden bezüglich der Unterschiede zwischen Simulation und Realität kommen kann, müssen ausreichend Hinweise seitens der Entwickler implementiert sein, die sich deutlich von den echten Hinweisen realer Anlagen abheben. Weiterhin sollten Rückmeldungen zu von den Benutzern vorgenommenen Einstellungen oder anderen für den Realitätsbezug wichtigen Aspekten, beispielsweise zu Prozesszeiten, berücksichtigt werden. Auf der anderen Seite dürfen nicht zu viele Hilfen gegeben werden, auch darf die Software nicht zu einfach gestaltet sein, denn die Lernenden müssen sich ausgeprägt mit den Programmen auseinander setzen, um einen hohen Lernerfolg zu gewinnen. So hat sich bei den Technologiepraktika gezeigt, dass Teilnehmer, die mit einer Maschine hinsichtlich Bedienung und Verständnis mehr Schwierigkeiten hatten und daher auch mehr Zeit zur Lösung der Aufgabenstellung benötigten, im Nachhinein dafür wesentlich besser mit der zugehörigen realen Anlage im Reinraum arbeiten konnten. Der Grund hierfür ist, dass ihnen die einzelnen Aspekte erheblich mehr präsent waren.

Damit die Software-Entwickler wiederum von möglichen Anwendungsproblemen und Bedienungsschwierigkeiten erfahren, sollten sie zumindest in der ersten Testphase an den Praktika teilnehmen und die Lernenden bei ihren Aktionen beobachten und mit diesen gegebenenfalls über die Problemlagen diskutieren. Das Gleiche gilt für die Reinraumkurse. Das Einbinden der Entwickler als Betreuer in die Reinraumpraktika fördert das Verständnis bei der Weiterentwicklung der Lernsoftware im Hinblick auf Bedienverhalten und -schwierigkeiten seitens der Lernenden. Dabei ist zu klären, wo genau die Schwierigkeiten der Teilnehmer liegen.

Ein großer Vorteil der Lernsoftware besteht darin, dass Parameter quasi beliebig oft ausprobiert werden können, ohne Probenmaterial zu verbrauchen, Anlagen zu beschädigen oder lange Prozesszeiten abwarten zu müssen. Daher kann mit den Lernprogrammen teilweise viel eindringlicher gearbeitet werden als mit den echten Anla-

gen, insbesondere dann, wenn die realen Maschinen aufgrund ihres Prozesseinsatzes im Praktikum nur eingeschränkt von den Lernenden bedient werden können. Daher sollte zu diesen Maschinen die Lernsoftware bei der Vorbereitung besonders intensiv eingesetzt werden.

Ist der Lerngegenstand wie bei den Technologiepraktika ein Prozess, der aus verschiedenen Teilschritten besteht, sollte jeder einzelne Schritt auch in die Lernsoftware aufgenommen werden. Da sich in der Regel nicht alle Schritte für aufwendige Lernprogramme eignen, und die Entwicklungszeit oft sehr hoch ist, können nach Abwägen der Lehrenden statt Simulationen beispielsweise Animationen, Videos oder textliche Erläuterungen als Lernprogramme verwendet werden. Dabei sollten zum einen die Lernenden eine Übersicht zum Prozess als Orientierung erhalten und zum anderen der Ablauf der Lerneinheiten in der Prozessreihenfolge stattfinden, weil dadurch das Verständnis für die gesamte Prozessabfolge erhöht wird, wie sich in den Praktika gezeigt hat. Dazu ist wichtig, dass die einzelnen Programme untereinander verknüpft sind, da so die Übergabe und Einflussnahme von Parametern wie in der Realität maschinenübergreifend demonstriert werden kann. Zudem ist zu überlegen, ob nach Abschluss des realen Praktikums nochmals virtuell trainiert wird, um verschiedene Prozessvariationen durchspielen zu können. Dieses ist bei Verkettung der Einzelprozesse sinnvoll, und wenn die Simulationen genügend umfangreiche Bedienmöglichkeiten aufweisen. Weiterhin sollten die Programme über eine eigene Lernumgebung zugänglich sein, die nicht unbedingt per Internet verfügbar sein muss, sondern genauso gut über CD-ROM eingesetzt werden kann.

Vorbereitungskurse dieser Art sollten grundsätzlich betreut werden, damit die Teilnehmer nicht demotiviert werden, sondern ein hoher Lernerfolg erreicht wird. Denn das Arbeiten mit so komplizierter Software wirft auch viele Rückfragen bei den Lernenden auf. Für die Technologiepraktika haben sich dabei wöchentliche Einzelveranstaltungen oder mehrtägige Blockkurse mit mindestens eintägigen Pausen zwischen den Tagesblöcken bewährt. Die Wirksamkeit von Schulungen, bei denen sich die Teilnehmer selbständig vorbereiten und nur am Ende der Vorbereitung einen betreuten Termin für Fragen nutzen können, muss im Einzelfall getestet werden. Das Gleiche gilt für Internetschulungen, bei denen die Lernenden über Tutoren begleitet werden. Wie gut die Studierenden die einzelnen Schritte zur Lösung der Aufgabe verstehen und umsetzen, ist unter anderem vom didaktischen Geschick der Betreuer abhängig sowie gruppen- und typspezifisch. Unterschiedliche Fähigkeiten und Leistungen der Lernenden sowie die Vorstellungen und Wünsche der Lehrenden spielen eine entscheidende Rolle. Auf jeden Fall hat sich Partnerarbeit innerhalb einer Gruppe bewährt, da sich jeder einzelne mit seinem Partner bei der Lösung der Aufgaben beraten kann. Gleichzeitig können bei Unsicherheiten Fragen gemeinsam mit den anderen Gruppenmitgliedern diskutiert werden. Ein weiterer Vorteil der betreuten Schulungen ist, dass bereits in der Einführung wichtige Aspekte der Software angesprochen, auf bestimmte Schwierigkeiten in der Realität hingewiesen sowie Aufgabenstellungen erklärt oder Teilaufgaben gemeinsam gelöst werden können.

Beim Training an sich benötigen die Lernenden kompetente Ansprechpartner in Bezug auf Hintergrundwissen, beispielsweise zu Prozessen oder zur Bedienung der Software. Beide Bereiche müssen gleichzeitig abgedeckt werden, wie es in Aachen häufig praktiziert wird. Gegebenenfalls muss dieses durch zwei Betreuer mit unterschiedlichen Schwerpunkten realisiert werden. Um die Lernenden am ersten Termin nicht zu überfordern und ihnen einen relativ einfachen Einstieg in das virtuelle Labor zu ermöglichen, sollte ein leicht verständliches Beispiel mit einer eher simplen Simulation gewählt werden. Dieses hat sich bei den Technologiepraktika mit dem im Vergleich zu anderen Simulationen einfachen Hochtemperaturofen bewährt, zumal die Lernenden mehr Zeit beim Üben mit der ersten Lerneinheit benötigen.

Bei der Festlegung der Praktikumszeit ist weiterhin zu beachten, dass einzelne Lernmodule aus mehreren Programmen bestehen können, so dass die Lernzeit addiert und daher flexibel innerhalb eines veranschlagten Zeitraumes gehalten werden sollte. Weiterhin ist zu beachten, dass sich bei verknüpften Prozessen innerhalb einer Lerneinheit oder sogar lerneinheitenübergreifend der zeitliche Umfang ändert. Bei Durchführung eines verknüpften Prozesses brauchen die Lernenden in der Regel mehr Zeit, da sie mehrere Programme hintereinander abarbeiten müssen. Dafür kann beim Übergang zur nächsten Lerneinheit, die einen ähnlichen Sachverhalt behandelt, Zeit gespart werden, da die Lernenden ihre Erfahrungen aus der ersten Anwendung direkt auf die nächste übertragen können.

Ein wesentliches Ziel der Vorbereitung und der Lernsoftware ist, dass die Lernenden aufgrund ihrer Erfahrungen möglichst eigenständig und sicher die gestellten Aufgaben im realen Teil des Praktikums lösen und darüber hinaus sich intensiver mit weiteren Fragestellungen befassen. Dieses Lernziel wurde in den Technologiepraktika erreicht. Einen vollständig sicheren Umgang durch das virtuelle Training zu vermitteln, ist unwahrscheinlich. Zwar kann die Bedienung einer Maschine prinzipiell im virtuellen Labor geübt werden, aber wirkliche Sicherheit wird erst durch konsequentes echtes praktisches Training erreicht, also durch ständig wiederholtes Arbeiten an den realen Anlagen. Der Grad der Eigenständigkeit und des Verstehens hängt wiederum vom Entwicklungsstand der Lernsoftware und vom gewählten oder vorgegebenen Lernweg ab. Geführte Programme, bei denen der Lernweg weitestgehend vorgegeben ist, wie beispielsweise bei der Simulation „Mask Aligner“, können das Sicherheitsempfinden der Teilnehmer einschränken, weil die Realität wesentlich komplizierter ist, wie es bei den Technologiepraktika beobachtet wurde. Sie können aber auch zu einem größeren Zutrauen beitragen, weil ein Sachverhalt in seiner Vollständigkeit prinzipiell klar ist. Insgesamt haben bei den Technologiepraktika die virtuellen Maschinen nachhaltig einen höheren Lernerfolg erzielt, bei denen sich die Lernenden stärker mit den Programmen auseinander setzen und sich die einzelnen Schritte stärker erarbeiten mussten. Wie eigenständig ein Studierender mit einer realen Maschine nach der virtuellen Vorbereitung arbeitet, ist neben der Schulung auch wieder von der Gruppe, in die er integriert ist, und vom Charakter oder Wesen eines Einzelnen abhängig und damit gruppen- und typspezifisch. Ein weiterer Aspekt ist, dass, wie in den Technologieprak-

tika, mit einigen Maschinen mehrfach gearbeitet werden muss, so dass anfängliche Schwierigkeiten nicht mehr auftauchen, weil eben eine größere Festigung des Lehrstoffes vorliegt.

Um die gewonnenen Kenntnisse aus der Vorbereitung für die Lernenden präsenter zu halten und nachhaltiges Lernen weiter zu unterstützen, ist das Anfertigen von Praktikumsberichten über beide Teile der Technologiepraktika empfehlenswert. Diese sollten interpretierte Prozessergebnisse und Beschreibungen zur eigenen Vorgehensweise der Lernenden als Selbstkontrolle enthalten. So können die Teilnehmer auf ein gut dokumentiertes Praktikum mit einem vorzeigbaren Ergebnis „Drucksensor“ zurückgreifen. Um weiterhin die Kenntnisse tatsächlich vorzuhalten, sollten beim Blended-Learning die computergestützten und praktischen Lernphasen zeitlich möglichst nah beieinander liegen. Bei den Technologiepraktika waren Abstände von bis zu maximal zwei Wochen seitens der Lernenden noch gut verkraftbar.

Um das Arbeiten an realen Geräten zu fördern und zu erleichtern, sollten einseitige Arbeitsblätter entwickelt werden, auf denen die einzelnen Handlungsschritte aufgeführt sind oder auf denen Kurzanleitungen zu Maschinen und Prozessen stehen. Diese geben eine nähere Erläuterung zur Vorgehensweise, zu eingesetzten Chemikalien oder zum Aufbau der Anlagen, so dass nicht nur Informationen direkt greifbar sind, sondern das Arbeiten an den Maschinen vereinheitlicht wird. Solche Arbeitsblätter stellen im Nachhinein für die Teilnehmer eine gute Ergänzung zu den Praktikumsunterlagen dar, womit nachhaltiges Lernen begünstigt wird. Zusammen mit den Prozessbeschreibungen und den einseitigen Anweisungen zur Vorgehensweise liegen damit wirklich kompakte Anleitungen an den einzelnen Geräten vor, mit denen auch weniger geübte Teilnehmer gut arbeiten können. Weiterhin sind Übersichten zur Anordnung von Bedienelementen, wenn diese sehr unübersichtlich oder schwer zu finden sind, empfehlenswert sowie das Bereitlegen der originalen Herstellerhandbücher.

Die Betreuer realer Praktika sollten über die Lernsoftware und die Vorkenntnisse der Lernenden informiert sein. Nur dann können sie zurückhaltend agieren und den Teilnehmern mehr Zeit zum selbständigen Lösen der Aufgaben und darüber hinaus zum Experimentieren geben. Bei Vermittlung eines gesamten Prozesses sollten vorgefertigte Proben für einen unterschiedlichen Prozesseinstieg und für Probenverluste aufgrund fehlerhafter Anwendung benutzt werden. Technische Funktionsprobleme bei den Praktika geben den realen Sachverhalt in der Praxis wieder und motivieren die Lernenden zusätzlich, wenn dadurch die Geräte oder Prozesse besser verstanden werden können. Daher sollten Teilnehmer beim Lösen der Funktionsprobleme, sofern möglich, einbezogen werden.

Für die Praktikumszeit hat sich eine Woche zum Durchführen eines exemplarischen und vollständigen Herstellungsverfahren als geeignet herauskristallisiert. Dabei sollten die einzelnen Tage zeitlich so bemessen sein, dass die Teilnehmer durch den Umfang des Lernstoffs und der Aufgaben nicht überfordert werden, da sonst die Konzentration und die Aufnahmefähigkeit zu sehr nachlassen.

Die Assistenten der Technologiepraktika bestätigten, dass die Kombination aus virtueller Vorbereitung und realen Reinraumpraktika sehr sachdienlich ist, um Laborpraktika gerade auch in Hochtechnologien wie der Mikrosystemtechnik zu fördern und zu verbessern. Damit geht das Konzept der Technologiepraktika auf und kann mit den gewonnenen Erkenntnissen auf ähnliche Lehrangebote übertragen werden.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Mikrosystemtechnik ist mit ihren vielen Anwendungsgebieten beispielsweise im Maschinen- und Anlagenbau, der Daten- und Kommunikationstechnik, der Automobil-Medizin- oder Energietechnik eine wichtige Zukunftstechnologie. Marktstudien und Umfragen sagen ein hohes Wachstum von MST-Produkten in diesen Branchen vorher, die mit einem steigenden Angebot sowie einer hohen Nachfrage an qualifizierten Arbeitsplätzen gekoppelt ist. Um den Anforderungen der Wirtschaft gerecht zu werden, müssen fachgerechte Ausbildungswege beschritten werden, die technisches und theoretisches Know-how vermitteln. Für die Ausbildung von Ingenieuren an Hochschulen bedeutet dieses, dass nicht nur Vorlesungen mit Übungen angeboten, sondern auch sehr praxisorientierte Laborkurse durchgeführt werden. Der Aufbau solcher Praktika findet aufgrund der Komplexität der Technologie und den damit verbundenen hohen finanziellen Aufwendungen selten, aber dennoch zunehmend statt.

Um gerade die anwendungsbezogene Lehre zu verbessern, wurden nach dem Blended-Learning-Konzept Technologiepraktika entwickelt, die aus der Kombination eines virtuellen Labors zur Vorbereitung und eines Hands-on-Praktikums in einem echten Reinraum bestehen. Lernende, die über dieses virtuelle Labor theoretisch und praktisch trainiert werden, können reale Laborpraktika – wo sie selbständig ein Bauteil, den Drucksensor, innerhalb eines relativ einfachen, exemplarischen, aber dennoch vollständigen Herstellungsprozesses fertigen – wesentlich intensiver und effektiver absolvieren. Die Teilnehmer zeichnen sich durch hohe Eigenständigkeit, umsichtigeres Agieren im Labor sowie tiefergehende Kenntnisse zu einzelnen Verfahren aus. Auf diese Weise werden praktische Erfahrungen und der Lernerfolg gesteigert. Insgesamt findet so eine signifikante Zunahme der Ausbildungsqualität in der Hochtechnologie Mikrosystemtechnik statt. Dabei sind die Schulungsunterlagen so konzipiert, dass die Hochschulform keine Rolle spielt, jedoch mikrotechnische Vorkenntnisse voraus gesetzt werden. Entwicklung und Ausbau der MST-Technologiepraktika erfolgte mittels Ressourcensharing in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, die einen Reinraum speziell für die Lehre aufweist, und der Universität des Saarlandes. Allerdings ist der Aufbau der Kurse und der Lernsoftware nach über vierjähriger Entwicklungsarbeit mit mehr als sieben Personenjahren wissenschaftlicher Mitarbeiter alleine für das virtuelle Labor nicht abgeschlossen. Es wurde ein nahezu vollständiger virtueller Reinraum auch für vergleichbare Herstellungsprozesse, z. B. Beschleunigungssensoren, geschaffen. Neue Computersimulationen beispielsweise zur Wafersäge oder Animationen zur Theorie werden erstellt (vgl. Anhang I), bestehende Maschinenprogramme verbessert sowie Reinraumpraktika optimiert, und vor allem wird die Kooperation mit Firmen, die ihre Beschäftigten betrieblich weiterbilden möchten, und mit anderen Bildungsträgern gesucht.

Glossar

Ätztechniken: nasschemische (z. B. KOH, HF) oder Trocken- (z. B. Plasma, Ionenstrahl) Ätzverfahren

Aktor (lat. agere=in Bewegung setzen): häufig elektrisch angesteuertes Stellglied, das meistens eine mechanische Bewegung ausführt

Animation: Folge von einzeln erzeugten Bildern

Anodischer Bonder (engl. Bonder=Kontaktiergerät): Maschine zum Verbinden von Wafern (meistens Silizium, negativer Pol) und Glaswafern (Pyrex)

AVI-Format: Abk. für Audio Video Interleave für Windows, spezielles Video-Format

Batch fabrication (engl.=Serienproduktion): Paralleles bzw. gleichzeitiges Fertigen von beispielsweise Chips auf einem Wafer

Belacker: s. Spin Coater

Blended-Learning-Konzept (engl.=gemischtes Lernen): Lernen durch Mischen bzw. Verbinden verschiedener Lernstrategien (z. B. computergestützte und Präsenzangebote)

Bubbler (engl.=Waschflasche, Gasspüler): mit Flüssigkeit gefülltes Kolbengefäß, in das Gas eingeleitet wird (z. B. Sauerstoff in deionisiertes Wasser)

Deal-Grove-Modell: physikalisches Modell zur Beschreibung der Oxidation von Silizium

Die (engl.=Halbleiterplättchen): einzelnes Halbleiterbauteil (z. B. ein Drucksensor)

Die-Bonder (engl.=Chip-Bonder): Maschine zum Aufkleben von Drucksensor-Dies auf Keramikträger

Dippen (engl. dip=tauchen): kurzes Eintauchen der Proben in chemische Lösungen zum Entfernen natürlich gebildeter Schichten (z.B. natives Siliziumdioxid mit HF-Lösung)

Drahtbonder: Maschine zum Kontaktieren einzelner Drucksensor-Dies mit einem Keramikträger mittels eines keilförmigen Bondwerkzeugs

Dünnschichttechnologie: physikalische (z. B. Aufdampfen, Sputtern) und chemische (z.B. Oxidation, Dotierung) Beschichtungsverfahren

Ellipsometer (griech. ellipse=geometr. ebene Kurve, metreo=messen): Messgerät zum Bestimmen von optischen Parametern und Schichtdicken

Entsendehochschule: Hochschulen, die Studierende zum Reinraumpraktikum schicken

Entwickler- und Reinigungsbank: Arbeitstisch in der Nasschemie mit unterschiedlichen Funktionen

Evaluation (engl. =Auswertung, Bewertung): Überprüfung und Anwendung auf ein Untersuchungsobjekt sowie dessen Begleitung (Formative Evaluation); Bewertung eines bestehenden Produktes (Summative Evaluation)

Feuchte Oxidation: s. Oxidation

Film Thickness Probe (engl. film thickness=Schichtdicke, probe=prüfen): Messgerät zur Bestimmung von Schichtdicken

Fotoresist: s. Photoresist

Fresnel'sche Gleichung: physikalische Beschreibung der Brechung, Reflexion und Transmission von elektromagnetischen Wellen an einer Grenzfläche zwischen zwei verschiedenen Medien auf der Basis der Max'wellschen Gleichungen

General Systems Designs (GSD): auch Instructional System Design, wissenschaftliche Methode zum Entwickeln von Lernsoftware und Multimedia-Angeboten

Hands-on-Training/ -Kurs (engl.=Praktikum): praktisch ausgerichtete Laborkurse

Hauptprozess: Prozesse, die mit mehreren Maschinen durchgeführt werden und einen Hauptschritt einer Fertigungskette darstellen (z. B. Maskenprozesse = Hauptprozesse mit den Anlagen „Spin Coater", „Trockenofen", „Mask Aligner", „Entwicklerbank")

HF-Ätzbank: Arbeitstisch in der Nasschemie mit unterschiedlichen Funktionen zum Ätzen mit Flusssäure

Hochtemperaturofen: Maschine zum chemischen Erzeugen von Schichten mit verschiedenen Gasen in unterschiedlichen Temperaturbereichen

Hot Plate (engl.=Kochplatte): Heizplatte

Inhalte: Didaktischer Begriff für sämtliche Dokumente und Programme in elektronischer und gedruckter Version, mit denen ein Lernender arbeiten und sich vorbereiten kann (Text, Bilder, Videos, interaktive Animationen usw.)

Interferenz (lat. inter=zwischen, ferire=treffen): Resultat physikalischer Überlagerung von Wellen

Kavität (engl.=Vertiefung, Hohlraum): technisch andere Bezeichnung für Membran

KOH-Ätzbank: Arbeitstisch in der Nasschemie mit unterschiedlichen Funktionen zum Ätzen mit Kalilauge

Kontaktpads (engl. pad=Platte): Kontaktstelle zum Verbinden elektronischer Bauteile

Laser: Gerät zum Beschriften (z. B. Wafer typisieren)

Lernender: allg. Begriff, auch Anwender, Praktikant, Teilnehmer (gemeint sind weibliche und männliche Lernende)

Lerneinheit: Bezeichnung für ein Thema eines Praktikumstermins einschließlich der zugehörigen virtuellen Maschinen und Unterlagen

Lernmodul: allg. Begriff, auch Lerneinheit

Lichtmikroskop: Gerät zum Betrachten von Strukturen (z. B. Kontaktlöcher oder Widerstände auf einem Wafer)

Lithografie: (griech. lithos=Stein, grapho=schreiben, Steindruck/ Flachdruck): mikrosystemtechnisch auch Photolithografie; Verfahren zum Übertragen von Strukturinformationen (Masken) auf einen Photoresist (Lack)

Maschineneinstellungen: Bezeichnung für eine spezielle Oberfläche an den virtuellen Maschinen, in der manuelle Handlungen der realen Anlagen visualisiert sind

Maschinenoberfläche: unterschiedliche Oberflächen oder Fenster eines Prozessrechners

Mask Aligner (engl. align=ausrichten): Maschine der Lithografie zum Übertragen von Maskenstrukturen auf fotoempfindliche Lacke und damit auf Wafer

Maske: festgelegte Struktur auf einer Vorlage für die Photolithografie

Maskenlayout (engl.=Entwurf, Muster): Entwurf einer Mikrostruktur über einzelne Strukturebenen (Masken), nach denen die Fertigung erfolgt

Membran (lat.=Häutchen): Bezeichnung für sehr dünne, meistens biegsame Siliziumschichten (exempl. Drucksensor: D=30-50µm)

Mikrometerschraube: Messgerät im µm-Messbereich (z. B. Dicke eines Wafers)

Nasschemisches Reinigungsbecken: Arbeitstisch in der Nasschemie mit unterschiedlichen Funktionen

Navigationsleiste: immer sichtbare Bedienleiste an einer virtuellen Maschine

Ofenkennlinie: physikalische Beschreibung der Aufheizung und Abkühlung eines Ofenrohres

Oxidation: chemisches Beschichtungsverfahren ohne (trockene) oder mit (feuchte) Wasserdampf

Parameteranalysator: Zusammen mit Waferprober 4-Spitzenmessgerät zum Bestimmen kleinster Widerstandsänderungen, Auswerte- und Software-Komponente

Photoresist (engl.=Photolack): lichtempfindlicher Positiv- oder Negativ-Lack (Belichtung mittels UV-Licht, Röntgenstrahlung, Elektronen oder Ionen)

Pick & Place (engl.=Aufnahme- und Ablegegerät): s. Die-Bonder

Piezoresistiv (griech. piezo=drücken): Änderung des spezifischen Widerstandes durch eine Druckkraft

Piktogramm (lat. pingere=malen, griech. grapho=schreiben): Bildsymbol mit vereinfachter grafischer Darstellung für z. B. Befehlsknöpfe einer PC-Oberfläche

Polarisation (griech.-lat.=entgegen wirken): Erzeugen einer festen Schwingungsrichtung des sonst unregelmäßig schwingenden natürlichen Lichtes

Praktikum: allg. Begriff, auch (MST-)Technologiepraktikum, reales und virtuelles Laborpraktikum

Pretest (engl.=Vorversuch): Methode zum Überprüfen und Testlauf von z. B. Fragebögen

Profiling (engl.=Profilbestimmung): Temperaturgefälle bzw. Differenzen zwischen Soll- und Ist-Temperaturen, die zur exakten Temperatursteuerung z. B. im Ofenrohr genutzt werden

Prozesskette: vollständiges Herstellungsverfahren bzw. kompletter Fertigungsprozess vom Ausgangs- bis zum Endprodukt (z.B. Drucksensor)

PVD-Verfahren (engl. physical vapor deposition=physikalische Vakuumbedampfung): Physikalisches Verfahren zur Beschichtung

Pyrexwafer (engl. Pyrex=Glas): reiner Glaswafer mit z. B. D=700 µm

Reales Labor: auch reales Praktikum, Reinraumpraktikum, Reinraumlabor

Referenzwafer: Wafer zum Kalibrieren von Messgeräten (z. B. FTP 500)

Reflektivität (lat.=sich zurückbeugen): Rückstrahlungsvermögen eines Materials beim Auftreffen von Wellen

Reinraum (RR): Labor mit speziellen klimatischen Anforderungen (z. B. Partikel, Temperatur, Luftfeuchtigkeit)

Reinraum-Klasse (RR-Klasse): Einteilung abgeschlossener Laborräume nach US Federal Standard 209b in RR-Klassen 1, 10 bis max. 100.000 (Bezugsgröße: Anzahl an Partikeln mit einer Größe von 0,5 µm pro Kubikfuß Umluft, 1 ft^3 = 28,3 dm^3)

Rinser Dryer (engl. Rinser=Spülapparat, Dryer=Trockner): kombinierte Spül- und Trockenmaschine

Schulung: allg. Begriff, auch Schulungsblock, Praktikumstermin, Vorbereitungskurs

Sensor (lat. sensus=Wahrnehmung, engl.=Messfühler): System, das eine physikalische oder chemische Größe und deren Änderung in elektronische Signale umwandelt

Simulation: Nachbilden eines Prozesses oder eines Objektes mit Hilfe eines Modells

Spin-on-Dopant (engl. spin on=aufschleudern, dopant=Dotierstoff): Chemische Substanz mit Dotierstoffen, die über einen Belacker (Spin Coater) aufgebracht werden

Spin Coater (engl.=Schleuderbeschichter): Maschine zum Auftragen von Lacken und Dotiermitteln

Sputter Coater (engl.=Zerstäubungsbeschichter): Maschine zum Ätzen und Beschichten von Wafern

Strippen (engl.=auseinander nehmen): Entfernen von Ablagerungen der Oberfläche durch chemische Lösungen (z. B. Lackreste mit Aceton)

Teilprozess: Prozesse, die sich in der Regel nur auf die Anwendung einer Maschine beziehen und damit einen Teilschritt eines Fertigungsprozesses darstellen (z.B. Teilprozess anodisches Bonden mit der Anlage Anodischer Bonder)

Template (engl.=Schablone): Vorlage für Autoren mit vorgegebenem Layout für das Erstellen von Inhalten (z. B. Texte, Animationen)

Tooltipp (engl. tool=Werkzeug): Einblenden der mit dem Mauszeiger aktivierten textlichen Erläuterung

Trockene Oxidation: s. Oxidation

Trockenöfen: Vakuum- oder Umluftöfen zum Trocknen (z. B. Photoresist)

Virtuelles Labor: auch virtuelles Praktikum, (virtuelle) Schulung, Vorbereitung

Wafer (engl.=sehr dünne Scheibe): n- oder p-dotierte Siliziumscheibe (Ø 2“, 3“, 4’’, 6’’, 8’’, 12’’, je nach Bedarf)

Waferbox: an der realen Maschine das Transportmedium für eine beliebige Anzahl von Wafern, an der virtuellen Maschine eine Oberfläche zur Auswahl eines zu prozessierenden Wafers

Waferprober (engl.=Messgerätaufnehmer): Zusammen mit Parameteranalysator 4-Spitzenmessgerät zum Bestimmen kleinster Widerstandsänderungen, Hardware-Komponente

Wafersäge: Maschine zum Vereinzeln der Drucksensor-Dies

Werkzeugbox: an der virtuellen Maschine eine Oberfläche zur Auswahl der an einer Maschine benötigten Werkzeuge

Wedge-Wedge-Bonder (engl. wedge=Keil, bond=kontaktieren): s. Drahtbonder

Literatur

Agilent (2005): Agilent Technologies, Herrenberger Straße 130, D-71034 Böblingen, s. a. http://www.home.agilent.com

AMG (2005): Affiliated Managers Group, Inc., 600 Hale Street, Prides Crossing, MA 01965, s. a. http://www.amg.com

Arias (2005): arias GmbH, Am Winkelstück 12, D-58239 Schwerte (Ruhr); s. a. http://www.arias.de

BMBF (2002): Zukunftstechnologien brauchen Fachkräfte – Aus- und Weiterbildungsnetzwerke in der Mikrosystemtechnik sind gestartet. BMBF Aktuelle Pressemitteilung Nr. 178/02. Berlin

BMBF (2004, Hrsg.): Mikrosysteme – Rahmenprogramm zur Förderung 2004 – 2009. Druckschrift zur Bekanntgabe des neuen Förderprogramms. Zu beziehen bei BMBF Referat Öffentlichkeitsarbeit. Bonn

Bloom, B. S. (Hrsg.), Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., Krathwohl, D. R. (1972): Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich. Beltz Verlag. Weinheim u.a.

Botthof, A., Claußen, W., Schütze, A., Sturm, H. (1998): Innovation durch Mikrointegration – Intelligente Produkte über Systemintegration von Mikro-, Bio- und Nanotechniken. Publikation der VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH (VDI/VDE-IT). Teltow

Botthof (2000): Ausbildungslandschaft MST Stand 2000. Schriftliche Mitteilung von A. Botthof. VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Rheinstr. 10b, D-14513 Teltow/Berlin, s. a. http://www.vdivde-it.de

Brill, M & Picard, A. (2001): Virtuelles Technologiepraktikum Mikrofertigung. In: Rundschau der Fachhochschule Kaiserslautern. Ausgabe Juli. Kaiserslautern

Bruchmüller, H.-G. & Haug, A (2001): Labordidaktik für Hochschulen – Eine Einführung zum praxisorientierten Projekt-Labor. In: Schriftenreihe report. Band 40. Leuchtturm Verlag. Alsbach

Converse, J. M., Presser, S. (1986): Survey Questions – Handcrafting the Standardized Questionnaire. Sage Verlag. Beverly Hills

Corte, E. de (1974): Analyse der Lernzielproblematik. In: Boeckmann, K. (Hrsg.) Lernziele und Erfolgskontrolle. Klinkhardt Verlag. Bad Heilbronn/ Obb.

Deutsche Gesellschaft für Evaluation (2002, Hrsg.): Standards für Evaluation. Zu beziehen bei DeGEval Geschäftsstelle. Köln

Disco (2005): Disco HI-TEC Europe GmbH, Liebigstrasse 8, D-85551 Kirchheim, s. a. http://www.disco.co.jp

Dr. Tresky (2005): Dr.TRESKY AG, Böhnirainstr. 13, CH-88OO Thalwil, s. a. http://www.tresky.com

Elbel, T. (1996): Mikrosensorik. Vieweg Verlag. Braunschweig u. a.

Fischer, W.-J. (2000, Hrsg.): Mikrosystemtechnik. Vogel Verlag. Würzburg

Fiebig, H. (2003a): Auswertung Fragebogen 1. Interner Bericht der HDSB im Projekt INGMEDIA. Fachhochschule Aachen

Fiebig, H. (2003b): Auswertung Fragebogen 2. Interner Bericht der HDSB im Projekt INGMEDIA. Fachhochschule Aachen

Fricke Reiner (1997): Evaluation von Multimedia. In: Issing, L. J. & Klimsa, P. (Hrsg.) Information und Lernen mit Multimedia. Beltz Psychologie-Verlags-Union. Weinheim

Gerlach, G. & Dötzel, W. (1997, Hrsg.): Grundlagen der Mikrosystemtechnik. Hanser Verlag. München u.a.

Graß, Ch. (2004): Virtuelle Prozesskette Foto-Lithografie – Design und Implementierung mit Macromedia Director. Diplomarbeit 2004. Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken

Grühn, D., Pfirrmann, O., Eschenbach, R. (2002): Berufsverbleib und Qualifikationsverwendung von Universitäts- und Fachhochschulabsolventen der Mikrosystemtechnik. Studie im Auftrag des BMBF und VDI/VDE-IT. Zu beziehen bei VDI/VDE-IT oder Career Service der FU Berlin

Haack (1997): Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia. In: Issing, L. J. & Klimsa, P. (Hrsg.) Information und Lernen mit Multimedia. Beltz Psychologie-Verlags-Union. Weinheim

Haas (2005): LT Laser Tools GmbH, Schaidlerstrasse 19, D-81379 München, s. a. http://www.haaslti.com

Heger, M. (2003): Zwischenbilanz der formativen Evaluation zum Virtuellen Technologie-Praktikum „Sensor-Fertigung“. Interner Bericht der HDSB im Projekt INGMEDIA. Fachhochschule Aachen

Heger, M. & Kock, W. (2004): INGMEDIA/ blended learning im Laborpraktikum – ein hochschuldidaktisches Projekt. In: Brinker, T. & Rössler, U. Hochschuldidaktik an Fachhochschulen. Neue Ansätze in der Lehre aus den Fachhochschulen des Landes Nordrhein-Westfalen. Reihe Blickpunkt Hochschuldidaktik. Band 113. Bertelsmann Verlag. Bielefeld

Heraeus (2005): Heraeus Holding GmbH, Heraeusstraße 12-14, D-63450 Hanau, s. a. http://www.heraeus.de

Hesse, F. W., Garsoffky, B., Hron, A. (1997): Interface-Design für computerunterstütztes kooperatives Lernen. In: Issing, L. J. & Klimsa, P. (Hrsg.) Information und Lernen mit Multimedia. Beltz Psychologie-Verlags-Union. Weinheim

Hilleringmann, U. (1996): Silizium-Halbleitertechnologie. Teubner Verlag. Stuttgart

Inotherm (2005): INOTHERM Industriewärmegeräte GmbH, Feldkirchener Str. 22, D-85622 Weißenfeld, s. a. http://www.inotherm.de

Issing, L. J. (1997): Instruktionsdesign für Multimedia. In: Issing, L. J. & Klimsa, P. (Hrsg.) Information und Lernen mit Multimedia. Beltz Psychologie-Verlags-Union. Weinheim

Jobin Yvon Hiroba (2005): HORIBA Jobin Yvon GmbH, Chiemgaustr. 148, D-81549 München, s. a. http://www.jobinyvon.de

Kämper, K.-P. (2001): Mikrotechnik 1. Vorlesung zum Wahlfach Mikrotechnik I. Sommersemester 2001. Fachhochschule Aachen

Kämper, K.-P., Picard, A., Brill, M.,Cassel, D., Jentsch, A., Merten, S., Rollwa, M. (2003): Education and Training in MST/ A Virtual Clean Room – a new tool in teaching MST process technologies. In: mstnews Magazine. Ausgabe 5/03. VDI/ VDE-IT. Berlin

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

Kämper, K.-P. (2005): Interne Mitteilung, Fachhochschule Aachen

Kerres, M. (2001): Multimediale und telemediale Lernumgebungen – Konzeption und Entwicklung. Oldenbourg Verlag. München u.a.

Kerres, M. (1999): Didaktische Konzeption multimedialer und telemedialer Lernumgebungen. In: Heilmann, H., Hildebrand, K., Katsch, R. M., Meier, A., Meinhardt, S., Mörike, M., Sauerburger, H. (Hrsg.) HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik – Multimediale Bildungssysteme. Heft 205. Hüthig Verlag. Heidelberg

Kohler, B. (2001): Problemorientiert lehren und lernen – Konstruktivistische Ansätze des Lehrens und Lernens. In: Schwetz, H., Zeyringer, M., Reiter, A. (Hrsg.) Konstruktives Lernen mit neuen Medien – Beiträge zu einer kontruktivistischen Mediendidaktik. Studien-Verlag. Innsbruck u.a.

Kolbe, P. S. G. (2002): Herstellung und Charakterisierung eines Siliziumdrucksensors. Diplomarbeit 2002. Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken

Krathwohl, D. R., Bloom, B. S., Masia, B. B. (1975): Taxonomie von Lernzielen im affektiven Bereich. Beltz Verlag. Weinheim u.a.

Leica (2005): Leica Microsystems AG, Ernst-Leitz-Strasse 17-37, D-35578 Wetzlar, s. a. http://www.leica-microsystems.com

Macromedia (2004): Macromedia GmbH-Akademie für Medien, Gollierstraße 4, D-80339 Münschen, s. a. http://www.macromedia.de

Madou, M. (1997): Fundamentals of Microfabrication. CRC Press LLC, Boca Raton/Fla. u.a.

Maluf, N. (2000): An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering. Artech House Inc. Boston u.a.

Martens, J. U. (1984): Pädagogisch farbenblind? – Vermittlung affektiver Lernziele. Windmühle Verlag. Essen

Menz, W. & Mohr, J. (1997): Mikrosystemtechnik für Ingenieure. VCH Verlag. Weinheim u.a.

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

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

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

Merten, S., Kämper, K.-P., Brill, M., Picard, A. (2005): Praxisorientierte Ingenieurausbildung durch multimedial unterstützte Laborkurse. In: Lehmann, B & Bloh, E. (Hrsg.) Online-Pädagogik/ Referenzmodelle und Praxisbeispiele. Band 3. Schneider Verlag. Baltmannsweiler

Mescheder, U. (2000): Mikrosystemtechnik – Konzepte und Anwendungen. Teubner Verlag. Stuttgart u.a.

Michelsen, U.A. (1989): Exemplarizität als Lehren von Strukturen. In: Sommer, K.-H. (Hrsg.) Stuttgarter Beiträge zur Berufs- und Wirtschaftspädagogik. IBW der Universität Stuttgart. Band 11. Stuttgart

Michelsen, U.A. (1991): Überlegungen zur didaktischen Gestaltung von Weiterbildungsmaßnahmen - eine Problemskizze. In: Giger, H. von (Hrsg.) Bildungspolitik im Umbruch. Staatsmonopol in der Weiterbildung?. Verlag Neue Züricher Zeitung. Zürich

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

Mitutoyo (2005): Mitutoyo Messgeräte GmbH, Borsigstr. 8-10, D-41469 Neuss, s. a. http://www.mitutoyo.de

National Instruments (2004): National Instruments Germany, Konrad-Celsius-Straße 79, D-81369 München, s. a. http://www.ni.com

Olympus (2005): Olympus Deutschland GmbH, Wendenstr. 14-18, D-20097 Hamburg; s. a. http://www.olympus.de

Picard, A. (2003): Hochtechnologie Mikrosystemtechnik – Möglichkeiten einer exzellenten und kostengünstigen Hochschulausbildung. Vortrag zum 8. Fuldaer Elektrotechnik-Kolloquium. Fulda

Picard, A. (2004): Interne Mitteilung. Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken

Picard, A., Brill, M., Kämper, K.-P., Merten, S. (2004): A virtuell Clean Room – a new tool in teaching MST process technologies. Begleitband zum 5th Symposium on Microsystems in Practice Contributions. Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken

Plummer, J. D., Deal, M. D., Griffin, P.B. (2000): Silicon VLSI Technology – Fundamentals, Practice and Modeling. Prentice Hall Inc. Upper Saddle River/ N. J.

Porst, R. (2000): Question Wording – Zur Formulierung von Fragebogen-Fragen. ZUMA How-to-Reihe Nr. 2. ZUMA Verlag. Mannheim

Porst, R. (1998): Im Vorfeld der Befragung – Planung, Fragebogenentwicklung, Pretesting. ZUMA-Arbeitsbericht 98/02. ZUMA Verlag. Mannheim

Rietsch, P. (1997): Multimedia-Anwendungen. Ueberreuter Verlag. Wien u.a.

Schelten, A. (1987): Grundlagen der Arbeitspädagogik. Steiner-Verlag Wiesbaden. Stuttgart

Schmitt, P. A. (2002, Hrsg.): Langenscheidts Fachwörterbuch Technik und angewandte Wissenschaften. Langenscheidt Verlag. Berlin u.a.

Schnell, R., Hill, P. B., Esser, E. (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung. Oldenbourg Verlag. München u. a.

Schulmeister, R. (2002): Grundlagen hypermedialer Lernsysteme/ Theorie-Didaktik-Design. Oldenbourg Verlag. München u.a.

Schütze, A. (2005): Interne Mitteilung. Universität des Saarlandes

Sentech (2005): SENTECH Gesellschaft für Sensortechnik GmbH, Bahnstraße 3, D-82131 Stockdorf, s. a. http://www.sentech.com

Senvac (2005): SenVac Film Thickness Technologies GmbH, Theodor Heuss Straße 31–33, D - 61118 Bad Vilbel, s. a. http://www.senvac.com

Strzebkowski, R (1997): Realisierung von Interaktivität und multimedialen Präsentationstechniken. In: Issing, L. J. & Klimsa, P. (Hrsg.) Information und Lernen mit Multimedia. Beltz Psychologie-Verlags-Union. Weinheim

Stufflebeam, D. L. (1972): Evaluation als Entscheidungshilfe. In: Wulf, C. (Hrsg.) Evaluation – Beschreibung und Bewertung von Unterricht, Curricula und Schulversuchen. Piper Verlag. München

Süss (2005): SÜSS MicroTec AG, Schleissheimer Str. 90, D-85748 Garching / München, s. a. http://www.suss.com

Unitek Eapro (2005): Unitek Eapro, Schootense Dreef 21 NL-5708 HZ HELMOND, s. a. http://www.unitekeaprosystems.com

VDE (2000): Mikrotechniken 2010 – Expertenbefragung. Publikation zur Studie im Auftrag des VDE. VDE-Weltkongress MICRO.tec2000. Zu beziehen bei VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM). Hannover

VDE/VDI-GMM (1998): Mikrosystemtechnik 2000 – Überlegungen zur zukünftigen Rolle der Mikrosystemtechnik in Deutschland. Publikation der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM). Frankfurt a. M.

VDI (2004): Fachkräftemangel bei Ingenieuren – Aktuelle Situation und Perspektiven. Studie im Auftrag der VDI nachrichten. VDI Verlag. Düsseldorf

Veeco (2005): Veeco Instruments GmbH, Dynamostr. 19, D-68165 Mannheim, s. a. http://www.veeco.com

Völklein, F. & Zetterer, T. (2000), Mildenberg, O. (Hrsg.): Einführung in die Mikrosystemtechnik – Grundlagen und Praxisbeispiele. Vieweg Verlag. Braunschweig u.a.

Wechsung, R., Eloy, J. C. (1997): Market Analysis for Microsystems – an interim report from the NEXUS Task Force. Proc. Eurosensors XI. Warschau

Will, H, Winteler, A., Krapp, A. (1987, Hrsg.): Evaluation in der beruflichen Aus- und Weiterbildung – Konzepte und Strategien. Sauer Verlag. Heidelberg

Wottawa, H., Thierau, H. (2003): Lehrbuch der Evaluation. Hans Huber Verlag. Bern u.a.

Zeiss (2005): Carl Zeiss AG, Carl-Zeiss-Str. 22, D-73447 Oberkochen, s. a. http://www.zeiss.de

A Anhang – Reale Maschinen

Laborräume der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken

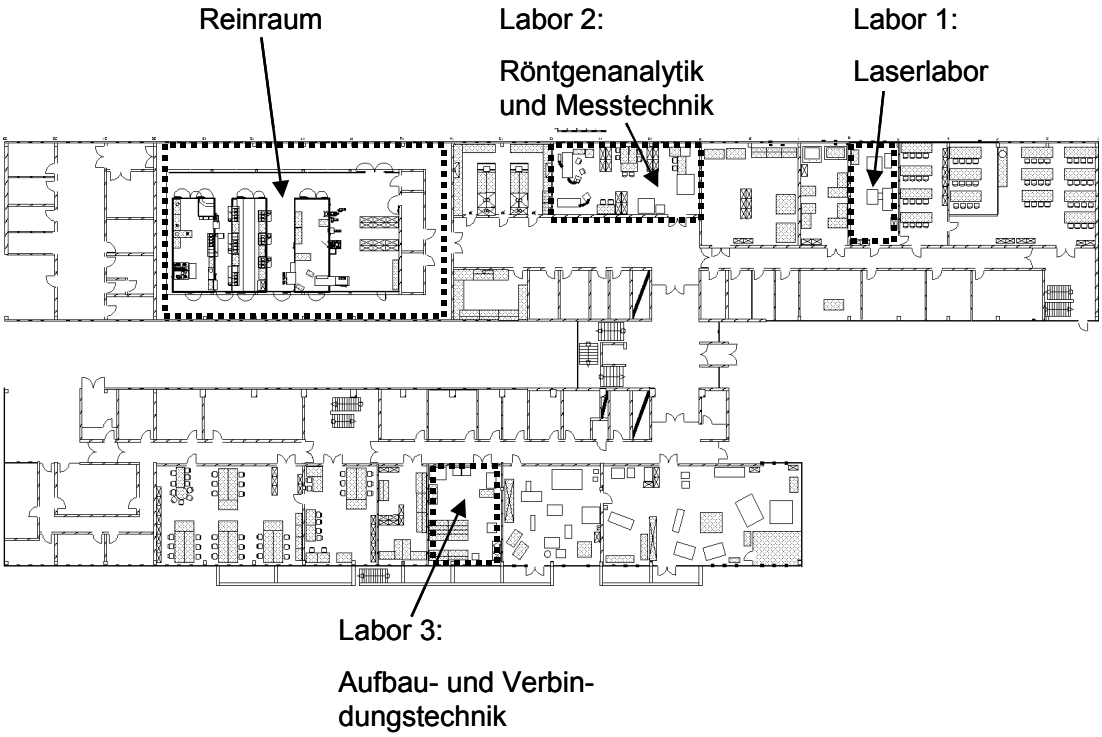
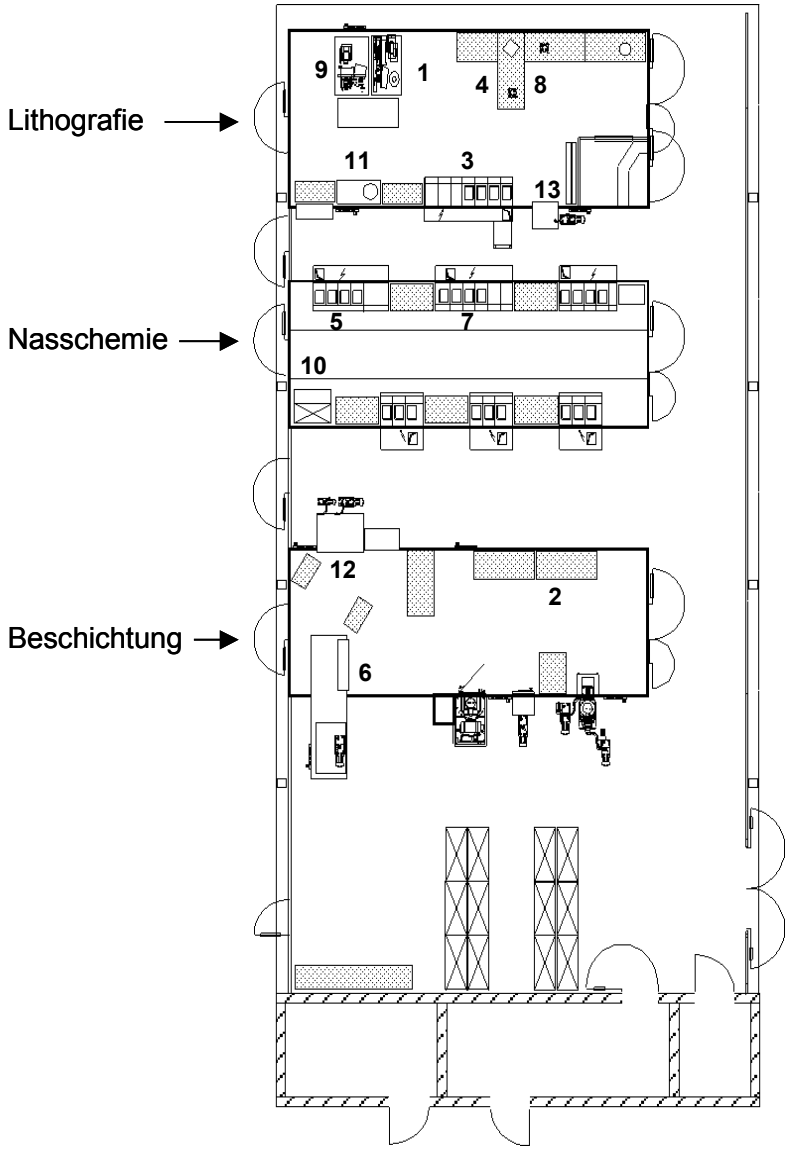


Abb. A.1: Grundriss zu den Laborräumen (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, interne Mitteilung, überarbeitet)



1 = Anodischer Bonder, 2 = Ellipsometer, 3 = Entwickler- und Reinigungsbank, 4 = Film Thicknes Probe, 5 = HF-Ätzbank, 6 = Hochtemperaturofen, 7 = KOH-Ätzbank, 8 = Lichtmikroskope, 9 = Mask Aligner, 10 = Nasschemisches Reinigungsbecken, 11 = Spin Coater, 12 = Sputter Coater, 13 = Trockenöfen

Abb. A.2: Reinraumlabor Zweibrücken (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, interne Mitteilung, überarbeitet)

Fertigungsanlagen und messtechnische Geräte der realen Praktika

Über 20 Anlagen werden im Fertigungsprozess und in der Messtechnik beim Reinraumpraktikum eingesetzt. Die Beschreibung zu den Maschinen erfolgt in alphabethischer Reihenfolge.

Anodischer Bonder

Drahtbonder

Ellipsometer

Entwickler- und Reinigungsbank

Film Thickness Probe

HF-Ätzbank

Hochtemperaturofen

KOH-Ätzbank

Laser (Nd-YAG)

Lichtmikroskope

Mask Aligner

Mikrometerschraube

Nasschemisches Reinigungsbecken

Pick & Place (Die-Bonder)

Spin Coater (Belacker)

Sputter Coater

Trockenöfen

Waferprober

Wafersäge

Weitere Geräte

Anodischer Bonder

Der Maschinentyp lautet SB 6/ VAC, Fa. SÜSS (Süss 2005). Der Anodische Bonder wird zum Verbinden von prozessierten Wafern und Glaswafern (Pyrexwafern) eingesetzt und überwiegend über einen Prozessrechner gesteuert. Zu den manuellen Tätigkeiten zählen das Beladen des Ladearms mit den Proben und das Einschieben des Ladearms in die Prozesskammer. Über den Prozessrechner werden die Wafer in der Kammer platziert, Prozesse gestartet und beendet, ausgelöste Fehler quittiert sowie Parameter zur Steuerung des Bondprozesses in Rezepte geschrieben. Die Güte eines Bondprozesses ist überwiegend abhängig von den Prozesstemperaturen am Wafer und am Pyrexwafer, vom Kammerdruck, der angelegten Spannung sowie dem Anpressdruck. Der maximale Kammerdruck der Anlage liegt bei 6000 mbar, die maximale Bondtemperatur beträgt 500 °C, die maximale Spannung liegt bei 2000 V und der maximale Anpressdruck bei 500 mbar. Die reale Anlage Anodischer Bonder wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

Abb. A.3. Reale Maschine Anodischer Bonder (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Belacker: s. Spin Coater

Die-Bonder: s. Pick & Place

Drahtbonder

Der Maschinentyp lautet West Bond 7602C-79C, Fa. WELD EQUIP, jetzt Fa. UNITEK EAPRO (Unitek Eapro 2005). Der Drahtbonder besteht aus einer beheizten Auflagevorrichtung für die Proben, einer Ausrichtevorrichtung sowie einer Drahtzuführung. Die Anlage wird zum Kontaktieren der Widerstände auf dem Drucksensor mit dem Keramikträger in einem Wedge-Wedge-Bondverfahren[1] verwendet. Es handelt sich um eine fast rein manuell zu bedienende Maschine. Das Bondergebnis ist vor allem abhängig von der Geschicklichkeit des Bedieners. Die reale Anlage Drahtbonder wurde bisher nicht als virtuelle Maschine umgesetzt.

Ellipsometer

Der Maschinentyp lautet SC 2300, Fa. PLASMOS, jetzt Fa. JOBIN YVON HIROBA (Jobin Yvon Hiroba 2005). Das Ellipsometer arbeitet mit einem polarisierten Laserlicht fester Wellenlänge (λ = 632,8 nm). Die Anlage kann zur Bestimmung von Brechungsindizes, Absorptionskoeffizienten und Schichtdicken eingesetzt werden. Zur Bestimmung der Schichtdicken lassen sich Strahlungsquelle und Detektor in ihrer Winkeleinstellung verstellen. Beim Drucksensorprozess wird das Messgerät für Silizium und Siliziumdioxid eingesetzt. Die zu messenden Schichten müssen im Bereich von 1 bis 6000 nm liegen. Das reale Messgerät Ellipsometer wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

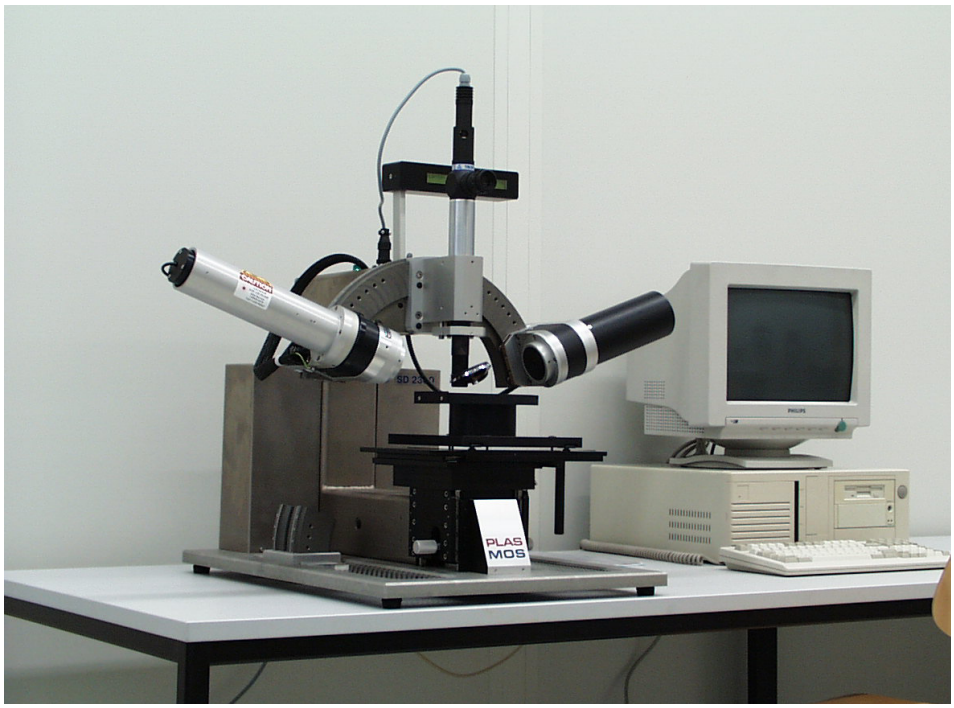


Abb. A.4: Reales Messgerät Ellipsometer (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

[1] Wedge (engl.=Keil): Bezeichnung für das keilförmige Bondwerkzeug

Entwickler- und Reinigungsbank

Die Entwickler- und Reinigungsbank stammt von der Firma ARIAS (Arias 2005) und besteht aus zwei Becken, einem Tischbereich für Bechergläser sowie einer Trockenschleuder, die über eine Regeleinheit gesteuert wird. Es gibt Wasserhähne für deionisiertes und Leitungswasser sowie verschiedene Gaszuführungen. An der Entwickler- und Reinigungsbank wird der auf dem Wafer belichtete Lack entwickelt. Weiterhin werden Lackreste von der Waferoberfläche entfernt (Strippen), die Wafer gesäubert und getrocknet. Außerdem wird an dieser Anlage das Aluminium-Ätzen durchgeführt. Zusätzlich steht die Maschine für die Reinigung von Komponenten der Maschine Spin Coater zur Verfügung. An der Entwickler- und Reinigungsbank wird fast ausschließlich manuell gearbeitet. Die reale Anlage Entwickler- und Reinigungsbank wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

Abb. A.5: Reale Anlage Entwickler- und Reinigungsbank (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Film Thickness Probe

Der Maschinentyp lautet FTP 500, Fa. SENTECH (Sentech 2005). Das optische Schichtdickenmessgerät Film Thickness Probe arbeitet mit einem variablen Wellenlängebereich von etwa 500 bis 900 nm. Es wird zur Bestimmung von Schichtdicken transparenter sowie halbtransparenter Schichten eingesetzt. Für die Kalibrierung des Gerätes wird ein Referenzwafer benötigt. Das Messgerät wird überwiegend mit einem Prozessrechner gesteuert. Rein manuelle Einstellungen werden an dem Mikroskop durchgeführt. Die zu messenden Schichten müssen im Bereich von 100 bis 4000 nm liegen. Es gibt zu diesem Gerät zwei weitere Messkarten, mit denen der Messbereich ausgedehnt werden kann. Das reale Messgerät Film Thickness Probe wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

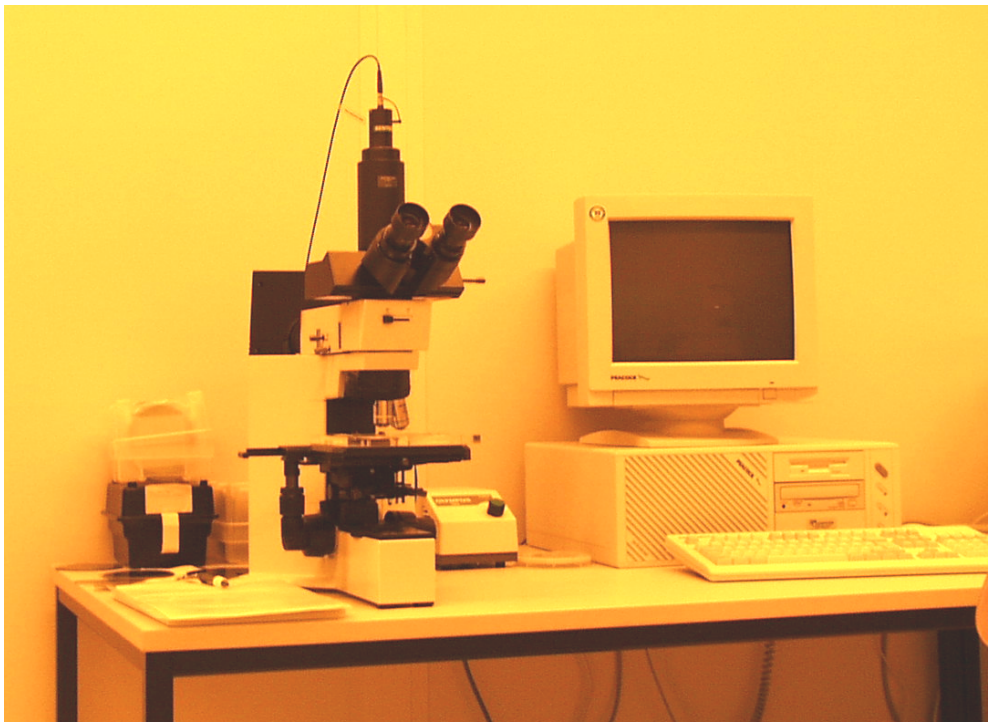


Abb. A.6: Reales Messgerät Film Thickness Probe (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

HF-Ätzbank

Die HF-Ätzbank (HF=Flusssäure) ist von der Firma ARIAS (Arias 2005) und besteht aus zwei Becken, einem Tischbereich sowie einer Trockenschleuder, die über eine Regeleinheit gesteuert wird. Es gibt Wasserhähne für deionisiertes und Leitungswasser sowie verschiedene Gaszuführungen. Die HF-Ätzbank wird zum Ätzen und Dippen (Entfernen von nativem/ natürlichem Siliziumdioxid) der Wafer eingesetzt, wobei verschiedene HF-Ätzlösungen verwendet werden. Nach dem HF-Ätzen werden die Wafer in den Wasserbecken gespült sowie in der Trockenschleuder getrocknet. An der HF-Ätzbank wird fast ausschließlich manuell gearbeitet. Das Ergebnis des Ätzvorgangs ist abhängig von der Ätzzeit, der Konzentration und dem Alter (Verbrauch) der Lösung. Die reale Anlage HF-Ätzbank wurde in die virtuelle Maschine „Entwickler- und Reinigungsbank“ integriert.

Abb. A.7: Reale Anlage HF-Ätzbank (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Hochtemperaturofen

Der Maschinentyp lautet DS-3900-PC-150, Fa. INOTHERM (Inotherm 2005). Der Hochtemperaturofen besitzt vier Etagen mit vier Ofenrohren, von denen drei belegt sind. Ein Ofenrohr wird für die Feucht- und Trockenoxidation wie im Drucksensorprozess verwendet. Mit den beiden anderen Etagen können POCL3-Prozesse (Typ: ITG-100-PO-SO) und LPCVD-Prozesse (Typ: ITG-SNHP-VCR) durchgeführt werden.

Abb. A.8: Reale Maschine Hochtemperaturofen (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

In POCL3-Prozessen werden Schichten mit Chlor und Phosphor für beispielsweise Widerstände spezieller Leitfähigkeit erzeugt. LPCVD steht für „Low pressure chemical vapor depostion[1]“ und ist ebenfalls ein chemisches Beschichtungsverfahren, das mit niedrigen Prozessdrücken im Bereich von 10 bis 100 Pa auskommt. Die Feuchtoxidation wird über einen beheizbaren Bubbler (Kolbengefäß) realisiert, wobei als Prozessgase Stickstoff und Sauerstoff verwendet werden. Neben einem manuellen Handpult wird die Anlage vollständig über einen Prozessrechner gesteuert. Mit dem Prozess-

[1] vapor deposition (engl.=Hochvakuumbedampfung)

rechner werden die Ofenrohre bedient, Prozesse gestartet und beendet, ausgelöste Fehler quittiert sowie Parameter in Rezepte geschrieben, nach denen die Beschichtungsvorgänge ablaufen. Über das Handpult können ein laufender Prozess abgebrochen und Alarmsignale quittiert werden. Die maximale Heiztemperatur für die Ofenrohre liegt bei 1300 °C. Die maximalen Durchflussmengen für Stickstoff und Sauerstoff liegen bei 5 slm bzw. 10 slm (slm = Standardliter pro Minute). Das Bubblergefäß kann auf 95 °C beheizt werden. Das Ergebnis eines Oxidationsprozesses ist vor allem abhängig von der Temperatur, der Oxidationszeit und den Konzentrationen der zugeführten Gase. Die reale Anlage Hochtemperaturofen wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

KOH-Ätzbank

Die KOH-Ätzbank (KOH=Kalilauge) ist von der Firma ARIAS (Arias 2005) und besteht aus einem Behälter mit Ätzlösung, einem Becken, einem Tischbereich sowie einem Rinser Dryer (kombinierte Nass-/ Trockenschleuder). Ätzbehälter und Rinser Dryer werden über eine Regeleinheit gesteuert. Es gibt Wasserhähne für deionisiertes und Leitungswasser sowie Gaszuführungen. Die KOH-Ätzbank wird beim Drucksensorprozess nur zum KOH-Ätzen für Silizium und Siliziumdioxid eingesetzt. Nach dem Ätzen werden die Wafer in dem Wasserbecken kurz abgespült und im Rinser Dryer gespült sowie getrocknet. An der KOH-Ätzbank wird fast ausschließlich manuell gearbeitet. Das Ergebnis des Ätzvorgangs ist abhängig von der Ätzzeit, der Konzentration und dem Alter (Verbrauch) der Lösung. Die reale Anlage KOH-Ätzbank wurde in die virtuelle Maschine „Entwickler- und Reinigungsbank“ integriert.

Abb. A.9: Reale Anlage KOH-Ätzbank (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Laser: s. Nd-YAG-Laser

Lichtmikroskope

Die Lichtmikroskope sind alle von der Firma OLYMPUS (Olympus 2005) oder LEICA (Leica 2005) und mit Grob- und Feintrieben sowie einem verstellbaren Teller ausgestattet. Teilweise ist an den Mikroskopen eine Kamera angeschlossen, so dass die Objektivbilder an einem Bildschirm betrachtet werden können. Mit den Objektiven können die Bilder in der Regel 10fach, 20fach und 50fach vergrößert dargestellt werden. Die Mikroskope werden zur Strukturkontrolle beispielsweise nach einem Ätzvorgang eingesetzt. An ihnen wird ausschließlich manuell gearbeitet. Die realen Mikroskope wurden bisher nicht als virtuelle Maschine umgesetzt.

Mask Aligner

Der Maschinentyp lautet MA/ BA 6, Fa. SÜSS (Süss 2005). Der Mask Aligner wird zum Übertragen von Maskenstrukturen auf einen lichtempfindlichen Lack verwendet. Er besteht aus einer UV-Lampe, mehreren Mikroskopen für die Justage, einem Monitor sowie zwei Bedienfeldern. Bei dieser Maschine handelt es sich um eine halbmanuelle Anlage. Neben vielen manuellen Bedienungen wie das Ausrichten der Masken- und Waferstrukturen zueinander finden auch etliche rechnergesteuerte Vorgänge wie das Anlegen und Ausschalten des Vakuums oder die Belichtung statt. Das Ergebnis einer Strukturübertragung ist vor allem von der Güte der Justage, dem Ausrichtungs- und Belichtungsabstand sowie der Belichtungszeit abhängig. Die reale Anlage Mask Aligner wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

Abb. A.10: Reale Maschine Mask Aligner (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Mikrometerschraube

Das Messgerät stammt von der Firma MITUTOYO (Mitutoyo 2005) und hat einen Messbereich bis etwa 30 mm. Die Mikrometerschraube wird zum Messen der Dicke der unprozessierten Wafer eingesetzt. Das Messgerät wurde bisher nicht als virtuelle Maschine umgesetzt.

Nasschemisches Reinigungsbecken

Das nasschemische Reinigungsbecken ist von der Firma ARIAS (Arias 2005) und besteht aus einem Becken sowie einem Tischbereich für Bechergläser. Es gibt Wasserhähne für deionisiertes und Leitungswasser sowie verschiedene Gaszuführungen. Das Reinigungsbecken wird beim Drucksensorprozess zum Reinigen der Wafer, insbesondere zu Prozessbeginn für die Piranha-Lösung[1], eingesetzt. Am nasschemischen Reinigungsbecken wird ausschließlich manuell gearbeitet. Die reale Anlage nasschemisches Reinigungsbecken wurde in die virtuelle Maschine „Entwickler- und Reinigungsbank“ integriert.

Nd-YAG-Laser

Der Lasertyp lautet Vectormark, Fa. HAAS (Haas 2005). Der Laser wird zum Beschriften und damit zum eindeutigen Kennzeichnen der Wafer verwendet. Der Laser wurde bisher nicht als virtuelle Maschine umgesetzt.

Pick & Place (Die-Bonder)

Der Maschinentyp lautet 3002, Fa. DR TRESKY (Dr. Tresky 2005). Die Maschine besteht aus einer Vorrichtungen zum Ausrichten, Aufnehmen und Absetzen einzelner Drucksensor-Dies sowie einer Klebstoffzuführung. Die Anlage wird zum Aufkleben der Drucksensoren auf einen Keramikträger eingesetzt. Die Güte des Die-Bondens ist vor allem von der Geschicklichkeit des Anwenders abhängig. Die reale Anlage Pick & Place wurde bisher nicht als virtuelle Maschine umgesetzt.

[1] Piranha-Lösung= Schwefelsäure (96%) : Wasserstoffperoxid (30%) = 2:1

Spin Coater (Belacker)

Der Maschinentyp lautet Delta 30 T2, Fa. BLE, jetzt Fa. SÜSS (Süss 2005). Die Maschine Spin Coater besteht aus einer Lackschleuder und einer Heizplatte (Hot Plate), die beide über einen Rechner gesteuert werden. Diese Anlage wird beim Drucksensorprozess zum Aufbringen von Haftvermittler, Lack und Dotiermittel (Spin-on-dopand) verwendet. Das Aufbringen dieser drei Substanzen wird manuell über eine Pipette vorgenommen. Die maximale Drehzahl der Lackschleuder beträgt 4000 U/min, die Heizplatte liefert Temperaturen bis zu maximal 250 °C. Die Dicke einer aufgebrachten Schicht ist vor allem von ihrer Viskosität, ihrer Menge, der Umdrehungszahl und der Drehzeit abhängig. Die reale Anlage Spin Coater wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

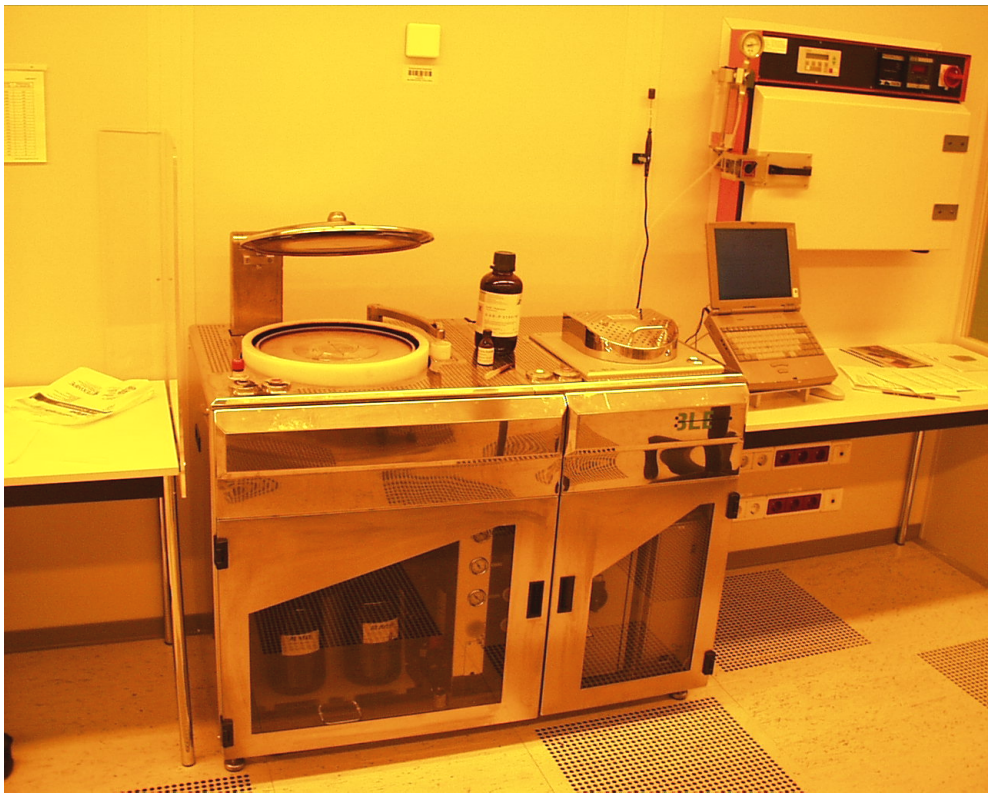


Abb. A.11: Reale Maschine Spin Coater (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Sputter Coater

Der Maschinentyp lautet Z590S, Fa. LEYBOLD, jetzt Fa. SENVAC (Senvac 2005). Zwei wesentliche Komponenten der Anlage sind die Vakuumkammer und die Schleuse. Über die Schleuse werden die Wafer in die Maschine eingebracht. Die Kammer bietet Platz für maximal sechs Substrate, die unterschiedlich beschichtet werden können. Für die Beschichtung stehen drei Kathoden zur Verfügung. Als Kathodenmaterial werden verschiedene Gläser und Metalle wie beispielsweise Aluminium verwendet. Als Prozessgase können Argon, Stickstoff und Sauerstoff eingesetzt werden. Die Anlage wird, abgesehen vom manuellen Schließen der Schleuse, vollständig über den Prozessrechner gesteuert. Mit diesem werden die Wafer ein- und ausgeschleust, Prozesse gestartet und beendet, ausgelöste Fehler quittiert sowie Parameter in Rezepte für die Beschichtungsvorgänge geschrieben. Die Beschichtungsrate ist vorrangig abhängig von der Sputterleistung und dem Abstand zwischen Kathode und Wafer (Tellerhöhe). Bei der Anlage wird zwischen DC- (Direct current = Gleichstrom) und HF-/ AC-Sputtern (Alternating current = Hochfrequenz-/ Wechselstrom) unterschieden. Bisher wurde beim HF-Sputtern mit maximal 2500 W Leistung gearbeitet. Der Probenteller kann bis zu einem maximalen Kathodenabstand von 72 mm eingestellt werden. Weitere Parameter, die das Sputterergebnis beeinflussen, sind eine zusätzlich angelegte Bias-Spannung, der Gasfluss und die Sputterzeit. Die reale Anlage wurde als virtuelle Maschine umgesetzt.

Abb. A.12: Reale Maschine Sputter Coater (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Trockenöfen

Die Trockenöfen sind von der Firma HERAEUS (Heraeus 2005) und werden als Umluft- oder Vakuumöfen zum Trocken von Lack eingesetzt. Die maximale Temperatur für Umluftöfen beträgt 200 °C und für Vakuumöfen 400 °C. Die realen Trockenöfen wurden bisher nicht als virtuelle Maschine umgesetzt.

Waferprober

Der Maschinentyp lautet Precision Semiconductor Parameter Analyser 4156 C, Fa. AGILENT (Agilent 2005). Der Waferprober besteht aus einer Auflagevorrichtung für Wafer, zwei Messelektroden und einem Rechner für die Auswertung der Messdaten (Parameteranalysator). Mit dem Waferprober werden die einzelnen Widerstände der Drucksensoren kontrolliert, bevor die Drucksensoren an der Wafersäge vereinzelt werden. Der Waferprober ist eine mehr manuell zu bedienende Maschine. Die reale Anlage Waferprober wurde bisher nicht als virtuelle Maschine umgesetzt.

Wafersäge

Der Maschinentyp lautet DAD 2H/6TM, Fa. DISCO (Disco 2005). Die Wafersäge besteht aus einer Einspannvorrichtung für die Wafer, einem Sägeblatt, einer Kühlvorrichtung sowie einer Regeleinheit zum Steuern der Anlage. Mit der Wafersäge wird der Wafer in die einzelnen Drucksensor-Dies zerlegt (Vereinzeln), wobei diese während und nach dem Sägen durch eine Adhäsionsfolie zusammengehalten werden. Bei der Wafersäge gehören zu den wesentlichen manuellen Einstellungen das Positionieren des Wafers und das Ausrichten des Sägeblattes. Die Beschaffenheit des Sägeblattes, der Vorschub und die eingestellte Sägetiefe beeinflussen vorrangig das Sägeergebnis. Die Maschine ist eine halbmanuell zu bedienende Anlage. Es ist geplant, die reale Anlage Wafersäge als virtuelle Maschine umzusetzen.

Weitere Geräte

Vor allem weitere messtechnische Geräte werden den Lernenden während des Reinraumpraktikums unabhängig vom Herstellungsprozess vorgestellt. Dazu zählen beispielsweise ein Rasterelektronenmikroskop der Fa. LEO, jetzt Fa. ZEISS (Zeiss 2005), Typ 425VP oder ein Profilometer der Fa. VEECO (Veeco 2005), Typ Dektak 3 ST.

B Anhang – Virtuelle Maschinen

Maschinen des virtuellen Labors

Insgesamt zehn verschiedene virtuelle Maschinen, die mehrfach im Herstellungsprozess eingesetzt werden, wurden programmiert (vgl. Abb. B.1). Die Erläuterungen zu den Maschinen werden in alphabethischer Reihenfolge gegeben.

Anodischer Bonder

Ellipsometer

Entwickler- und Reinigungsbank

Film Thickness Probe

Hochtemperaturofen

Mask Aligner

Spin Coater

Sputter Coater

Video Reinraum

Videos zu den virtuellen Maschinen

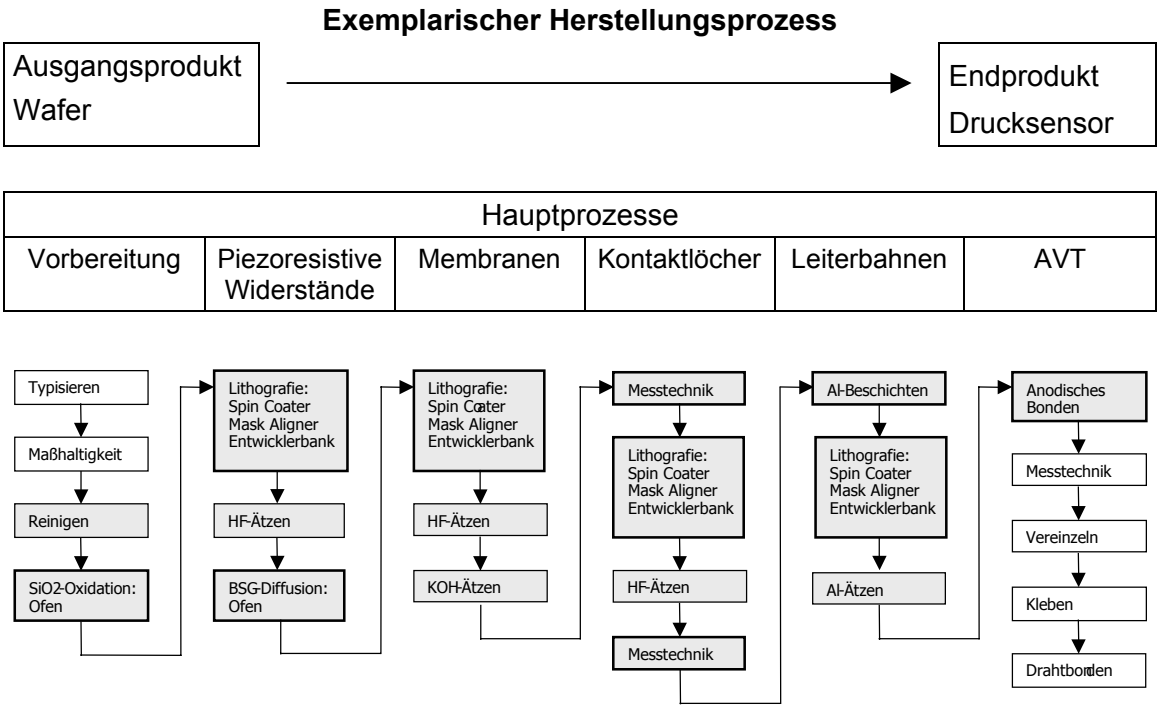


Abb. B.1: Fließbild zur exemplarischen Fertigungskette mit den eingesetzten Maschinen, markierte Prozesse wurden in das virtuelle Labor implementiert

Simulation Anodischer Bonder

Die Maschine Anodischer Bonder gehört zur Aufbau- und Verbindungstechnik und wird im Drucksensorprozess für die dauerhafte Verbindung eines Wafers mit einem Glaswafer auf der Kavitätenseite (Membranen) eingesetzt. Die reale Maschine wird überwiegend über einen Prozessrechner gesteuert. Von den Oberflächen des Prozessrechners wurden für die virtuelle Maschine die fünf wesentlichen Fenster (vgl. Abb. B.2, Abb. B.3) realisiert. Außerdem wurde ein Startfenster, ähnlich wie es an der realen Maschine existiert, erstellt. Als Parameter, die Einfluss nehmen auf das Ergebnis des anodischen Bondens, wurden die Substrattemperatur des Glaswafers und des prozessierten Wafers, das Kammervakuum, der Prozessdruck, die Prozessspannung und das oberste Schichtmaterial berücksichtigt. Manuelle Einstellungen, die an der realen Maschine vorgenommen werden müssen, sind das Einschalten der Maschine und der Druckluft, das Auflegen von Wafer, Glaswafer, Klammern und Abstandshaltern auf die Einspannvorrichtung sowie das Ein- und Ausfahren des Ladearms. Von diesen manuellen Tätigkeiten wurden an der virtuellen Maschine alle vereinfacht umgesetzt.

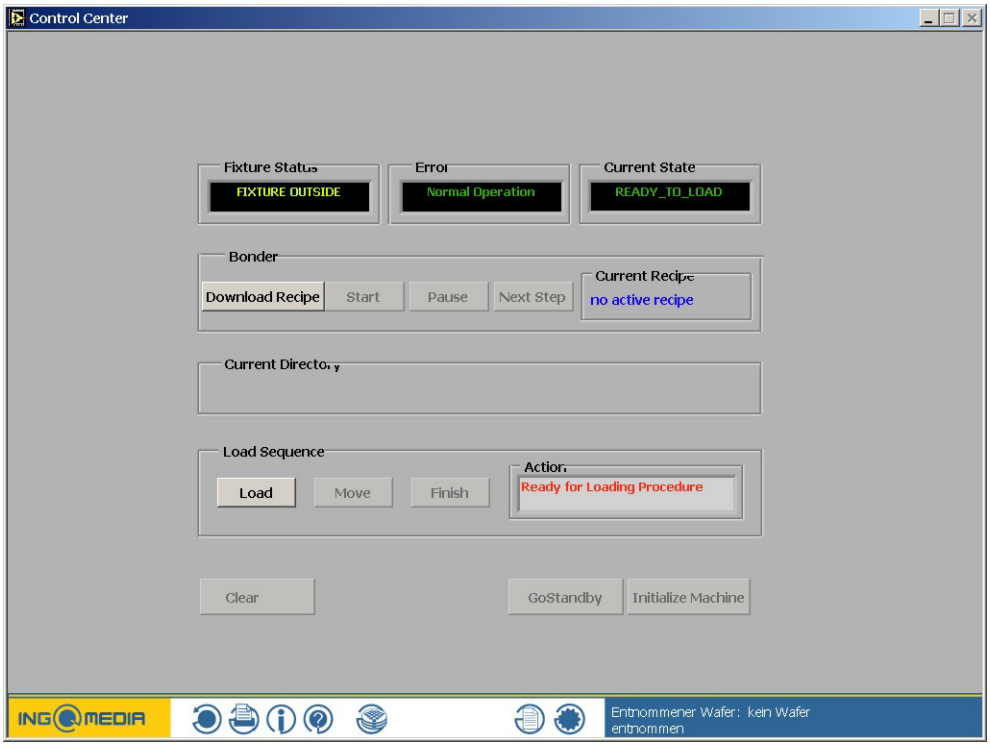


Abb. B.2: Virtuelle Maschine Anodischer Bonder, Fenster „Control Center“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

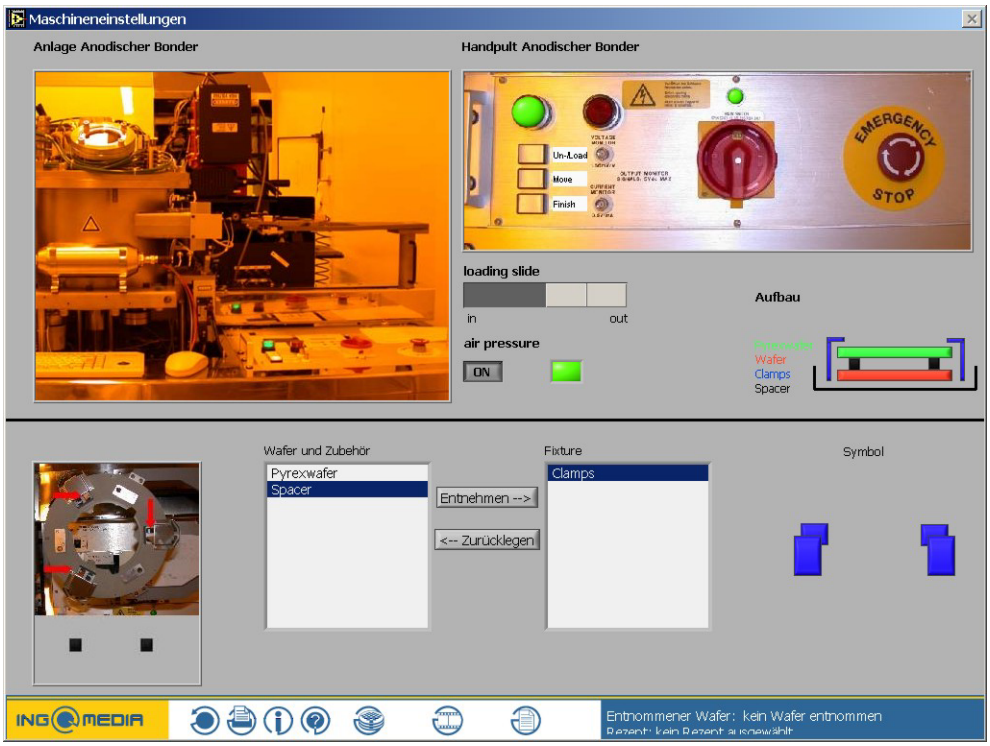


Abb. B.3: Virtuelle Maschine Anodischer Bonder, Fenster „Maschineneinstellungen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Die Aufgabe der Lernenden besteht darin, eine stabile Wafer-Glas-Verbindung in Abhängigkeit der Prozessparameter herzustellen. Sie können sich das Ergebnis ihrer Einstellungen im Laborbuch der Navigationsleiste ansehen. Als Rückmeldung bekommen die Lernenden eine Angabe dazu, ob die Silizium-Glas-Verbindung erfolgreich war oder nicht. Die virtuelle Maschine Anodischer Bonder ist eine komplexe Simulation und wurde mit dem Programm „LabVIEW“ in Aachen erstellt. Zur Erläuterung der manuellen Bedienungen wurde ein Video integriert.

Simulation Ellipsometer

Die Anlage Ellipsometer gehört zur Messtechnik und wird im Drucksensorprozess für die Messung von Brechungsindizes, Absorptionskoeffizienten und Schichtdicken eingesetzt. Die reale Maschine wird zum großen Teil über einen Prozessrechner gesteuert. Von den Oberflächen des Prozessrechners wurden für die virtuelle Maschine die zehn wesentlichen Fenster (vgl. Abb. B.4, Abb. B.5) realisiert. Außerdem wurde das Startfenster fast identisch zur realen Maschine erstellt. Als Parameter wurden der Messmodus, in dem die zu messenden Größen festgelegt werden, der Messwinkel sowie die Materialeigenschaften (Brechungsindex, Absorptionskoeffizient, Schichtdicke) berücksichtigt. Manuelle Einstellungen sind das Einschalten des Lasers, das Einstellen der maximalen Lichtintensität, das Ausrichten des zu messenden Wafers sowie das Einstellen der Messwinkel. Von diesen wurden an der virtuellen Maschine alle vereinfacht umgesetzt.

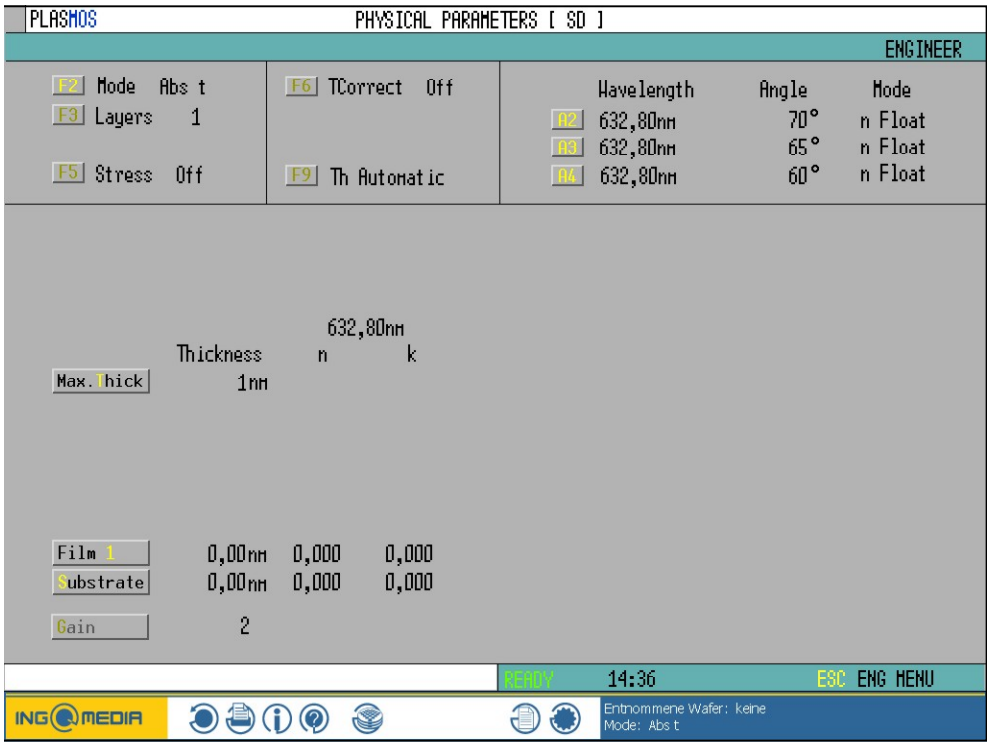


Abb. B.4: Virtuelle Maschine Ellipsometer, Fenster „Physical parameters“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

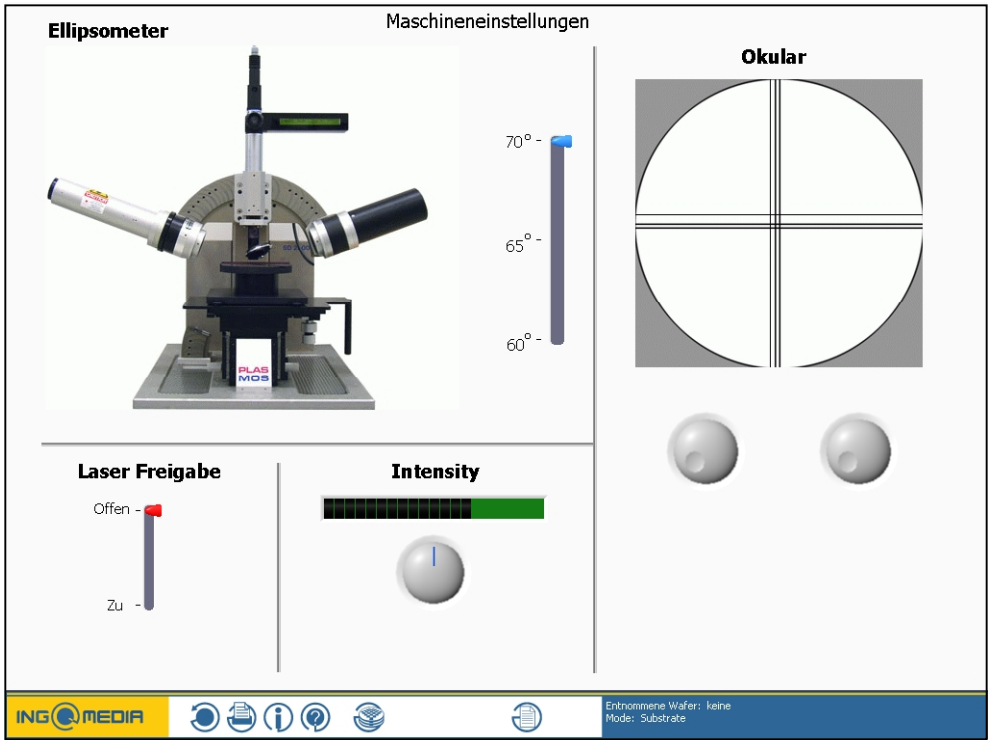


Abb. B.5: Virtuelle Maschine Ellipsometer, Fenster „Maschineneinstellungen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Die Lernenden haben an dieser Maschine zwei verschiedene Aufgaben zu lösen. Zum einen sollen sie für ein Material den Brechungsindex und den Absorptionskoeffizienten bestimmen. Zum anderen sollen sie für ein zweites Material, aufbauend auf den Ergebnissen der ersten virtuellen Messung, die optischen Parameter und die Schichtdicke messen. Sie können sich das Ergebnis ihrer Einstellungen im Laborbuch der Navigationsleiste ansehen. Als Rückmeldung bekommen sie die jeweiligen Messwerte präsentiert. Die virtuelle Maschine Ellipsometer ist eine komplexe Simulation und wurde mit dem Programm „LabVIEW“ in Aachen erstellt.

Simulation Entwicklerbank

Die reale Maschine Entwickler- und Reinigungsbank gehört zum Teilschritt Lithografie und wird bei den vier Masken-Prozessen für die Lackentwicklung, zum Entfernen von Lackresten (Strippen) sowie zum Ätzen von Aluminium eingesetzt. In diese Simulation sind weiterhin die HF-Ätzbank, die KOH-Ätzbank und die nasschemische Reinigungsbank aus dem Labor „Nasschemie“ integriert. An der realen Maschine wird überwiegend manuell gearbeitet. Zu den manuellen Handlungen zählen das Eintauchen des Wafers in die Entwickler- oder in die Aluminium-Ätzlösung, das Reinigen des Wafers mit deionisiertem Wasser, Aceton und Isopropanol sowie das Trocknen des Wafers mit der integrierten Trockenschleuder. Dabei wird der eigentliche Schleudervorgang über eine einfache Steuereinheit geregelt. Die Oberfläche der virtuellen Maschine besteht aus drei Auswahlboxen mit verschiedenen Geräten (Entwickler- und Reinigungsbank,

HF-Ätzbank usw.), einem zugehörigen Gerätebild, unterschiedlichen Arbeitsmedien (Entwickler AR 300-26, Aceton usw.) sowie der durchzuführenden Anwendung (Reinigen, Ätzen usw.). Weiterhin gibt es numerische Felder zur Eingabe von Zeit, Temperatur und Drehzahl, einen Knopf zum Starten der Simulation sowie ein Textfeld, in dem das Ergebnis angezeigt wird (vgl. Abb. B.6). Als Parameter werden die Geräteart, das Arbeitsmedium, die Prozesszeit, die Prozesstemperatur und die Drehzahl der Trockenschleuder berücksichtigt.

Die Lernenden haben verschiedene Aufgaben zu lösen, beispielsweise das Entwickeln des belichteten Lacks oder das Ätzen einer Schicht. Sie bekommen das Ergebnis direkt nach Betätigen des Start-Knopfes in einem Textfeld angezeigt. Als Rückmeldung erhalten sie die Angabe, ob die Auswahl und die Eingaben korrekt oder fehlerhaft waren. Die virtuelle Maschine Entwicklerbank ist eine einfache Simulation ohne Navigationsleiste und wurde mit dem Programm „Director“ in Zweibrücken erstellt.

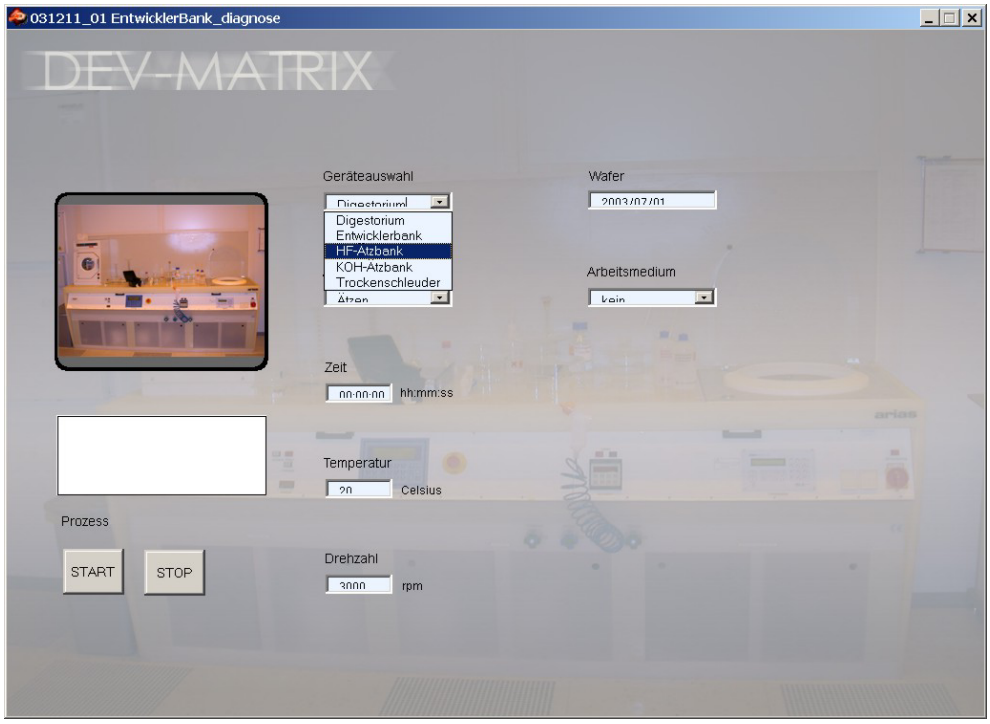


Abb. B.6: Virtuelle Maschine Entwickler- und Reinigungsbank (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Animation Film Thickness Probe

Die Anlage Film Thickness Probe gehört zur Messtechnik und wird im Drucksensorprozess für die Messung von Schichtdicken eingesetzt. Die reale Maschine wird zum großen Teil über einen Prozessrechner gesteuert. Die Oberfläche dieser virtuellen Maschine besteht aus zwei verschiedenen Fenstern. Im ersten Fenster werden der Aufbau des Gerätes und der Strahlengang erklärt (vgl. Abb. B.7). Im zweiten Fenster wird gezeigt, wie sich die Messkurven in Abhängigkeit vom Brechungsindex und der Schichtdicke verändern. Die Animation wird überwiegend zur Erklärung des theoretischen Hintergrundes eingesetzt. Dabei geht es um den prinzipiellen Aufbau des Messgerätes, um den Verlauf des Strahlengangs und um den Einfluss der eingestellten Parameter auf das Messergebniss.

Die Aufgabe der Lernenden an diesem Messgerät besteht darin, sich mit dem Strahlengang vertraut zu machen und die Abhängigkeit der Messkurve vom Brechungsindex sowie der Schichtdicke zu verstehen. Die Lernenden können sich das Ergebnis ihrer Einstellungen im zweiten Fenster direkt ansehen, wobei sich die Anzeige der Messkurve kontinuierlich mit den Parametern ändert. Die Animation Film Thickness Probe wurde mit dem Programm „Flash“ in Zweibrücken erstellt.

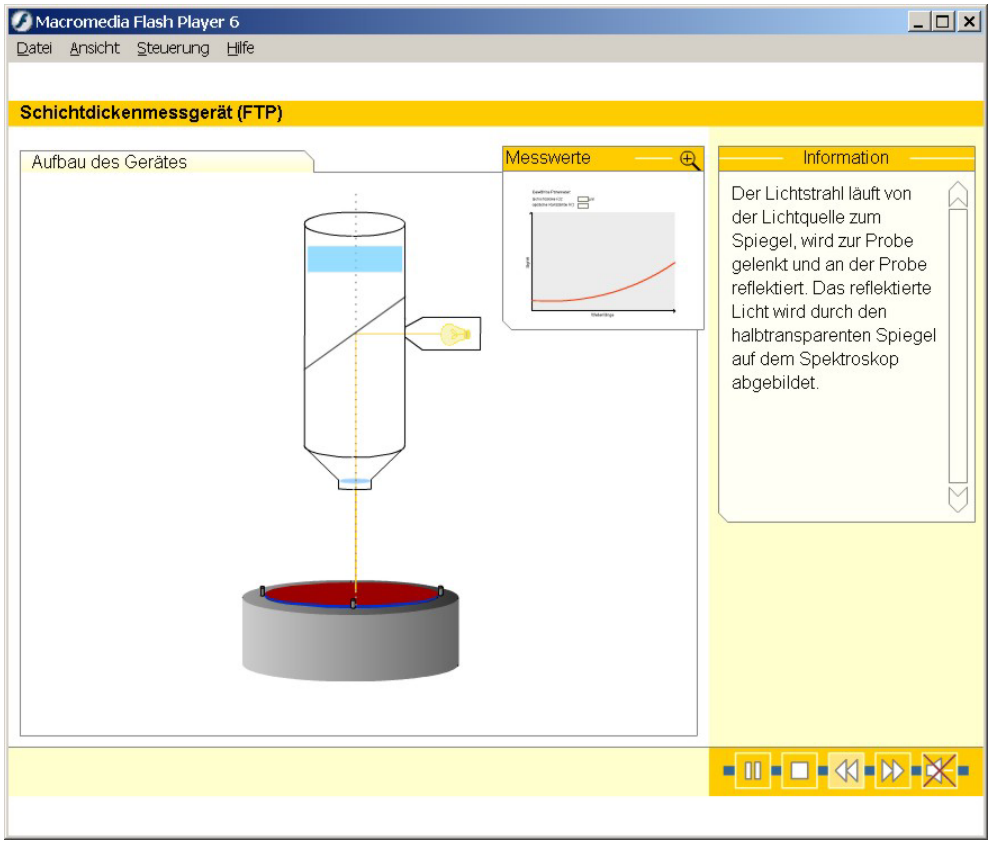


Abb. B.7: Virtuelle Maschine Film Thickness Probe, Ansicht „Geräteaufbau“ (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Simulation Film Thickness Probe

Für die Simulation wurden von den Oberflächen des Prozessrechners die zwei wesentlichen Fenster (vgl. Abb. B.8) realisiert. Weiterhin wurde der Startbildschirm fast identisch zur realen Maschine erstellt. Als Parameter wurden das Kalibrieren des Messgerätes, die Materialeigenschaften und der Schichtaufbau berücksichtigt. Manuelle Einstellungen sind das Einstellen der Lichtintensität und der Lichtreflektion, das Freischalten des Detektors, das Fokussieren auf die Probe sowie das Auflegen eines Wafers oder Referenzwafers (vgl. Abb. B.9). Von diesen manuellen Tätigkeiten wurden an der virtuellen Maschine alle vereinfacht umgesetzt.

Die Aufgabe der Lernenden besteht in der Messung einer Schichtdicke eines bekannten Materials. Sie können sich das Ergebnis ihrer Einstellungen im Laborbuch der Navigationsleiste ansehen. Als Rückmeldung bekommen sie die Schichtdicke in Abhängigkeit der vorgenommenen Einstellungen angezeigt. Die virtuelle Maschine Film Thickness Probe ist eine komplexe Simulation und wurde mit dem Programm „LabVIEW“ in Aachen erstellt.

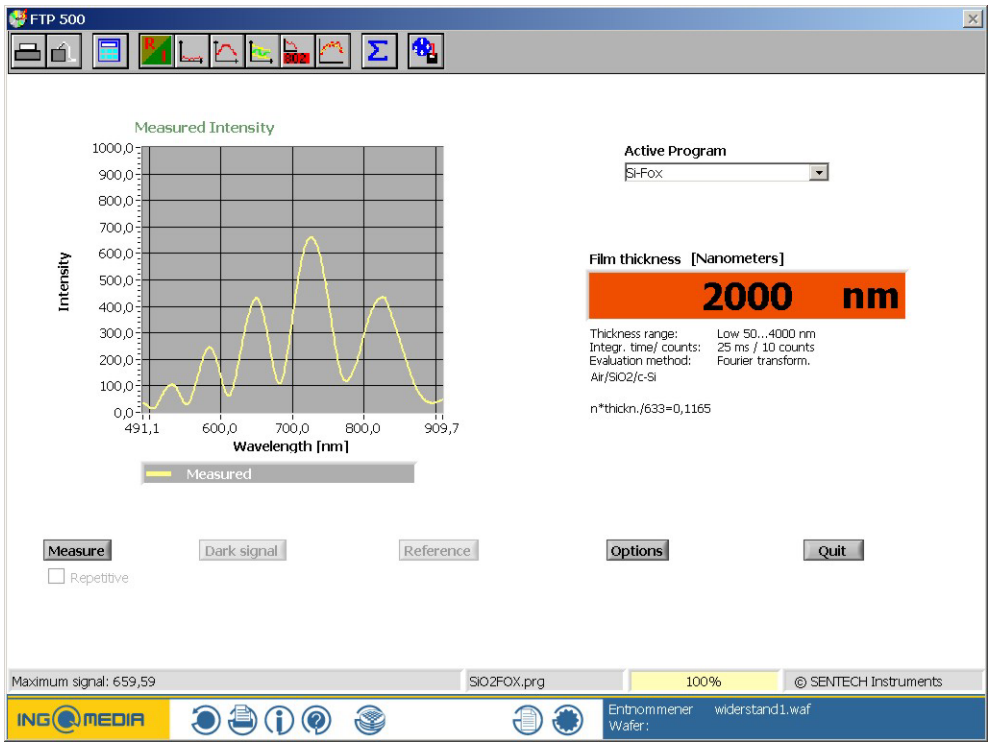


Abb. B.8: Virtuelle Maschine Film Thickness Probe, Fenster „Messansicht“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

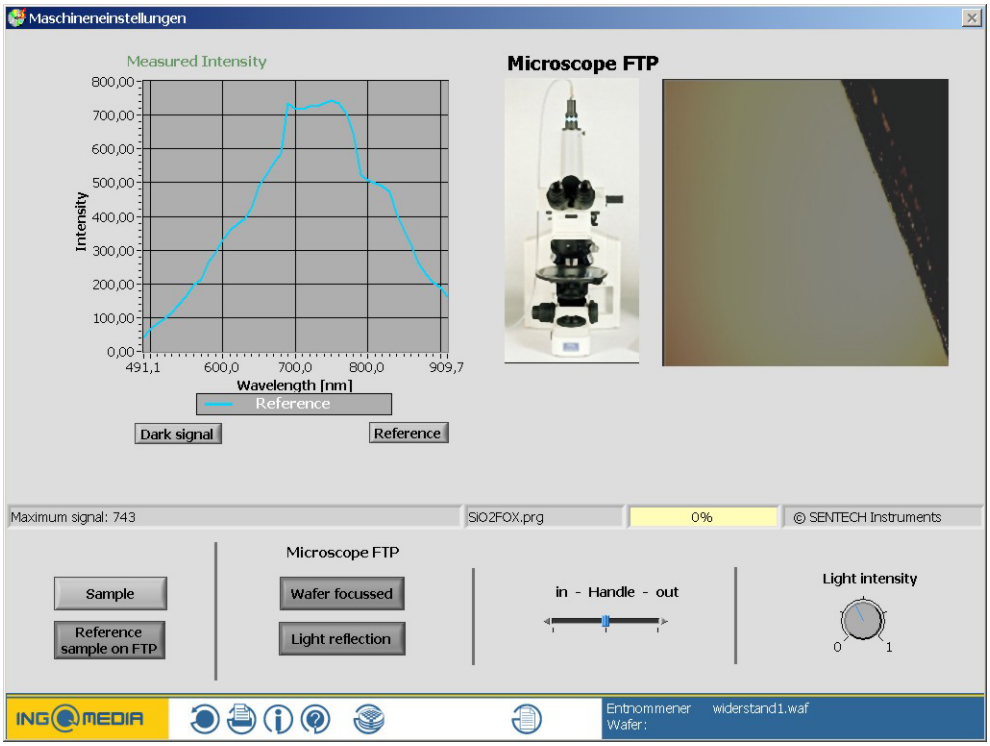


Abb. B.9: Virtuelle Maschine Film Thickness Probe, Fenster „Maschineneinstellungen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Simulation Hochtemperaturofen

Die reale Maschine Hochtemperaturofen gehört zu den Teilschritten „Feuchte Oxidation“ und „Bor-Dotierung/ BSG-Isolation“. Sie wird im Drucksensorprozess für das Herstellen der ersten Schicht auf dem Wafer (Siliziumdioxid) und zum Verglasen (Erzeugen der BSG-Schicht) eingesetzt. Die SiO_2-Schicht wird beidseitig erzeugt und dient als Maskierungsschicht. Die BSG-Schicht bindet überschüssiges Bor-Dotiermittel und wird als Isolator zu den Widerständen genutzt. Die reale Maschine wird vollständig über einen Prozessrechner gesteuert. Von den Oberflächen des Prozessrechners wurden für die virtuelle Maschine die sechs wesenlichen Fenster (vgl. Abb. B.10, Abb. B.11) realisiert, wobei das über 20-seitige Rezept sehr vereinfacht auf zwei Seiten gekürzt wurde. Weiterhin wurde ein Startfenster speziell für die virtuelle Maschine erstellt, da es ein solches in der Realität nicht gibt. Als Parameter wurden die Temperaturen der Heizzonen des Ofenrohres, die Prozesszeiten (Aufheizzeit, Oxidationszeit, Abkühlzeit) und die Prozessgase (Stickstoff, Sauerstoff, Zugabe von Wasserdampf) berücksichtigt. Außerdem wurde die Synchronisation der Einfahrmaschine (Kalibrieren des Ofenrohres) realisiert. Die einzigen manuellen Einstellungen sind das Einschalten und Überprüfen der Prozessgase und -flüssigkeiten. Diese wurden an der virtuellen Maschine vereinfacht umgesetzt. Da der reale Prozess mindestens 10 h dauert, wurde eine Zeitraffung in Form einer Beschleunigungsfunktion in die Simulation eingebaut.

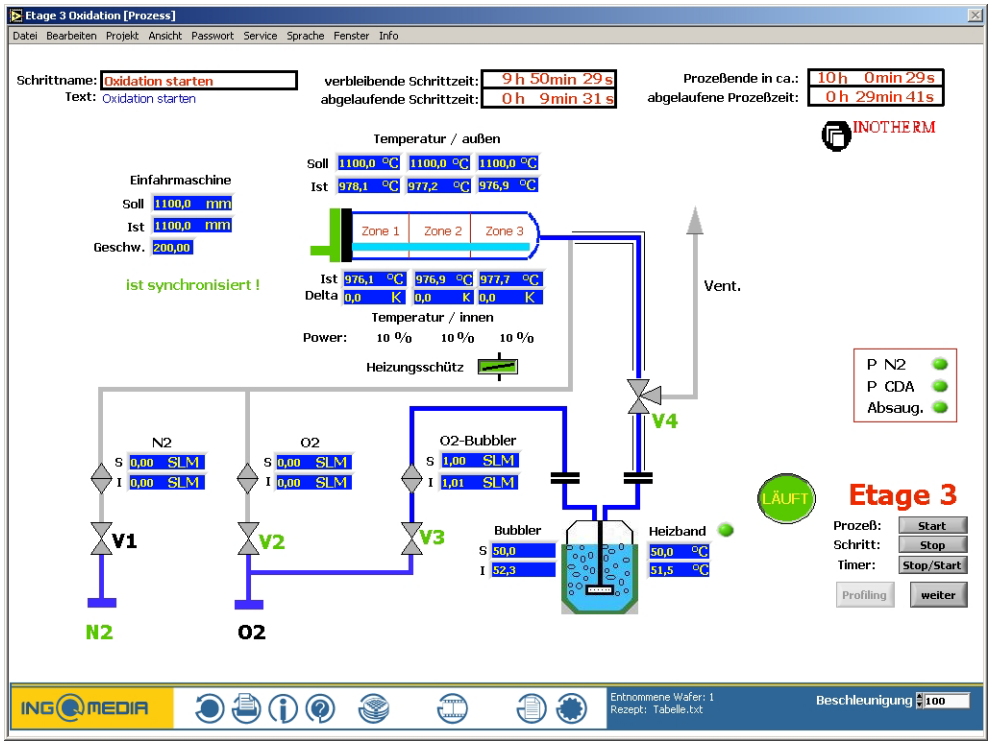


Abb. B.10: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Fenster „Prozessansicht“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

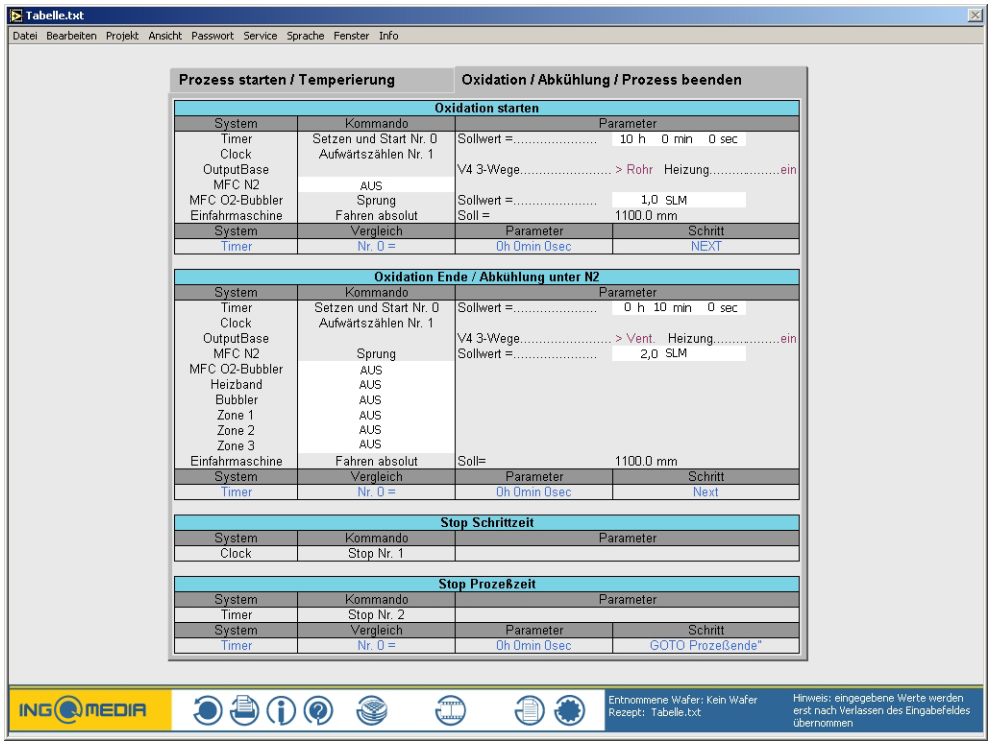


Abb. B.11: Virtuelle Maschine Hochtemperaturofen, Fenster „Rezept“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Die Aufgabe der Lernenden besteht im Erzeugen einer beidseitigen SiO_2-Schicht von etwa 1,5 µm. Sie können sich das Ergebnis ihrer Einstellungen im Laborbuch der Navigationsleiste ansehen. Als Rückmeldung bekommen sie den Wert der Schichtdicke in Abhängigkeit ihrer vorgenommenen Einstellungen angezeigt. Die virtuelle Maschine Hochtemperaturofen ist eine komplexe Simulation und wurde mit dem Programm „LabVIEW“ in Aachen erstellt. Zum Erläutern der Synchronisation der Einfahrmaschine wurde ein Video integriert.

Simulation Mask Aligner

Die Maschine Mask Aligner gehört zum Teilschritt Lithografie und wird in allen vier Masken-Prozessen für das Ausrichten der Masken und Waferstrukturen zueinander sowie zum anschließenden Belichten des UV-empfindlichen Lacks eingesetzt. Bei der realen Maschine handelt es sich um eine halbmanuell zu bedienende Anlage. Der Anwender muss viele manuelle Einstellungen vornehmen und gleichzeitig am Prozessrechner die manuellen Handlungen bestätigen sowie weitere Funktionen über den Prozessrechner steuern. Deshalb wurde für die Oberfläche der virtuellen Maschine eine Kombination von realen und vereinfachten virtuellen Darstellungen gewählt (vgl. Abb. B.12). Von der realen Maschine wurden die UV-Lampe, die zwei Tastaturfelder zur Bedienung des Prozessrechners, die Bildschirmanzeige des Mikroskops sowie die Justage (Ausrichten von Wafer und Maske mit Hilfe des Mikroskops, vgl. Abb. B.13) umgesetzt. Weiterhin wurde bei den manuellen Vorgängen das Einlegen und Entnehmen von Maske und Wafer berücksichtigt. Als besonders anspruchsvoll erwies sich die Visualisierung der Justage, bei der die Strukturen des Wafers zu den Strukturen der Maske ausgerichtet werden müssen. Weiterhin ist die Interaktivität zwischen Bediener und Maschine sehr hoch, so dass eine geführte Version für den Mask Aligner gewählt wurde, bei der durch spezielle Markierungen von Bedientasten sowie durch Erläuterungen im Textfeld der Navigationsleiste die Lernenden die notwendigen Hinweise für ein erfolgreiches Arbeiten mit der virtuellen Maschine bekommen. Außerdem wurde ein Startbildschirm speziell für die virtuelle Maschine erstellt, da es einen solchen an der halbmanuellen Maschine nicht gibt. Als Parameter, die Einfluss nehmen auf das Ergebnis der Belichtung, wurden der Ausrichtungsabstand, der Belichtungsabstand, die Belichtungszeit und die durchgeführte Justage (Justagegenauigkeit) berücksichtigt. Mit dem Einschalten der UV-Lampe, der Justage sowie dem Handling von Maske und Wafer wurden alle manuellen Einstellungen an der virtuellen Maschine vereinfacht umgesetzt.

Abb. B.12: Virtuelle Maschine Mask Aligner, Fenster „Mask Aligner“ (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

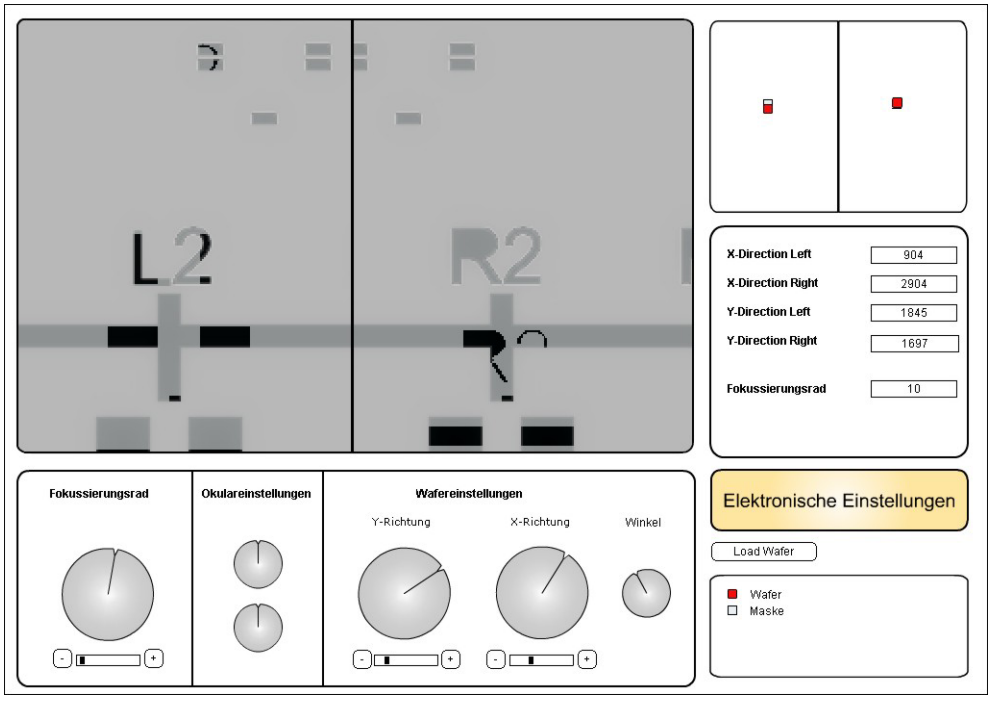


Abb. B.13: Virtuelle Maschine Mask Aligner, Fenster „Justage“ (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Die Aufgabe der Lernenden besteht in der Justage und der Durchführung eines kompletten Belichtungsvorgangs mit einem guten Belichtungsergebnis. Sie können sich das Ergebnis ihrer Einstellungen in der Waferbox der Navigationsleiste ansehen. Als Rückmeldung bekommen die Lernenden jeweils Angaben zur Güte der vier von ihnen eingestellten Parameter mit den Kategorien „sehr gut“, „brauchbar“ und „unbrauchbar“. Nur wenn alle Angaben in Ordnung sind, war der durchgeführte Prozess erfolgreich. Der virtuelle Mask Aligner ist eine komplexe Simulation und wurde mit dem Programm „Director“ in Zweibrücken erstellt. Zur Erläuterung der verschiedenen manuellen Handlungen wurden zahlreiche Videos implementiert, die immer jeweils zum aktuellen Prozessstand abgerufen werden können.

Animation Spin Coater

Die Maschine Spin Coater wird in allen vier Lithografieschritten (Masken-Prozesse) für das Aufschleudern des Haftvermittlers und des Lacks eingesetzt. Zum anderen wird sie beim Teilschritt Bor-Dotierung (Masken-Prozesses M1) zum Aufschleudern des Borons verwendet. An der realen Maschine wird überwiegend manuell gearbeitet. Zu den manuellen Handlungen zählen das Auflegen oder Abnehmen des Wafers vom Teller des Belackers oder der Heizplatte sowie das Entnehmen und Aufbringen der entsprechenden Substanz mit einer Pipette. Dabei werden Drehteller und Heizplatte über eine einfache Steuereinheit geregelt. Die Oberfläche der virtuellen Maschine besitzt zwei verschiedene Ansichten. Die erste Ansicht stellt eine Kombination aus Simulation und Animation dar. Der Spin Coater ist von der Seite zu sehen und der Vorgang des Belackens wird in Abhängigkeit von zwei Parametern (Drehzahl, Viskosität, vgl. Abb. B.14) gezeigt, welche die Lernenden einstellen können. Die zweite Ansicht ist eine reine Animation, in welcher der Ablauf des Belackens in der Aufsicht gezeigt wird. Weiterhin wird in jeder Ansicht eine kurze Erklärung zur Funktion des Spin Coaters und zum theoretischen Hintergrund gegeben. Als Parameter werden in der Simulation die Viskosität der aufgebrachten Substanz und die Drehgeschwindigkeit der Lackschleuder berücksichtigt. Weitere Parameter, die nicht umgesetzt wurden, sind die Menge der Substanzen, die Drehzeit des Belackers und die Temperatur der Heizplatte.

Die Lernenden haben an dieser Maschine zwei Aufgaben. Zunächst sollen sie sich mit dem Vorgang des Belackens vertraut machen. Danach sollen sie eine Lackschicht optimal in Abhängigkeit von Viskosität und Drehgeschwindigkeit aufbringen. Sie bekommen das Ergebnis ihrer Einstellungen direkt präsentiert. Dabei handelt es sich nicht um real berechnete Werte, sondern um relative Ergebnisse. Es wird angegeben, ob genug oder zu wenig Lack aufgeschleudert wurde und wie viel Lacksubstanz fehlt. Die Animation Spin Coater wurde mit dem Programm „Flash“ in Zweibrücken erstellt.

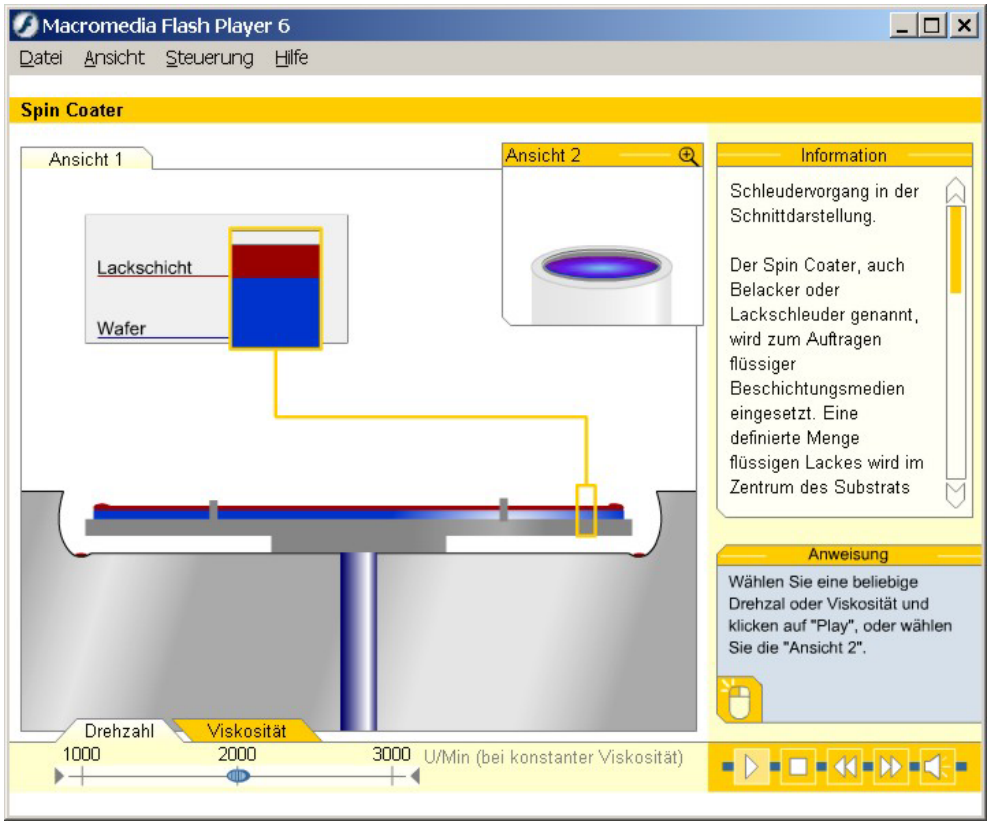


Abb. B.14: Virtuelle Maschine Spin Coater, Ansicht 1 (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)

Animation Sputter Coater

Die Maschine Sputter Coater gehört zum Teilschritt Beschichtung des Masken-Prozesses M4 und wird im Drucksensorprozess für das Erzeugen einer fast 1 µm dicken Aluminium-Schicht auf dem Wafer eingesetzt. Die reale Maschine wird vollständig über einen Prozessrechner gesteuert. Da die Bedienung der realen Maschine über den Prozessrechner sehr kompliziert ist und gleichzeitig die Simulation diese Komplexität der Anlage wiedergibt, wurde eine Animation als Vorübung zur Simulation geschaffen. Die Oberfläche der Animation setzt sich aus drei unterschiedlichen Ansichten zusammen. In der ersten Ansicht sind mehrere Bilder der realen Anlage mit einer Beschriftung der Anlagenteile zu sehen. In der zweiten Ansicht ist eine Skizze zum Aufbau eines Sputter Coaters ebenfalls mit Beschriftungen sowie Erläuterungen der verschiedenen Komponenten dargestellt. Die dritte Ansicht gibt schließlich die Animation selbst wieder, in der mit Hilfe von Bildern und Text erläutert wird, wie prinzipiell ein Beschichtungsprozess mit der realen Maschine durchgeführt wird. Die Animation selbst besteht aus den drei wichtigsten Fenstern des Prozessrechners (vgl. Abb. B.15, Abb. B.16). Als wesentliche Parameter wurden hier die Sputterleistung, die Sputterzeit, der Abstand zwischen Wafer und aktiver Kathode (Kathodenabstand), die Drehbewegung des Substrathalters sowie das Kathodenmaterial berücksichtigt.

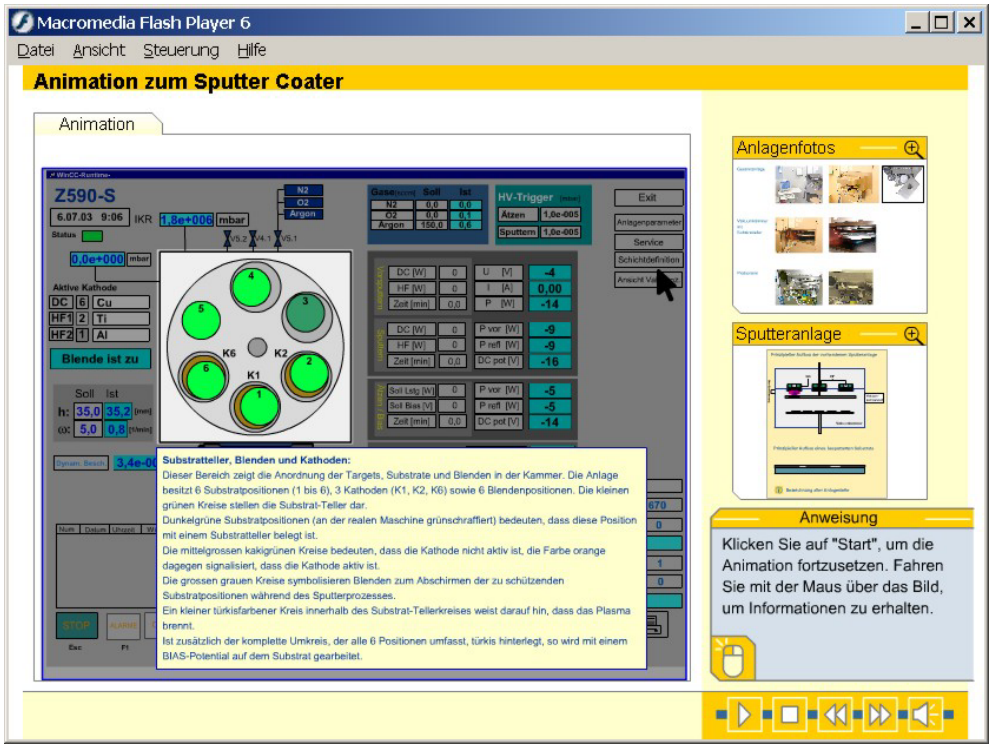


Abb. B.15: Virtuelle Maschine Sputter Coater, Ansicht „Animation“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

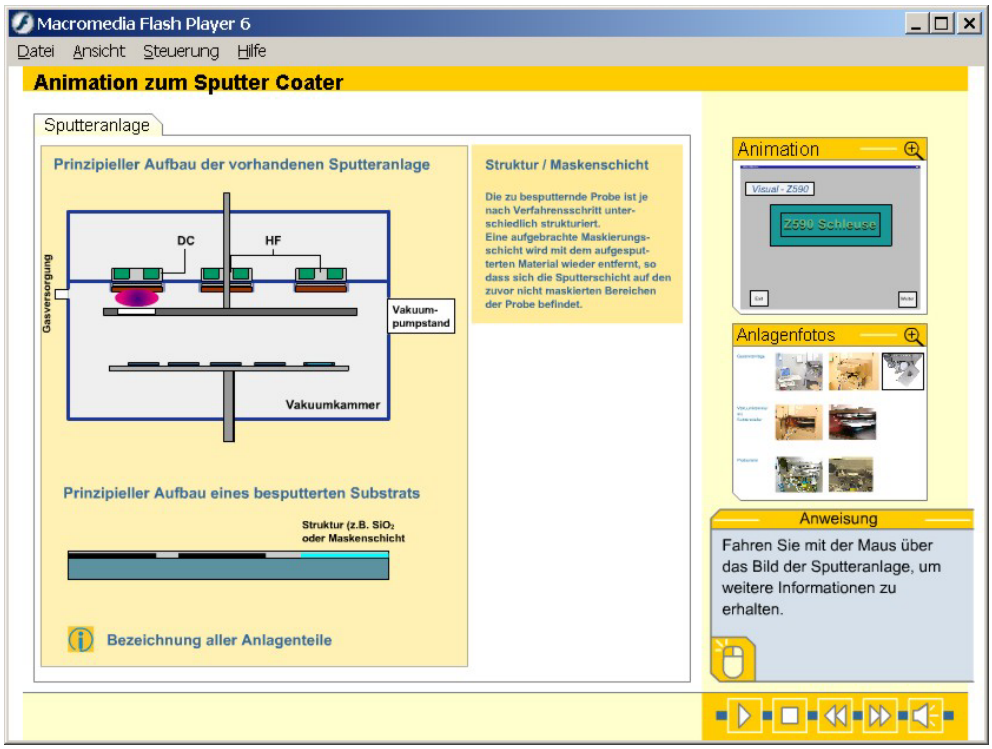


Abb. B.16: Virtuelle Maschine Sputter Coater, Ansicht „Sputteranlage“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Die Lernenden haben an dieser Maschine zwei Aufgaben. Zunächst sollen sie sich mit den verschiedenen Anlagenkomponenten und ihren Funktionen vertraut machen. Danach sollen sie verstehen, wie ein Sputterprozess generell durchgeführt wird und welche Parameter auf das Ergebnis Einfluss nehmen. Die Lernenden bekommen zu allen Zwischenschritten und zum animierten Ergebnis textliche Erläuterung sowie Hinweise. Sie werden ähnlich wie beim Mask Aligner durch einen Beschichtungsvorgang geführt. Nach dem Arbeiten mit der Animation können die Lernenden ihre Kenntnisse in der Simulation direkt anwenden und den eigentlichen Prozess simulieren. Die Animation Sputter Coater wurde mit dem Programm „Flash“ in Aachen erstellt.

Simulation Sputter Coater

Für die Simulation wurden von den Oberflächen des Prozessrechners die vier wesentlichen Fenster (vgl. Abb. B.17, Abb. B.18, Abb. B.19) realisiert, wobei die Ansicht zu den Pumpständen in ihrer Funktionalität sehr vereinfacht wurde. Außerdem wurde ein Startbildschirm identisch zur realen Maschine erstellt. Als Parameter wurden die Sputterleistung, die Bias-Spannung, die Sputterzeit, der Kathodenabstand und zusätzlich der Gasfluss berücksichtigt. Das Kathodenmaterial wurde als Information in die maschinenübergreifende Datenbank aufgenommen. Zu den manuellen Einstellungen der Anlage zählen das Öffnen und Schließen der Schleuse. Diese wurden an der virtuellen Maschine vereinfacht umgesetzt. Der reale Prozess dauert etwa 45 min, daher wurde eine Zeitraffung in Form einer Beschleunigungsfunktion in die Simulation eingebaut.

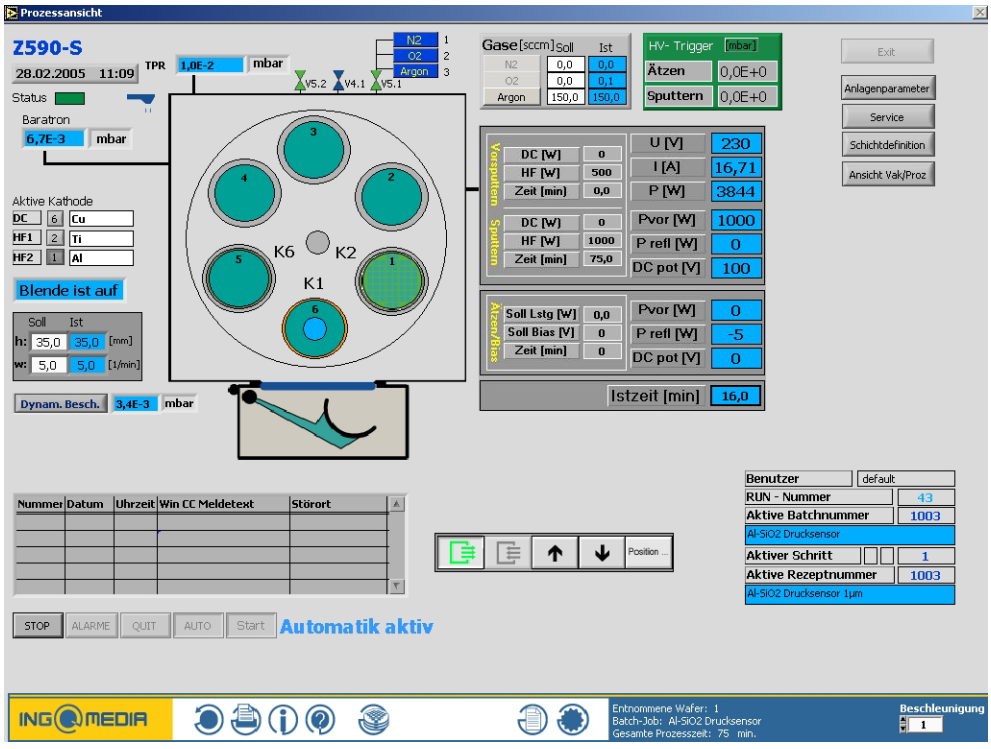


Abb. B.17: Virtuelle Maschine Sputter Coater, Fenster „Prozessansicht/ Leistungssollwerte“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

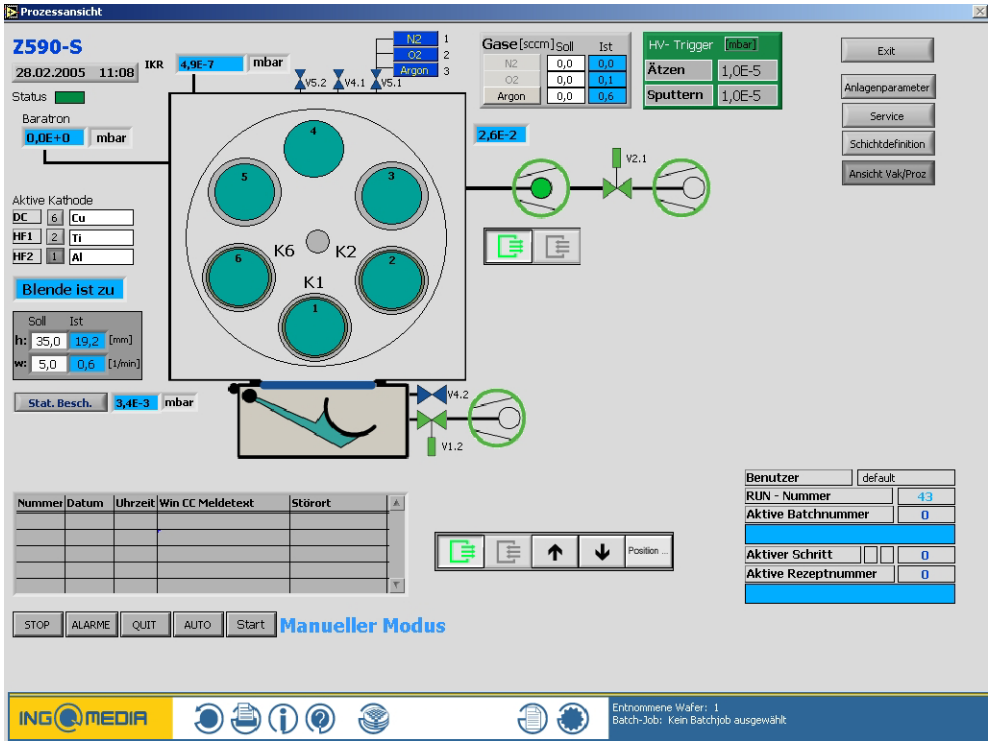


Abb. B.18: Virtuelle Maschine Sputter Coater, Fenster „Prozessansicht/ Pumpstände“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

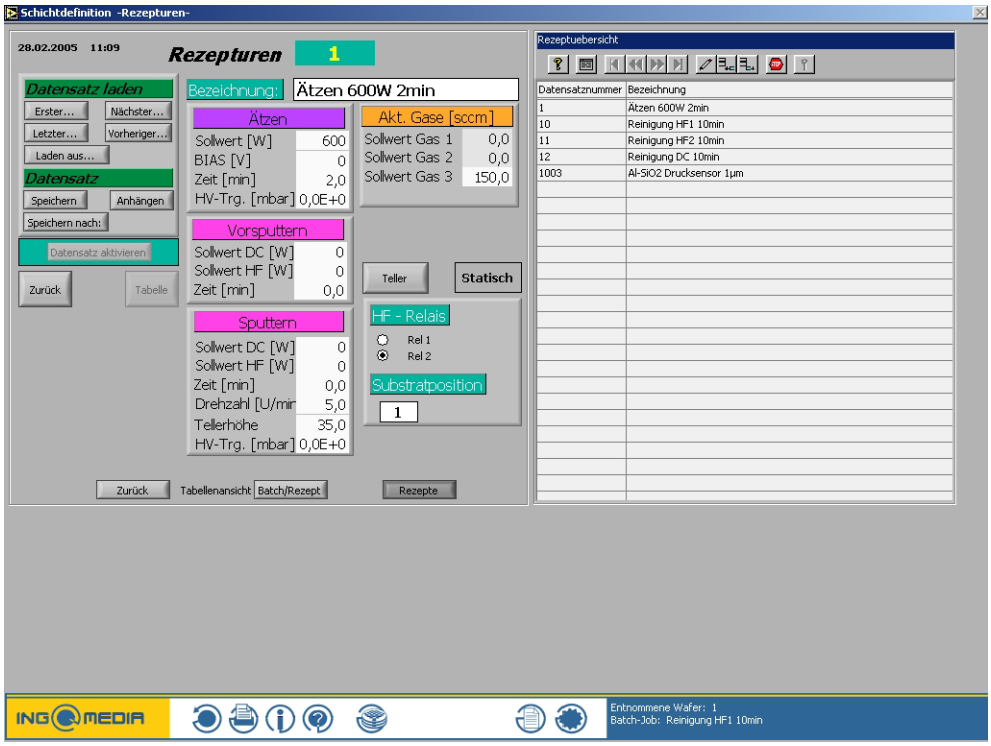


Abb. B.19: Virtuelle Maschine Sputter Coater, Fenster „Rezepturen“ (Fachhochschule Aachen, S. Merten)

Die Aufgabe der Lernenden besteht im Erzeugen einer fast 1 µm dicken Aluminium-Schicht auf der Widerstandsseite des Wafers. Sie können sich das Ergebnis ihrer Einstellungen im Laborbuch der Navigationsleiste ansehen. Als Rückmeldung bekommen sie den in einem Kennfeld nach den realen Messwerten interpolierten Wert der Schichtdicke angezeigt. Die virtuelle Maschine Sputter Coater ist eine sehr komplexe Simulation und wurde mit dem Programm „LabVIEW“ in Aachen erstellt.

Video Reinraum

Das Video „Reinraum“ gibt einen Überblick zu den Laborräumen und Maschinen des Reinraums in Zweibrücken sowie zum generellen Verhalten in einem Reinraum. Es wird demonstriert, was zur Reinraumkleidung gehört und wie diese anzulegen ist. Über das Video werden die Lernenden durch die unterschiedlichen Laborräume von Zweibrücken geführt. Sie erfahren, wo die verschiedenen Maschinen stehen und wie sie eingesetzt werden. Durch Beispiele bekommen sie zudem einen kleinen Einblick in die Bedienung der Anlagen. Dabei werden nicht nur die Anlagen vorgestellt, die für den Herstellungsprozess Drucksensor benötigt werden, sondern auch weitere Maschinen präsentiert, die in der MST eingesetzt werden. Das Reinraum-Video wurde in Zweibrücken erstellt.

Videos zu den virtuellen Maschinen

Viele Anlagen werden nicht nur über einen Prozessrechner oder eine Steuereinheit bedient, sondern etliche manuelle Handgriffe sind nötig, um einen Wafer in der gewünschten Weise zu prozessieren. Gerade diese manuellen Handlungen können über und mit Videos erheblich besser demonstriert und erläutert werden. Daher kommen Videos sowohl innerhalb einer virtuellen Maschine als Ergänzung sowie als separates Anschauungsmaterial vor. Um den Umfang des virtuellen Labors durch die Datenmenge insbesondere von Videos nicht zu sprengen, wurden alle Videos komprimiert. Zudem haben sie ein einheitliches AVI-Format. Alle Videos wurden in Zweibrücken aufgenommen.

C Anhang – Mitwirkende Hochschulen bei den Technologiepraktika

Das virtuelle Training und die Reinraumpraktika sowie die dazu benötigten Materialien wurden in enger Kooperation mit der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken und der Universität des Saarlandes aufgebaut. Die Beiträge der einzelnen Hochschulpartner sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen. Die Hochschulen werden dabei mit FH AC (Fachhochschule Aachen), FH ZW (Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken) und UDS (Universität des Saarlandes) abgekürzt.

Tab. C.1: Durchführung der Vorbereitungskurse

Hochschule	Professoren und Mitarbeiter
Studentische Kurse	
FH AC	Prof. K.-P. Kämper, Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten
FH ZW	--[1)]
UDS	Mitarbeiter der Fachrichtung Mechatronik
Mitarbeiterschulung	
FH AC	SS 2003 für die UDS, Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten SS 2005 für die FH ZW, Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten

[1)] Die Mitarbeiter des Fachbereiches Informatik und Mikrosystemtechnik unterstützen ab dem WS 2005/06 die Durchführung der studentischen Schulungen.

Tab. C.2: Durchführung der Reinraumpraktika

Hochschule	Professoren und Mitarbeiter
Studentische Kurse	
FH AC	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten
FH ZW	Professoren und Mitarbeiter des Fachbereiches Informatik und Mikrosystemtechnik
UDS	Zwei Mitarbeiter der Fachrichtung Mechatronik
Weitere Kurse (Schulen, Unternehmen etc.)	
FH ZW	Professoren und Mitarbeiter des Fachbereiches Informatik und Mikrosystemtechnik

Tab. C.3: Entwickler[1)] der virtuellen Laborumgebung

Virtuelle Maschinen	
Simulation Anodischer Bonder	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Ing. T. Schnakenberg (FH AC), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Simulation Ellipsometer	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Ing. T. Schnakenberg (FH AC), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Simulation Entwickler- und Reinigungsbank	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Animation Film Thickness Probe	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Simulation Film Thickness Probe	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Ing. T. Schnakenberg (FH AC), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Simulation Hochtemperatur-ofen	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW),
Simulation Mask Aligner	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Animation Spin Coater	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Animation Sputter Coater	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Simulation Sputter Coater	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Des. W. Kock (FH AC)
Template für Animationen	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW)
Videos	
Reinraumvideo	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Videos zu den Simulationen	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Lernumgebung	
Prototyp Lernumgebung	Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW), Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)

[1)] Die Software-Entwicklung wurde durch studentische Hilfskräfte unterstützt. Die Programme sind weitestgehend fertig gestellt.

Tab. C.4: Mitwirkende Autoren beim Erstellen der Kurssunterlagen[1)]

Drucksensor-Kochbuch 1	
Prof. K.-P. Kämper (FH AC), Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Prof. A. Picard (FH ZW), Prof. A. Schütze (UDS), Prof. H. Seidel (UDS)	
Drucksensor-Kochbuch 2 – virtuelle Maschinen	
Simulation Anodischer Bonder	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Simulation Ellipsometer	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Simulation Entwickler- und Reinigungsbank	Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW), Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW)
Animation Film Thickness Probe	Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW), Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW)
Simulation Film Thickness Probe	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Simulation Hochtemperatur-ofen	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Simulation Mask Aligner	Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW), Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Animation Spin Coater	Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW), Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC), Dipl.-Inf. M. Rollwa (FH ZW)
Animation Sputter Coater	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Simulation Sputter Coater	Dipl.-Min. M. Techn. S. Merten (FH AC)
Drucksensor-Kochbuch 2 – reale Maschinen	
Prozesskette	Dipl.-Ing. D. Cassel (FH ZW), Dipl.-Ing. A. Jentsch (FH ZW)
Maschinenanleitungen	Professoren und Mitarbeiter des Fachbereiches Informatik und Mikrosystemtechnik

[1)] Die Materialien sind teilweise fertig erstellt.

D Anhang – Fragebogen und Ergebnisse zu den MST-Studienangeboten

Für Fachhochschulen und Universitäten, die im Bereich Mikrosystemtechnik aktiv sind, wurde ein einseitiger Fragebogenaufgestellt, mit dem das Angebot von Reinraumpraktika bundesweit ermittelt werden sollte. Der Fragebogen hatte eine spezielle Kopfzeile sowie Felder für den Namen und Ansprechpartner der jeweils angeschriebenen Hochschule. Zu dem Fragebogen gab es ein Anschreiben, in dem der Zweck der Befragung erklärt wurde. Die Fragen wurden durchnummeriert und nacheinander sinnvoll geordnet gestellt. Sie werden nachfolgend aufgeführt, wobei das Layout zwecks Lesbarkeit an das Format des Anhangs angepasst wurde und daher nur teilweise dem tatsächlichen Seitenlayout entspricht. Die Ergebnisse zu den einzelnen Fragen werden im Anschluss an die Fragebögen aufgeführt. Weiterhin wurden einige Studierendenzahlen zu ausgewählten Hochschulen gesammelt, die den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen sind.

Studierendenzahlen verschiedener Hochschulen

Fachhochschule Aachen, Studiengang Mechatronik (Diplom), Studierendenzahlen[1)]

Semester	Gesamt	Männlich	Weiblich	Studienanfänger
WS 00/01	102	98	4	41
WS 01/02	130	124	6	42
WS 02/03	157	151	6	49
WS 03/04	195	191	4	66
WS 04/05	240	231	9	72

[1)] Schriftliche Mitteilung der Hochschule

Technische Universität Chemnitz, Studiengang Mikrotechnik/ Mechatronik (Diplom), Studierendenzahlen[1)]

Semester	Gesamt	Männlich	Weiblich	Studienanfänger
WS 00/01	100	90	10	k. A.[2)]
WS 01/02	150	133	17	123
WS 02/03	183	165	18	104
WS 03/04	219	213	16	98
WS 04/05	249	236	13	116

1) Schriftliche Mitteilung der Hochschule

2) Keine Angaben vorhanden

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Studiengang Mikrosystemtechnik (Diplom), Studierendenzahlen[1)]

Semester	Gesamt	Männlich	Weiblich	Erstimmatrikulation
WS 98/99	210	198	12	81
WS 99/00	279	262	17	86
WS 00/01	326	303	23	74
WS 01/02	350	319	31	78
WS 02/03	385	340	45	85
WS 03/04	434	386	48	126
WS 04/05	476	428	48	96

1) Publikationen im Internet

Fachhochschule Gelsenkirchen, Studiengänge Mechatronik (Diplom) und Mikrotechnik (Bachelor, Master), Studierendenzahlen[1)]

	Studiengang Mechatronik (Diplom)		Studiengang Mikrotechnik (Bachelor)		Studiengang Mikrotechnik (Master)[2)]	
Semester	Gesamt	Anfang	Gesamt	Anfang	Gesamt	Anfang
WS 00/01	78	28	158	47	--	--
WS 01/02	101	42	203	66	--	--
WS 02/03	137	51	257	86	--	--
WS 03/04	176	67	284	84	--	--
WS 04/05	207	63	323	87	6	6

1) Schriftliche Mitteilung der Hochschule

2) Der Master-Studiengang Mikrotechnik existiert erst ab WS 04/05

Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken, Studiengang Mikrosystemtechnik (Diplom, Master), Studierendenzahlen[1)]

	Studiengang Mikrosystemtechnik (Diplom)		Studiengang Mikrosystemtechnik (Master)[2)]	
Semester	Gesamt	Anfang	Gesamt	Anfang
WS 00/01	k. A.[3)]	33 (einschl. SS 01)	--	--
WS 01/02	129	53 (einschl. SS 02)	--	--
WS 02/03	123	43 (einschl. SS 03)	--	--
WS 03/04	148	55 (einschl. SS 04)	--	--
WS 04/05	159	46	13	13

[1)] Telefonische Auskunft der Hochschule

[2)] Der Master-Studiengang Mikrosystemtechnik existiert erst ab dem WS 04/05

[3)] Keine Angaben vorhanden

Universität des Saarlandes, Studiengänge Mikro- und Nanostrukturen, System- und Elektrotechnik sowie Mechatronik, Studierendenzahlen (Diplom und Lehramt)[1)]

	Studiengang Mikro- und Nanostrukturen[2)]		Studiengang System- und Elektrotechnik		Studiengang Mechatronik[3)]	
Semester	Gesamt	Anfang	Gesamt	Anfang	Gesamt	Anfang
WS 00/01	--	--	33	33	--	--
SS 01	1	1	k. A. [4)]	16	--	--
WS 01/02	k. A.	8	k. A.	25	--	--
SS 02	k. A.	9	k. A.	18	--	--
WS 02/03	21	13	85	33	--	--
SS 03	21	3	85	8	--	--
WS 03/04	33	16	89	29	--	--
SS 04	36	5	91	8	--	--
WS 04/05	45	18	81	0	87	83

[1)] Schriftliche Mitteilung der Hochschule

[2)] Der Studiengang Mikro- und Nanostrukturen existiert erst ab SS 01

[3)] Der Studiengang Mechatronik existiert erst ab WS 04/05

[4)] Keine Angaben vorhanden

Fragebogen zum aktuellen Stand der MST-Ausbildung

_____	_____	_____
Hochschule	Ansprechpartner für Rückfragen	Email

1. Gibt es an Ihrer Hochschule Studienangebote im Bereich „Mikrosystemtechnik“?

   ☐ Nein

   ☐ Ja a) Es gibt ein Studienangebot in Form

   ☐ eines Studiengangs ☐ einer Studienrichtung ☐ einzelner Lehrveranstaltungen

   b) Falls einzelne Lehrveranstaltungen: Das Fach Mikrosystemtechnik ist ein

   ☐ Pflichtfach ☐ Wahlpflichtfach ☐ Wahlfach

   c) Der Umfang des Studienangebotes beträgt __ Semesterwochenstunden

   (Wenn „Ja“, schicken Sie uns nach Möglichkeit bitte einen Studienplan zu)

2. Führen Sie an Ihrer Hochschule mit Studierenden Praktika in Reinraum (RR)-Laboren durch?

   ☐ Nein In diesem Fall entfällt das weitere Ausfüllen des Fragebogens.
   Bitte senden Sie uns dennoch den Fragebogen zurück.

   ☐ Ja

3. Mit welcher Infrastruktur (Räume und Geräte) führen Sie Ihre RR-Praktika durch?

   ☐ Gesonderte Infrastruktur für die Lehre

   ☐ Die Infrastruktur wird sowohl für die Lehre als auch für F&E-Projekte genutzt

   Priorität hat ☐ die Lehre ☐ die Forschung ☐ beide gleichberechtigt

4. Wie sieht der zeitliche Umfang Ihres RR-Praktikums typischerweise aus?

   ☐ Einzelversuche mit ___ Terminen im Abstand von ___ Tagen / Wochen zu je ___ Stunden

   ☐ Blockpraktikum im Umfang von insgesamt ___ Tagen zu je ___ Stunden

5. Wie viele Studierende nehmen an dem RR-Praktikum teil?
   Insgesamt etwa ___ Studierende pro Semester

6. Bereiten sich die Studierenden speziell auf das RR-Praktikum vor?
   ☐ Nein, Vorbereitung erfolgt im Rahmen der regulären Lehrveranstaltungen
   ☐ Ja, mit Hilfe von ☐ Lehrbüchern, nämlich: _____
   _____
   ☐ Speziellem Unterrichtsmaterial (Praktikumsskript)
   ☐ Multimedialer Lernarrangements
   Quelle: _____
   _____

7. Wären Sie an der Nutzung eines speziell für die Lehre zur Verfügung stehenden RR-Labors interessiert (z.B. MST-Reinraum der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)?
   ☐ Ja ☐ Nein

Ergebnisse zum aktuellen Stand der MST-Ausbildung

Befragte Hochschulen	
Universitäten	Fachhochschulen
RWTH Aachen	FH Aachen, 2 Fachbereiche
TU Berlin	HTW Aalen
TU Braunschweig	FH Amberg-Weiden
Uni Bremen	HS Anhalt
TU Chemnitz	FH Augsburg
TU Clausthal	FHTW Berlin
BTU Cottbus	Technische FH Berlin
TU Darmstadt	FH Bielefeld
Uni Dortmund	FH Bochum
TU Dresden	FH Bonn-Rhein-Sieg
Uni Duisburg/ Essen	FH Brandenburg
Uni Erlangen/Nürnberg	HS Bremen
Uni Freiburg	FH Darmstadt
Fernuni Hagen	FH Deggendorf
TU Hamburg-Harburg	FH Dortmund
Helmut-Schmidt-Uni Hamburg	HTW Dresden
Uni Hannover	FH Düsseldorf
TU Ilmenau	FH Esslingen
Uni Kaiserslautern	FH Frankfurt am Main
Uni Karlsruhe	FH Fulda
Uni Kassel, 2 Fachbereiche	FH Furtwangen
CAU Kiel	FH Gelsenkirchen
Uni Magdeburg	FH Gießen-Friedberg, 2 Fachbereiche
TU München	FH Hildesheim/ Holzminden/ Göttingen
Universität der Bundeswehr München	FH Heilbronn
Uni Paderborn	FH Jena
Uni Rostock	FH Kaiserslautern
Universität des Saarlandes	FH Karlsruhe
Uni Siegen	FH Kiel
Uni Stuttgart	FH Köln
Uni Ulm	FH Landshut
Uni Wuppertal	FH Lausitz
	FH Lübeck
	FH Merseburg
	HS Mittweida
	FH München
	FH Münster
	HS Niederrhein

Befragte Hochschulen	
Universitäten	Fachhochschulen
	FH Nürnberg
	FH Osnabrück
	FH Regensburg
	HS Reutlingen
	HTW Saarbrücken
	FH Südwestfalen
	FH Trier
	FH Ulm
	FH Wiesbaden, 2 Fachbereiche
	FH Wilhelmshaven
	FH Wedel
	Westsächsische Hochschule Zwickau

1. Gibt es an Ihrer Hochschule Studienangebote im Bereich „Mikrosystemtechnik“?

Item 1: Angebot insgesamt[1)]			Pflichtfach[2)]		Wahlpflichtfach[2)]		Wahlfach[2)]	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Kein Angebot	8	15,4						
MST-Angebot	44	84,6						
Gesamt	52	100,0						
Studiengang	8	18,6	--	--	--	--	--	--
Studienrichtung	13	30,2	--	--	--	--	--	--
Einzelne Lehrveranstaltung	22	51,2	11	45,8	12	50,0	1	4,2
Gesamt	43[3)]	100,0						

[1)] Bei mehreren Angaben zum Studienangebot wurde die Angabe mit der höchsten Bedeutung berücksichtigt.

[2)] Die Angaben zum Wahl-/Pflichtfach beziehen sich nur auf einzelne Lehrveranstaltungen.

[3)] Eine Hochschule hat hierzu keine Angaben gemacht.

Item 1: Angebot nach Hochschulen	Studiengang		Studienrichtung		Einzelne Lehrveranstaltung	
	N	%	N	%	N	%
Universitäten	1	2,3	8	18,6	8	18,6
Fachhochschulen	7	16,3	5	11,6	14	32,6
Gesamt	8	18,6	13	30,2	22	51,2

Item 1: Umfang des Angebotes	Studiengang		Studienrichtung		Einzelne Lehrveranstaltung	
SWS	N	%	N	%	N	%
2	0	0,0	0	0,0	4	13,8
3	0	0,0	0	0,0	3	10,3
4	0	0,0	1	3,4	7	24,1
5	0	0,0	0	0,0	1	3,4
6	1	3,4	0	0,0	1	3,4
7	0	0,0	0	0,0	1	3,4
9	0	0,0	1	3,4	1	3,4
10	0	0,0	1	3,4	1	3,4
12	0	0,0	0	0,0	1	3,4
14	0	0,0	1	3,4	0	0,0
20	1	3,4	0	0,0	0	0,0
45	0	0,0	1	3,4	0	0,0
65	0	0,0	1	3,4	0	0,0
90	1	3,4	0	0,0	0	0,0
Gesamt	3	10,3	6	20,7	20	69,0

2. Führen Sie an Ihrer Hochschule mit Studierenden Praktika in Reinraum (RR)-Laboren durch?

Item 2	Ja		Nein	
	N	%	N	%
Universitäten	16	33,3	4	8,3
Fachhochschulen	13	27,1	15	31,3
Gesamt	29	60,4	19	39,6

Item 2: Hochschulen, die geantwortet haben[1)]			
Ja – Universitäten	Ja – Fachhochschulen	Nein – Universitäten	Nein – Fachhochschulen
RWTH Aachen	FH Aachen	TU Clausthal	FH Aachen
TU Berlin	FHTW Berlin	TU Dresden	HTW Aalen
TU Braunschweig	HS Bremen	Helmut-Schmidt-Uni Hamburg	FH Bielefeld
Uni Bremen	FH Düsseldorf	CAU Kiel	FH Bochum
TU Chemnitz	FH Furtwangen		FH Deggendorf
BTU Cottbus	FH Heilbronn		FH Frankfurt am Main
Uni Dortmund	FH Kaiserslautern		FH Fulda
Uni Duisburg/ Essen	FH Karlsruhe		FH Gießen-Friedberg
Fernuni Hagen	FH Landshut		FH Hildesheim/ Holzminden/ Göttingen
Uni Hannover	FH Lausitz		FH Jena
Uni Kassel	FH München		HS Niederrhein
Uni Kassel, Technische Physik	FH Regensburg		FH Osnabrück
Uni Magdeburg	Westsächsische Hochschule Zwickau		HS Reutlingen
Uni Paderborn			HTW Saarbrücken
Universität des Saarlandes			FH Trier
Universität Siegen			
Gesamt			
16	13	4	15

[1)] Die FH Merseburg hat trotz MST-Angeboten hierzu keine Angaben gemacht; an der FH Münster wurde der MST-Studiengang eingestellt; die FH Gießen-Friedberg hat trotz 2 Fachbereichen 1 Angabe und die FH Ulm keine Angaben gemacht. (Keine Angabe = 4)

3. Mit welcher Infrastruktur (Räume und Geräte) führen Sie Ihre RR-Praktika durch?

Item 3: Infrastruktur	Gesonderte Infrastruktur		Infrastruktur für Lehre und F&E-Projekte	
Infrastruktur	N	%	N	%
Universitäten	2	6,9	14	48,3
Fachhochschulen	2	6,9	11	37,9
Gesamt	4	13,8	25	86,2
Priorität[1)]	N	%	N	%
Lehre	--	--	4	16,7
Forschung	--	--	9	37,5
Beide gleichberechtigt	--	--	11	45,8
Gesamt			24	100,0

[1)] Die Angaben zur Priorität beziehen sich nur auf Infrastruktur für Lehre und F&E-Projekte.

Item 3: Priorität	Lehre		Forschung		Beide gleichberechtigt	
	N	%	N	%	N	%
Universitäten	0	0,0	8	33,3	6	25,0
Fachhochschulen	4	16,7	1	4,2	5	20,8
Gesamt	4	16,7	9	37,5	11	45,8

4. Wie sieht der zeitliche Umfang Ihres RR-Praktikums typischerweise aus?

Item 4: Gesamt	Einzelveranstaltungen		Blockpraktikum	
	N	%	N	%
Universitäten	8	27,6	8	27,6
Fachhochschulen	6	20,7	7	24,1
Gesamt	14	48,3	15	51,7

Item 4: Einzelauflistung					
Einzelveranstaltung			Blockpraktikum		
Anzahl an Terminen	N	%	Umfang in Tagen	N	%
2[1)]	2	16,7	1	2	14,3
3	1	8,3	2	1	7,1
5	2	16,7	3	2	14,3
6	1	8,3	4	1	7,1
8	1	8,3	5	6	42,9
10	1	8,3	7	1	7,1
13	2	16,7	8	1	7,1
15	2	16,7	--	--	--
Gesamt	12	100,0		14	100,0
Abstand zwischen den Terminen in Wochen[2)]	N	%			
1	9	81,8			
2	2	18,2			
Gesamt	11	100,0			
Dauer in Stunden	N	%	Dauer in Stunden	N	%
1	1	8,3	3	3	23,1
3	5	41,7	4	1	7,7
4	5	41,7	6	5	38,5
5	1	8,3	7	1	7,7
--	--	--	8	3	23,1
Gesamt	12	100,0		13	100,0

[1)] Die Angabe 1 - 2 Termine wird zu 2 Terminen gerechnet.

[2)] Angaben mit 6 und 8 Tagen wurden als eine Woche gerechnet. Für die Blockveranstaltung entfällt die Angabe.

5. Wie viele Studierende nehmen an dem RR-Praktikum teil?

Item 5	Universitäten		Fachhochschulen		Gesamt	
	N	%	N	%	N	%
4	--	--	1	3,8	1	3,8
6	1	3,8	--	--	1	3,8
10	4	15,4	2	7,7	6	23,1
12	1	3,8	1	3,8	2	7,7
15	5	19,2	2	7,7	7	26,9
20	1	3,8	1	3,8	2	7,7
25	--	--	1	3,8	1	3,8
30	1	3,8	2	7,7	3	11,5
40	--	--	1	3,8	1	3,8
50	1	3,8	1	3,8	2	7,7
Gesamt	14	53,8	12	46,2	26	100,0

[1)] Bei Angaben von/ bis wurde die jeweils höchste Anzahl berücksichtigt.

6. Bereiten sich die Studierenden speziell auf das RR-Praktikum vor?

Item 6			Lehrbücher[1)]		Spezielles Unterrichtsmaterial (Praktikumsskript) [1)]		Multimediale Lernarrangements[1)]	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Nein	10	34,5	--	--	--	--	--	--
Ja	19	65,5	7	36,8	17	89,5	3	15,8
Gesamt	29	100,0						

[1)] Teilweise Mehrfachnennung, %-Angaben beziehen sich auf N=19.

7. Wären Sie an der Nutzung eines speziell für die Lehre zur Verfügung stehenden RR-Labors interessiert (z.B. MST-Reinraum der Fachhochschule Kaiserslautern/ Zweibrücken)?

Item 7	Ja		Nein	
	N	%	N	%
Universitäten	5	13,9	13	36,1
Fachhochschulen	6	16,7	12	33,3
Gesamt	11	30,6	25	69,4

E Anhang – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2002/03 und SS 2003

Es gab zwei Fragebögen für die Lernenden, einen zur Vorbereitung mit dem virtuellen Labor im Umfang von vier Seiten und einen zum realen Praktikum mit einer Länge von drei Seiten, die beide an der Fachhochschule Aachen entwickelt wurden. Jeder Fragebogen hatte ein Deckblatt, auf dem der Zweck der Untersuchung erklärt und die Anonymität der Untersuchung betont wurden. Weiterhin besaß jeder Fragebogen spezielle Kopf- und Fußzeilen und ein Feld für den persönliche Code (Fragebogennummer). Die Fragen wurden nicht durchnummeriert und für die Auswertung zu Themenbereichen zusammengefasst. Sie werden nachfolgend aufgeführt, wobei das Layout zwecks Lesbarkeit an das Format des Anhangs angepasst wurde und daher nur teilweise dem tatsächlichen Seitenlayout entspricht. Die Ergebnisse aus dem internen Zwischenbericht werden im Anschluss an die Fragebögen aufgeführt. Sie werden teilweise durch eigene Auswertungen ergänzt. Die einzelnen Maschinen werden mit M1 (Hochtemperaturofen), M2 (Mask Aligner), M3 (Sputter Coater) und M4 (Film Thickness Probe) abgekürzt.

Fragebogen für die Vorbereitungsphase und das virtuelle Labor

					persönlichen Code (fünfstellig), bitte hier eintragen

Seite 1

1 (sehr gut) – 5					Meine eigene Kompetenz im Umgang mit Neuen Medien erachte ich als
1	2	3	4	5	

1 (sehr gut) – 5					Mein bisheriger Studienerfolg (Prüfungsergebnisse) liegt insgesamt bei
1	2	3	4	5	

sehr (1) – gar nicht (5)					Technische Funktionsprobleme bei INGMEDIA führten bei mir zu zeitlichen Verzögerungen und Engpässen
1	2	3	4	5	

2 Nennungen möglich

Für das Wahlfach Mikrotechnik II habe ich mich hauptsächlich entschieden, weil

1	2	3	4	5	1. ... es meinen inhaltlichen Interessen besonders entspricht (Neigung) 2. ... ich hier schon besondere fachliche Kompetenzen mitbrachte (Eignung) 3. ... ich die Lehrenden dieser Veranstaltung besonders schätze 4. ... organisatorische Gründe dies für mich nahe legten 5. Sonstiges und zwar: ...

Beurteilung des Handouts für die einzelnen Maschinen

M1 Hochtemperaturofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
Klarheit der einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) 1= sehr gut – 5 = mangelhaft																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Vermittlung von Zuversicht und Erfolgsgewissheit 1= sehr gut – 5 = mangelhaft																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
erste Vertrautheit mit der realen Maschine 1= sehr gut – 5 = mangelhaft																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Infos bzw. Anregung bzgl. theoretischer Vertiefung 1= sehr gut – 5 = mangelhaft																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = gründlich
2 = ein wenig
3 = gar nicht

Das Handout der jeweiligen Maschinen habe ich bereits vorher, zu den einzelnen Terminen durchgearbeitet.

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

1 = gründlich
2 = ein wenig
3 = gar nicht
4 = nicht nötig wg. gutem Vorwissen

Die Materialien zu den jeweiligen theoretischen Hintergründen hatte ich bereits vor der Simulationsdurchführung durchgearbeitet.

1	2	3	4	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	*M4* FTP 500

1 = mehrfach
2 = einmal
3 = nie

Mit meinem(r) Praktikumspartner(in) hatte ich bereits vorher fachlich zusammengearbeitet:

1	2	3	

1 (sehr) – 5 (gar nicht)

Mit der Simulationssoftware der einzelnen Maschinen kam ich schnell zurecht.

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Seite 2

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Technische Funktionsprobleme der Simulationssoftware führten bei mir zu Motivationsverlusten.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

1 = passend 2 = zu kurz 3 = zu lang			Die Praktikumszeit war für die Bewältigung der jeweiligen Aufgaben ...
1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

1 = ja 2 = nein		Ich (wir) konnte(n) die verfügbare Praktikumszeit ausreichend zum Durchspielen verschiedener Prozessparameter nutzen
1	2	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	*M2* Mask Aligner
1	2	*M3* Sputter Coater
1	2	*M4* FTP 500

Während der Praktikumszeit war für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen entscheidend:

1. Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit
2. Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine
3. Erarbeitung theoretischer Hintergründe
4. Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte

Bitte bei jeder Maschine Nummern (1 - 4, s.o.) als Rangfolge der Wichtigkeit eintragen															
M1 Hochtemperaturofen				*M2* Mask Aligner				*M3* Sputter Coater				*M4* FTP 500			

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Der häufige Rückgriff auf die schriftlichen Handouts war für die erfolgreichen Simulationsdurchführungen wichtig.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

1 (sehr gut) – 5					Die Betreuung im Praktikum beurteile ich für die einzelnen Maschinen:
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Die eher zurückhaltenden Betreuung im Praktikum eröffnete mir Aha- bzw. Erfolgserlebnisse:

selbst darauf gekommen 1 = mehrfach 2 = kaum 3 = nie (1x ankreuzen)			echt verstanden 1 = mehrfach 2 = kaum 3 = nie (1x ankreuzen)			
1	2	3	1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	1	2	3	*M4* FTP 500

Seite 3

1 = ja 2 = nein		Eine ferndiagnostische Betreuung (Telefon, E-Mail, Chat...) bei privater Bearbeitung der Simulationssoftware außerhalb einer Lehrveranstaltung hätte mir ausgereicht
1	2	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	*M2* Mask Aligner
1	2	*M3* Sputter Coater
1	2	*M4* FTP 500

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Die Zusammenarbeit mit einem(r) Kommilitonen(in) im Praktikum war für meinen Lernerfolg wichtig.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Für meinen Lernerfolg war meine Partnerwahl in diesem Praktikum richtig.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

1 Nennung möglich			Mit meinem (r) Partner(in) praktizierte ich
1	2	3	1. ... eine im wesentlichen gleichbleibende Arbeitsteilung über alle Maschinen hinweg 2. ... eine von Maschine zu Maschine wechselnde Arbeitsteilung 3. ... eine innerhalb jeder einzelnen Maschinenbearbeitung wechselnde Arbeitsteilung

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Für meinen Lernerfolg beurteile ich diese Vorgehensweise im nachhinein geeignet.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Die angebotenen Videos über die Fertigungsprozesse an der realen Maschine *M2* Mask Aligner

1	2	3	Habe ich angeschaut (1x ankreuzen: 1 = aufmerksam, 2 = flüchtig, 3 = gar nicht)
1	2	3	Waren für die sachgerechte Bearbeitung der Simulationssoftware hilfreich. (1x ankreuzen: 1 = sehr, 2 = etwas, 3 = gar nicht)
1	2	3	Waren für mein Verständnis der Prozesse an der realen Maschine hilfreich. (1x ankreuzen: 1 = sehr, 2 = etwas, 3 = gar nicht)

Die Hinweise zu den Unterschieden zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen waren für mich:

M1			*M2*			*M3*			*M4*		
(1x ankreuzen) 1 = verständlich, 2 = teils-teils, 3 = verwirrend											
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
(1x ankreuzen) 1 = beruhigend, 2 = teils-teils, 3 = beunruhigend											
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

1 (sehr) – 5 (gar nicht)

Während der einzelnen Simulationsprozesse war mir stets klar, was da und wie lange an der realen Maschinen ablaufen würde.

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Seite 4

1 Nennung möglich

Für die verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir im Nachhinein

1. eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte (Fertigkeiten)
2. eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe
3. das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoret. Hintergründen war richtig

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

1 = sehr angemessen
2 = ausreichend
3 = verbesserungsbedürftig

Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen /Reaktionsnachweise zu ausgeführten Manipulationen waren:

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

1 = den einzelnen Prozessschritten
2 = den theor. Hintergründen
3 = weder noch

Aufgrund der Simulationserfahrungen habe ich mich nach den jeweiligen Praktikumsterminen nochmals beschäftigt mit:

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Das Simulationspraktikum (*M1-M4*) hat meine Entscheidung für das Wahlfach Mikrotechnik bestätigt.

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Die Durchführung des Simulationspraktikums (*M1-M4*) hat mir Spaß gemacht.

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Das Simulationspraktikum (*M1-M4*) hat mein Interesse an dem/ meine Vorfreude auf das reale Fertigungspraktikum verstärkt.

Mit dem Simulationspraktikum (*M1-M4*) fühle ich mich gut auf die Arbeit an den realen Maschinen vorbereitet.

M1 Hochtemperaturofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
bzgl. der notwendigen Fertigkeiten (Arbeitsschritte) 1 (sehr) – 5 (gar nicht)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
bzgl. der theoret. Hintergründe 1 (sehr) – 5 (gar nicht)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Meine Erfahrungen und Dokumentationen aus dem Simulationspraktikum (*M1-M4*) werden auch nach einer Zwischenzeit von einigen Wochen bzw. Monaten meine effiziente Bewältigung der realen Fertigungsprozesse unterstützen.

1 = ganz sicher -
5 = auf keinen Fall

Falls möglich würde ich vor dem realen Fertigungspraktikum in Zweibrücken die Simulationssoftware (auch ohne Betreuung) noch einmal privat nutzen.

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Fragebogen für die realen Reinraumpraktika

					persönlichen Code (fünfstellig), bitte hier eintragen

Seite 1

1 = sehr viel -
5 = gar nichts

Beurteilung des Gewinns durch die INGMEDIA-Simulationen für die einzelnen Maschinen und einzelne Aspekte

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
Zuversicht und Erfolgsgewissheit																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Schnelles Zurechtfinden an der realen Maschine																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Klarheit der einzelnen Arbeitschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Theoretisches Verständnis																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = sehr -
5 = gar nicht

Bzgl. der einzelnen Simulationsangebote erlebte ich im Reinraum deutliche Wiedererkennungseffekte

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = gründlich
2 = ein wenig
3 = gar nicht

Meine Simulationsaufzeichnungen zu den jeweiligen Maschinen habe ich zwischenzeitlich vor dem Reinraumpraktikum noch einmal durchgearbeitet.

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

1 = ja
2 = nein

Meine Simulationsaufzeichnungen habe ich zum Reinraumpraktikum nach Zweibrücken mitgebracht

1	2

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5	Meine Erfahrungen aus dem Simulationspraktikum waren in der Zwischenzeit bis zum Reinraumpraktikum doch schon wieder verschüttet/vergessen

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Die Simulationen sollten (z.B. über PC im Reinraum-Vorraum) während des Praktikums nochmals genutzt werden (können)

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = sehr wichtig -
5 = gar nicht wichtig
6 = nicht gegeben

Es war mir wichtig, auch das Reinraumpraktikum gemeinsam mit meinem(r) Partner(in) aus den Simulationen durchzuführen

1	2	3	4	5	6

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Die jeweils verfügbare Praktikumszeit wurde durch Aufgabenstellung und Betreuung für meine/ unsere Simulationsvorkenntnisse angemessen genutzt

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Angesichts der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung hätte ich das Praktikum auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt:

M1 Hochtemperaturofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Seite 2

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Ich (wir) konnte(n) die verfügbare Praktikumszeit ausreichend zum Durchspielen verschiedener Prozessparameter (Experimentieren) nutzen

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

1 = sehr -
5 = gar nicht

Während der Praktikumszeit stand für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen im Vordergrund:

M1 Hochtemperaturofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
Orientierung, Planung, Vergewisserung, Absicherung bzgl. der einzelnen Schritte																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Durchführen der konkret vorgegebenen Arbeitsschritte																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine Erarbeitung theoretischer Hintergründe																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Erarbeiten theoretischer Hintergründe																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = sehr -
5 = gar nicht

Die Betreuung im Praktikum beurteile ich für die einzelnen Maschinen:

M1 Hochtemperaturofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
Vermittlung von Zuversicht und Erfolgsgewissheit																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Aufgreifen /Herausfordern unserer Simulationsvorkenntnisse und Fragen																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Raum geben für selbständiges Manipulieren bzw. Experimentieren																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Dank meiner/unserer Simulationsvorbereitung (im Vgl. zur Vorstellung, ohne Vorbereitung)

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
könnte die Betreuerkapazität im Reinraum verringert werden (quantitativer Aspekt)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
könnte/konnte die Betreuung unser Lernen besser fördern (qualitativer Aspekt)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Dank meiner/unserer Simulationsvorbereitung (im Vgl. zur Vorstellung, ohne Vorbereitung) konnten im Reinraumpraktikum in sinnvoller Weise Fehler vermieden werden

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 Nennung möglich

Mit meinem (r) Partner(in) praktizierte ich im Reinraumpraktikum

1	2	3	

1. … eine im wesentlichen gleich bleibende Arbeitsteilung über alle Maschinen hinweg
2. … eine von Maschine zu Maschine wechselnde Arbeitsteilung
3. … eine innerhalb jeder einzelnen Maschinenbearbeitung wechselnde Arbeitsteilung

1 (sehr) - 5 (gar nicht)

Für meinen Lernerfolg beurteile ich diese Vorgehensweise im nachhinein geeignet.

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Mehr Videos/Fotos zu den einzelnen realen Fertigungsprozessen hätten für mich die einzelnen Simulationen noch lehrreicher machen können

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Seite 3

einmal ankreuzen
1 = einfacher
2 = gleich leicht/schwer
3 = schwerer

Die Umgang mit der realen Maschine waren für mich im Vergleich zu der Simulation:

M1 Hochtemperatur-ofen			*M2* Mask Aligner			*M3* Sputter Coater			*M4* FTP 500		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Für die verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir in den Simulationen im Nachhinein

1. eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte (Fertigkeiten)
2. eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe
3. das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoret. Hintergründen war richtig

1 Nennung möglich

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

1 = sehr angemessen
2 = ausreichend
3 = verbesserungsbedürftig

Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen /Reaktionsnachweise zu ausgeführten Manipulationen waren im Vergleich zu den Abläufen in Reinraum:

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Das Reinraumpraktikum hat meine Entscheidung für das Wahlfach Mikrotechnik bestätigt.

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Die Durchführung des Reinraumpraktikums hat mir Spaß gemacht.

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Technische Funktionsprobleme beim Reinraumpraktikum …

M1 Hochtemperaturofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
… führten bei mir zu Motivationsverlusten																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
…halfen mit den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

1 = zu lang
2 = gerade richtig
3 = zu kurz bemessen

1	2	3	

Die Dauer des Reinraumpraktikums war mir mit einer Woche

1 = sehr gut -
5 = mangelhaft

1	2	3	4	5

Die Organisation und Unterbringung in Zweibrücken beurteile ich

Ergebnisse für die Vorbereitungsphase und das virtuelle Labor

1 (sehr gut) – 5

1	2	3	4	5

Meine eigene Kompetenz im Umgang mit Neuen Medien erachte ich als

Item 1	Sehr gut		Gut		Befriedigend	
	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	6	31,6	11	57,9	2	10,5
SS 2003[1)]						

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 (sehr gut) – 5

1	2	3	4	5

Mein bisheriger Studienerfolg (Prüfungsergebnisse) liegt insgesamt bei

Item 2	Sehr gut		Gut		Befriedigend	
	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	2	10,0	11	55,0	7	35,0
SS 2003[1)]						

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Technische Funktionsprobleme bei INGMEDIA führten bei mir zu zeitlichen Verzögerungen und Engpässen

Item 3: Keine Angaben im Bericht vorhanden

2 Nennungen möglich

1	2	3	4	5

Für das Wahlfach Mikrotechnik II habe ich mich hauptsächlich entschieden, weil

1. ... es meinen inhaltlichen Interessen besonders entspricht (Neigung)
2. ... ich hier schon besondere fachliche Kompetenzen mitbrachte (Eignung)
3. ... ich die Lehrenden dieser Veranstaltung besonders schätze
4. ... organisatorische Gründe dies für mich nahe legten
5. Sonstiges und zwar: ...

Item 4	Trifft zu		Trifft nicht zu		
WS 2002/03	N	%	N	%	Mittelwert
Neigung	13	65,0	7	35,0	1,35
Eignung	2	10,0	18	90,0	1,90
Schätzung des Lehrenden	7	35,0	13	65,0	1,65
Organisatorische Gründe	7	35,0	13	65,0	1,65
Sonstiges	1	5,0	19	95,0	1,95
SS 2003	N	%	N	%	Mittelwert
Neigung	5	71,4	2	28,6	1,29
Eignung	1	14,3	6	85,7	1,86
Schätzung des Lehrenden	1	14,3	6	85,7	1,86
Organisatorische Gründe	2	28,6	5	71,4	1,71
Sonstiges	0	0	7	100,0	2,00

Beurteilung des Handouts für die einzelnen Maschinen

M1 Hochtemperatur-ofen	*M2* Mask Aligner	*M3* Sputter Coater	*M4* FTP 500

Klarheit der einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails)
1= sehr gut – 5 = mangelhaft

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Vermittlung von Zuversicht und Erfolgsgewissheit 1= sehr gut – 5 = mangelhaft

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

erste Vertrautheit mit der realen Maschine 1= sehr gut – 5 = mangelhaft

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Infos bzw. Anregung bzgl. theoretischer Vertiefung 1= sehr gut – 5 = mangelhaft

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 5	M1			M2			M3			M4		
WS 2002/03	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Arbeitsschritte	20	2,80	0,834	20	3,30	0,923	20	3,15	0,875	17	2,29	0,772
Zuversicht	18	2,94	0,873	18	3,44	1,042	18	3,28	1,074	15	2,33	0,816
Vertrautheit	17	2,82	0,951	17	2,59	0,939	17	3,06	0,966	15	2,40	0,737
Theoret. Infos	19	2,63	0,955	19	2,84	1,068	19	2,84	0,834	16	2,94	1,181
SS 2003	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Arbeitsschritte	6	3,00	0,89	6	2,00	0,63	6	2,50	0,55	6	2,33	0,52
Zuversicht	6	2,33	1,03	6	2,50	1,05	6	2,83	0,75	6	2,17	0,75
Vertrautheit	5	3,60	1,34	5	3,60	1,34	5	3,40	1,14	5	3,60	1,34
Theoret. Infos	6	3,67	0,82	6	3,33	0,52	6	3,33	0,52	6	3,17	0,75

1 = gründlich
2 = ein wenig
3 = gar nicht

Das Handout der jeweiligen Maschinen habe ich bereits vorher, zu den einzelnen Terminen durchgearbeitet.

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item 6	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N[1)]	%	N[1)]	%	N[1)]	%	N[1)]	%
Gründlich	6	30,0	0	0,0	1	5,0	2	10,0
Ein wenig	9	45,0	15	75,0	15	75,0	12	60,0
Gar nicht	4	20,0	5	25,0	3	15,0	5	25,0
Keine Angabe	1	5,0	0	0,0	1	5,0	1	5,0
SS 2003[2)]	N	%	N	%	N	%	N	%

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

[2)] Schriftliche Unterlagen wurden vorher nicht ausgeteilt

1 = gründlich
2 = ein wenig
3 = gar nicht
4 = nicht nötig wg. gutem Vorwissen

Die Materialien zu den jeweiligen theoretischen Hintergründen hatte ich bereits vor der Simulationsdurchführung durchgearbeitet.

1	2	3	4	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	*M4* FTP 500

Item 7: Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = mehrfach
2 = einmal
3 = nie

Mit meinem(r) Praktikumspartner(in) hatte ich bereits vorher fachlich zusammengearbeitet:

1	2	3	

Item 8	Mehrfach		Selten		Nie	
	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	12	60,0	0	0,0	8	40,0
SS 2003[1)]						

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Mit der Simulationssoftware der einzelnen Maschinen kam ich schnell zurecht.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 9	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2002/03	20	2,20	0,951	20	3,00	1,214	20	2,55	0,887	20	2,45	0,945
SS 2003	7	2,71	1,50	7	2,14	1,57	7	3,29	0,95	7	2,57	1,40

Item 9	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	6	30,0	3	15,0	1	5,0	3	15,0
Gut	5	25,0	4	20,0	11	55,0	8	40,0
Teilweise	8	40,0	4	20,0	4	20,0	6	30,0
Schlecht	1	5,0	8	40,0	4	20,0	3	15,0
Gar nicht	0	0,0	1	5,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	2	28,6	4	57,1	0	0,0	2	28,6
Gut	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3
Teilweise	2	28,6	2	28,6	4	57,1	3	42,9
Schlecht	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Gar nicht	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Technische Funktionsprobleme der Simulationssoftware führten bei mir zu Motivationsverlusten.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 10	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	19	2,74	1,284	19	2,21	1,084	19	2,89	1,100	19	3,32	1,250
SS 2003	7	4,00	1,15	7	4,14	1,07	7	3,71	1,38	7	4,43	0,79

Item 10	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr stark	3	15,8	6	31,6	2	10,5	1	5,3
Stark	7	36,8	6	31,6	5	26,3	5	26,3
Teilweise	3	15,8	4	21,1	6	31,6	4	21,1
Wenig	4	21,1	3	15,8	5	26,3	5	26,3
Gar nicht	2	10,5	0	0,0	1	5,3	4	21,1
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr stark	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Stark	1	14,3	3	42,9	2	28,6	0	0,0
Teilweise	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3
Wenig	2	28,6	4	57,1	1	14,3	2	28,6
Gar nicht	3	42,9	0	0,0	3	42,9	4	57,1

1 = passend
2 = zu kurz
3 = zu lang

Die Praktikumszeit war für die Bewältigung der jeweiligen Aufgaben ...

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item11	M1		M2		M3		M4	
	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert
WS 2002/03	20	2,00	20	2,27	20	2,55	20	2,64
SS 2003	7	1,86	7	1,57	7	1,57	7	1,86

Item 11	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Passend	9	45,0	6	30,0	5	25,0	4	20,0
Zu kurz	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Zu lang	11	55,0	14	70,0	15	75,0	16	80,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Passend	4	57,1	5	71,4	5	71,4	4	57,1
Zu kurz	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Zu lang	3	42,9	2	28,6	2	28,6	3	42,9

1 = ja
2 = nein

Ich (wir) konnte(n) die verfügbare Praktikumszeit ausreichend zum Durchspielen verschiedener Prozessparameter nutzen

1	2	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	*M2* Mask Aligner
1	2	*M3* Sputter Coater
1	2	*M4* FTP 500

Item12	M1		M2		M3		M4	
	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert
WS 2002/03	20	1,05	20	1,09	20	1,14	20	1,09
SS 2003	7	1,00	6	1,00	7	1,00	7	1,00

Item 12	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	19	95,0	18	90,0	17	85,0	18	90,0
Nein	1	5,0	2	10,0	3	15,0	2	10,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	100,0	6	100,0	7	100,0	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Während der Praktikumszeit war für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen entscheidend:

1. Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit
2. Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine
3. Erarbeitung theoretischer Hintergründe
4. Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte

Bitte bei jeder Maschine Nummern (1 - 4, s.o.) als Rangfolge der Wichtigkeit eintragen																
M1 Hochtemperatur-ofen				*M2* Mask Aligner				*M3* Sputter Coater				*M4* FTP 500				

Item13	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert
Zuversicht	15	3,00	15	2,88	15	3,06	15	2,94
Verstehen techn. Prozesse	15	1,82	15	1,71	15	1,59	15	1,76
Theorie	15	3,18	15	3,29	15	3,18	15	3,06
Bewältigung der Simulationsschritte	15	2,20	15	2,13	15	2,40	15	2,40
SS 2003	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert	N	Mittelwert
Zuversicht	5	3,40	5	3,40	5	3,40	5	3,40
Verstehen techn. Prozesse	5	2,80	5	2,60	5	2,40	5	2,80
Theorie	5	1,60	5	1,60	5	1,80	5	1,60
Bewältigung der Simulationsschritte	5	2,20	5	2,40	5	2,40	5	2,20

Item 13	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit								
Rang 1	1	6,7	1	6,7	1	6,7	1	6,7
Rang 2	4	26,7	4	26,7	3	20,0	3	20,0
Rang 3	6	40,0	6	40,0	6	40,0	7	46,7
Rang 4	4	26,7	4	26,7	5	33,3	4	26,7
Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine								
Rang 1	8	53,3	7	46,7	9	60,0	10	66,7
Rang 2	4	26,7	8	53,3	5	33,3	3	20,0
Rang 3	3	20,0	0	0,0	1	6,7	0	0,0
Rang 4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	13,3
Erarbeitung theoretischer Hintergründe								
Rang 1	1	6,7	0	0,0	2	13,3	0	0,0
Rang 2	2	13,3	2	13,3	1	6,7	5	33,3
Rang 3	3	20,0	6	40,0	4	26,7	4	26,7
Rang 4	9	60,0	7	46,7	8	53,5	6	40,0
Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte								
Rang 1	5	33,3	7	46,7	3	20,0	4	26,7
Rang 2	4	26,7	2	13,3	6	40,0	4	26,7
Rang 3	4	26,7	3	20,0	3	20,0	4	26,7
Rang 4	2	13,3	3	20,0	3	20,0	3	20,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Aufbau von Zuversicht und Erfolgsgewissheit								
Rang 1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Rang 2	1	20,0	1	20,0	1	20,0	1	20,0
Rang 3	1	20,0	1	20,0	1	20,0	1	20,0
Rang 4	3	60,0	3	60,0	3	60,0	3	60,0
Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine								
Rang 1	1	20,0	1	20,0	2	40,0	1	20,0
Rang 2	1	20,0	2	40,0	1	20,0	1	20,0
Rang 3	1	20,0	0	0,0	0	0,0	1	20,0
Rang 4	2	40,0	2	40,0	2	40,0	2	40,0
Erarbeitung theoretischer Hintergründe								
Rang 1	3	60,0	3	60,0	2	40,0	3	60,0
Rang 2	1	20,0	1	20,0	2	40,0	1	20,0
Rang 3	1	20,0	1	20,0	1	20,0	1	20,0
Rang 4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Softwaremäßige Bewältigung der Simulationsschritte								
Rang 1	1	20,0	1	20,0	1	20,0	1	20,0
Rang 2	2	40,0	1	20,0	1	20,0	2	40,0
Rang 3	2	40,0	3	60,0	3	60,0	2	40,0
Rang 4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Der häufige Rückgriff auf die schriftlichen Handouts war für die erfolgreichen Simulationsdurchführungen wichtig.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 14	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	19	1,95	1,129	19	2,00	1,291	19	1,74	0,806	18	2,28	1,179
SS 2003	7	2,00	1,00	7	2,71	1,50	7	2,29	1,11	7	2,43	1,27

Item 14	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr wichtig	8	42,1	9	47,4	9	47,4	6	33,3
Wichtig	7	36,8	5	26,3	6	31,6	4	22,2
Teilweise	2	10,5	3	15,8	4	21,1	6	33,3
Wenig	1	5,3	0	0,0	0	0,0	1	5,6
Gar nicht	1	5,3	2	10,5	0	0,0	1	5,6
N gesamt[1)]	19		19		19		18	
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr wichtig	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Wichtig	4	57,1	1	14,3	2	28,6	2	28,6
Teilweise	0	0,0	2	28,6	2	28,6	1	14,3
Wenig	1	14,3	1	14,3	1	14,3	2	28,6
Gar nicht	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
N gesamt[1)]	7		7		7		7	

[1)] Angaben wurden ergänzt

1 (sehr gut) – 5					Die Betreuung im Praktikum beurteile ich für die einzelnen Maschinen:
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 15	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	19	1,79	0,713	19	2,16	1,119	19	1,95	0,848	19	1,95	0,78
SS 2003	7	1,86	0,90	7	1,86	1,07	7	1,71	0,76	7	1,71	0,76

Item 15	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	7	36,8	7	36,8	7	36,8	6	31,6
Gut	9	47,4	5	26,3	6	31,6	8	42,1
Befriedigend	3	15,8	4	21,1	6	31,6	5	26,3
Ausreichend	0	0,0	3	15,8	0	0,0	0	0,0
Mangelhaft	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9
Gut	2	28,6	3	42,9	3	42,9	3	42,9
Befriedigend	2	28,6	0	0,0	1	14,3	1	14,3
Ausreichend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mangelhaft	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0

Die eher zurückhaltenden Betreuung im Praktikum eröffnete mir Aha- bzw. Erfolgserlebnisse:

selbst darauf gekommen 1 = mehrfach 2 = kaum 3 = nie (1x ankreuzen)			echt verstanden 1 = mehrfach 2 = kaum 3 = nie (1x ankreuzen)			
1	2	3	1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	1	2	3	*M4* FTP 500

Item 16	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Selbst darauf gekommen								
Mehrfach	11	61,1	5	27,8	10	55,6	10	55,6
Kaum	5	27,8	11	61,1	6	33,3	7	38,9
Nie	2	11,1	2	11,1	2	11,1	1	5,6
Echt verstanden								
Mehrfach	9	50,0	7	38,9	5	27,8	8	44,4
Kaum	8	44,4	9	50,0	11	61,1	9	50,0
Nie	1	5,6	2	11,1	2	11,1	1	5,6
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Selbst darauf gekommen								
Mehrfach	3	42,9	3	50,0	5	71,4	5	71,4
Kaum	4	57,1	2	33,3	2	28,6	2	28,6
Nie	0	0,0	1	16,7	0	0,0	0	0,0
Echt verstanden								
Mehrfach	5	71,4	4	66,7	4	57,1	5	71,4
Kaum	2	28,6	2	33,3	3	42,9	2	28,6
Nie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

1 = ja 2 = nein		Eine ferndiagnostische Betreuung (Telefon, E-Mail, Chat...) bei privater Bearbeitung der Simulationssoftware außerhalb einer Lehrveranstaltung hätte mir ausgereicht
1	2	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	*M2* Mask Aligner
1	2	*M3* Sputter Coater
1	2	*M4* FTP 500

Item 17	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	35,0	6	30,0	6	30,0	7	36,8
Nein	13	65,0	14	70,0	14	70,0	12	63,2
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	1	14,3	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Nein	6	85,7	5	71,4	5	71,4	5	71,4

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Die Zusammenarbeit mit einem(r) Kommilitonen(in) im Praktikum war für meinen Lernerfolg wichtig.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 18	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr wichtig	6	30,0	4	20,0	4	20,0	3	15,8
Wichtig	6	30,0	8	40,0	9	45,0	8	42,1
Teilweise	4	20,0	4	20,0	3	15,0	4	21,1
Weniger	3	15,0	3	15,0	3	15,0	2	10,5
Gar nicht	1	5,0	1	5,0	1	5,0	2	10,5
SS 2003[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 (sehr) – 5 (gar nicht)

Für meinen Lernerfolg war meine Partnerwahl in diesem Praktikum richtig.

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 19	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr	5	25,0	5	25,0	5	25,0	4	21,1
Richtig	7	35,0	8	40,0	7	35,0	6	31,6
Teilweise	4	20,0	4	20,0	4	20,0	4	21,1
Weniger	2	10,0	1	5,0	2	10,0	0	0,0
Gar nicht	2	10,0	2	10,0	2	10,0	5	26,3
SS 2003[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 Nennung möglich

Mit meinem (r) Partner(in) praktizierte ich

1	2	3

1. ... eine im wesentlichen gleichbleibende Arbeitsteilung über alle Maschinen hinweg
2. ... eine von Maschine zu Maschine wechselnde Arbeitsteilung
3. ... eine innerhalb jeder einzelnen Maschinenbearbeitung wechselnde Arbeitsteilung

Item 20	Gleichbleibende Arbeitsteilung über alle Maschinen		Wechselnde Arbeitsteilung von Maschine zu Maschine		Wechselnde Arbeitsteilung innerhalb jeder Maschinenbedienung	
	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	8	42,8	1	5,3	10	52,6
SS 2003[1)]						

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Für meinen Lernerfolg beurteile ich diese Vorgehensweise im nachhinein geeignet.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 21	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr förderlich	6	31,6	6	31,6	5	26,3	7	41,2
Förderlich	9	47,4	8	42,1	8	42,1	6	31,6
Teilweise	3	15,8	3	15,8	4	21,1	2	11,8
Weniger	0	0,0	1	5,3	1	5,3	1	5,3
Gar nicht	1	5,3	1	5,3	1	5,3	1	5,3
SS 2003[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

			Die angebotenen Videos über die Fertigungsprozesse an der realen Maschine *M2* Mask Aligner
1	2	3	Habe ich angeschaut (1x ankreuzen: 1 = aufmerksam, 2 = flüchtig, 3 = gar nicht)
1	2	3	Waren für die sachgerechte Bearbeitung der Simulationssoftware hilfreich. (1x ankreuzen: 1 = sehr, 2 = etwas, 3 = gar nicht)
1	2	3	Waren für mein Verständnis der Prozesse an der realen Maschine hilfreich. (1x ankreuzen: 1 = sehr, 2 = etwas, 3 = gar nicht)

Item 22	Aufmerksamkeit bzgl. des Betrachtens		Hilfreich für die sachgerechte Bearbeitung		Hilfreich für das Prozessverständnis	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%
Sehr	14	70,0	6	30,0	11	55,0
Etwas	4	20,0	10	50,0	5	25,0
Gar nicht	2	10,0	3	15,0	1	5,0
Keine Angabe	0	0,0	1	5,0	2	10,0
SS 2003[1)]	N	%	N	%	N	%
Sehr	5	71,4	5	71,4	4	57,1
Etwas	1	14,3	1	14,3	2	42,9
Gar nicht	1	14,3	1	14,3	1	14,3

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

Die Hinweise zu den Unterschieden zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen waren für mich:

M1			*M2*			*M3*			*M4*		
(1x ankreuzen) 1 = verständlich, 2 = teils-teils, 3 = verwirrend											
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
(1x ankreuzen) 1 = beruhigend, 2 = teils-teils, 3 = beunruhigend											
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Item 23	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Verständlichkeit								
Verständlich	6	33,3	5	27,8	7	38,9	7	46,7
Teilweise	11	61,1	8	44,4	6	33,3	8	53,3
Verwirrend	1	5,6	5	27,8	5	27,8	0	0,0
Persönliches Empfinden								
Beruhigend	5	31,3	5	31,3	3	18,8	6	42,9
Teilweise	9	56,3	10	62,5	11	68,8	7	50,0
Beunruhigend	2	12,5	1	6,3	2	12,5	1	7,1
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Verständlichkeit								
Verständlich	2	33,3	2	33,3	2	33,3	2	33,3
Teilweise	4	66,7	4	66,7	4	66,7	4	66,7
Verwirrend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Persönliches Empfinden								
Beruhigend	1	16,7	1	16,7	1	16,7	1	16,7
Teilweise	5	83,3	5	83,3	5	83,3	5	83,3
Beunruhigend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

1 (sehr) – 5 (gar nicht)					Während der einzelnen Simulationsprozesse war mir stets klar, was da und wie lange an der realen Maschinen ablaufen würde.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 24	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	20	2,20	1,281	20	3,25	1,209	20	3,25	1,251	20	3,00	1,414
SS 2003	7	2,43	1,13	7	2,86	0,90	7	3,14	0,69	7	2,71	1,11

Item 24	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr groß	8	40,0	2	10,0	1	5,0	4	20,0
Groß	5	25,0	3	15,0	6	30,0	4	20,0
Teilweise	3	15,0	6	30,0	4	20,0	3	15,0
Gering	3	15,0	6	30,0	5	25,0	6	30,0
Gar nicht	1	5,0	3	15,0	4	20,0	3	15,0
SS 2003[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

Für die verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir im Nachhinein

1. eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte (Fertigkeiten)
2. eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe
3. das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoret. Hintergründen war richtig

1 Nennung möglich

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item 25	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Arbeitsschritte	9	47,4	12	66,7	12	63,2	4	22,2
Theorie	2	10,5	2	11,1	1	5,3	6	33,3
Mischung richtig	8	42,1	4	22,2	6	31,6	8	44,4
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Arbeitsschritte	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Theorie	4	57,1	3	42,9	4	57,1	2	28,6
Mischung richtig	2	28,6	4	57,1	2	28,6	5	71,4

1 = sehr angemessen
2 = ausreichend
3 = verbesserungsbedürftig

Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen /Reaktionsnachweise zu ausgeführten Manipulationen waren:

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item 26	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr angemessen	3	15,0	3	15,0	1	5,0	3	15,0
Ausreichend	7	35,0	4	20,0	5	25,0	5	25,0
Verbesserungsbedürftig	10	50,0	13	65,0	14	70,0	12	60,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr angemessen	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3
Ausreichend	4	57,1	5	71,4	4	57,1	4	57,1
Verbesserungsbedürftig	3	42,9	1	14,3	3	42,9	2	28,6

1 = den einzelnen Prozessschritten
2 = den theor. Hintergründen
3 = weder noch

Aufgrund der Simulationserfahrungen habe ich mich nach den jeweiligen Praktikumsterminen nochmals beschäftigt mit:

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item 27: Keine Angaben im Bericht vorhanden

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Das Simulationspraktikum (*M1-M4*) hat meine Entscheidung für das Wahlfach Mikrotechnik bestätigt.

Item 28: Keine Angaben im Bericht vorhanden

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Die Durchführung des Simulationspraktikums (*M1-M4*) hat mir Spaß gemacht.

Item 29	Sehr viel		Viel		Teilweise		Wenig		Gar nicht	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	6	30,0	4	20,0	7	35,0	3	15,0	0	0,0
SS 2003	3	42,9	2	28,6	2	28,6	0	0,0	0	0,0

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Das Simulationspraktikum (*M1-M4*) hat mein Interesse an dem/ meine Vorfreude auf das reale Fertigungspraktikum verstärkt.

Item 30	Sehr stark		Stark		Teilweise		Wenig		Gar nicht	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	7	35,0	6	30,0	7	35,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	4	57,1	3	42,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Mit dem Simulationspraktikum (*M1-M4*) fühle ich mich gut auf die Arbeit an den realen Maschinen vorbereitet.

M1 Hochtemperatur-ofen	*M2* Mask Aligner	*M3* Sputter Coater	*M4* FTP 500

bzgl. der notwendigen Fertigkeiten (Arbeitsschritte) 1 (sehr) – 5 (gar nicht)

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

bzgl. der theoret. Hintergründe 1 (sehr) – 5 (gar nicht)

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 31[1)]	M1			M2			M3			M4		
WS 2002/03	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Fertigkeiten	19	2,76	0,784	19	3,53	1,037	19	2,94	0,825	17	2,47	1,194
Theorie	19	2,53	1,139	19	3,06	1,209	19	2,88	1,252	17	2,76	1,214
SS 2003	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Fertigkeiten	7	2,29	0,45	7	2,57	0,49	7	2,57	0,73	7	2,00	0,45
Theorie	7	3,00	0,93	7	3,14	0,99	7	3,29	0,88	7	2,71	0,70

[1)] Keine Angaben zur Std.-Abw. im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

Item 31	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Bzgl. der notwendigen Fertigkeiten								
Sehr gut	1	5,3	1	5,3	1	5,3	4	23,5
Gut	6	31,6	3	15,8	3	15,8	6	35,3
Weder noch	9	47,4	5	26,3	9	47,4	3	17,6
Kaum	3	15,8	8	42,1	6	31,6	3	17,6
Gar nicht	0	0,0	2	10,5	0	0,0	1	5,9
Bzgl. der theoretischen Hintergründe								
Sehr gut	2	10,5	2	10,5	2	10,5	2	11,8
Gut	10	52,6	6	31,6	7	36,8	7	41,2
Weder noch	3	15,8	6	31,6	4	21,1	3	17,6
Kaum	2	10,5	2	10,5	3	15,8	3	17,6
Gar nicht	2	10,5	3	15,8	3	15,8	2	11,8
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Bzgl. der notwendigen Fertigkeiten								
Sehr gut	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Gut	5	71,4	3	42,9	4	57,1	5	71,4
Weder noch	2	28,6	4	57,1	2	28,6	1	14,3
Kaum	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Bzgl. der theoretischen Hintergründe								
Sehr gut	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gut	2	28,6	2	28,6	1	14,3	3	42,9
Weder noch	4	57,1	3	42,9	4	57,1	3	42,9
Kaum	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Gar nicht	1	14,3	1	14,3	1	14,3	0	0,0

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Meine Erfahrungen und Dokumentationen aus dem Simulationspraktikum (*M1-M4*) werden auch nach einer Zwischenzeit von einigen Wochen bzw. Monaten meine effiziente Bewältigung der realen Fertigungsprozesse unterstützen.

Item 32: Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = ganz sicher -
5 = auf keinen Fall

Falls möglich würde ich vor dem realen Fertigungspraktikum in Zweibrücken die Simulationssoftware (auch ohne Betreuung) noch einmal privat nutzen.

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 33	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Ganz sicher	6	30,0	6	30,0	6	30,0	7	35,0
Sicher	10	50,0	9	45,0	12	60,0	9	45,0
Unentschlossen	2	10,0	2	10,0	1	5,0	2	10,0
Wenig	2	10,0	2	10,0	1	5,0	2	10,0
Auf keinen Fall	0	0,0	1	5,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Ganz sicher	3	50,0	3	50,0	3	50,0	3	50,0
Sicher	2	33,3	2	33,3	2	33,3	1	16,7
Unentschlossen	1	16,7	1	16,7	1	16,7	2	33,3
Wenig	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Auf keinen Fall	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Ergebnisse für die realen Reinraumpraktika

1 = sehr viel -
5 = gar nichts

Beurteilung des Gewinns durch die INGMEDIA-Simulationen für die einzelnen Maschinen und einzelne Aspekte

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
Zuversicht und Erfolgsgewissheit																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Schnelles Zurechtfinden an der realen Maschine																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Klarheit der einzelnen Arbeitschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Theoretisches Verständnis																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 1	M1			M2			M3			M4		
WS 2002/03	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Zuversicht	6	2,00	0,632	6	3,50	1,049	6	2,00	0,632	5	2,60	0,548
Zurechtfinden	7	1,86	1,069	7	3,43	1,134	7	2,14	0,690	6	2,33	0,516
Arbeitsschritte	7	2,00	0,816	7	4,00	0,816	7	2,00	0,577	6	2,67	0,816
Theoret. Verständnis	7	2,14	1,069	7	3,14	1,069	7	2,14	0,378	6	2,83	1,169
SS 2003	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Zuversicht	10	2,20	0,92	10	2,30	0,82	10	2,30	0,82	10	2,30	0,82
Zurechtfinden	11	2,09	1,04	11	2,27	1,01	11	2,36	1,12	11	2,36	1,03
Arbeitsschritte	11	2,27	0,79	11	2,45	1,13	11	2,09	0,94	11	2,27	0,79
Theoret. Verständnis	11	2,18	1,17	11	2,09	0,94	11	2,09	1,14	11	2,18	1,17
Davon nur Teilnehmer aus Saarbrücken SS 2003[1)]												
Zuversicht	7	2,29	1,030	7	2,29	0,881	7	2,14	0,833	7	2,29	0,881
Zurechtfinden	7	2,14	0,833	7	2,29	0,881	7	2,14	0,833	7	2,29	1,030
Arbeitsschritte	7	2,14	0,833	7	2,29	0,881	7	1,86	0,64	7	2,14	0,833
Theoret. Verständnis	7	2,00	1,069	7	2,00	0,756	7	1,86	0,990	7	2,00	1,069
Davon nur Teilnehmer aus Aachen SS 2003[1)]												
Zuversicht	3	2,00	0,000	3	2,33	0,471	3	2,67	0,471	3	2,33	0,471
Zurechtfinden	4	2,00	1,225	4	2,25	1,090	4	2,75	1,299	4	2,50	0,866
Arbeitsschritte	4	2,50	0,500	4	2,75	1,299	4	2,50	1,118	4	2,50	0,500
Theoret. Verständnis	4	2,50	1,118	4	2,25	1,090	4	2,25	1,090	4	2,75	1,299

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

1 = sehr -
5 = gar nicht

Bzgl. der einzelnen Simulationsangebote erlebte ich im Reinraum deutliche Wiedererkennungseffekte

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 2	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	7	1,43	0,535	7	2,71	0,951	7	1,43	0,535	7	2,00	0,577
SS 2003	11	1,73	1,01	11	1,82	1,17	11	1,82	0,87	11	1,91	1,22

Item 2	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr stark	4	57,1	1	14,3	4	57,1	1	14,3
Stark	3	42,9	1	14,3	3	42,9	5	71,4
Teilweise	0	0,0	4	57,1	0	0,0	1	14,3
Schwach	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr stark	6	54,5	5	45,5	5	45,5	6	54,5
Stark	3	27,3	5	45,5	3	27,3	2	18,2
Teilweise	1	9,1	0	0,0	5	45,5	1	9,1
Schwach	1	9,1	0	0,0	0	0,0	2	18,2
Gar nicht	0	0,0	1	9,1	0	0,0	0	0,0
Davon nur Teilnehmer aus Saarbrücken SS 2003[1)]								
Sehr stark	4	57,1	3	42,9	4	57,1	4	57,1
Stark	2	28,6	4	57,1	2	28,6	2	28,6
Teilweise	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Schwach	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon nur Teilnehmer aus Aachen SS 2003[1)]								
Sehr stark	2	50,0	2	50,0	1	25,0	2	50,0
Stark	1	25,0	1	25,0	1	25,0	0	0,0
Teilweise	0	0,0	0	0,0	2	50,0	1	25,0
Schwach	1	25,0	0	0,0	0	0,0	1	25,0
Gar nicht	0	0,0	1	25,0	0	0,0	0	0,0

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

1 = gründlich
2 = ein wenig
3 = gar nicht

Meine Simulationsaufzeichnungen zu den jeweiligen Maschinen habe ich zwischenzeitlich vor dem Reinraumpraktikum noch einmal durchgearbeitet.

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item 3	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Gründlich	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Ein wenig	1	33,3	1	33,3	1	33,3	1	33,3
Gar nicht	2	66,7	2	66,7	2	66,7	2	66,7
SS 2003[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = ja
2 = nein

Meine Simulationsaufzeichnungen habe ich zum Reinraumpraktikum nach Zweibrücken mitgebracht

1	2

Item 4: Keine Angaben im Bericht vorhanden

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Meine Erfahrungen aus dem Simulationspraktikum waren in der Zwischenzeit bis zum Reinraumpraktikum doch schon wieder verschüttet/vergessen

Item 5	Sehr viel		Viel		Teilweise		Wenig		Gar nichts	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	0	0,0	0	0,0	1	14,3	5	71,4	1	14,3
SS 2003	0	0,0	3	27,3	5	45,5	3	27,3	0	0,0
Davon nur Teilnehmer aus Saarbrücken SS 2003[1)]										
	0	0,0	1	14,3	4	57,1	2	28,6	0	0,0
Davon nur Teilnehmer aus Aachen SS 2003[1)]										
	0	0,0	2	50,0	1	25,0	1	25,0	0	0,0

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Die Simulationen sollten (z.B. über PC im Reinraum-Vorraum) während des Praktikums nochmals genutzt werden (können)

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 6: Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = sehr wichtig -
5 = gar nicht wichtig
6 = nicht gegeben

Es war mir wichtig, auch das Reinraumpraktikum gemeinsam mit meinem(r) Partner(in) aus den Simulationen durchzuführen

1	2	3	4	5	6

Item 7: Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Die jeweils verfügbare Praktikumszeit wurde durch Aufgabenstellung und Betreuung für meine/ unsere Simulationsvorkenntnisse angemessen genutzt

1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 8	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	6	2,00	1,095	6	1,50	0,548	6	1,83	0,753	6	1,67	0,516
SS 2003	11	2,36	1,36	11	2,00	1,18	11	2,09	1,14	11	2,00	1,18

Item 8	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	2	33,3	3	50,0	2	33,3	2	33,3
Stimme zu	3	50,0	3	50,0	3	50,0	4	66,7
Teilweise	0	0,0	0	0,0	1	16,7	0	0,0
Weniger	1	16,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Angesichts der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung hätte ich das Praktikum auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt:

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 9	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	7	2,57	0,976	7	2,57	1,272	7	2,86	1,069	7	3,00	1,291
SS 2003	11	3,45	1,44	11	3,27	1,42	11	3,55	1,51	11	2,82	1,25

Item 9	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	1	14,3	2	28,6	1	14,3	1	14,3
Stimme zu	2	28,6	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Teilweise	3	42,9	2	28,6	3	42,9	3	42,9
Weniger	1	14,3	2	28,6	2	28,6	1	14,3
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	1	9,1	1	9,1	1	9,1	1	9,1
Stimme zu	3	27,3	3	27,3	3	27,3	5	45,5
Teilweise	0	0,0	2	18,2	0	0,0	1	9,1
Weniger	4	36,4	2	18,2	3	27,3	3	27,3
Gar nicht	3	27,3	3	27,3	4	36,4	1	9,1

1 = stimme voll zu- 5 = stimme gar nicht zu					Ich (wir) konnte(n) die verfügbare Praktikumszeit ausreichend zum Durchspielen verschiedener Prozessparameter (Experimentieren) nutzen
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 10	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	7	2,29	1,496	7	1,43	0,787	7	1,71	0,756	7	2,14	1,215
SS 2003	11	3,09	1,64	11	4,27	6,34	11	3,09	1,58	11	1,73	0,90

Item 10	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	3	42,9	5	71,4	3	42,9	3	42,9
Stimme zu	1	14,3	1	14,3	3	42,9	1	14,3
Teilweise	2	28,6	1	14,3	1	14,3	2	28,6
Weniger	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Gar nicht	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
N gesamt	7		7		7		7	
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	3	27,3	3	27,3	2	18,2	6	54,5
Stimme zu	1	9,1	4	36,4	3	27,3	2	18,2
Teilweise	2	18,2	2	18,2	1	9,1	3	27,3
Weniger	2	18,2	1	9,1	2	18,2	0	0,0
Gar nicht	3	27,3	1	9,1	3	27,3	0	0,0
N gesamt	11		11		11		11	
Davon nur Teilnehmer aus Saarbrücken SS 2003[1)]								
Stimme voll zu	2	28,6	3	42,9	2	28,6	4	57,1
Stimme zu	1	14,3	2	28,6	2	28,6	1	14,3
Teilweise	1	14,3	1	14,3	0	0,0	2	28,6
Weniger	2	28,6	1	14,3	2	28,6	0	0,0
Gar nicht	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Davon nur Teilnehmer aus Aachen SS 2003[1)]								
Stimme voll zu	1	25,0	0	0,0	0	0,0	2	50,0
Stimme zu	0	0,0	2	50,0	1	25,0	1	25,0
Teilweise	1	25,0	1	25,0	1	25,0	1	25,0
Weniger	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gar nicht	2	50,0	1	25,0	2	50,0	0	0,0

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

1 = sehr -
5 = gar nicht

Während der Praktikumszeit stand für mein (unser) Vorgehen (Aufmerksamkeitszuwendung, Zeiteinsatz) bei den einzelnen Maschinen im Vordergrund:

M1 Hochtemperaturofen	*M2* Mask Aligner	*M3* Sputter Coater	*M4* FTP 500

Orientierung, Planung, Vergewisserung, Absicherung bzgl. der einzelnen Schritte

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Durchführen der konkret vorgegebenen Arbeitsschritte

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Verstehen der technischen Prozesse der realen Maschine Erarbeitung theoretischer Hintergründe

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Erarbeiten theoretischer Hintergründe

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 11	M1			M2			M3			M4		
WS 2002/03	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.
Orientieren	6	2,17	0,983	6	2,00	0,894	6	2,33	0,816	6	2,17	0,983
Durchführung Arbeitsschritte	6	1,67	0,816	6	1,50	0,837	6	1,83	0,753	6	2,00	0,894
Verstehen techn. Prozess	6	2,17	1,169	6	2,00	0,894	6	2,33	0,816	6	2,67	1,366
Theoret. Hintergründe	6	2,67	0,516	6	2,67	0,816	6	2,67	1,033	6	3,00	1,095
SS 2003	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.	N	Mittelwert	Std.-Abw.
Orientieren	10	1,90	0,88	10	1,90	0,99	10	2,20	0,92	10	2,50	1,27
Durchführung Arbeitsschritte	10	2,10	1,20	10	1,80	0,79	10	1,90	0,99	10	1,90	0,88
Verstehen techn. Prozess	10	2,10	1,29	10	2,10	0,99	10	2,20	0,92	10	2,10	1,10
Theoret. Hintergründe	10	2,40	1,58	10	2,40	1,26	10	2,50	1,35	10	2,30	1,34

1 = sehr -
5 = gar nicht

Die Betreuung im Praktikum beurteile ich für die einzelnen Maschinen:

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
Vermittlung von Zuversicht und Erfolgsgewissheit																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Aufgreifen /Herausfordern unserer Simulationsvorkenntnisse und Fragen																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Raum geben für selbständiges Manipulieren bzw. Experimentieren																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 12	M1			M2			M3			M4		
WS 2002/03	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Zuversicht	7	1,43	0,787	7	1,00	0,000	7	1,29	0,488	7	1,43	0,535
Aufgreifen Vorkenntnisse	7	1,86	0,900	7	2,29	1,496	7	2,14	0,900	7	1,71	0,951
Selbstst. Experimentieren	7	2,43	0,976	7	1,43	0,787	7	2,14	0,900	7	1,71	0.756
SS 2003	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Zuversicht	11	1,64	0,67	11	1,73	0,79	11	1,82	0,75	11	1,73	0,65
Aufgreifen Vorkenntnisse	10	1,80	0,79	10	1,90	0,74	10	1,90	0,57	10	2,00	0,82
Selbstst. Experimentieren	11	3,00	1,41	11	2,45	1,13	11	3,27	1,01	11	2,36	1,36
Davon nur Teilnehmer aus Saarbrücken SS 2003 - Selbstständiges Experimentieren[1)]												
	7	2,86	0,990	7	2,29	0,700	7	2,86	0,639	7	2,57	1,400
Davon nur Teilnehmer aus Aachen SS 2003 - Selbstständiges Experimentieren[1)]												
	4	3,25	1,785	4	2,75	1,479	4	4,00	1,000	4	2,00	1,000

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Dank meiner/unserer Simulationsvorbereitung (im Vgl. zur Vorstellung, ohne Vorbereitung)

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
könnte die Betreuerkapazität im Reinraum verringert werden (quantitativer Aspekt)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
könnte/konnte die Betreuung unser Lernen besser fördern (qualitativer Aspekt)																			
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 13	M1			M2			M3			M4		
WS 2002/03	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Betreuerkapa-zität senken	7	4,14	1,464	7	4,57	1,134	7	4,14	1,464	7	4,14	1,215
Betreuung fördert Lernen	7	1,86	1,574	7	2,29	1,496	7	1,57	0,976	7	1,67	0,816
SS 2003	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Betreuerkapa-zität senken	11	3,64	1,36	11	3,64	1,43	11	3,36	1,36	11	3,18	1,54
Betreuung fördert Lernen	11	1,82	1,33	11	1,91	1,38	11	1,91	1,30	11	1,82	1,25

Item 13	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Betreuerkapazität im Reinraum kann verringert werden								
Stimme voll zu	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Stimme zu	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3
Teilweise	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Weniger	2	28,6	0	0,0	2	28,6	1	14,3
Gar nicht	4	57,1	6	85,7	4	57,1	4	57,1
Betreuung konnte unser Lernen besser fördern								
Stimme voll zu	5	71,4	3	50,0	5	71,4	3	50,0
Stimme zu	0	0,0	1	14,3	0	0,0	2	28,6
Teilweise	1	14,3	2	28,6	2	28,6	1	14,3
Weniger	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gar nicht	1	14,3	1	14,3	0	0,0	0	0,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Betreuerkapazität im Reinraum kann verringert werden								
Stimme voll zu	1	9,1	1	9,1	1	9,1	2	18,2
Stimme zu	1	9,1	2	18,2	2	18,2	2	18,2
Teilweise	3	27,3	1	9,1	3	27,3	2	18,2
Weniger	2	18,2	3	27,3	2	18,2	2	18,2
Gar nicht	4	36,4	4	36,4	3	27,3	3	27,3
Betreuung konnte unser Lernen besser fördern								
Stimme voll zu	7	63,6	6	54,5	6	54,5	6	54,5
Stimme zu	1	9,1	3	27,3	2	18,2	3	27,3
Teilweise	2	18,2	0	0,0	2	18,2	1	9,1
Weniger	0	0,0	1	9,1	0	0,0	0	0,0
Gar nicht	1	9,1	1	9,1	1	9,1	1	9,1

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Dank meiner/unserer Simulationsvorbereitung (im Vgl. zur Vorstellung, ohne Vorbereitung) konnten im Reinraumpraktikum in sinnvoller Weise Fehler vermieden werden

M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 14	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	7	2,57	1,272	7	3,00	1,155	7	2,57	1,272	7	2,57	1,272
SS 2003	11	2,09	1,22	11	2,55	1,29	11	2,09	1,04	11	2,45	1,21

Item 14	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	2	28,6	1	14,3	2	28,6	1	14,3
Stimme zu	1	14,3	2	28,6	1	14,3	2	28,6
Teilweise	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Weniger	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	5	45,5	4	36,4	4	36,4	4	36,4
Stimme zu	2	18,2	0	0,0	3	27,3	0	0,0
Teilweise	2	18,2	4	36,4	3	27,3	5	45,5
Weniger	2	18,2	3	27,3	1	9,1	2	18,2
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

1 Nennung möglich

Mit meinem (r) Partner(in) praktizierte ich im Reinraumpraktikum

1	2	3

1. … eine im wesentlichen gleich bleibende Arbeitsteilung über alle Maschinen hinweg
2. … eine von Maschine zu Maschine wechselnde Arbeitsteilung
3. … eine innerhalb jeder einzelnen Maschinenbearbeitung wechselnde Arbeitsteilung

Item 15: Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 (sehr) - 5 (gar nicht)					Für meinen Lernerfolg beurteile ich diese Vorgehensweise im nachhinein geeignet.
1	2	3	4	5	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	4	5	*M2* Mask Aligner
1	2	3	4	5	*M3* Sputter Coater
1	2	3	4	5	*M4* FTP 500

Item 16: Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = stimme voll zu- 5 = stimme gar nicht zu					Mehr Videos/Fotos zu den einzelnen realen Fertigungsprozessen hätten für mich die einzelnen Simulationen noch lehrreicher machen können															
M1 Hochtemperatur-ofen					*M2* Mask Aligner					*M3* Sputter Coater					*M4* FTP 500				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 17	M1			M2			M3			M4		
	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2002/03	7	2,57	1,134	7	2,00	1,291	7	1,86	0,900	7	1,71	1,113
SS 2003	11	2,45	1,04	11	2,45	0,93	11	2,36	0,92	11	2,73	1,56

Item 17	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	2	28,6	4	57,1	3	42,9	4	57,1
Stimme zu	0	0,0	0	0,0	2	28,6	2	28,6
Teilweise	4	57,1	2	28,6	2	28,6	0	0,0
Weniger	1	14,3	1	14,3	0	0,0	1	14,3
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Stimme voll zu	2	18,2	2	18,2	2	18,2	3	27,3
Stimme zu	4	36,4	3	27,3	4	36,4	3	27,3
Teilweise	3	27,3	5	45,5	4	36,4	1	9,1
Weniger	2	18,2	1	9,1	1	9,1	2	18,2
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	18,2

einmal ankreuzen
1 = einfacher
2 = gleich leicht/schwer
3 = schwerer

Die Umgang mit der realen Maschine waren für mich im Vergleich zu der Simulation:

M1 Hochtemperatur-ofen			*M2* Mask Aligner			*M3* Sputter Coater			*M4* FTP 500		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Item 18	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Einfacher	2	28,6	3	42,9	3	42,9	5	71,4
Gleich	5	71,4	3	42,9	4	57,1	1	14,3
Schwerer	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Einfacher	4	40,0	5	45,5	3	27,3	5	45,5
Gleich	6	60,0	4	36,4	8	72,7	5	45,5
Schwerer	0	0,0	2	18,2	0	0,0	1	9,1

Für die verständige Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse wünsche ich mir in den Simulationen im Nachhinein

1. eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte (Fertigkeiten)
2. eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe
3. das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoret. Hintergründen war richtig

1 Nennung möglich

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item 19	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Arbeitsschritte	2	28,6	4	57,1	2	28,6	2	28,6
Theorie	2	28,6	3	42,9	3	42,9	3	42,9
Mischung richtig	3	42,9	0	0,0	2	28,6	2	28,6
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Arbeitsschritte	5	45,5	5	45,5	3	27,3	4	36,4
Theorie	1	9,1	2	18,2	2	18,2	1	9,1
Mischung richtig	5	45,5	4	36,4	6	54,5	6	54,5
Davon nur Teilnehmer aus Saarbrücken SS 2003[1)]								
Arbeitsschritte	4	57,1	3	42,9	3	42,9		42,9
Theorie	1	14,3	2	28,6	1	14,3		14,3
Mischung richtig	2	28,6	2	28,6	3	42,9		42,9
Davon nur Teilnehmer aus Aachen SS 2003[1)]								
Arbeitsschritte	1	25,0	2	50,0	0	0,0	1	25,0
Theorie	0	0,0	0	0,0	1	25,0	0	0,0
Mischung richtig	3	75,0	2	50,0	3	75,0	3	75,0

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden, Angaben wurden ergänzt

1 = sehr angemessen
2 = ausreichend
3 = verbesserungsbedürftig

Die in der Simulationssoftware enthaltenen Rückmeldungen /Reaktionsnachweise zu ausgeführten Manipulationen waren im Vergleich zu den Abläufen in Reinraum:

1	2	3	*M1* Hochtemperaturofen
1	2	3	*M2* Mask Aligner
1	2	3	*M3* Sputter Coater
1	2	3	*M4* FTP 500

Item 20	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03	N	%	N	%	N	%	N	%
Angemessen	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Ausreichend	3	42,9	1	14,3	4	57,1	1	14,3
Verbesserungsbedürftig	3	42,9	6	85,7	3	42,9	6	85,7
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Angemessen	3	27,3	3	27,3	2	18,2	2	18,2
Ausreichend	6	54,5	6	54,5	7	63,6	6	54,5
Verbesserungsbedürftig	2	18,2	2	18,2	2	27,3	3	27,3
Davon nur Teilnehmer aus Saarbrücken SS 2003								
Angemessen	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Ausreichend	6	85,7	5	71,4	6	85,7	5	71,4
Verbesserungsbedürftig	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3
Davon nur Teilnehmer aus Aachen SS 2003								
Angemessen	2	50,0	2	50,0	1	25,0	1	25,0
Ausreichend	0	0,0	1	25,0	1	25,0	1	25,0
Verbesserungsbedürftig	2	50,0	1	25,0	2	50,0	2	50,0

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Das Reinraumpraktikum hat meine Entscheidung für das Wahlfach Mikrotechnik bestätigt.

Item 21: Keine Angaben im Bericht vorhanden

sehr (1) – gar nicht (5)

1	2	3	4	5

Die Durchführung des Reinraumpraktikums hat mir Spaß gemacht.

Item 22	Sehr viel		Viel		Teilweise		Wenig		Gar nicht	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2002/03	7	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SS 2003	9	81,8	1	9,1	1	9,1	0	0,0	0	0,0

1 = stimme voll zu-
5 = stimme gar nicht zu

Technische Funktionsprobleme beim Reinraumpraktikum …

M1 Hochtemperatur-ofen	*M2* Mask Aligner	*M3* Sputter Coater	*M4* FTP 500

… führten bei mir zu Motivationsverlusten

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

…halfen mit den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Item 23	M1			M2			M3			M4		
WS 2002/03	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Motivations-verluste	7	5,00	0,000	7	5,00	0,000	7	4,86	0,378	7	5,00	0,000
Besseres Ver-stehen[1)]												
SS 2003	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.	N	Mittel-wert	Std.-Abw.
Motivations-verluste[2)]	--	4,73	--	--	4,45	--	--	4,82	--	--	4,82	--
Besseres Ver-stehen	11	2,00	1,00	11	1,73	0,90	11	1,82	0,87	11	1,82	0,87

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

[2)] Angaben nur teilweise im Bericht vorhanden

Item 23	M1		M2		M3		M4	
WS 2002/03[1)]	N	%	N	%	N	%	N	%
SS 2003	N	%	N	%	N	%	N	%
Motivationsverluste								
Stimme voll zu	5	45,5	6	54,5	5	45,5	5	45,5
Stimme zu	1	9,1	2	18,2	3	27,3	3	27,3
Teilweise	5	45,5	3	27,3	3	27,3	3	27,3
Weniger	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gar nicht	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Besseres Verstehen der realen Fertigungsprozesse								
Stimme voll zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Stimme zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Teilweise	0	0,0	1	9,1	0	0,0	0	0,0
Weniger	3	27,3	4	36,4	2	18,2	2	18,2
Gar nicht	8	72,7	6	54,5	9	81,8	9	81,8

[1)] Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = zu lang 2 = gerade richtig 3 = zu kurz bemessen	Die Dauer des Reinraumpraktikums war mir mit einer Woche
1 | 2 | 3	

Item 24: Keine Angaben im Bericht vorhanden

1 = sehr gut - 5 = mangelhaft	Die Organisation und Unterbringung in Zweibrücken beurteile ich
1 | 2 | 3 | 4 | 5	

Item 25: Keine Angaben im Bericht vorhanden

F Anhang – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2003/04 und SS 2004

Es gab drei Fragebögen für Lernende. Von diesen wurden zwei zur Vorbereitung mit dem virtuellen Labor im Umfang von sechs Seiten bei Einzelveranstaltungen und von zehn Seiten beim Blockkurs entwickelt. Ein Fragebogen wurde zum realen Praktikum mit einer Länge von sechs Seiten aufgestellt. Weiterhin gab es einen Fragebogen für die Betreuer des Reinraumpraktikums, der sieben Seiten umfasste. Jeder der vier Fragebögen hatte ein Deckblatt, auf dem der Zweck der Untersuchung erklärt und die Anonymität der Untersuchung betont wurden. Weiterhin besaß jeder Fragebogen spezielle Kopf- und Fußzeilen und ein Feld für die Fragebogennummer. Die Fragen wurden durchnummeriert und nach Themenbereichen gegliedert. Sie werden nachfolgend aufgeführt, wobei das Layout zwecks Lesbarkeit an das Format des Anhangs angepasst wurde und daher nur teilweise dem tatsächlichen Seitenlayout entspricht. Die Ergebnisse zu den einzelnen Fragen werden im Anschluss an die Fragebögen aufgeführt, wobei die Angaben zu den Einzel- und Blockveranstaltungen in den Übersichten zusammengefasst wurden. Für das SS 2004 gibt es zusätzlich eine Aufstellung zu den weiblichen Studierenden, da drei von neun Lernenden Frauen waren. Eine gesonderte Angabe zu den weiblichen Studierenden für das WS 2003/04 entfällt, da keine Studentin an dem Praktikum teilgenommen hat. Die einzelnen Maschinen werden mit M1 (Hochtemperaturofen), M2 (Mask Aligner), M3 (Sputter Coater), M4[1] (Anodischer Bonder), M5 (Film Thickness Probe) und M6 (Ellipsometer) abgekürzt.

[1] Beachte in der ersten Untersuchungsphase wurde das Messgerät „Film Thickness Probe“ mit M4 statt M5 gekennzeichnet!

Fragebogen für Lernende zum virtuellen Training bei Einzelveranstaltungen

Fragebogennr. ☐☐☐☐☐ Datum ☐☐☐☐☐☐

Allgemeine Angaben

1. Geschlecht[1)]: weiblich ☐ männlich ☐
2. Alter[1)]: .....
3. Hochschule, an der Sie eingeschrieben sind[1)]: .....
4. Studiengang[1)]: .....
5. Anzahl der Fachsemester[1)]: .....
6. Haupt-/ Nebenfach, in dem dieses Praktikum angeboten wird [1)]:

   .....
7. Mit welchen Materialien haben Sie sich auf das Praktikum vorbereitet (Mehrfachnennung möglich) [1)]?
   - ☐ Grundlagenbuch
   - ☐ Maschinenhandbuch
   - ☐ Vorlesungs-/ Übungsskripte
   - ☐ Internet
   - ☐ Fachbücher aus der Bibliothek
   - ☐ Sonstiges .....
   - ☐ Praktikumsteilnahme ohne Vorbereitung

([1)] Die Beantwortung der Fragen 1 – 7 entfällt, wenn Sie diese schon auf einem vorherigen Fragebogen ausgefüllt haben.)

Vorbereitungsphase

8. Mit welcher Maschine haben Sie in dieser Praktikumsstunde gearbeitet?
   - ☐ Anodischer Bonder
   - ☐ Ellipsometer
   - ☐ Film Thickness Probe (FTP 500)
   - ☐ Hochtemperaturofen
   - ☐ Mask Aligner
   - ☐ Sputter Coater

9. War die Aufgabenstellung verständlich?
   - ☐ Ja
   - ☐ Nein

10. Waren die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein

Arbeitsschritt	Unklar, weil……

11. Waren Sie zuversichtlich, die gestellte Aufgabe lösen zu können?
    - ☐ Sehr zuversichtlich
    - ☐ Zuversichtlich
    - ☐ Weniger zuversichtlich
    - ☐ Nicht zuversichtlich

Simulation

12. Konnten Sie die Simulationssoftware bedienen?
    - ☐ Ja
    - ☐ Überwiegend
    - ☐ Ein wenig
    - ☐ Nein

13. Haben Sie verstanden, wie die virtuelle Maschine auf Ihre Einstellungen und Handgriffe reagiert?
    - ☐ Ja
    - ☐ Überwiegend
    - ☐ Ein wenig
    - ☐ Nein

14. Mussten Sie für die erfolgreiche Simulationsdurchführung auf die Handbücher (Grundlagenbuch, Maschinenhandbuch) zurückgreifen?
    - ☐ Sehr häufig
    - ☐ Häufig
    - ☐ Selten
    - ☐ Nie

15. Sind Sie mit den Vereinfachungen der manuellen Tätigkeiten zu Recht gekommen?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein, weil ..……..

16. Sind Ihnen die Unterschiede zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen klar?
    - ☐ Klar
    - ☐ Teilweise
    - ☐ Unklar

17. War Ihnen durch die Simulation bewusst, wie lange der Prozess an der realen Maschine dauert?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nur bedingt
    - ☐ Nein

18. Bei welchen Prozessschritten wird die entsprechende reale Maschine eingesetzt? Bitte ordnen Sie die Maschine in den Gesamtprozess ein:
    ……..

19. Bei welcher Teilaufgabe und warum haben Sie die virtuelle Maschine beendet?

Teilaufgabe	Grund des Beendens	
	Die Aufgabenstellung war unklar:	☐
	Die Aufgabenstellung war gelöst:	☐
	Die vorgegebene Zeit reichte nicht aus:	☐
	Die Unterlagen zur Lösung der Aufgabenstellung reichten nicht aus:	☐
	Sonstiges:	☐

Praktikumszeit

20. Wie lange haben Sie ca. für die Bewältigung der gestellten Aufgabe gebraucht?
    - ☐ < 30 min
    - ☐ 30 – 60 min
    - ☐ 61 – 90 min
    - ☐ 91 – 120 min
    - ☐ > 120 min

21. Hatten Sie darüber hinaus Zeit, um mit der virtuellen Maschine zu experimentieren?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein

Materialien/ Unterlagen

22. Hatten Sie Verständnisprobleme beim Arbeiten mit den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch, 2 = Maschinenhandbuch

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Unklar (Beschreiben Sie mit Ihren Worten, was unverständlich war)

23. Wünschen Sie sich für eine bessere Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse zusätzliche Ergänzungen in den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch, 2 = Maschinenhandbuch

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Ergänzung (z.B. Foto mit Beschreibung, Video, Animation, Theorie zu…)

24. Waren die angebotenen Videos über die Funktionsweise der realen Maschine für Ihr Verständnis zum tatsächlichen Fertigungsprozess hilfreich?
    - ☐ Sehr hilfreich
    - ☐ Hilfreich
    - ☐ Etwas hilfreich
    - ☐ Nicht hilfreich

25. Wünschen Sie sich darüber hinaus für ein besseres Verstehen zum Prozess oder zur Maschine weitere Medien?

Medium (z.B. Skizze, Foto, Video…)	Fertigungsschritt (z.B. Einlegen des Wafers in…)

Betreuung

26. Wie beurteilen Sie die Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) zur Simulationssoftware der Maschine?
    - ☐ Sehr gut
    - ☐ Gut
    - ☐ Befriedigend
    - ☐ Ausreichend
    - ☐ Mangelhaft

27. Wünschen Sie sich in der Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) weitere Erläuterungen zur Software, wenn ja welche?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja .....
      .....
      .....

28. Gab es während des Praktikums genügend Zeit für die Beantwortung Ihrer Fragen?
    - ☐ Ja
    - ☐ Überwiegend
    - ☐ Nein

29. Wie beurteilen Sie die Beantwortung Ihrer Fragen im Praktikum?
    - ☐ Sehr gut
    - ☐ Gut
    - ☐ Befriedigend
    - ☐ Ausreichend
    - ☐ Mangelhaft

Weiteres/ Anregungen

30. Hat Ihnen die Durchführung des Simulationspraktikums Spaß gemacht?
- ☐ Sehr viel Spaß
- ☐ Viel Spaß
- ☐ Teils-teils
- ☐ Weniger Spaß
- ☐ Keinen Spaß

31. Haben Sie noch weitere Anregungen?
- ☐ Nein
- ☐ Ja .....
  .....
  .....

Fragebogen für Lernende zum virtuellen Training bei Blockkursen

Fragebogennr. | | | | | | Datum | | | | | | |

Allgemeine Angaben

1. Geschlecht[1)]: weiblich ☐ männlich ☐
2. Alter[1)]: .....
3. Hochschule, an der Sie eingeschrieben sind[1)]: .....
4. Studiengang[1)]: .....
5. Anzahl der Fachsemester[1)]: .....
6. Haupt-/ Nebenfach, in dem dieses Praktikum angeboten wird [1)]:

   .....
7. Mit welchen Materialien haben Sie sich auf das Praktikum vorbereitet (Mehrfachnennung möglich) [1)]?
   - ☐ Grundlagenbuch
   - ☐ Maschinenhandbuch
   - ☐ Vorlesungs-/ Übungsskripte
   - ☐ Internet
   - ☐ Fachbücher aus der Bibliothek
   - ☐ Sonstiges .....
   - ☐ Praktikumsteilnahme ohne Vorbereitung

([1)] Die Beantwortung der Fragen 1 – 7 entfällt, wenn Sie diese schon auf einem vorherigen Fragebogen ausgefüllt haben.)

Vorbereitungsphase

8. Mit welchen Maschinen haben Sie an diesem Praktikumstag gearbeitet?
   - ☐ Anodischer Bonder
   - ☐ Ellipsometer
   - ☐ Film Thickness Probe (FTP 500)
   - ☐ Hochtemperaturofen
   - ☐ Mask Aligner
   - ☐ Sputter Coater

9. Waren die jeweiligen Aufgabenstellungen verständlich?

Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

10. Waren die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellungen klar?

Maschine	Ja	Nein	Arbeitsschritt unklar, weil …
Anodischer Bonder	☐	☐	
Ellipsometer	☐	☐	
Film Thickness Probe	☐	☐	
Hochtemperaturofen	☐	☐	
Mask Aligner	☐	☐	
Sputter Coater	☐	☐	

11. Waren Sie zuversichtlich, die gestellten Aufgaben lösen zu können?

Maschine	Sehr zuversichtlich	Zuversichtlich	Weniger zuversichtlich	Nicht zuversichtlich
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐

Simulation

12. Konnten Sie die Simulationssoftware bedienen?

Maschine	Ja	Überwiegend	Ein wenig	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐

13. Haben Sie verstanden, wie die virtuellen Maschinen auf Ihre Einstellungen und Handgriffe reagieren?

Maschine	Ja	Überwiegend	Ein wenig	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐

14. Mussten Sie für die erfolgreiche Simulationsdurchführung auf die Handbücher (Grundlagenbuch, Maschinenhandbuch) zurückgreifen?

Maschine	Sehr häufig	Häufig	Selten	Nie
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐

15. Sind Sie mit den Vereinfachungen der manuellen Tätigkeiten zu Recht gekommen?

Maschine	Ja	Nein, weil …
Anodischer Bonder	☐	☐ …
Ellipsometer	☐	☐ …
Film Thickness Probe	☐	☐ …
Hochtemperaturofen	☐	☐ …
Mask Aligner	☐	☐ …
Sputter Coater	☐	☐ …

16. Sind Ihnen die Unterschiede zwischen den Simulationen und den realen Fertigungsprozessen klar?

Maschine	Klar	Teilweise	Unklar
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

17. War Ihnen durch die Simulationen bewusst, wie lange die Prozesse an der realen Maschine dauern?

Maschine	Ja	Nur bedingt	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

18. Bei welchen Prozessschritten werden die entsprechenden realen Maschinen eingesetzt? Bitte ordnen Sie die Maschinen in den Gesamtprozess ein:

Maschine	Prozessschritte
Anodischer Bonder	
Ellipsometer	
Film Thickness Probe	
Hochtemperaturofen	
Mask Aligner	
Sputter Coater	

19. Warum haben Sie die virtuellen Maschinen beendet?

Maschine	Die Aufgabenstellung war unklar	Die Aufgabenstellung war gelöst	Die vorgegebene Zeit reichte nicht aus	Die Unterlagen zur Lösung der Aufgabenstellung reichten nicht aus	Sonstiges
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐	☐

Praktikumszeit

20. Wie lange haben Sie ca. für die Bewältigung der gestellten Aufgaben gebraucht?

Maschine	< 30 min	30 – 60 min	61 – 90 min	91 – 120 min	> 120 min
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐	☐

21. Hatten Sie darüber hinaus Zeit, um mit den virtuellen Maschinen zu experimentieren?

Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

Materialien/ Unterlagen

22. Hatten Sie Verständnisprobleme beim Arbeiten mit den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch, 2 = Maschinenhandbuch

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Unklar (Beschreiben Sie mit Ihren Worten, was unverständlich war)

23. Wünschen Sie sich für eine bessere Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse zusätzliche Ergänzungen in den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch, 2 = Maschinenhandbuch

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Ergänzung (z.B. Foto mit Beschreibung, Video, Animation, Theorie zu…)

24. Waren die angebotenen Videos über die Funktionsweise der realen Maschinen für Ihr Verständnis zum tatsächlichen Fertigungsprozess hilfreich?

Maschine	Sehr hilfreich	Hilfreich	Etwas hilfreich	Nicht hilfreich
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐

25. Wünschen Sie sich darüber hinaus für ein besseres Verstehen zum Prozess oder zu den Maschinen weitere Medien?

Medium (z.B. Skizze, Foto, Video…)	Fertigungsschritt (z.B. Einlegen des Wafers in…)

Betreuung

26. Wie beurteilen Sie die Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) zur Simulationssoftware der Maschinen?

Maschine	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Ausreichend	Mangelhaft
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐	☐

27. Wünschen Sie sich in den Einführungen (Vortrag/ Vorbesprechung) weitere Erläuterungen zur Software, wenn ja welche? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    ☐ Nein
    ☐ Ja .....
    .....
    .....

28. Gab es während des Praktikums genügend Zeit für die Beantwortung Ihrer Fragen?

Maschine	Ja	Überwiegend	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

29. Wie beurteilen Sie die Beantwortung Ihrer Fragen im Praktikum?

Maschine	Sehr gut	Gut	Befriedi-gend	Ausrei-chend	Mangel-haft
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐	☐

Weiteres/ Anregungen

30. Hat Ihnen die Durchführung des Simulationspraktikums Spaß gemacht?

Maschine	Sehr gut Spaß	Viel Spaß	Teils-teils	Weniger Spaß	Keinen Spaß
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐	☐
Film Thickness Probe	☐	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐	☐

31. Haben Sie noch weitere Anregungen?

☐ Nein

☐ Ja .....

.....

.....

Fragebogen für Lernende zum Reinraumpraktikum

Fragebogennr. | | | | | | Datum | | | | | | |

Simulationsvorbereitung

1. Mit welchen Maschinen haben Sie bei der virtuellen Vorbereitung gearbeitet (Mehrfachnennung möglich)?
   - ☐ Anodischer Bonder
   - ☐ Ellipsometer
   - ☐ Film Thickness Probe (FTP 500)
   - ☐ Hochtemperaturofen
   - ☐ Mask Aligner
   - ☐ Sputter Coater

2. Hatten Sie Ihre Kenntnisse aus der Simulationsvorbereitung in der Zwischenzeit wieder vergessen?

Virtuelle Maschine	Trifft zu	Teils-teils	Trifft nicht zu
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

3. Wie beurteilen Sie den Zeitraum zwischen der Simulationsvorbereitung und dem realen Praktikum mit _____ Wochen?
   - ☐ Zu lang
   - ☐ Genau richtig
   - ☐ Zu kurz

4. Hätten Sie das Reinraumpraktikum bezüglich der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt?

Reale Maschine	Bewältigt	Teils-teils	Nicht bewältigt
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

5. Was wünschen Sie sich in den Simulationen im Nachhinein für eine gute Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse?
   a = eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte
   b = eine stärkere Betonung der manuellen Fertigkeiten
   c = eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe
   d = das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoretischen Hintergründen war genau richtig

Virtuelle Maschine	a	b	c	d
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐

6. Mit welchen weiteren Unterlagen zu den Maschinen oder Prozessen kann die Vorbereitung verbessert werden?

Unterlagen	Maschinen, Prozesse (z.B. FTP 500, Oxidationsvorgang…)
Erklärender Text	
Maschinenbeschreibung	
Skizze	
Foto	
Video	
Animation	
Sonstiges:	

Simulation - Praxis

7. Waren Ihnen die theoretischen Grundlagen für die Bewältigung der Aufgabenstellung durch die Simulationsvorbereitung klar?
   ☐ Ja
   ☐ Nein, weil .....

8. Waren Ihnen die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?
   ☐ Ja
   ☐ Teils-teils
   ☐ Nein, weil .....

9. Waren Sie durch das Training mit den virtuellen Maschinen gut auf die realen Maschinen vorbereitet?

Reale Maschine	Trifft zu	Trifft ein wenig zu	Teils-teils	Trifft kaum zu	Trifft nicht zu
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐	☐

10. Konnten Sie durch das Üben an den virtuellen Maschinen die gleiche Aufgabe an den realen Maschinen ohne Probleme lösen ?

Reale Maschine	Trifft zu	Teils-teils	Trifft nicht zu
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

11. Wurde durch das Training an den virtuellem Maschinen der Umgang mit den realen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Reale Maschine	Erleichtert	Weder noch	Erschwert
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

12. Reichten Ihnen die gegebenen Hinweise zu den Unterschieden zwischen den Simulationen und den realen Maschinen aus?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

13. Besaßen Sie aufgrund der Simulationsvorbereitung eine größere Sicherheit im Umgang mit den realen Maschinen?

Reale Maschine	Ja	Nein	Weiß nicht
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

Betreuung

14. Haben die Betreuer(I)nnen bei den Aufgabenstellungen Ihre Vorkenntnisse aus dem virtuellen Training berücksichtigt?

Reale Maschine	Trifft zu	Teils-teils	Trifft nicht zu, weil…
Anodischer Bonder	☐	☐	☐……..
Ellipsometer	☐	☐	☐……..
FTP 500	☐	☐	☐……..
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐……..
Mask Aligner	☐	☐	☐……..
Sputter Coater	☐	☐	☐……..

15. Wurden Sie darüber hinaus durch weiterführende Fragen und Aufgabenstellungen durch die Betreuer(I)nnen gefordert?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

Reinraumpraktikum

16. Hätten Sie gerne beim Reinraumpraktikum zusätzlich eine Kurzanleitung zu den Maschinen und/ oder Prozessen gehabt?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, zu folgenden Maschinen .....
      .....
    - ☐ Ja, zu folgendenProzessen .....
      .....

17. War das Arbeiten in einem Reinraumraum für Sie eine interessante Erfahrung?
    - ☐ Ja, weil .....
    - ☐ Nein, weil .....

18. Hat Ihnen die Durchführung des Reinraumpraktikums Spaß gemacht?
    - ☐ Sehr viel Spaß
    - ☐ Viel Spaß
    - ☐ Weniger Spaß
    - ☐ Keinen Spaß

19. Gab es beim Reinraumpraktikum Anlagen mit technischen Funktionsproblemen?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, folgende .....

20. Halfen Ihnen die Anlagen mit technischen Funktionsproblemen, den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen?

Anlage mit technischen Funktionsproblemen	Nein	Ja, weil…
	☐	☐……
	☐	☐……
	☐	☐……
	☐	☐……

Organisation

21. Die gesamte Dauer des Reinraumpraktikums war mit einer Woche…
    - ☐ Zu kurz bemessen
    - ☐ Gerade richtig
    - ☐ Zu lang bemessen

22. Wie beurteilen Sie die Organisation in Zweibrücken?
    - ☐ Sehr gut
    - ☐ Gut
    - ☐ Weniger gut
    - ☐ Nicht gut

23. Haben Sie gerne an den Abendveranstaltungen teilgenommen?

Art der Abendveranstaltung	Ja	Nein
	☐	☐
	☐	☐
	☐	☐

24. War die Übernachtungsmöglichkeit für Sie in Ordnung?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein, weil .....

25. Haben Sie noch weitere Anregungen?

☐ Nein

☐ Ja .....

.....

.....

Fragebogen für Betreuer zum Reinraumpraktikum

Fragebogennr. ☐☐☐☐☐ Datum ☐☐☐☐☐☐

Maschinenbedienung

1. Welche Maschinen haben Sie im Reinraumpraktikum betreut (Mehrfachnennung möglich)?
   - ☐ Anodischer Bonder
   - ☐ Ellipsometer
   - ☐ Film Thickness Probe (FTP 500)
   - ☐ Hochtemperaturofen
   - ☐ Mask Aligner
   - ☐ Sputter Coater

2. Gab es nach Ihrer Auffassung Verständnisschwierigkeiten bei den Studierenden bezüglich der Unterschiede zwischen den virtuellen und realen Maschinen? Bitte geben Sie zu jeder Nennung eine Gewichtung von 1, 2 oder 3 an (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.):
   1: Große Schwierigkeiten 2: Mittlere Schwierigkeiten 3: Kaum Schwierigkeiten

Maschine	Nein	Ja	Art der Verständnisschwierigkeit	Gewichtung
Anodischer Bonder	☐	☐		
Ellipsometer	☐	☐		
FTP 500	☐	☐		
Hochtemperaturofen	☐	☐		
Mask Aligner	☐	☐		
Sputter Coater	☐	☐		

Bei den folgenden Fragen geht es um den Vergleich zwischen vorbereiteten und nicht vorbereiteten Studierenden:

3. Wie gut kamen die vorbereiteten Studierenden mit der Bedienung der realen Maschinen zu Recht?

Reale Maschine	Besser als die unvorb. Studierenden	Genauso gut wie die unvorb. Stud.	Schlechter als die unvorb. Stud.
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

4. Gab es Schwierigkeiten bei der Bedienung der realen Maschinen aufgrund der Vorbereitung durch die Simulation?
   Bitte geben Sie zu jeder Nennung eine Gewichtung von 1, 2 oder 3 an: (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.)
   1: Große Schwierigkeiten 2: Mittlere Schwierigkeiten 3: Kaum Schwierigkeiten

Maschine	Nein	Ja	Art der Bedienungsschwierigkeit	Gewichtung
Anodischer Bonder	☐	☐		
Ellipsometer	☐	☐		
FTP 500	☐	☐		
Hochtemperaturofen	☐	☐		
Mask Aligner	☐	☐		
Sputter Coater	☐	☐		

5. Konnten die vorbereiteten Studierenden die Maschinen eigenständig bedienen?

Reale Maschine	Trifft zu	Trifft ein wenig zu	Teils-teils	Trifft kaum zu	Trifft nicht zu
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐	☐

Fertigungsprozess

6. Hatten die vorbereiteten Studierenden ein besseres Verständnis für das Zusammenwirken der verschiedenen Prozessparameter an einer Maschine?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

7. Haben die vorbereiteten Studierenden insgesamt die Prozesskette besser verstanden?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

8. Haben die vorbereiteten Studierenden inhaltlich tiefergehende Fragen zu den Maschinen oder Prozessen gestellt?
   ☐ Nein
   ☐ Ja, folgende .....
   .....
   .....

9. Gab es weitere Unterschiede zwischen den vorbereiteten und nicht vorbereiteten Studierenden? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.)

Maschine/ Prozess	Unterschiede zwischen vorb. und unvorb. Studierenden

Simulation - Praxis

10. Wurde der Umgang mit den realen Maschinen durch das Training an den virtuellen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Reale Maschine	Erleichtert	Weder noch	Erschwert
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

11. Hat die virtuelle Vorbereitung zu Bedienungsfehlern an den realen Maschinen geführt? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.)

Reale Maschine	Nein	Ja	Art der Bedienungsfehler
Anodischer Bonder	☐	☐	
Ellipsometer	☐	☐	
FTP 500	☐	☐	
Hochtemperaturofen	☐	☐	
Mask Aligner	☐	☐	
Sputter Coater	☐	☐	

12. Haben die vorbereiteten Studierenden weniger Bedienungsfehler gemacht als die unvorbereiteten?

Reale Maschine	Weniger Fehler	Gleich viele Fehler	Mehr Fehler
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

Praktikumsunterlagen

13. Benötigen die Studierenden für ein besseres Verständnis zusätzliche Unterlagen zu den Anlagen im Reinraum (Übung, Beispiel, Animation, Video, Skizze, erklärender Text etc. Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.)?

Maschine	Nein	Ja	Art der Unterlagen
Anodischer Bonder	☐	☐	
Ellipsometer	☐	☐	
FTP 500	☐	☐	
Hochtemperaturofen	☐	☐	
Mask Aligner	☐	☐	
Sputter Coater	☐	☐	
Weitere Maschinen (z.B. Spincoater, Ätzbänke…):			
	☐	☐	
	☐	☐	

Qualität des Reinraumpraktikums

14. Haben die vorbereiteten Studierenden weniger Zeit für das Lösen der gestellten Aufgaben gebraucht?

Reale Maschine	Weniger Zeit	Genauso viel Zeit	Mehr Zeit
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

15. Konnten Sie intensiver mit den vorbereiteten Studierenden an den Maschinen arbeiten?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐
Weitere Maschinen (z.B. Spincoater, Ätzbänke…)		
	☐	☐
	☐	☐

16. Waren die vorbereiteten Studierenden interessierter im Reinraumpraktikum?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein

17. Haben die vorbereiteten Studierenden die Maschinen/ Prozesse im Reinraumpraktikum mehr hinterfragt?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein

18. Haben die Studierenden positive Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, folgende .....
      .....
      .....

19. Haben die Studierenden negative Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, folgende .....
      .....
      .....

20. Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeit mit den Studierenden im Reinraumpraktikum?
    - ☐ Sehr Gut
    - ☐ Gut
    - ☐ Weniger gut
    - ☐ Nicht gut

21. Halten Sie die Vorgehensweise - zuerst virtuelle Vorbereitung und anschließend reales Praktikum - im Nachhinein für geeignet?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein, weil .....

22. Haben Sie noch weitere Anregungen?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja .....
      .....
      .....

Ergebnisse für Lernende zum virtuellen Training

Kursart und Anzahl der teilnehmenden Studierenden

	Einzelveranstaltung	Blockkurs
WS 2003/04	10	0
SS 2004[1)]	0	9

[1)] Von den neun Teilnehmern im SS 2004 haben jeweils sieben einen Fragebogen ausgefüllt.

1. Geschlecht

Item 1	Frauen		Männer		Gesamt	
	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	0	0,0	10	100,0	10	100,0
SS 2004	3	33,3	6	66,7	9	100,0

2. Alter

Item 2	21 Jahre	22 Jahre	23 Jahre	24 Jahre	25 Jahre	26 Jahre	27 Jahre
	N	N	N	N	N	N	N
WS 2003/04	1	0	1	3	3	0	2
SS 2004	0	3	2	2	0	0	0
Davon Frauen SS 2004							
	0	2	1	0	0	0	0

3. Hochschule, an der Sie eingeschrieben sind

Item 3	Fachhochschule Aachen	Universität des Saarlandes
	N	N
WS 2003/04	10	0
SS 2004	0	7

4. Studiengang

Item 4	Mechatronik		System- und Elektrotechnik		Mikro- und Nanostrukturen	
	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	10	100,0	0	0,0	0	0,0
SS 2004	0	0,0	4	57,1	3	42,9
Davon Frauen SS 2004						
	0	0,0	1	14,3	2	28,6

5. Anzahl der Fachsemester (FS)

Item 5	3 FS	4 FS	5 FS	6 FS	7 FS	8 FS	9 FS	10 FS	11 FS
	N	N	N	N	N	N	N	N	N
WS 2003/04	1	1	3	0	3	0	1	0	1
SS 2004	0	0	1	5	0	1	0	0	0
Davon Frauen SS 2004									
	0	0	0	3	0	0	0	0	0

6. Haupt-/ Nebenfach, in dem dieses Praktikum angeboten wird

Item 6	Mikrotechnik 2		Mikromechanik/ -fluidik		Mikrosystemtechnik	
	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	10	100,0	0	0,0	0	0,0
SS 2004	0	0,0	6	85,7	1	14,3
Davon Frauen SS 2004						
	0	0,0	3	42,9	0	0,0

7. Mit welchen Materialien haben Sie sich auf das Praktikum vorbereitet (Mehrfachnennung möglich)?

Item 7	Grundlagenbuch[1)]		Maschinenhandbuch[1)]		Vorlesungs-/ Übungsskript		Internet		Fachbücher/ Bibliothek		Sonstiges	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	1	10,0	1	10,0	8	80,0	6	60,0	3	30,0	1[2)]	10,0
SS 2004	4	57,1	3	42,9	7	100,0	1	14,3	2	28,2	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
	1	14,3	1	14,3	3	42,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0

[1)] Grundlagenbuch = Drucksensor-Kochbuch 1 inkl. zusätzliche Unterlagen zur Theorie, Maschinenhandbuch = Drucksensor-Kochbuch 2 inkl. zusätzliche Maschinenanleitungen

[2)] Angabe: Vortrag Kommilitone

8. Mit welcher Maschine haben Sie in dieser Praktikumsstunde/ an diesem Praktikumstag gearbeitet?

Item 8[1)]	M1		M2		M3		M4		M5[2)]		M6	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	10	100,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0	--	--	9[3)]	100,0
SS 2004	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0
Davon Frauen SS 2004												
	3	30,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0

[1)] M1 = Hochtemperaturofen, M2 = Mask Aligner, M3 = Sputter Coater, M4 = Anodischer Bonder, M5 = Ellipsometer, M6 = Film Thickness Probe; diese Angabe gilt auch für alle nachfolgenden Tabellen.

[2)] Im WS 2003/04 wurde die virtuelle Maschine „Ellipsometer“ noch nicht in der Vorbereitung eingesetzt; diese Angabe gilt auch für alle nachfolgenden Tabellen.

[3)] An der Lerneinheit zum Messgerät „Film Thickness Probe“ im WS 2003/04 haben neun von zehn Studierenden teilgenommen; diese Angabe gilt auch für alle nachfolgenden Tabellen.

9. War die Aufgabenstellung verständlich?

Item 9	M1		M20		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	10	100,0	9	90,0	10	100,0	10	100,0	--	--	9	100,0
Nein	0	0,0	1	10,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

10. Waren die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?

Item 10	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	9	90,0	5	50,0	9	90,0	8	80,0	--	--	9	100,0
Nein	1	10,0	5	50,0	1	10,0	2	20,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	6	85,7	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	3	33,3	3	33,3	3	33,3	3	33,3	3	33,3	3	33,3

11. Waren Sie zuversichtlich, die gestellte Aufgabe lösen zu können?

Item 11	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr zuversichtlich	3	30,0	3	30,0	3	30,0	7	70,0	--	--	5	55,6
Zuversichtlich	7	70,0	6	60,0	7	70,0	3	30,0	--	--	4	44,4
Weniger zuversichtlich	0	0,0	1	10,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Nicht zuversichtlich	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr zuversichtlich	2	28,6	2	28,6	3	42,9	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Zuversichtlich	5	71,4	4	57,1	4	57,1	5	71,4	3	28,6	4	57,1
Weniger zuversichtlich	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	2	42,9	1	14,3
Nicht zuversichtlich	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Sehr zuversichtlich	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Zuversichtlich	2	28,6	1	14,3	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Weniger zuversichtlich	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Item 11	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,7	0,48	1,8	0,63	1,7	0,48	1,3	0,48	--	--	1,4	0,53
SS 2004	1,7	0,49	1,9	0,69	1,6	0,53	1,7	0,49	2,0	0,82	1,9	0,69

12. Konnten Sie die Simulationssoftware bedienen?

Item 12	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	9	90,0	8	80,0	5	50,0	10	100,0	--	--	5	55,6
Überwiegend	1	10,0	2	20,0	5	50,0	0	0,0	--	--	4	44,4
Ein wenig	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	5	71,4	2	28,6	4	57,1	6	85,7	4	57,1	4	57,1
Überwiegend	2	28,6	5	71,4	3	42,9	0	0,0	2	28,6	2	28,6
Ein wenig	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	3	42,9	0	0,0	2	28,6	3	42,9	3	42,9	1	14,3
Überwiegend	0	0,0	3	42,9	1	14,3	0	0,0	0	0,0	2	28,6

Item 12	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,1	0,32	1,2	0,42	1,5	0,53	1,0	0,00	--	--	1,0	1,4
SS 2004	1,3	0,49	1,7	0,49	1,43	0,53	1,3	0,76	1,6	0,79	1,6	0,53

13. Haben Sie verstanden, wie die virtuelle Maschine auf Ihre Einstellungen und Handgriffe reagiert?

Item 13	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	8	80,0	5	50,0	6	60,0	9	90,0	--	--	3	33,3
Überwiegend	2	20,0	5	50,0	4	40,0	1	10,0	--	--	6	66,7
Ein wenig	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	4	57,1	4	57,1	5	71,4	3	42,9	3	42,9	4	57,1
Überwiegend	2	28,6	2	28,6	1	14,3	2	28,6	1	14,3	1	14,3
Ein wenig	1	14,3	1	14,3	1	14,3	2	28,6	3	42,9	2	28,6
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Ein wenig	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

Item 13	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,2	0,42	1,5	0,53	1,4	0,52	1,1	0,32	--	--	1,7	0,50
SS 2004	1,6	0,79	1,6	0,79	1,4	0,79	1,9	0,90	2,0	1,00	1,7	0,95

14. Mussten Sie für die erfolgreiche Simulationsdurchführung auf die Handbücher (Grundlagenbuch, Maschinenhandbuch) zurückgreifen?

Item 14	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr häufig	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Häufig	4	40,0	3	33,3	2	20,0	0	0,0	--	--	2	22,2
Selten	2	20,0	5	55,6	6	60,0	6	60,0	--	--	6	66,7
Nie	4	40,0	1	11,1	2	20,0	4	40,0	--	--	1	11,1
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr häufig	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Häufig	2	28,6	2	28,6	2	28,6	3	42,9	2	28,6	2	28,6
Selten	1	14,3	2	28,6	1	14,3	1	14,3	3	42,9	2	28,6
Nie	4	57,1	3	42,9	4	57,1	3	42,9	2	28,6	3	42,9
Davon Frauen SS 2004												
Häufig	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Nie	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6

Item 14	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2003/04	3,0	0,94	2,8	0,67	3,0	0,67	3,4	0,52	--	--	2,9	0,60
SS 2004	3,3	0,95	3,1	0,90	3,3	0,95	3,0	1,00	3,0	0,82	3,1	0,90

15. Sind Sie mit den Vereinfachungen der manuellen Tätigkeiten zu Recht gekommen?

Item 15	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	10	100,0	8	80,0	10	100,0	10	100,0	--	--	9	100,0
Nein	0	0,0	2	20,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	3	33,3	3	33,3	3	33,3	3	33,3	3	33,3	3	33,3

16. Sind Ihnen die Unterschiede zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen klar?

Item 16	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Klar	6	60,0	9	90,0	6	60,0	8	80,0	--	--	7	77,8
Teilweise	3	30,0	0	0,0	4	40,0	2	20,0	--	--	2	22,2
Unklar	1	10,0	1	10,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Klar	5	71,4	6	85,7	6	85,7	3	42,9	4	57,1	6	85,7
Teilweise	1	14,3	0	0,0	0	0,0	3	42,9	2	28,6	0	0,0
Unklar	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Klar	2	28,6	2	28,6	2	28,6	1	14,3	2	28,6	2	28,6
Teilweise	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Unklar	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

Item 16	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,5	0,71	1,2	0,63	1,4	0,52	1,2	0,42	--	--	1,2	0,44
SS 2004	1,4	0,79	1,3	0,76	1,3	0,76	1,7	0,76	1,6	0,79	1,3	0,76

17. War Ihnen durch die Simulation bewusst, wie lange der Prozess an der realen Maschine dauert?

Item 17	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	70,0	5	50,0	8	80,0	7	70,0	--	--	5	55,6
Nur bedingt	3	30,0	4	40,0	2	20,0	3	30,0	--	--	4	44,4
Nein	0	0,0	1	10,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	2	28,6	3	42,9	2	28,6	0	0,0	1	14,3	3	42,9
Nur bedingt	3	42,9	2	28,6	3	42,9	4	57,1	4	57,1	2	28,6
Nein	2	28,6	2	28,6	2	28,6	3	42,9	2	28,6	2	28,6
Davon Frauen SS 2004												
Nur bedingt	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Nein	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6

Item 17	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,3	0,48	1,6	0,70	1,2	0,42	1,3	0,48	--	--	1,4	0,53
SS 2004	2,0	0,82	1,9	0,90	2,0	0,82	2,4	0,53	2,1	0,69	1,9	0,90

18. Bei welchen Prozessschritten wird die entsprechende reale Maschine eingesetzt? Bitte ordnen Sie die Maschine in den Gesamtprozess ein:

Item 18	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Korrekt	5	50,0	9	90,0	8	80,0	8	80,0	--	--	6	66,7
Unkorrekt	1	10,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Keine Angabe	4	40,0	1	10,0	2	20,0	2	20,0	--	--	3	33,3
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Korrekt	4	57,1	4	57,1	4	57,1	3	42,9	3	42,9	4	57,1
Unkorrekt	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	3	42,9	3	42,9	3	42,9	4	57,1	4	57,1	3	42,9
Davon Frauen SS 2004												
Korrekt	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Keine Angabe	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

19. Bei welcher Teilaufgabe und warum haben Sie die virtuelle Maschine beendet?

Item 19	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Aufgabe gelöst	5	50,0	7	70,0	5	50,0	5	50,0	--	--	5	55,7
Aufgabe unklar	0	0,0	0	0,0	1	10,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Zeit reichte nicht aus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Unterlagen reichten nicht aus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Sonstiges	0	0,0	2	20,0	1	10,0	1	10,0	--	--	0	0,0
Keine Anga-be	5	50,0	1	10,0	3	30,0	4	40,0	--	--	4	44,4
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Aufgabe gelöst	6	85,7	6	85,7	7	100,0	7	100,0	7	100,0	5	71,4
Aufgabe unklar	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Zeit reichte nicht aus	1	14,3	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Unterlagen reichten nicht aus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sonstiges	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Aufgabe gelöst	3	42,9	2	28,6	3	42,9	3	42,9	3	42,9	2	28,6
Zeit reichte nicht aus	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3

20. Wie lange haben Sie ca. für die Bewältigung der gestellten Aufgabe gebraucht?

Item 20	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
< 30 min	0	0,0	1	10,0	0	0,0	5	50,0	--	--	2	20,0
31 - 60 min	4	40,0	5	50,0	4	40,0	5	50,0	--	--	4	40,0
61 - 90 min	5	50,0	3	30,0	6	60,0	0	0,0	--	--	3	30,0
91-120 min	1	10,0	1	10,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
> 120 min	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
< 30 min	2	28,6	2	28,6	2	28,6	1	14,3	2	28,6	3	42,9
31 - 60 min	4	57,1	3	42,9	5	71,4	5	71,4	4	57,1	2	28,6
61 - 90 min	0	0,0	2	28,6	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0
91-120 min	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3
> 120 min	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
< 30 min	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
31 - 60 min	2	28,6	2	28,6	3	42,9	3	42,9	3	42,9	1	14,3
61 - 90 min	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3

Item 20	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	2,7	0,67	2,4	0,84	2,6	0,52	2,5	0,53	--	--	2,1	0,78
SS 2004	2,1	1,35	2,0	0,82	1,7	0,49	2,1	0,90	1,9	0,69	1,8	1,17

21. Hatten Sie darüber hinaus Zeit, um mit der virtuellen Maschine zu experimentieren?

Item 21	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	70,0	7	70,0	9	90,0	9	90,0	--	--	8	88,9
Nein	2	20,0	2	20,0	1	10,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Keine Angabe	1	10,0	1	10,0	0	0,0	1	10,0	--	--	1	11,1
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	5	71,4	5	71,4	5	71,4	5	71,4	5	71,4	6	85,7
Nein	1	14,3	2	28,6	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Keine Angabe	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	2	28,6	1	14,3	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Nein	1	14,3	2		1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

22. Hatten Sie Verständnisprobleme beim Arbeiten mit den Handbüchern?

Item 22	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Nein	10	100,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0	--	--	9	100,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Nein	7	100,0	7	100,0	7	100,0	6	85,7	7	100,0	7	100,0
Davon Frauen SS 2004												
Nein	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

23. Wünschen Sie sich für eine bessere Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse zusätzliche Ergänzungen in den Handbüchern?

Item 23	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	1	10,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Nein	9	90,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0	--	--	9	100,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Nein	7	100,0	7	100,0	7	100,0	6	85,7	7	100,0	7	100,0
Davon Frauen SS 2004												
Nein	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

24. Waren die angebotenen Videos über die Funktionsweise der realen Maschine für Ihr Verständnis zum tatsächlichen Fertigungsprozess hilfreich?

Item 24	M1		M2		M3[1)]		M4		M5[1)]		M6[1)]	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr hilfreich	0	0,0	7	70,0	--	--	3	30,0	--	--	--	--
Hilfreich	5	50,0	2	20,0	--	--	4	40,0	--	--	--	--
Etwas hilfreich	3	30,0	1	10,0	--	--	1	10,0	--	--	--	--
Nicht hilfreich	2	20,0	0	0,0	--	--	0	0,0	--	--	--	--
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	--	--	2	20,0	--	--	--	--
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr hilfreich	2	28,6	2	28,6	--	--	1	14,3	--	--	--	--
Hilfreich	3	42,9	3	42,9	--	--	5	71,4	--	--	--	--
Etwas hilfreich	1	14,3	1	14,3	--	--	1	14,3	--	--	--	--
Nicht hilfreich	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0	--	--	--	--
Keine Angabe	1	14,3	1	14,3	--	--	0	0,0	--	--	--	--
Davon Frauen SS 2004												
Hilfreich	2	28,6	2	28,6	--	--	2	28,6	--	--	--	--
Etwas hilfreich	1	14,3	1	14,3	--	--	1	14,3	--	--	--	--

[1)] Keine Videos in virtuellen Maschinen implementiert

Item 24	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	2,7	0,82	1,4	0,70	--	--	1,8	0,71	--	--	--	--
SS 2004	1,7	0,82	1,7	0,82	--	--	2,0	0,58	--	--	--	--

25. Wünschen Sie sich darüber hinaus für ein besseres Verstehen zum Prozess oder zur Maschine weitere Medien?

Item 25	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	6	60,0	1	10,0	1	10,0	1	10,0	--	--	1	11,1
Nein	4	40,0	9	90,0	9	90,0	9	90,0	--	--	8	88,9
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nein	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0
Davon Frauen SS 2004												
Nein	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

26. Wie beurteilen Sie die Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) zur Simulationssoftware der Maschine?

Item 26	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	0	0,0	1	10,0	2	20,0	3	30,0	--	--	2	22,2
Gut	10	100,0	9	90,0	6	60,0	7	70,0	--	--	7	77,8
Befriedigend	0	0,0	0	0,0	1	10,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Ausreichend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Mangelhaft	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	1	10,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	2	28,6	2	28,6	2	28,6	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Gut	4	57,1	4	57,1	4	57,1	4	57,1	5	71,4	5	71,4
Befriedigend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Ausreichend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mangelhaft	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Sehr gut	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Gut	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Keine Angabe	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

Item 26	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	2,0	0,00	1,9	0,32	1,9	0,60	1,7	0,48	--	--	1,8	0,44
SS 2004	1,7	0,52	1,7	0,52	1,7	0,52	2,0	0,63	1,8	0,41	1,8	0,41

27. Wünschen Sie sich in der Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) weitere Erläuterungen zur Software, wenn ja welche?

Item 27	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	1	10,0	2	20,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Nein	10	100,0	9	90,0	7	70,0	10	100,0	--	--	9	100,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	1	10,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nein	6	85,7	6	85,7	6	85,7	6	85,7	6	85,7	6	85,7
Keine Angabe	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Nein	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

28. Gab es während des Praktikums genügend Zeit für die Beantwortung Ihrer Fragen?

Item 27	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	10	100,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0	--	--	9	100,0
Überwiegend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	100,0	7	100,0	6	85,7	4	57,1	5	71,4	5	71,4
Überwiegend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	42,9	2	28,6	2	28,6
Nein	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

Item 28	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,0	0,00	1,0	0,00	1,0	0,00	1,0	0,00	--	--	1,0	0,00
SS 2004	1,0	0,0	1,0	0,0	1,1	0,38	1,6	0,53	1,3	0,49	1,3	0,49

29. Wie beurteilen Sie die Beantwortung Ihrer Fragen im Praktikum?

Item 29	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	7	70,0	4	40,0	3	30,0	4	40,0	--	--	6	66,7
Gut	2	20,0	6	60,0	7	70,0	6	60,0	--	--	3	33,3
Befriedigend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Ausreichend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Mangelhaft	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Keine Angabe	1	10,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	3	42,9	3	42,9	3	42,9	2	28,6	3	42,9	3	42,9
Gut	4	57,1	4	57,1	4	57,1	4	57,1	3	42,9	3	42,9
Befriedigend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Ausreichend	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mangelhaft	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Sehr gut	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Gut	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6

Item 29	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,2	0,44	1,6	0,52	1,7	0,48	1,6	0,52	--	--	1,3	0,50
SS 2004	1,6	0,53	1,6	0,53	1,6	0,53	1,9	0,69	1,7	0,76	1,7	0,76

30. Hat Ihnen die Durchführung des Simulationspraktikums Spaß gemacht?

Item 30	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr viel Spaß	1	10,0	3	30,0	2	20,0	3	30,0	--	--	2	22,2
Viel Spaß	9	90,0	7	70,0	6	60,0	7	70,0	--	--	5	55,6
Teils-teils	0	0,0	0	0,0	2	20,0	0	0,0	--	--	2	22,2
Weniger Spaß	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Keinen Spaß	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr viel Spaß	2	28,6	2	28,6	2	28,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Viel Spaß	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	2	28,6	2	28,6
Teils-teils	5	71,4	5	71,4	5	71,4	6	85,7	5	71,4	5	71,4
Weniger Spaß	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keinen Spaß	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Teils-teils	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

31. Haben Sie noch weitere Anregungen?

Item 30	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	1	10,0	1	10,0	2	20,0	0	0,0	--	--	2	22,2
Nein	9	90,0	9	90,0	7	70,0	9	90,0	--	--	7	77,8
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	1	10,0	1	10,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Nein	6	85,7	6	85,7	7	100,0	5	71,4	6	85,7	6	85,7
Keine Angabe	1	14,3	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Nein	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

Ergebnisse für Lernende zum Reinraumpraktikum

1. Mit welchen Maschinen haben Sie bei der virtuellen Vorbereitung gearbeitet?

Item 1	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	10	100,0	10	100,0	10	100,0	10	100,0	--	--	10[1)]	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

[1)] An der betreuten Veranstaltung haben neun Studierende teilgenommen, die CD „Virtuelles Labor“ haben alle zehn Teilnehmer für die Nachbereitung erhalten.

2. Hatten Sie Ihre Kenntnisse aus der Simulationsvorbereitung in der Zwischenzeit wieder vergessen?

Item 2	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	0	0,0	1	10,0	1	10,0	2	20,0	--	--	1	10,0
Teils-teils	4	60,0	6	60,0	4	40,0	4	40,0	--	--	4	40,0
Trifft nicht zu	6	40,0	3	30,0	5	50,0	4	40,0	--	--	5	50,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Teils-teils	7	100,0	6	85,7	6	85,7	6	85,7	5	71,4	4	57,1
Trifft nicht zu	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3	2	28,6	3	42,9
Keine Anga-be	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Teils-teils	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

Item 2	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2003/04	2,6	0,52	2,2	0,63	2,4	0,70	2,2	0,79	--	--	2,4	0,70
SS 2004	2,0	0,0	2,1	0,38	2,0	0,0	2,1	0,38	2,3	0,49	2,4	0,53

3. Wie beurteilen Sie den Zeitraum zwischen der Simulationsvorbereitung und dem realen Praktikum mit _____ Wochen?

Item 3	Zu lang		Genau richtig		Zu kurz		Keine Angabe			
	N	%	N	%	N	%	N	%	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2003/04	3	30,0	5	50,0	0	0,0	2	20,0	1,9	0,74
SS 2004	0	0,0	7	100,0	0	0,0	0	0,0	2,0	0,00
Davon Frauen SS 2004										
	0	0,0	3	42,9	0	0,0	0	0,0		

4. Hätten Sie das Reinraumpraktikum bezüglich der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt?

Item 4	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Bewältigt	3	30,0	4	40,0	5	50,0	4	40,0	--	--	4	40,0
Teils-teils	5	50,0	3	30,0	3	30,0	5	50,0	--	--	4	40,0
Nicht bewältigt	1	10,0	2	20,0	1	10,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Keine Anga-be	1	10,0	1	10,0	1	10,0	1	10,0	--	--	2	20,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Bewältigt	3	42,9	3	42,9	3	42,9	2	28,6	2	28,6	1	14,3
Teils-teils	3	42,9	2	28,6	3	42,9	4	57,1	3	42,9	5	71,4
Nicht bewäl-tigt	1	14,3	2	28,6	1	14,3	1	14,3	2	28,6	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Bewältigt	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	0	0,0
Teils-teils	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	2	28,6
Nicht bewäl-tigt	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

Item 4	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2003/04	2,0	0,94	2,0	1,05	1,8	1,03	1,8	0,92	--	--	2,0	1,15
SS 2004	1,7	0,76	1,9	0,90	1,7	0,76	1,9	0,69	2,0	0,82	2,0	0,58

5. Was wünschen Sie sich in den Simulationen im Nachhinein für eine gute Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse?

   a = eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte

   b = eine stärkere Betonung der manuellen Fertigkeiten

   c = eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe

   d = das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoretischen Hintergründen war genau richtig

Item 5	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N[1)]	%
a	2	20,0	3	30,0	2	20,0	4	40,0	--	--	3	30,0
b	0	0,0	2	20,0	1	10,0	0	0,0	--	--	2	20,0
c	0	0,0	1	10,0	0	0,0	0	0,0	--	--	3	30,0
d	5	50,0	3	30,0	6	60,0	4	40,0	--	--	1	10,0
Keine Angabe	3	30,0	1	10,0	1	10,0	2	20,0	--	--	2	20,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N[1)]	%
a	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	28,6	0	0,0	1	14,3
b	0	0,0	2	28,6	0	0,0	0	0,0	1	14,3	1	14,3
c	3	42,9	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3	2	28,6
d	3	42,9	4	57,1	5	71,4	4	57,1	4	57,1	3	42,9
Keine Angabe	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
a	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	28,6	0	0,0	1	14,3
b	0	0,0	2	28,6	0	0,0	0	0,0	1	14,3	1	14,3
c	3	42,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3
d	0	0,0	1	14,3	3	42,9	1	14,3	2	28,6	1	14,3

[1)] Ein Teilnehmer hat jeweils „a“ und „c“ angekreuzt.

6. Mit welchen weiteren Unterlagen zu den Maschinen oder Prozessen kann die Vorbereitung verbessert werden?

WS 2003/04	SS 2004
Bei allen Maschinen fast zu viele Unterlagen. Maschinenbeschreibungen auf das Wesentliche beschränken.	Animationen
Simulationen zum Draht- und Die-Bonden	Mehr Fotos und erklärender Text
Animationen zu weiteren Anlagen mit Bildern	Mehr Maschinenbeschreibungen
Video zur Nasschemie, zum Ätzen	
Zu jeder Maschine ein kurzes Video	
Mehr Fotos zu den Prozessen, Maschinen und zur Anordnung der Bedienelemente	
Mehr erklärender Text zu den Prozessen und Maschinen	

7. Waren Ihnen die theoretischen Grundlagen für die Bewältigung der Aufgabenstellung durch die Simulationsvorbereitung klar?

Item 7	Ja		Nein	
	N	%	N	%
WS 2003/04	10	100,0	0	0,0
SS 2004	6	85,7	1	14,3
Davon Frauen SS 2004				
	3	42,9	0	0,0

8. Waren Ihnen die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?

Item 8	Ja		Teils-teils		Nein			
	N	%	N	%	N	%	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	6	60,0	3	30,0	1	10,0	1,0	0,00
SS 2004	5	71,4	2	28,6	0	0,0	2,3	0,45
Davon Frauen SS 2004								
	2	28,6	1	14,3	0	0,0		

9. Waren Sie durch das Training mit den virtuellen Maschinen gut auf die realen Maschinen vorbereitet?

Item 9	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	7	70,0	4	40,0	8	80,0	5	50,0	--	--	8	80,0
Trifft ein wenig zu	2	20,0	2	20,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
Teils-teils	1	10,0	3	30,0	2	20,0	4	40,0	--	--	1	10,0
Trifft kaum zu	0	0,0	1	10,0	0	0,0	1	10,0	--	--	0	0,0
Trifft nicht zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	1	10,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	2	28,6	2	28,6	3	42,9	1	14,3	6	85,7	5	71,4
Trifft ein wenig zu	3	42,9	3	42,9	1	14,3	2	28,6	1	14,3	0	0,0
Teils-teils	1	14,3	2	28,6	3	42,9	1	14,3	0	0,0	2	28,6
Trifft kaum zu	1	14,3	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Trifft nicht zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Trifft zu	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	3	42,9	2	28,6
Trifft ein wenig zu	2	28,6	1	14,3	1	14,3	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Teils-teils	1	14,3	2	28,6	1	14,3	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Trifft kaum zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Trifft nicht zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0

Item 9	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,4	0,70	2,1	1,1	1,4	0,84	1,7	0,95	--	--	1,6	1,35
SS 2004	2,1	1,07	2,0	0,82	2,0	1,00	2,8	1,47	1,1	0,38	1,6	0,98

10. Konnten Sie durch das Üben an den virtuellen Maschinen die gleiche Aufgabe an den realen Maschinen ohne Probleme lösen ?

Item 10	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	6	60,0	3	30,0	4	40,0	3	30,0	--	--	6	60,0
Teils-teils	4	40,0	6	60,0	6	60,0	6	60,0	--	--	3	30,0
Trifft nicht zu	0	0,0	1	10,0	0	0,0	1	10,0	--	--	1	10,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	1	14,3	2	28,6	1	14,3	1	14,3	2	28,6	2	28,6
Teils-teils	5	71,4	4	57,1	5	71,4	4	57,1	4	57,1	4	57,1
Trifft nicht zu	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Keine Anga-be	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Teils-teils	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6
Trifft nicht zu	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3

Item 10	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,4	0,52	1,8	0,63	1,6	0,52	1,8	0,63	--	--	1,5	0,71
SS 2004	2,0	0,58	1,9	0,69	2,0	0,58	2,0	0,63	1,9	0,69	1,9	0,69

11. Wurde durch das Training an den virtuellem Maschinen der Umgang mit den realen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Item 11	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Erleichtert	8	80,0	8	80,0	8	80,0	7	70,0	--	--	7	70,0
Weder noch	2	20,0	2	20,0	2	20,0	3	30,0	--	--	3	30,0
Erschwert	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	0	0,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Erleichtert	5	71,4	5	71,4	5	71,4	5	71,4	6	85,7	6	85,7
Weder noch	2	2	1	14,3	2	2	2	2	1	14,3	1	14,3
Erschwert	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Erleichtert	2	28,6	3	42,9	2	28,6	2	28,6	3	42,9	3	42,9
Weder noch	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3	0	0,0	0	0,0

Item 11	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,2	0,42	1,2	0,42	1,2	0,42	1,3	0,48	--	--	1,3	0,48
SS 2004	1,3	0,49	1,2	0,41	1,3	0,49	1,3	0,49	1,1	038	1,1	0,38

12. Reichten Ihnen die gegebenen Hinweise zu den Unterschieden zwischen den Simulationen und den realen Maschinen aus?

Item 12	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	9	90,0	7	70,0	8	80,0	6	60,0	--	--	8	80,0
Nein	1	10,0	3	30,0	2	20,0	4	40,0	--	--	1	10,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	--	--	1	10,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	6	85,7	7	100,0	6	85,7	7	100,0	5	71,4	7	100,0
Nein	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0	2	28,6	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	2	28,6	3	42,9	2	28,6	3	42,9	2	28,6	3	42,9
Nein	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0

13. Besaßen Sie aufgrund der Simulationsvorbereitung eine größere Sicherheit im Umgang mit den realen Maschinen?

Item 13	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	8	80,0	6	60,0	6	60,0	4	40,0	--	--	7	70,0
Nein	0	0,0	2	20,0	0	0,0	2	20,0	--	--	1	10,0
Weiß nicht	2	20,0	2	20,0	4	40,0	4	40,0	--	--	2	20,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	2	28,6	4	57,1	1	14,3	1	14,3	4	57,1	3	42,9
Nein	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Weiß nicht	4	57,1	3	42,9	5	71,4	4	57,1	3	42,9	4	57,1
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0	1	14,3	1	14,3
Nein	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3		0,0		0,0
Weiß nicht	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6

14. Haben die Betreuer(I)nnen bei den Aufgabenstellungen Ihre Vorkenntnisse aus dem virtuellen Training berücksichtigt?

Item 14	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	5	50,0	4	40,0	5	50,0	2	20,0	--	--	6	60,0
Teils-teils	4	40,0	5	50,0	4	40,0	7	70,0	--	--	2	20,0
Trifft nicht zu	1	10,0	1	10,0	1	10,0	1	10,0	--	--	2	20,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	2	28,6	2	28,6	2	28,6	1	14,3	2	28,6	1	14,3
Teils-teils	3	42,9	2	28,6	2	28,6	3	42,9	4	57,1	5	71,4
Trifft nicht zu	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	2	28,6	2	28,6	2	28,6	2	28,6	1	14,3	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Trifft zu	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3	1	14,3
Teils-teils	2	28,6	1	14,3	1	14,3	1	14,3	2	28,6	2	28,6
Trifft nicht zu	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3	0	0,0	0	0,0

Item 14	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2003/04	1,6	0,70	1,7	0,67	1,6	0,70	1,9	0,57	--	--	1,6	0,84
SS 2004	1,6	0,55	1,8	0,84	1,8	0,84	2,0	0,71	1,7	0,52	1,8	0,41

15. Wurden Sie darüber hinaus durch weiterführende Fragen und Aufgabenstellungen durch die Betreuer(I)nnen gefordert?

Item 15	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	70,0	9	90,0	7	70,0	8	80,0	--	--	6	60,0
Nein	3	30,0	1	10,0	3	30,0	2	20,0	--	--	4	40,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	6	85,7	6	85,7	6	85,7	7	100,0	6	85,7	6	85,7
Nein	1	14,3	1	14,3	1	14,3	0	0,0	1	14,3	1	14,3
Davon Frauen SS 2004												
Ja	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9	3	42,9

16. Hätten Sie gerne beim Reinraumpraktikum zusätzlich eine Kurzanleitung zu den Maschinen und/ oder Prozessen gehabt?

Item 16	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	3	30,0	4	40,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0	3	30,0
Nein	7	70,0	6	60,0	7	70,0	7	70,0	7	70,0	7	70,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	1	14,3	1	14,3	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Nein	6	85,7	6	85,7	7	100,0	6	85,7	7	100,0	7	100,0
Davon Frauen SS 2004												
Ja	1	14,3	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0	0	0,0
Nein	2	28,6	3	42,9	3	42,9	2	28,6	3	42,9	3	42,9

17. War das Arbeiten in einem Reinraumraum für Sie eine interessante Erfahrung?

Item 17	Ja		Nein	
	N	%	N	%
WS 2003/04	10	100,0	0	0,0
SS 2004	7	100,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004				
	3	42,9	0	0,0

18. Hat Ihnen die Durchführung des Reinraumpraktikums Spaß gemacht?

Item 18	Sehr viel Spaß		Viel Spaß		Weniger Spaß		Keinen Spaß	
	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	9	90,0	1	10,0	0	0,0	0	0,0
SS 2004	3	42,9	4	57,1	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004								
	0	0,0	3	42,9	0	0,0	0	0,0

19. Gab es beim Reinraumpraktikum Anlagen mit technischen Funktionsproblemen?

Item 19			
WS 2003/04	Maschine mit technischen Funktionsproblemen	N	%
	Anodischer Bonder	3	30,0
	Wafersäge	2	20,0
	Entsalzungsanlage	10	100,0
SS 2004	Maschine mit technischen Funktionsproblemen	N	%
	Anodischer Bonder	5	71,4
	Mask Aligner	3	42,9
Davon Frauen SS 2004			
	Anodischer Bonder	3	42,9
	Mask Aligner	3	42,9

20. Halfen Ihnen die Anlagen mit technischen Funktionsproblemen, den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen?

Item 20	Ja		Nein		Keine Angabe	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%
Anodischer Bonder	0	0,0	0	0,0	3	100,0
Wafersäge	2	100,0	0	0,0	0	0,0
Entsalzungsanlage	0	0,0	0	0,0	10	100,0
SS 2004	N	%	N	%	N	%
Anodischer Bonder	0	0,0	5	100,0	0	0,0
Mask Aligner	0	0,0	3	100,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004						
Anodischer Bonder	0	0,0	3	60,0	0	0,0
Mask Aligner	0	0,0	3	100,0	0	0,0

21. Die gesamte Dauer des Reinraumpraktikums war mit einer Woche…

Item 21	Zu kurz bemessen		Gerade richtig		Zu lang bemessen	
	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	3	30,0	7	70,0	0	0,0
SS 2004	3	42,9	4	57,1	0	0,0
Davon Frauen SS 2004						
	2	28,6	1	14,3	0	0,0

22. Wie beurteilen Sie die Organisation in Zweibrücken?

Item 22	Sehr gut		Gut		Weniger gut		Nicht gut	
	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	10	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SS 2004	4	57,1	3	42,9	0	0,0	0	0,0
Davon Frauen SS 2004								
	1	14,3	2	28,6	0	0,0	0	0,0

23. Haben Sie gerne an den Abendveranstaltungen teilgenommen?

Item 23	Ja		Nein		Keine Angabe	
WS 2003/04	N	%	N	%	N	%
Klettern	8	80,0	1	10,0	1	10,0
Kegeln	9	90,0	0	0,0	1	10,0
Gemeinsames Essen	10	100,0	0	0,0	0	0,0
SS 2004[1)]	N	%	N	%	N	%

[1)] Im SS 2004 gab es keine Abendveranstaltungen.

24. War die Übernachtungsmöglichkeit für Sie in Ordnung?

Item 24	Ja		Nein	
	N	%	N	%
WS 2003/04	9	90,0	1	10,0
SS 2004[1)]				

[1)] Die Teilnehmer aus Saarbrücken benötigten wegen der geringen Entfernung keine Übernachtungsmöglichkeit.

25. Haben Sie noch weitere Anregungen?

Item 25	Ja		Nein		Keine Angabe	
	N	%	N	%	N	%
WS 2003/04	0	0,0	10	100,0	0	0,0
SS 2004	1	14,3	3	42,9	3	42,9
Davon Frauen SS 2004						
	0	0,0	2	28,6	1	14,3

Ergebnisse für Betreuer zum Reinraumpraktikum

	Anzahl der ausgefüllten Fragebögen
WS 2003/04	5
SS 2004	5

1. Welche Maschinen haben Sie im Reinraumpraktikum betreut (Mehrfachnennung möglich)?

Item 1	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	N	N	N	N	N	N
WS 2003/04	2	2	1	1	--[1)]	2
SS 2004	4	--[2)]	1	1	1	1

[1)] Die virtuelle Maschine „Ellipsometer“ konnte in der Vorbereitungsphase noch nicht trainiert werden.

[2)] Es gab keine Rückmeldung zum „Mask Aligner“ seitens der Betreuer.

2. Gab es nach Ihrer Auffassung Verständnisschwierigkeiten bei den Studierenden bezüglich der Unterschiede zwischen den virtuellen und realen Maschinen? Bitte geben Sie zu jeder Nennung eine Gewichtung von 1, 2 oder 3 an:

1: Große Schwierigkeiten, 2: Mittlere Schwierigkeiten, 3: Kaum Schwierigkeiten

Item 2	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Keine Angabe	0	0	0	1	--	0
Nein	1	1	1	0	--	1
Ja	1	1	0	0	--	1
Gewichtung - Schwierigkeiten						
1 - große	0	0	0	0	--	0
2 - mittlere	1	0	0	0	--	1
3 - kaum	0	1	0	0	--	0
Keine Angabe	0	0	0	0	--	0
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Keine Angabe	0	--	0	0	0	0
Nein	2	--	1	0	0	0
Ja	2	--	0	1	1	1
Gewichtung - Schwierigkeiten						
1 - große	0	--	0	0	0	0
2 - mittlere	1	--	0	0	1	0
3 - kaum	2	--	0	1	0	1
Keine Angabe	1	--	1	0	0	0

3. Wie gut kamen die vorbereiteten Studierenden mit der Bedienung der realen Maschinen zu Recht? Bei dieser und den folgenden Frage geht es um den Vergleich zwischen vorbereiteten und nicht vorbereiteten Studierenden.

Item 3	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Besser als...	1	2	0	1	--	1
Genauso gut wie...	0	0	0	0	--	0
Schlechter als...	0	0	0	0	--	0
Keine Angabe	1	0	1	0	--	1
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Besser als...	2	--	0	1	0	1
Genauso gut wie...	2	--	1	0	1	0
Schlechter als...	0	--	0	0	0	0
Keine Angabe	0	--	0	0	0	0

4. Gab es Schwierigkeiten bei der Bedienung der realen Maschinen aufgrund der Vorbereitung durch die Simulation? Bitte geben Sie zu jeder Nennung eine Gewichtung von 1, 2 oder 3 an:

1: Große Schwierigkeiten, 2: Mittlere Schwierigkeiten, 3: Kaum Schwierigkeiten

Item 4	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Keine Angabe	0	0	0	0	--	0
Nein	2	1	1	1	--	2
Ja	0	1	0	0	--	0
Gewichtung - Schwierigkeiten						
1 - große	0	0	0	0	--	0
2 - mittlere	0	0	0	0	--	0
3 - kaum	0	1	0	0	--	0
Keine Angabe	0	0	0	0	--	0
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Keine Angabe	0	--	0	0	0	0
Nein	2	--	1	0	1	1
Ja	2	--	0	1	0	0
Gewichtung - Schwierigkeiten						
1 - große	0	--	0	0	0	0
2 - mittlere	1	--	0	0	0	0
3 - kaum	2	--	0	1	0	0
Keine Angabe	1	--	1	0	1	1

5. Konnten die vorbereiteten Studierenden die Maschinen eigenständig bedienen?

Item 5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Trifft zu	0	1	0	0	--	0
Trifft ein wenig zu	0	0	0	0	--	1
Teils-teils	2	0	1	0	--	1
Trifft kaum zu	0	0	0	0	--	0
Trifft nicht zu	0	0	0	0	--	0
Keine Angabe	0	1	0	1	--	0
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Trifft zu	1	--	0	1	0	1
Trifft ein wenig zu	1	--	0	0	0	0
Teils-teils	2	--	1	0	1	0
Trifft kaum zu	0	--	0	0	0	0
Trifft nicht zu	0	--	0	0	0	0
Keine Angabe	0	--	0	0	0	0

6. Hatten die vorbereiteten Studierenden ein besseres Verständnis für das Zusammenwirken der verschiedenen Prozessparameter an einer Maschine?

Item 6	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Ja	0	2	0	1	--	1
Nein	1	0	0	0	--	0
Keine Angabe	1	0	1	0	--	1
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Ja	2	--	0	0	0	0
Nein	2	--	1	1	1	1

7. Haben die vorbereiteten Studierenden insgesamt die Prozesskette besser verstanden?

Item 7	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Ja	1	2	1	1	--	1
Nein	0	0	0	0	--	0
Keine Angabe	1	0	0	0	--	1
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Ja	4	--	1	0	0	0
Nein	0	--	0	1	1	1

8. Haben die vorbereiteten Studierenden inhaltlich tiefergehende Fragen zu den Maschinen oder Prozessen gestellt?

Item 8	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2003/04	2	2	1
SS 2004	1	4	0

9. Gab es weitere Unterschiede zwischen den vorbereiteten und nicht vorbereiteten Studierenden? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.)

Item 9: Keine verwertbaren Angaben in den Fragebögen enthalten.

10. Wurde der Umgang mit den realen Maschinen durch das Training an den virtuellen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Item 10	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Erleichtert	1	1	1	1	--	2
Weder noch	0	0	0	0	--	0
Erschwert	0	0	0	0	--	0
Keine Angabe	1	1	0	0	--	0
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Erleichtert	4	--	1	1	0	1
Weder noch	0	--	0	0	1	0
Erschwert	0	--	0	0	0	0

11. Hat die virtuelle Vorbereitung zu Bedienungsfehlern an den realen Maschinen geführt?

Item 11	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Nein	2	1	1	1	--	1
Ja	0	1	0	0	--	1[1)]
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Nein	4	--	1	1	1	1
Ja	0	--	0	0	0	0

[1)] Bedienungsfehler: Kalibrieren des Messgerätes

12. Haben die vorbereiteten Studierenden weniger Bedienungsfehler gemacht als die unvorbereiteten?

Item 12	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Weniger Fehler	0	2	0	1	--	1
Gleich viele Fehler	0	0	0	0	--	0
Mehr Fehler	0	0	0	0	--	0
Keine Angaben	2	0	1	0	--	1
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Weniger Fehler	3	--	0	1	0	1
Gleich viele Fehler	1	--	1	0	1	0
Mehr Fehler	0	--	0	0	0	0

13. Benötigen die Studierenden für ein besseres Verständnis zusätzliche Unterlagen zu den Anlagen im Reinraum (Übung, Beispiel, Animation, Video, Skizze, erklärender Text etc.)?

Item 13	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Andere
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N	N
Ja	0	2	0	0	--	0	0
Nein	1	0	1	0	--	1	0
Keine Angabe	1	0	0	1	--	1	5
SS 2004	N	N	N	N	N	N	N
Ja	1	--	1	1	0	0	1[1)]
Nein	1	--	0	0	0	0	0
Keine Angabe	2	--	0	0	1	1	4

[1)] Unterlagen zu den Maschinen „Rasterelektronenmikroskop“ und „Waferprober“

Item 13 – Art der Unterlagen	
WS 2003/04	SS 2004
Original-Bedienungsanleitungen der Hersteller	Skizze zu bzw. zur Lage von Hauptschaltern, insbesondere beim „Anodischen Bonder“
Kurze Skizze zur Anordnung der realen Bedienelemente	Skizze zum Bedienen der Absperrhähne und –gase im Grauraum
	Videos zum Auflegen der Proben, insbesondere beim „Hochtemperaturofen“
	Bilder zum Anlagenaufbau, insbesondere beim „Sputter Coater“

14. Haben die vorbereiteten Studierenden weniger Zeit für das Lösen der gestellten Aufgaben gebraucht?

Item 14	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Weniger Zeit	0	2	0	0	--	1
Genau so viel Zeit	2	0	1	0	--	1
Mehr Zeit	0	0	0	0	--	0
Keine Angabe	0	0	0	1	--	0
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Weniger Zeit	1	--	0	1	0	0
Genau so viel Zeit	3	--	1	0	1	1
Mehr Zeit	0	--	0	0	0	0

15. Konnten Sie intensiver mit den vorbereiteten Studierenden an den Maschinen arbeiten?

Item 15	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2003/04	N	N	N	N	N	N
Ja	1	2	1	1	--	1
Nein	0	0	0	0	--	0
Keine Angabe	1	0	0	0	--	1
SS 2004	N	N	N	N	N	N
Ja	1	--	1	0	0	0
Nein	2	--	0	1	1	1
Keine Angabe	1	--	0	0	0	0

16. Waren die vorbereiteten Studierenden interessierter im Reinraumpraktikum?

Item 16	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2003/04	4	1	0
SS 2004	3	2	0

17. Haben die vorbereiteten Studierenden die Maschinen/ Prozesse im Reinraumpraktikum mehr hinterfragt?

Item 17	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2003/04	3	0	2
SS 2004	2	3	0

18. Haben die Studierenden positive Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?

Item 18	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2003/04	4	0	1
SS 2004	3	2	0

Item 18 – Art der positiven Kritik	
WS 2003/04	SS 2004
Durch intensive und geduldige Betreuung war eigenständiges Arbeiten möglich und konnten Maschinen verstärkt erfahren werden.	Zusammenhängendes Blockpraktikum hat wesentlich mehr Verständnis hervorgerufen als wöchentliche Einzelveranstaltungen.
Das Gesamtverständnis für die Problematik bei Prozessen wurde erhöht.	Das hohe Engagement der Betreuer motiviert.
Prozesse wurden teilweise erst jetzt richtig verstanden.	Die Pausen sind gut zum Relaxen, so dass es genügend Zeit zwischen den Prozessen gibt.

19. Haben die Studierenden negative Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?

Item 19	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2003/04	1[1)]	4	0
SS 2004	1[1)]	4	0

[1)] Teilnehmer haben direkt Verbesserungsvorschläge zum Praktikum gemacht.

20. Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeit mit den Studierenden im Reinraumpraktikum?

Item 20	Sehr gut	Gut	Weniger gut	Nicht gut
	N	N	N	N
WS 2003/04	5	0	0	0
SS 2004	2	3	0	0

21. Halten Sie die Vorgehensweise - zuerst virtuelle Vorbereitung und anschließend reales Praktikum - im Nachhinein für geeignet?

Item 21	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2003/04	5	0	0
SS 2004	5	0	0

22. Haben Sie noch weitere Anregungen?

Item 22	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2003/04	4	1	0
SS 2004	3	2	0

Item 22 – Art der Anregungen	
WS 2003/04	SS 2004
Direkt zu Beginn des Reinraumpraktikums die Prozesskette nochmals ausführlicher besprechen, da Gruppen zu unterschiedlichen Prozessen einsteigen.	Austeilen des Prozessplans zu Beginn hat sich bewährt. Der Plan sollte weiter vervollständigt werden. Ebenso sollte eine Skizze vom Sensor und von der Lage der Widerstände, der Kontrollstrukturen sowie der Kontaktierungsstellen erfolgen.
Verhalten im Reinraum (Bewegen, Husten) intensiver üben.	Reale Prozesszeiten (z. B. Hochtemperaturofen 24 h) brauchen für das Verständnis nicht vollständig eingehalten zu werden, 3 h reichen auch aus.
Virtuelles Training und Reinraumpraktikum zeitlich noch näher zusammenbringen.	Technologischer Hintergrund sollte stärker behandelt bzw. präsent sein.

G Anhang – Fragebögen und Ergebnisse zum WS 2004/05

Es gab zwei Fragebögen für Lernende, einen zur Vorbereitung mit dem virtuellen Labor und einen zum realen Praktikum mit einem Umfang von je sieben Seiten. Ein weiterer Fragebogen wurde für das kommende SS 2005 für die anstehende Blockveranstaltung im Rahmen der projektbezogenen Evaluation entwickelt. Dieser Fragebogen befindet sich nicht im Anhang. Weiterhin gab es einen Fragebogen für die Betreuer des Reinraumpraktikums, der fünf Seiten umfasste. Jeder der drei Fragebögen hatte ein Deckblatt, auf dem der Zweck der Untersuchung erklärt und die Anonymität der Untersuchung betont wurden. Weiterhin besaß jeder Fragebogen spezielle Kopf- und Fußzeilen und ein Feld für die Fragebogennummer. Die Fragen wurden durchnummeriert und nach Themenbereichen gegliedert. Sie werden nachfolgend aufgeführt, wobei das Layout zwecks Lesbarkeit an das Format des Anhangs angepasst wurde und daher nur teilweise dem tatsächlichen Seitenlayout entspricht. Die Ergebnisse zu den einzelnen Fragen werden im Anschluss an die Fragebögen aufgeführt. Eine gesonderte Angabe zu den weiblichen Studierenden entfällt, da nur eine Studentin an dem Praktikum teilgenommen hat. Die einzelnen Maschinen werden mit M1 (Hochtemperaturofen), M2 (Mask Aligner), M3 (Sputter Coater), M4[1] (Anodischer Bonder), M5 (Film Thickness Probe) und M6 (Ellipsometer) abgekürzt.

[1] Beachte in der ersten Untersuchungsphase wurde das Messgerät „Film Thickness Probe“ mit M4 statt M5 gekennzeichnet!

Fragebogen für Lernende zum virtuellen Training bei Einzelveranstaltungen

Interviewbogennr. ☐☐☐☐☐ Datum ☐☐☐☐☐☐

Allgemeine Angaben

1. Geschlecht[1)]: weiblich ☐ männlich ☐
2. Alter[1)]: .....
3. Hochschule, an der Sie eingeschrieben sind[1)]: .....
4. Studiengang[1)]: .....
5. Anzahl der Fachsemester[1)]: .....
6. Haupt-/ Nebenfach, in dem dieses Praktikum angeboten wird [1)]:

   .....

([1)] Die Beantwortung der Fragen 1 – 6 entfällt, wenn Sie diese schon auf einem vorherigen Fragebogen ausgefüllt haben.)

Vorbereitungsphase

7. Mit welchen Materialien haben Sie sich auf das Praktikum vorbereitet (Mehrfachnennung möglich)?
   - ☐ Grundlagenbuch (Drucksensor-Kochbuch 1)
   - ☐ Maschinenhandbuch (Drucksensor-Kochbuch 2)
   - ☐ Vorlesungs-/ Übungsskripte
   - ☐ Internet
   - ☐ Fachbücher aus der Bibliothek
   - ☐ Sonstiges .....
   - ☐ Praktikumsteilnahme ohne Vorbereitung

8. Mit welcher Maschine haben Sie in dieser Praktikumsstunde gearbeitet?
   - ☐ Anodischer Bonder
   - ☐ Ellipsometer
   - ☐ Film Thickness Probe (FTP 500)
   - ☐ Hochtemperaturofen
   - ☐ Mask Aligner
   - ☐ Sputter Coater

zu 8. Haben Sie sich vor dem Praktikumstermin mit den entsprechenden virtuellen Maschinen auf der CD „Virtuelles Labor“ befasst?
- ☐ Ja
- ☐ Nein

9. War die Aufgabenstellung verständlich?
- ☐ Ja
- ☐ Nein, weil ..……..

10. Waren die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?
- ☐ Ja
- ☐ Nein

Teilaufgabe	Unklar, weil……

11. Waren Sie zuversichtlich, die gestellte Aufgabe lösen zu können?
- ☐ Ja
- ☐ Nein, weil ..……..
.....

Simulation

12. Konnten Sie die Simulationssoftware bedienen?
- ☐ Ja
- ☐ Überwiegend
- ☐ Ein wenig
- ☐ Nein

zu 12. Wenn „Ein wenig“ oder „Nein“, woran lag das? .....
.....
.....

13. Haben Sie verstanden, wie die virtuelle Maschine auf Ihre Einstellungen und Handgriffe reagiert?
- ☐ Ja
- ☐ Überwiegend
- ☐ Ein wenig
- ☐ Nein

zu 13. Welche Einstellungen oder Handgriffe waren unklar?.....
.....
.....

14. Mussten Sie für die erfolgreiche Simulationsdurchführung auf die Handbücher und Praktikumsunterlagen zurückgreifen?
☐ Sehr häufig
☐ Häufig
☐ Selten
☐ Nie

zu 14. Das Arbeiten mit den Handbüchern und Unterlagen war wichtig, weil.....
.....
.....

15. Sind Sie mit den Vereinfachungen der manuellen Tätigkeiten zu Recht gekommen?
☐ Ja
☐ Nein, weil ..……..

16. Sind Ihnen die Unterschiede zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen klar?
☐ Klar
☐ Teilweise
☐ Unklar

zu 16. Wenn „Teilweise“ oder „Unklar“, woran lag das?.....
.....
.....

17. War Ihnen durch die Simulation bewusst, wie lange der Prozess an der realen Maschine dauert?
☐ Ja, der reale Prozess dauert etwa ___ Minuten/ Stunden
☐ Nein

18. Bei welchen Prozessschritten wird die entsprechende reale Maschine eingesetzt? Bitte ordnen Sie die Maschine in den Gesamtprozess ein:
……..

19. Bei welcher Teilaufgabe und warum haben Sie die virtuelle Maschine beendet?
☐ Die Aufgabenstellung wurde vollständig gelöst
☐ Die Aufgabenstellung wurde teilweise gelöst, und zwar bis zur Teilaufgabe
.....
.....

Praktikumszeit

20. Wie lange haben Sie etwa für die Bewältigung der gestellten Aufgabe gebraucht?
    - ☐ < 30 min
    - ☐ 30 – 60 min
    - ☐ 61 – 90 min
    - ☐ 91 – 120 min
    - ☐ > 120 min

21. Hatten Sie darüber hinaus Zeit, um mit der virtuellen Maschine zu experimentieren?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, ich habe Folgendes ausprobiert .....……..
      .....
      .....

Materialien/ Unterlagen

22. Hatten Sie Verständnisprobleme beim Arbeiten mit den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch (Drucksensor-Kochbuch 1),
    2 = Maschinenhandbuch (Drucksensor-Kochbuch 2)

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Unklar (Beschreiben Sie mit Ihren Worten, was unklar war)

23. Wünschen Sie sich für eine bessere Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse zusätzliche Ergänzungen in den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch (Drucksensor-Kochbuch 1),
    2 = Maschinenhandbuch (Drucksensor-Kochbuch 2)

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Ergänzung (z.B. Foto mit Beschreibung, Video, Animation, Theorie zu…)

24. Gab es zu der von Ihnen bedienten Maschine Videos?
    ☐ Ja
    ☐ Nein

zu 24. Wenn „Ja“, waren die angebotenen Videos über die Funktionsweise der realen Maschine für das Verständnis des tatsächlichen Fertigungsprozesses hilfreich?
    ☐ Sehr hilfreich, weil .....
    ☐ Hilfreich, weil .....
    ☐ Etwas hilfreich
    ☐ Nicht hilfreich, weil .....

25. Wünschen Sie sich darüber hinaus für ein besseres Verstehen zum Prozess oder zur Maschine weitere Medien?

Medium (z.B. Skizze, Foto, Video…)	Fertigungsschritt (z.B. Einlegen des Wafers in…)

Betreuung

26. Wie beurteilen Sie die Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) zur Simulationssoftware der Maschine?
    - ☐ Sehr gut
    - ☐ Gut
    - ☐ Weniger gut
    - ☐ Nicht gut

zu 26. Folgendes könnte in der Einführung verbessert werden .....
.....
.....

27. Wünschen Sie sich in der Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) weitere Erläuterungen zur Software, wenn ja welche?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja .....

.....
.....

28. Gab es während des Praktikums genügend Zeit für die Beantwortung Ihrer Fragen?
    - ☐ Ja
    - ☐ Überwiegend
    - ☐ Nein

29. Wie beurteilen Sie die Beantwortung Ihrer Fragen im Praktikum?
    - ☐ Sehr gut
    - ☐ Gut
    - ☐ Weniger gut
    - ☐ Nicht gut

zu 29. Wenn „Weniger gut“ oder „Nicht gut“, welche Fragen wurden nicht gut beantwortet? .....
.....
.....

Weiteres/ Anregungen

30. Hat Ihnen die Durchführung des Simulationspraktikums Spaß gemacht?
- ☐ Sehr viel Spaß
- ☐ Viel Spaß
- ☐ Teils-teils
- ☐ Weniger Spaß
- ☐ Keinen Spaß

zu 30. Warum? .....
.....
.....

31. Haben Sie noch weitere Anregungen/ Verbesserungsvorschläge?
- ☐ Nein
- ☐ Ja .....
.....
.....

Fragebogen für Lernende zum Reinraumpraktikum

Interviewbogennr. ☐☐☐☐☐ Datum ☐☐☐☐☐☐

Simulationsvorbereitung

1. Mit welchen Maschinen haben Sie bei der virtuellen Vorbereitung gearbeitet (Mehrfachnennung möglich)?
   - ☐ Anodischer Bonder
   - ☐ Ellipsometer
   - ☐ Film Thickness Probe (FTP 500)
   - ☐ Hochtemperaturofen
   - ☐ Mask Aligner
   - ☐ Sputter Coater

2. Hatten Sie Ihre Kenntnisse aus der Simulationsvorbereitung in der Zwischenzeit wieder vergessen?

Virtuelle Maschine	Trifft zu	Teilweise	Trifft nicht zu
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

zu 2. Wenn „Trifft zu“ oder „Teilweise“, woran lag das? .....
.....
.....

3. Wie beurteilen Sie den Zeitraum zwischen der Simulationsvorbereitung und dem realen Praktikum mit _____ Wochen?
   - ☐ Zu lang, weil .....
   - ☐ Genau richtig
   - ☐ Zu kurz, weil .....

4. Hätten Sie das Reinraumpraktikum bezüglich der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt?

Reale Maschine	Bewältigt	Teilweise bewältigt	Nicht bewältigt
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

zu 4. Wenn „Bewältigt“ oder „Nicht bewältigt“, warum? .....
.....
.....

5. Was wünschen Sie sich in den Simulationen im Nachhinein für eine gute Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse?
   a = eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte
   b = eine stärkere Betonung der manuellen Fertigkeiten
   c = eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe
   d = das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoretischen Hintergründen war genau richtig

Virtuelle Maschine	a	b	c	d
Anodischer Bonder	☐	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐	☐

zu 5. Wenn „a“, „b“ oder „c“, warum? .....
.....
.....

6. Mit welchen weiteren Unterlagen zu den Maschinen oder Prozessen kann die Vorbereitung verbessert werden?

Unterlagen	Maschinen, Prozesse (z.B. FTP 500, Oxidationsvorgang…)
Erklärender Text	
Maschinenbeschreibung	
Skizze	
Foto	
Video	
Animation	
Sonstiges:	

Simulation - Praxis

7. Waren Ihnen die theoretischen Grundlagen für die Bewältigung der Aufgabenstellung durch die Simulationsvorbereitung klar?
   ☐ Ja
   ☐ Nein, weil .....

8. Waren Ihnen die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?
   ☐ Ja
   ☐ Teilweise
   ☐ Nein, weil .....

zu 8. Wenn „Teilweise“ oder „Nein“, welche Arbeitsschritte an den Maschinen waren unklar? .....
.....
.....

9. Waren Sie durch das Training mit den virtuellen Maschinen gut auf die realen Maschinen vorbereitet?

Reale Maschine	Ja, weil ...	Teilweise	Nein, weil ...
Anodischer Bonder	☐ ...	☐	☐ ...
Ellipsometer	☐ ...	☐	☐ ...
FTP 500	☐ ...	☐	☐ ...
Hochtemperaturofen	☐ ...	☐	☐ ...
Mask Aligner	☐ ...	☐	☐ ...
Sputter Coater	☐ ...	☐	☐ ...

10. Konnten Sie durch das Üben an den virtuellen Maschinen die gleiche Aufgabe an den realen Maschinen ohne Probleme lösen?

Reale Maschine	Ja, weil ...	Teilweise	Nein, weil ...
Anodischer Bonder	☐ ...	☐	☐ ...
Ellipsometer	☐ ...	☐	☐ ...
FTP 500	☐ ...	☐	☐ ...
Hochtemperaturofen	☐ ...	☐	☐ ...
Mask Aligner	☐ ...	☐	☐ ...
Sputter Coater	☐ ...	☐	☐ ...

11. Wurde durch das Training an den virtuellem Maschinen der Umgang mit den realen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Reale Maschine	Erleichtert	Weder noch	Erschwert
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

zu 11. Wenn „Erleichtert“ oder „Erschwert“, woran lag das? .....
.....
.....

12. Reichten Ihnen die gegebenen Hinweise zu den Unterschieden zwischen den Simulationen und den realen Maschinen aus?

Reale Maschine	Ja	Nein, weil ...
Anodischer Bonder	☐	☐ ...
Ellipsometer	☐	☐ ...
FTP 500	☐	☐ ...
Hochtemperaturofen	☐	☐ ...
Mask Aligner	☐	☐ ...
Sputter Coater	☐	☐ ...

13. Besaßen Sie aufgrund der Simulationsvorbereitung eine größere Sicherheit im Umgang mit den realen Maschinen?

Reale Maschine	Ja	Nein, weil ...
Anodischer Bonder	☐	☐ ...
Ellipsometer	☐	☐ ...
FTP 500	☐	☐ ...
Hochtemperaturofen	☐	☐ ...
Mask Aligner	☐	☐ ...
Sputter Coater	☐	☐ ...

Betreuung

14. Haben die Betreuer(I)nnen bei den Aufgabenstellungen Ihre Vorkenntnisse aus dem virtuellen Training berücksichtigt?

Reale Maschine	Trifft zu	Teilweise	Trifft nicht zu, weil…
Anodischer Bonder	☐	☐	☐ ...
Ellipsometer	☐	☐	☐ ...
FTP 500	☐	☐	☐ ...
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐ ...
Mask Aligner	☐	☐	☐ ...
Sputter Coater	☐	☐	☐ ...

15. Wurden Sie darüber hinaus durch weiterführende Fragen und Aufgabenstellungen durch die Betreuer(I)nnen gefordert?

Reale Maschine	Ja	Nein, weil ...
Anodischer Bonder	☐	☐ ...
Ellipsometer	☐	☐ ...
FTP 500	☐	☐ ...
Hochtemperaturofen	☐	☐ ...
Mask Aligner	☐	☐ ...
Sputter Coater	☐	☐ ...

Reinraumpraktikum

16. Hätten Sie gerne beim Reinraumpraktikum zusätzlich eine Kurzanleitung zu den Maschinen und/ oder Prozessen gehabt?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, konkret zu folgenden Maschinen .....
      .....
    - ☐ Ja, konkret zu folgendenProzessen .....
      .....

17. War das Arbeiten in einem Reinraumraum für Sie eine interessante Erfahrung?
    - ☐ Ja, weil .....
    - ☐ Nein, weil .....

18. Hat Ihnen die Durchführung des Reinraumpraktikums Spaß gemacht?
    - ☐ Sehr viel Spaß
    - ☐ Viel Spaß
    - ☐ Weniger Spaß
    - ☐ Keinen Spaß

zu 18. Warum? .....
.....
.....

19. Gab es beim Reinraumpraktikum Anlagen mit technischen Funktionsproblemen?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, folgende .....

20. Halfen Ihnen die Anlagen mit technischen Funktionsproblemen, den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen?

Anlage mit technischen Funktionsproblemen	Ja, weil...	Nein, weil…
	☐…	☐…
	☐…	☐…
	☐…	☐…
	☐…	☐…

Organisation

21. Die gesamte Dauer des Reinraumpraktikums war mit einer Woche…
    - ☐ Zu kurz bemessen, weil .....
    - ☐ Genau richtig
    - ☐ Zu lang bemessen, weil .....

22. Wie beurteilen Sie die Organisation in Zweibrücken?
    - ☐ Sehr gut
    - ☐ Gut
    - ☐ Weniger gut
    - ☐ Nicht gut

zu 22. Wenn „Weniger gut“ oder „Nicht gut“, Folgendes könnte verbessert werden .....
.....
.....

23. Haben Sie gerne an den Abendveranstaltungen teilgenommen?

Art der Abendveranstaltung	Ja, weil...	Nein, weil...
	☐...	☐...
	☐...	☐...
	☐...	☐...

24. War die Übernachtungsmöglichkeit für Sie in Ordnung?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein, weil .....

25. Haben Sie noch weitere Anregungen?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja .....
.....
.....

Fragebogen für Betreuer zum Reinraumpraktikum

Interviewbogennr. ☐☐☐☐☐ Datum ☐☐☐☐☐☐

Maschinenbedienung

1. Welche Maschinen haben Sie im Reinraumpraktikum betreut (Mehrfachnennung möglich)?
   - ☐ Anodischer Bonder
   - ☐ Ellipsometer
   - ☐ Film Thickness Probe (FTP 500)
   - ☐ Hochtemperaturofen
   - ☐ Mask Aligner
   - ☐ Sputter Coater

2. Gab es Verständnisschwierigkeiten oder Schwierigkeiten bei der Bedienung der realen Maschinen aufgrund der Vorbereitung durch die Simulation?
   Bitte geben Sie zu jeder Nennung eine Gewichtung von 1, 2 oder 3 an (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.):
   1: Große Schwierigkeiten 2: Mittlere Schwierigkeiten 3: Kaum Schwierigkeiten

Maschine	Nein	Ja	Art der Verständnis-/ Bedienschwierigkeit	Gewichtung
Anodischer Bonder	☐	☐		
Ellipsometer	☐	☐		
FTP 500	☐	☐		
Hochtemperaturofen	☐	☐		
Mask Aligner	☐	☐		
Sputter Coater	☐	☐		

3. Wurde der Umgang mit den realen Maschinen durch das Training an den virtuellen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Reale Maschine	Erleichtert	Weder noch	Erschwert
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

zu 3. Wenn „Erleichtert“ oder „Erschwert“, woran lag das? .....
.....
.....

4. Konnten die vorbereiteten Studierenden die Maschinen relativ eigenständig bedienen?

Reale Maschine	Trifft zu	Teilweise	Trifft nicht zu
Anodischer Bonder	☐	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐	☐
FTP 500	☐	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐	☐

zu 4. Wenn „Teilweise“ oder „Trifft nicht zu“, woran lag das? .....
.....
.....

5. Haben die Studierenden aufgrund der Vorbereitung weniger Bedienungsfehler gemacht?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

zu 5. Wenn „Ja“, bitte geben Sie ein bis drei Beispiele an!
Beispiel 1: .....
Beispiel 2: .....
Beispiel 3: .....

Fertigungsprozess

6. Hatten die vorbereiteten Studierenden ein gutes Verständnis für das Zusammenwirken der verschiedenen Prozessparameter an einer Maschine?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐

zu 6. Wenn „Ja“, bitte geben Sie ein bis drei Beispiele an!
Beispiel 1: .....
Beispiel 2: .....
Beispiel 3: .....

7. Haben die vorbereiteten Studierenden insgesamt die Prozesskette besser verstanden?
☐ Ja
☐ Nein, Folgendes war unklar .....
.....
.....

8. Haben die vorbereiteten Studierenden inhaltlich tiefergehende Fragen zu den Maschinen oder Prozessen gestellt?
☐ Nein
☐ Ja, folgende .....
.....
.....

Praktikumsunterlagen

9. Benötigen die Studierenden für ein besseres Verständnis zusätzliche Unterlagen zu den Anlagen im Reinraum (Übung, Beispiel, Animation, Video, Skizze, erklärender Text etc. Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte die leere Rückseite.)?

Maschine	Nein	Ja	Art der Unterlagen
Anodischer Bonder	☐	☐	
Ellipsometer	☐	☐	
FTP 500	☐	☐	
Hochtemperaturofen	☐	☐	
Mask Aligner	☐	☐	
Sputter Coater	☐	☐	
Weitere Maschinen (z.B. Spincoater, Ätzbänke…):			
	☐	☐	
	☐	☐	

Qualität des Reinraumpraktikums

10. Konnten Sie aufgrund der virtuellen Vorbereitung intensiver mit den Studierenden an den Maschinen arbeiten?

Reale Maschine	Ja	Nein
Anodischer Bonder	☐	☐
Ellipsometer	☐	☐
FTP 500	☐	☐
Hochtemperaturofen	☐	☐
Mask Aligner	☐	☐
Sputter Coater	☐	☐
Weitere Maschinen (z.B. Spincoater, Ätzbänke…)		
	☐	☐
	☐	☐

zu 10. Wenn „Ja“, bitte geben Sie ein bis drei Beispiele an!
Beispiel 1: .....
Beispiel 2: .....
Beispiel 3: .....

11. Haben die Studierenden positive Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?
☐ Nein
☐ Ja, folgende .....
.....
.....

12. Haben die Studierenden negative Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?
☐ Nein
☐ Ja, folgende .....
.....
.....

13. Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeit mit den Studierenden im Reinraumpraktikum? Bitte begründen Sie Ihre Antwort!
☐ Sehr Gut
☐ Gut
☐ Weniger gut
☐ Nicht gut
weil .....
.....
.....

14. Halten Sie die Vorgehensweise - zuerst virtuelle Vorbereitung und anschließend reales Praktikum - im Nachhinein für geeignet? Bitte begründen Sie Ihre Antwort!
☐ Nein,
☐ Ja,
weil .....
.....
.....

15. Haben Sie noch weitere Anregungen?
☐ Nein
☐ Ja, Folgende .....
.....
.....

Ergebnisse für Lernende zum virtuellen Training

Kursart und Anzahl der teilnehmenden Studierenden

	Einzelveranstaltung	Reinraumpraktikum
WS 2004/05	9	10

Anzahl der ausgefüllten Fragebögen zum virtuellen Training

	M1[1)]	M2[1)]	M3[1)]	M4[1)]	M5[1)]	M6[1)]
WS 2004/05[2)]	8	9	8	6	7	7

[1)] M1 = Hochtemperaturofen, M2 = Mask Aligner, M3 = Sputter Coater, M4 = Anodischer Bonder, M5 = Ellipsometer, M6 = Film Thickness Probe; diese Angabe gilt auch für alle nachfolgenden Tabellen

[2)] Nicht alle Teilnehmer haben eine einzelne Praktikumseinheit über den gesamten Zeitraum besucht, da sich das Praktikum als Wahlfach mit anderen Veranstaltungen überschnitt.

1. Geschlecht

Item 1	Frauen		Männer		Gesamt	
	N	%	N	%	N	%
WS 2004/05	1	11,1	8	88,9	9	100,0

2. Alter

Item 2	21 Jahre	23 Jahre	26 Jahre	27 Jahre	28 Jahre	29 Jahre
	N	N	N	N	N	N
WS 2004/05	1	1	1	3	1	1

3. Hochschule, an der Sie eingeschrieben sind

Item 3	Fachhochschule Aachen	Universität des Saarlandes
	N	N
WS 2004/05	9	0

4. Studiengang

Item 4	Mechatronik		System- und Elektrotechnik		Mikro- und Nanostrukturen	
	N	%	N	%	N	%
WS 2004/05	9	100,0	0	0,0	0	0,0

5. Anzahl der Fachsemester (FS)

Item 5	3 FS	4 FS	5 FS	6 FS	7 FS	8 FS	9 FS
	N	N	N	N	N	N	N
WS 2004/05	1	1	3	0	2	1	1

6. Haupt-/ Nebenfach, in dem dieses Praktikum angeboten wird

Item 6	Mikrotechnik 2		Mikromechanik/ -fluidik		Mikrosystemtechnik	
	N	%	N	%	N	%
WS 2004/05	9	100,0	0	0,0	0	0,0

7. Mit welchen Materialien haben Sie sich auf das Praktikum vorbereitet (Mehrfachnennung möglich)?

Item 7	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Grundlagenbuch[1)]	3	37,5	0	0,0	1	12,5	3	50,0	0	0,0	1	14,3
Maschinenhandbuch[1)]	5	62,5	5	55,6	3	37,5	2	33,3	0	0,0	1	14,3
Praktikumsanleitungen	3	37,5	6	66,7	3	37,5	2	33,3	1	14,3	2	28,6
Vorlesungs-/ Übungsskript	3	37,5	2	22,2	2	25,0	0	0,0	1	14,3	1	14,3
Internet	0	0,0	1	11,1	1	12,5	0	0,0	1	14,3	1	14,3
Fachbücher/ Bibliothek	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Sonstiges[2)]	1	12,5	0	0,0	0	0,0	1	16,7	0	0,0	0	0,0
Ohne Vorbereitung	2	25,0	2	22,2	3	37,5	2	33,3	5	71,4	4	57,1

[1)] Grundlagenbuch = Drucksensor-Kochbuch 1 inkl. zusätzliche Unterlagen zur Theorie, Maschinenhandbuch = Drucksensor-Kochbuch 2 inkl. zusätzliche Maschinenanleitungen

8. Mit welcher Maschine haben Sie in dieser Praktikumsstunde gearbeitet?

Item 8	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	N	N	N	N	N	N
WS 2004/05	8	9	8	6	7	7

zu 8. Haben Sie sich vor dem Praktikumstermin mit den entsprechenden virtuellen Maschinen auf der CD „Virtuelles Labor“ befasst?

Item 8	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	4	50,0	5	55,6	1	12,5	3	50,0	0	0,0	2	28,6
Nein	4	50,0	4	44,4	7	87,5	3	50,0	7	100,0	5	71,4

9. War die Aufgabenstellung verständlich?

Item 9	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	8	100,0	9	100,0	6	75,0	6	100,0	7	100,0	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	2	25,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

10. Waren die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?

Item 10	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	87,5	7	77,8	5	62,5	4	66,7	6	85,7	7	100,0
Nein	1	12,5	2	22,2	3	37,5	2	33,3	1	14,3	0	0,0

11. Waren Sie zuversichtlich, die gestellte Aufgabe lösen zu können?

Item 11	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	8	100,0	9	100,0	8	100,0	6	100,0	7	100,0	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

12. Konnten Sie die Simulationssoftware bedienen?

Item 12	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	4	50,0	6	66,7	5	62,5	3	50,0	3	42,9	6	85,7
Überwiegend	4	50,0	2	22,2	3	37,5	3	50,0	3	42,9	1	14,3
Ein wenig	0	0,0	1	11,1	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Item 12	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,5	0,53	1,4	0,73	1,4	0,52	1,5	0,55	1,7	0,76	1,1	0,38

13. Haben Sie verstanden, wie die virtuelle Maschine auf Ihre Einstellungen und Handgriffe reagiert?

Item 13	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	5	62,5	3	33,3	6	75,0	3	50,0	4	57,1	5	71,4
Überwiegend	2	25,0	5	55,6	2	25,0	3	50,0	2	28,6	2	28,6
Ein wenig	1	12,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nein	0	0,0	1	11,1	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0

Item 13	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,5	0,76	1,8	0,67	1,3	0,46	1,5	0,55	1,6	0,79	1,3	0,49

14. Mussten Sie für die erfolgreiche Simulationsdurchführung auf die Handbücher und Praktikumsunterlagen zurückgreifen?

Item 14	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr häufig	0	0,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0	2	28,6	0	0,0
Häufig	3	37,5	3	33,3	1	12,5	2	33,3	3	42,9	4	57,1
Selten	3	37,5	6	66,7	5	62,5	4	66,7	2	28,6	2	28,6
Nie	2	25,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0	1	14,3

Item 14	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	2,9	0,83	2,7	0,50	2,8	0,89	2,7	0,52	2,0	0,82	2,6	0,79

15. Sind Sie mit den Vereinfachungen der manuellen Tätigkeiten zu Recht gekommen?

Item 15	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	8	100,0	9	100,0	7	87,5	4	66,7	7	100,0	7	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	1	12,5	2	33,3	0	0,0	0	0,0

16. Sind Ihnen die Unterschiede zwischen der Simulation und den realen Fertigungsprozessen klar?

Item 16	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Klar	5	62,5	8	88,9	8	100,0	5	83,3	5	71,4	7	100,0
Teilweise klar	2	25,0	1	11,1	0	0,0	1	16,7	1	14,3	0	0,0
Unklar	1	12,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0

Item 16	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,5	0,76	1,1	0,33	1,0	0,00	1,2	0,41	1,4	0,79	1,0	0,00

17. War Ihnen durch die Simulation bewusst, wie lange der Prozess an der realen Maschine dauert? Der reale Prozess dauert etwa ____ Minuten/ Stunden.

Item 17	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	8	100,0	6	66,7	8	100,0	5	83,3	5	71,4	6	85,7
Nein	0	0,0	3	33,3	0	0,0	1	16,7	2	28,6	1	14,3
Zeitangabe korrekt[2)]												
Ja	8	--	3	--	6	--	5[3)]	--	4	--	6	--
Nein	0	--	3[1)]	--	2	--	0	--	1	--	0	--

[1)] Die Zeit wurde mit bis zu 0,5 h statt 1,0 - 2,0 zu kurz angesetzt. Die Tendenz ist jedoch korrekt.

[2)] Prozentangaben entfallen wegen unterschiedlicher Bezugsgrößen (N der beantworteten Fragen, N der Ja-Antworten).

[3)] Die Zeitangaben werden nur auf das Bonden an sich und nicht auf das Schreiben von Rezepten oder auf Zeiten für manuelle Handlungen bezogen.

18. Bei welchen Prozessschritten wird die entsprechende reale Maschine eingesetzt? Bitte ordnen Sie die Maschine in den Gesamtprozess ein:

Item 18	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Korrekt	6	57,0	8	88,9	6	75,0	6	100,0	7	100,0	6	85,7
Unkorrekt	1	12,5	1	11,1	2	25,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	1	12,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3

19. Bei welcher Teilaufgabe und warum haben Sie die virtuelle Maschine beendet?

Item 19	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Aufgabe vollständig gelöst	8	100,0	8	88,9	8	100,0	6	100,0	6	85,7	7	100,0
Aufgabe teilweise gelöst	0	0,0	1[1)]	11,1	0	0,0	0	0,0	1[2)]	14,3	0	0,0

[1)] Justage wegen Programminstabilität beendet.

[2)] Messen bestimmter Parameter vergessen.

20. Wie lange haben Sie etwa für die Bewältigung der gestellten Aufgabe gebraucht?

Item 20	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
< 30 min	1	12,5	1	11,1	1	12,5	1	16,7	0	0,0	0	0,0
31 - 60 min	4	50,0	4	44,4	4	50,0	2	33,3	3	42,9	3	42,9
61 - 90 min	3	37,5	2	22,2	3	37,5	3	50,0	3	42,9	3	42,9
91 - 120 min	0	0,0	1	11,1	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0
> 120 min	0	0,0	1	11,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3

Item 20	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	2,3	0,71	2,7	1,22	2,3	0,71	2,3	0,82	2,7	0,76	2,5	0,55

21. Hatten Sie darüber hinaus Zeit, um mit der virtuellen Maschine zu experimentieren?

Item 21	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	5	62,5	5	55,6	4	50,0	4	66,7	4	57,1	4	47,1
Nein	3	37,5	4	44,4	4	50,0	2	33,3	3	42,9	2	28,6
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3

22. Hatten Sie Verständnisprobleme beim Arbeiten mit den Handbüchern?

Item 22	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	2	25,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nein	6	75,0	9	100,0	8	100,0	6	100,0	7	100,0	7	100,0

23. Wünschen Sie sich für eine bessere Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse zusätzliche Ergänzungen in den Handbüchern?

Item 23	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nein	8	100,0	9	100,0	8	100,0	6	100,0	7	100,0	7	100,0

24. Gab es zu der von Ihnen bedienten Maschine Videos?

Item 24[1)]	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	8	100,0	9	100,0	1	12,5	6	100,0	0	0,0	1	14,3
Nein	0	0,0	0	0,0	7	87,5	0	0,0	7	100,0	6	85,7
Angabe korrekt												
Ja	8	100,0	9	100,0	7	87,5	6	100,0	7	100,0	6	85,7
Nein	0	0,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0	1	14,3

[1)] Es gab nur Videos zu den Maschinen „Hochtemperaturofen“, „Mask Aligner“ und „Anodischer Bonder“.

zu 24. Wenn „Ja“, waren die angebotenen Videos über die Funktionsweise der realen Maschine für das Verständnis des tatsächlichen Fertigungsprozesses hilfreich?

Item 24	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr hilfreich	0	0,0	4	44,4	--	--	1	16,7	--	--	--	--
Hilfreich	3	37,5	4	44,4	--	--	4	66,7	--	--	--	--
Etwas hilfreich	4	50,0	1	11,1	--	--	1	16,7	--	--	--	--
Nicht hilfreich	1	12,5	0	0,0	--	--	0	0,0	--	--	--	--

Item 24	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	2,8	0,71	1,7	0,71	--	--	2,0	0,63	--	--	--	--

25. Wünschen Sie sich darüber hinaus für ein besseres Verstehen zum Prozess oder zur Maschine weitere Medien?

Item 25	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	2	25,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nein	6	75,0	9	100,0	7	87,5	6	100,0	7	100,0	7	100,0

26. Wie beurteilen Sie die Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) zur Simulationssoftware der Maschine?

Item 26	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	3	37,5	4	44,4	5	62,5	1	16,7	2	28,6	2	28,6
Gut	5	62,5	5	55,6	3	37,5	5	71,4	4	57,1	4	57,1
Weniger gut	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3	0	0,0
Nicht gut	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keine Angabe	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	14,3

Item 26	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,6	0,52	1,6	0,53	1,4	0,52	1,8	0,41	1,9	0,69	1,7	0,52

27. Wünschen Sie sich in der Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) weitere Erläuterungen zur Software, wenn ja welche?

Item 27	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	2	25,0	0	0,0	1[1)]	12,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nein	6	75,0	9	100,0	7	87,5	6	100,0	7	100,0	7	100,0

28. Gab es während des Praktikums genügend Zeit für die Beantwortung Ihrer Fragen?

Item 28	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	87,5	9	100,0	7	87,5	6	100,0	7	100,0	6	85,7
Überwiegend	1	12,5	0	0,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0	1	14,3
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Item 28	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,1	0,35	1,0	0,00	1,1	0,35	1,0	0,00	1,0	0,00	1,1	0,38

29. Wie beurteilen Sie die Beantwortung Ihrer Fragen im Praktikum?

Item 29	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr gut	5	62,5	9	100,0	5	62,5	3	50,0	3	42,9	6	85,7
Gut	3	37,5	0	0,0	3	37,5	3	50,0	4	57,1	1	14,3
Weniger gut	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nicht gut	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Item 29	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,4	0,52	1,0	0,00	1,4	0,52	1,5	0,55	1,43	0,53	1,1	0,38

30. Hat Ihnen die Durchführung des Simulationspraktikums Spaß gemacht?

Item 30	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Sehr viel Spaß	0	0,0	4	44,4	1	12,5	2	33,3	2	28,6	5	71,4
Viel Spaß	7	87,5	5	55,6	6	75,0	3	50,0	4	57,1	2	28,6
Teilweise Spaß	1	12,5	0	0,0	1	12,5	1	16,7	1	14,3	0	0,0
Weniger Spaß	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Keinen Spaß	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

31. Haben Sie noch weitere Anregungen/ Verbesserungsvorschläge?

Item 31	M1 (N = 8)		M2 (N = 9)		M3 (N = 8)		M4 (N = 6)		M5 (N = 7)		M6 (N = 7)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	1	12,5	1	11,1	1	12,5	1	16,7	0	0,0	1	14,3
Nein	7	87,5	8	88,9	7	87,5	5	83,3	7	100,0	6	85,7

Ergebnisse für Lernende zum Reinraumpraktikum

1. Mit welchen Maschinen haben Sie bei der virtuellen Vorbereitung gearbeitet (Mehrfachnennung möglich)?

Item 1[1)] (N = 10)	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	9	90,0	9	90,0	9	90,0	8	80,0	9	90,0	9	90,0
Nein	1	10,0	1	10,0	1	10,0	2	20,0	1	10,0	1	10,0

[1)] Die Teilnehmer haben alle die CD „Virtuelles Labor“ zur eigenen Vorbereitung erhalten, so dass sie unabhängig von den betreuten Praktikumsterminen waren.

2. Hatten Sie Ihre Kenntnisse aus der Simulationsvorbereitung in der Zwischenzeit wieder vergessen?

Item 2	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0
Teilweise	3	33,3	4	44,4	4	44,4	5	71,4	5	55,6	1	11,1
Trifft nicht zu	6	66,7	5	55,6	5	55,6	2	25,0	4	44,4	8	88,9

Item 2	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	2,7	0,50	2,6	0,53	2,6	0,53	2,1	0,64	2,4	0,53	2,4	0,53

3. Wie beurteilen Sie den Zeitraum zwischen der Simulationsvorbereitung und dem realen Praktikum mit _____ Wochen?

Item 3 (N = 9)	Zu lang		Genau richtig		Zu kurz		Keine Angabe			
	N	%	N	%	N	%	N	%	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1	11,1	6	66,7	0	0,0	2	22,2	1,9	0,38

4. Hätten Sie das Reinraumpraktikum bezüglich der hier realisierten Aufgabenstellung und Betreuung auch ohne Simulationsvorbereitung bewältigt?

Item 4	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Bewältigt	0	0,0	0	0,0	2	22,2	0	0,0	0	0,0	1	11,1
Teilweise	4	44,4	3	33,3	3	33,3	4	50,0	4	44,4	3	33,3
Nicht bewältigt	4	44,4	5	55,6	3	33,3	3	37,5	4	44,4	4	44,4
Keine Angabe	1	11,1	1	11,1	1	11,1	1	12,5	1	11,1	1	11,1

Item 4	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	2,5	0,53	2,6	0,52	2,1	0,83	2,4	0,53	2,5	0,53	2,4	0,74

5. Was wünschen Sie sich in den Simulationen im Nachhinein für eine gute Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse?

   a = eine stärkere Betonung der konkreten einzelnen Arbeitsschritte

   b = eine stärkere Betonung der manuellen Fertigkeiten

   c = eine stärkere Betonung der theoretischen Hintergründe

   d = das Mischungsverhältnis zwischen Fertigkeiten und theoretischen Hintergründen war genau richtig

Item 5	M1 (N = 9)		M2[1)] (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
a	0	0,0	1	11,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
b	0	0,0	2	22,2	0	0,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0
c	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
d	9	100,0	7	77,8	9	100,0	7	87,5	9	100,0	9	100,0

[1)] Ein Teilnehmer hat „a“ und „b“ angekreuzt.

6. Mit welchen weiteren Unterlagen zu den Maschinen oder Prozessen kann die Vorbereitung verbessert werden?

WS 2004/05
Animation zum Mask Aligner

7. Waren Ihnen die theoretischen Grundlagen für die Bewältigung der Aufgabenstellung durch die Simulationsvorbereitung klar?

Item 7	Ja		Nein	
	N	%	N	%
WS 2004/05	9	100,0	0	0,0

8. Waren Ihnen die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?

Item 8	Ja		Teilweise		Nein			
	N	%	N	%	N	%	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2004/05	9	100,0	0	0,0	0	0,0	1,0	0,00

9. Waren Sie durch das Training mit den virtuellen Maschinen gut auf die realen Maschinen vorbereitet?

Item 9	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	7	77,8	6	66,7	7	77,8	7	87,5	8	88,9	8	88,9
Teilweise	2	22,2	3	33,3	2	22,2	1	12,5	1	11,1	1	11,1
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Item 9	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,2	0,44	1,3	0,50	1,2	0,44	1,1	0,35	1,1	0,33	1,1	0,33

10. Konnten Sie durch das Üben an den virtuellen Maschinen die gleiche Aufgabe an den realen Maschinen ohne Probleme lösen?

Item 10	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	2	22,2	2	22,2	3	33,3	3	37,5	4	44,4	4	44,4
Teilweise	5	55,6	5	55,6	4	44,4	3	37,5	3	33,3	3	33,3
Nein	1	11,1	1	11,1	1	11,1	1	12,5	1	11,1	1	11,1
Keine Angabe	1	11,1	1	11,1	1	11,1	1	12,5	1	11,1	1	11,1

Item 10	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,9	0,64	1,9	0,64	1,8	0,71	1,7	0,76	1,6	0,74	1,6	0,74

11. Wurde durch das Training an den virtuellem Maschinen der Umgang mit den realen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Item 11	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Erleichtert	9	100,0	8	88,9	9	100,0	8	100,0	9	100,0	9	100,0
Weder noch	0	0,0	1	11,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Erschwert	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Item 11	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,0	0,00	1,1	0,33	1,0	0,00	1,0	0,00	1,0	0,00	1,1	0,33

12. Reichten Ihnen die gegebenen Hinweise zu den Unterschieden zwischen den Simulationen und den realen Maschinen aus?

Item 12	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	9	100,0	9	100,0	9	100,0	8	100,0	9	100,0	9	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

13. Besaßen Sie aufgrund der Simulationsvorbereitung eine größere Sicherheit im Umgang mit den realen Maschinen?

Item 13	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	9	100,0	9	100,0	8	88,9	7	87,5	9	100,0	9	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	1	11,1	1	12,5	0	0,0	0	0,0

14. Haben die Betreuer(I)nnen bei den Aufgabenstellungen Ihre Vorkenntnisse aus dem virtuellen Training berücksichtigt?

Item 14	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Trifft zu	4	44,4	4	44,4	4	44,4	4	50,0	4	44,4	4	44,4
Teilweise	5	55,6	5	55,6	5	55,6	4	50,0	5	55,6	5	55,6
Trifft nicht zu	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Item 14	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.	Mittel-wert	Std.-Abw.
WS 2004/05	1,6	0,53	1,6	0,53	1,6	0,53	1,5	0,53	1,6	0,53	1,6	0,53

15. Wurden Sie darüber hinaus durch weiterführende Fragen und Aufgabenstellungen durch die Betreuer(I)nnen gefordert?

Item 15	M1 (N = 9)		M2 (N = 9)		M3 (N = 9)		M4 (N = 8)		M5 (N = 9)		M6 (N = 9)	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	9	100,0	9	100,0	9	100,0	7	87,5	9	100,0	9	100,0
Nein	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	12,5	0	0,0	0	0,0

16. Hätten Sie gerne beim Reinraumpraktikum zusätzlich eine Kurzanleitung zu den Maschinen und/ oder Prozessen gehabt?

Item 16 (N = 10)	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Ja	1	10,0	1	10,0	1	10,0	1	10,0	1	10,0	1	10,0
Nein	9	90,0	9	90,0	9	90,0	9	90,0	9	90,0	9	90,0

17. War das Arbeiten in einem Reinraumraum für Sie eine interessante Erfahrung?

Item 17 (N = 10)	Ja		Nein	
	N	%	N	%
WS 2004/05	10	100,0	0	0,0

18. Hat Ihnen die Durchführung des Reinraumpraktikums Spaß gemacht?

Item 18 (N = 10)	Sehr viel Spaß		Viel Spaß		Weniger Spaß		Keinen Spaß	
	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2004/05	8	80,0	2	20,0	0	0,0	0	0,0

19. Gab es beim Reinraumpraktikum Anlagen mit technischen Funktionsproblemen?

Item 19			
WS 2004/05	Maschine mit technischen Funktionsproblemen	N	%
	Anodischer Bonder	4	40,0
	Mask Aligner	8	80,0

20. Halfen Ihnen die Anlagen mit technischen Funktionsproblemen, den realen Fertigungsprozess besser zu verstehen?

Item 20	Ja		Nein		Keine Angabe	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%
Anodischer Bonder	1	25,0	1	25,0	2	50,0
Mask Aligner	0	0,0	4	50,0	4	50,0

21. Die gesamte Dauer des Reinraumpraktikums war mit einer Woche…

Item 21	Zu kurz bemessen		Gerade richtig		Zu lang bemessen	
	N	%	N	%	N	%
WS 2004/05	1	10,0	9	90,0	0	0,0

22. Wie beurteilen Sie die Organisation in Zweibrücken?

Item 22	Sehr gut		Gut		Weniger gut		Nicht gut	
	N	%	N	%	N	%	N	%
WS 2004/05	5	50,0	5	50,0	0	0,0	0	0,0

23. Haben Sie gerne an den Abendveranstaltungen teilgenommen?

Item 23	Ja		Nein		Keine Angabe	
WS 2004/05	N	%	N	%	N	%
Klettern	8	80,0	1	10,0	1	10,0
Kegeln	8	80,0	1	10,0	1	10,0

24. War die Übernachtungsmöglichkeit für Sie in Ordnung?

Item 24	Ja		Nein	
	N	%	N	%
WS 2004/05	7	70,0	3	30,0

25. Haben Sie noch weitere Anregungen?

Item 25	Ja		Nein		Keine Angabe	
	N	%	N	%	N	%
WS 2004/05	0	0,0	9	90,0	1	10,0

Ergebnisse für Betreuer zum Reinraumpraktikum

	Anzahl der ausgefüllten Fragebögen
WS 2004/05	3

1. Welche Maschinen haben Sie im Reinraumpraktikum betreut (Mehrfachnennung möglich)?

Item 1	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	N	N	N	N	N	N
WS 2004/05	2	1	1	--[1)]	--[2)]	2

[1)] Der Fragebogen zum „Anodischen Bonder“ fehlt.

[2)] Das „Ellipsometer“, das im Technologiepraktikum eingesetzt wird, war defekt, so dass auf ein anderes Gerät ausgewichen wurde.

2. Gab es Verständnisschwierigkeiten oder Schwierigkeiten bei der Bedienung der realen Maschinen aufgrund der Vorbereitung durch die Simulation? Bitte geben Sie zu jeder Nennung eine Gewichtung von 1, 2 oder 3 an:

1: Große Schwierigkeiten, 2: Mittlere Schwierigkeiten, 3: Kaum Schwierigkeiten

Item 2	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2004/05	N	N	N	N	N	N
Nein	2	1	1	--	--	2
Ja	0	0	0	--	--	0
Gewichtung - Schwierigkeiten						
1 - große	0	0	0	--	--	0
2 - mittlere	0	0	0	--	--	0
3 - kaum	0	0	0	--	--	0

3. Wurde der Umgang mit den realen Maschinen durch das Training an den virtuellen Maschinen erleichtert oder erschwert?

Item 3	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2004/05	N	N	N	N	N	N
Erleichtert	2	0	1	--	--	2
Weder noch	0	1	0	--	--	0
Erschwert	0	0	0	--	--	0

4. Konnten die vorbereiteten Studierenden die Maschinen relativ eigenständig bedienen?

Item 4	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2004/05	N	N	N	N	N	N
Trifft zu	1	0	0	--	--	1
Teilweise	1	1	1	--	--	1
Trifft nicht zu	0	0	0	--	--	0

5. Haben die Studierenden aufgrund der Vorbereitung weniger Bedienungsfehler gemacht?

Item 5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2004/05	N	N	N	N	N	N
Ja	1	1	1	--	--	1
Nein	1	0	0	--	--	1

6. Hatten die vorbereiteten Studierenden ein gutes Verständnis für das Zusammenwirken der verschiedenen Prozessparameter an einer Maschine?

Item 6	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2004/05	N	N	N	N	N	N
Ja	1	1	1	--	--	1
Nein	1	0	0	--	--	1

7. Haben die vorbereiteten Studierenden insgesamt die Prozesskette besser verstanden?

Item 7	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2004/05	2	1	0

8. Haben die vorbereiteten Studierenden inhaltlich tiefergehende Fragen zu den Maschinen oder Prozessen gestellt?

Item 8	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2004/05	2	1	0

9. Benötigen die Studierenden für ein besseres Verständnis zusätzliche Unterlagen zu den Anlagen im Reinraum (Übung, Beispiel, Animation, Video, Skizze, erklärender Text etc.)?

Item 9	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Andere
WS 2004/05	N	N	N	N	N	N	N
Ja	1[1)]	0	1[1)]	--	--	1[1)]	1[2)]
Nein	1	1	0	--	--	1	2

[1)] Übersicht zu Rezepten und Bedienelementen, die im Praktikum benutzt werden.

[2)] Unterlagen bzw. Übersicht zur Prozesskette auf einer Seite.

10. Konnten Sie aufgrund der virtuellen Vorbereitung intensiver mit den Studierenden an den Maschinen arbeiten?

Item 10	M1	M2	M3	M4	M5	M6
WS 2004/05	N	N	N	N	N	N
Ja	1	0	1	--	--	2
Nein	1	1	0	--	--	0

11. Haben die Studierenden positive Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?

Item 11	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2004/05	3	0	0

Item 11 – Art der positiven Kritik
Sehr gute Laborausstattung vorhanden
Hervorragende Betreuung
Exklusive Praktikumsinhalte
Theorie und Prozesse wurden klarer
Das vorherige Training mit den virtuellen Maschinen war sehr gut.

12. Haben die Studierenden negative Kritik zum Reinraumpraktikum geäußert?

Item 12	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2004/05	2	1	0

Item 12 – Art der negativen Kritik
Praktikumswoche war zu kurz
Austeilen der Prozesskette am Anfang zur Orientierung

13. Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeit mit den Studierenden im Reinraumpraktikum? Bitte begründen Sie Ihre Antwort!

Item 13	Sehr gut	Gut	Weniger gut	Nicht gut
	N	N	N	N
WS 2004/05	2	1	0	0

14. Halten Sie die Vorgehensweise - zuerst virtuelle Vorbereitung und anschließend reales Praktikum - im Nachhinein für geeignet? Bitte begründen Sie Ihre Antwort!

Item 14	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2004/05	3	0	0

15. Haben Sie noch weitere Anregungen?

Item 15	Ja	Nein	Keine Angabe
	N	N	N
WS 2004/05	1	2	0

Item 15 – Art der Anregungen
Zeitliche Dauer der Prozesse muss nicht real eingehalten werden, dadurch kann der Ablauf auch noch besser koordiniert werden.
Wöchentliche Einzelveranstaltungen in der Vorbereitungsphase wie in Aachen können evtl. durch ein einwöchiges Training ersetzt werden, um Vorbereitungsphase und Reinraumpraktikum zeitlich näher zu bringen.

H Anhang – Fragebogen zur Evaluation neuer virtueller Maschinen

Für neu programmierte Maschinen, die das erste Mal im virtuellen Labor bei der Vorbereitung eingesetzt werden, wurde dieser Fragebogen als Vorschlag entwickelt. Je nach Oberfläche der Anlage kann der Fragebogen weiter an die jeweilige virtuelle Maschine angepasst werden. Dieses gilt insbesondere für die Kopfzeile und die Fragen zu den Themenbereichen „Allgemeine Angaben“ sowie „Betreuung“. Weiterhin sollte ein Deckblatt verwendet werden, auf dem der Zweck der Untersuchung erklärt und die Anonymität der Untersuchung betont werden. Die Seiten sollten zudem durchnummeriert werden. Die Fragen sind nach Themenbereichen gegliedert. Sie werden nachfolgend aufgeführt, wobei das Layout zwecks Lesbarkeit an das Format des Anhangs angepasst wurde und daher nicht zwingend dem tatsächlichen Seitenlayout bei einer Befragung entsprechen muss.

Deckblatt

Liebe Studierende,

das Technologiepraktikum zur Mikrosystemtechnik besteht aus einer Vorbereitung mit virtuellen Maschinen und einem realen Reinraumpraktikum. Die Durchführung des gesamten Praktikums unterliegt einer ständigen Optimierung. Zu diesem Zweck werden verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Um Ihre Erfahrungen und Rückmeldungen besser sammeln und umsetzen zu können, basiert ein Teil der Untersuchungen auf standardisierten Interviews (Fragebögen). Daher bitten wir Sie, den nachfolgenden Fragebogen vollständig auszufüllen. Bitte machen Sie Ihre Eintragungen spontan, ohne lange nachzudenken, und setzen Sie Ihre Kreuze oder Anmerkungen in die vorgegebenen Felder. Die Befragung findet völlig anonym statt, so dass keine Zuordnung des Fragebogens zu Ihrer Person nach Abschluss der Untersuchung möglich ist.

Wir bedanken uns für Ihre Mühe und wünschen Ihnen viel Spaß!

Name und Titel des Interviewers, Hochschule xxxxx

Kopfzeile

„Logo“, beispielsweise für die Hochschule oder das Projekt, an der oder innerhalb dessen die Befragung durchgeführt wird:

Bezeichnung des Praktikums, innerhalb dessen die Befragung stattfindet, beispielsweise:

„MST-Technologiepraktikum“

Bezeichnung der zu untersuchenden Maschine:

„Maschine xxxx“

Fragebogennummer und Datum:

Fragebogennr. | | | | | | Datum | | | | | | |

Fußzeile

Bezeichnung der Untersuchung, beispielsweise:

„Fragebogen zur Vorbereitung mit dem virtuellen Labor“

Seitenzahl

Fragebogen

Allgemeine Angaben

1. Hochschule, an der Sie eingeschrieben sind: .....
2. Studiengang: .....
3. Anzahl der Fachsemester: .....
4. Haupt-/ Nebenfach, in dem dieses Praktikum angeboten wird:

   .....

Vorbereitungsphase

5. Mit welchen Materialien haben Sie sich auf das Praktikum vorbereitet (Mehrfachnennung möglich)?
   - ☐ Grundlagenbuch (Drucksensor-Kochbuch 1)
   - ☐ Maschinenhandbuch (Drucksensor-Kochbuch 2)
   - ☐ CD „Virtuelles Labor“
   - ☐ Vorlesungs-/ Übungsskripte
   - ☐ Internet
   - ☐ Fachbücher aus der Bibliothek
   - ☐ Sonstiges .....
     .....
   - ☐ Praktikumsteilnahme ohne Vorbereitung

6. War die Aufgabenstellung verständlich?
   - ☐ Ja
   - ☐ Nein, weil ..……..

7. Waren die einzelnen Arbeitsschritte (Reihenfolge, Ausführungsdetails) zur Lösung der Aufgabenstellung klar?
   - ☐ Ja
   - ☐ Nein

Teilaufgabe	Unklar, weil……

8. Bei welcher Teilaufgabe und warum haben Sie die virtuelle Maschine beendet?
   - ☐ Die Aufgabenstellung wurde vollständig gelöst
   - ☐ Die Aufgabenstellung wurde teilweise gelöst, und zwar bis zur Teilaufgabe
     .....
     .....

Simulation

9. Konnten Sie die Simulationssoftware bedienen?
   - ☐ Ja
   - ☐ Überwiegend
   - ☐ Ein wenig
   - ☐ Nein

zu 9. Wenn „Ein wenig“ oder „Nein“, woran lag das? .....
.....
.....

10. Haben Sie verstanden, wie die virtuelle Maschine auf Ihre Einstellungen und Handgriffe reagiert?
    - ☐ Ja
    - ☐ Überwiegend
    - ☐ Ein wenig
    - ☐ Nein

zu 10. Welche Einstellungen oder Handgriffe waren unklar?.....
.....
.....

11. Mussten Sie für die erfolgreiche Simulationsdurchführung auf die Handbücher und Praktikumsunterlagen zurückgreifen?
    - ☐ Sehr häufig
    - ☐ Häufig
    - ☐ Selten
    - ☐ Nie

zu 11. Das Arbeiten mit den Handbüchern und Unterlagen war wichtig, weil.....
.....
.....

12. Sind Sie mit den Vereinfachungen der manuellen Tätigkeiten zu Recht gekommen?
    - ☐ Ja
    - ☐ Nein, weil ..……..

13. Sind Ihnen die Unterschiede zwischen der Simulation und dem realen Fertigungsprozess klar?
    - ☐ Klar
    - ☐ Teilweise
    - ☐ Unklar

zu 13. Wenn „Teilweise“ oder „Unklar“, woran lag das?.....
.....
.....

14. War Ihnen durch die Simulation bewusst, wie lange der Prozess an der realen Maschine dauert?
    - ☐ Ja, der reale Prozess dauert etwa ___ Minuten/ Stunden
    - ☐ Nein

Praktikumszeit

15. Wie lange haben Sie etwa für die Bewältigung der gestellten Aufgabe gebraucht?
    - ☐ < 30 min
    - ☐ 30 – 60 min
    - ☐ 61 – 90 min
    - ☐ 91 – 120 min
    - ☐ > 120 min

16. Hatten Sie darüber hinaus Zeit, um mit der virtuellen Maschine zu experimentieren?
    - ☐ Nein
    - ☐ Ja, ich habe Folgendes ausprobiert .....……..
      .....
      .....

Materialien/ Unterlagen

17. Hatten Sie Verständnisprobleme beim Arbeiten mit den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch (Drucksensor-Kochbuch 1),
    2 = Maschinenhandbuch (Drucksensor-Kochbuch 2)

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Unklar (Beschreiben Sie mit Ihren Worten, was unklar war)

18. Wünschen Sie sich für eine bessere Vorbereitung auf die realen Fertigungsprozesse zusätzliche Ergänzungen in den Handbüchern? (Wenn der bereit gestellte Platz für Ihre Anmerkungen nicht ausreicht, verwenden Sie bitte leere Blätter oder die Rückseite!)
    1 = Grundlagenbuch (Drucksensor-Kochbuch 1),
    2 = Maschinenhandbuch (Drucksensor-Kochbuch 2)

Handbuch (1 oder 2)	Kapitel/ Thema (z.B. Kapitel 3/ Oxidation)	Ergänzung (z.B. Foto mit Beschreibung, Video, Animation, Theorie zu…)

19. Gab es zu der von Ihnen bedienten Maschine Videos?
    ☐ Ja
    ☐ Nein

zu 19. Wenn „Ja“, waren die angebotenen Videos über die Funktionsweise der realen Maschine für das Verständnis des tatsächlichen Fertigungsprozesses hilfreich? Bitte begründen Sie Ihre Antwort
- ☐ Sehr hilfreich
- ☐ Hilfreich
- ☐ Etwas hilfreich
- ☐ Nicht hilfreich

weil .....

20. Wünschen Sie sich darüber hinaus für ein besseres Verstehen zum Prozess oder zur Maschine weitere Medien?

Medium (z.B. Skizze, Foto, Video…)	Fertigungsschritt (z.B. Einlegen des Wafers in…)

Betreuung

21. Wie beurteilen Sie die Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) zur Simulationssoftware der Maschine?
- ☐ Sehr gut
- ☐ Gut
- ☐ Weniger gut
- ☐ Nicht gut

zu 21. Folgendes könnte in der Einführung verbessert werden .....
.....
.....

22. Wünschen Sie sich in der Einführung (Vortrag/ Vorbesprechung) weitere Erläuterungen zur Software, wenn ja welche?
- ☐ Nein
- ☐ Ja .....

.....
.....

23. Gab es während des Praktikums genügend Zeit für die Beantwortung Ihrer Fragen?
- ☐ Ja
- ☐ Überwiegend
- ☐ Nein

24. Wie beurteilen Sie die Beantwortung Ihrer Fragen im Praktikum?
- ☐ Sehr gut
- ☐ Gut
- ☐ Weniger gut
- ☐ Nicht gut

zu 24. Wenn „Weniger gut“ oder „Nicht gut“, welche Fragen wurden nicht gut beantwortet? .....
.....
.....

Weiteres/ Anregungen

25. Haben Sie noch weitere Anregungen/ Verbesserungsvorschläge?
- ☐ Nein
- ☐ Ja, folgende .....
.....
.....

I Anhang – Anregungen für zukünftige Entwicklungen der Technologiepraktika

Einführungsphase und virtuelles Labor

Das virtuelle Labor sollte um Simulationen, Animationen und Videos zu noch nicht oder lediglich einfach umgesetzten, aber für den Fertigungsprozess benötigten Maschinen erweitert werden, wie beispielsweise Geräte der Nasschemie (Rinser Dryer, HF- und KOH-Ätzbank etc.), der Aufbau- und Verbindungstechnik (Die-Bonder, Drahtbonder etc.) oder der Messtechnik (Waferprober etc.). Zudem sollte jedes Lernprogramm am Ende eines virtuellen Prozesses eine Angabe zur realen Prozesszeit an die Lernenden zurückmelden, damit diese ein besseres Gefühl für den echten zeitlichen Verlauf erhalten. Schwer verständliche Programmteile der Lernsoftware oder der Maschinenbedienung sowie Geräteaufbauten sollten in der Einführung informativ angesprochen werden. Bei den bestehenden Technologiepraktika zählen beispielsweise die Justage am „Mask Aligner“, das Kalibrieren des Messgerätes „Film Thickness Probe“, die Zusammensetzung der Projekt- und Rezeptdateien am „Hochtemperaturofen“ sowie der Aufbau der Kammer beim „Sputter Coater“ dazu. Weiterhin sollten immer die Funktionen der Navigationsleiste in der Einführung erläutert werden. Tests zur Wissensüberprüfung sind sinnvoll sowie das gemeinsame Lösen von Übungen oder Durchsprechen von Beispielen. Bestehende Lernmodule können zusätzlich in Anlehnung an Vorlesungen im laufenden Hochschulbetrieb angeboten werden.

Schulungsunterlagen und Drucksensor-Kochbücher

Das Drucksensor-Kochbuch 1 sollte um zusätzlich relevante Kapitel, die sich allgemein auf die Mikrosystemtechnik beziehen, erweitert sowie fertig gestellt werden und zudem mehr spezielle Angaben zum exemplarischen Herstellungsverfahren „Drucksensor“ enthalten. Neue Anleitungen im Drucksensor-Kochbuch 2 sollten sich zum einen auf den Ablauf an der virtuellen Maschine beziehen und zum anderen auf den realen Vorgang, wobei die Arbeitsschritte klar gegliedert sein müssen. Es sollten mehr Bilder zu den realen Anlagen sowie Beschreibungen der realen Maschinenbedienung enthalten sein. Dieses gilt sowohl für neu zu erstellende Unterlagen als auch für noch nicht in die Drucksensor-Kochbücher aufgenommene. Die Darstellung zum „Mask Aligner“ sollte zudem um weitere Erläuterungen zur Justage ergänzt werden. Außerdem sollte eine Angabe zur realen zeitlichen Dauer der Prozesse in die Materialien sowie eine einseitige Kurzanleitung ohne Erklärungen zum Schnelleinstieg aufgenommen werden.

Lerneinheit „Thermische Oxidation von Silizium“

Die Lerneinheit kann um eine Animation zum Wachstum von Oxidationsschichten im theoretischen Bereich erweitert werden. Diese sollte verschiedene Oxidationsprozesse abdecken, da in der Simulation nur ein bestimmter Prozess getestet werden kann. Bezüglich der Bedienung ist eine Animation zum Erstellen und Verwalten der Prozessdateien, in denen die Parameter verwaltet werden, sinnvoll, um Verständnisschwierigkeiten beim Schreiben von Rezepten in der Realität zu verhindern. Ein Video oder eine Animation zum Handling der Proben wie das Einsetzen der Wafer in den Glashalter oder das Aufsetzen des Halters im Ofenrohr vervollständigen die Lerneinheit.

Lerneinheit „Kontakt- und Proximitylithografie“

Eine Animation zur Justage und zum Fokussieren am „Mask Aligner“ erleichtert den Umgang mit der Simulation. Bei der Simulation selbst ist eine geänderte Oberflächengestaltung des Justagemodus sinnvoll, die dem Lernenden die Zuordnung von zugehörigen Oberflächeneinheiten vereinfacht. Dazu zählen auch geänderte Bezeichnungen der Befehlsknöpfe und eine verbesserte Positionierung der Legendentexte. Der erheblich abstrahierte Vorgang der Probenentnahme sollte weniger schematisiert, sondern ähnlich ausführlich wie beim Auflegen der Wafer umgesetzt werden. Zudem müssen die Prozessergebnisse, die den Lernenden rückgemeldet werden, auf ihre Konsistenz mit dem echten Prozess überprüft werden. Eine zusätzliche Animation zu unterschiedlichen Lithografieanwendungen kann das Verständnis für diese Techniken weiter erhöhen. Die relativ einfache Simulation „Entwicklerbank“, die neben dem Entwicklungsvorgang von belichtetem Lack weitere Prozesse wie Ätzen, Reinigen und Trocknen der Wafer enthält, sollte mehr Handlungsspielräume anbieten. Es ist auch denkbar, separate Lernprogramme zu den einzelnen Arbeitstischen in der Nasschemie zu entwickeln.

Lerneinheit „Abscheiden dünner Schichten mittels Sputtern“

Eine Simulation oder Animation zu Sputterprozessen im allgemeinen, bei denen unterschiedliche Materialien und Parameter ohne echten Geräteaufbau getestet werden können, vervollständigen auch hier die theoretischen Grundlagen.

Lerneinheit „Anodisches Bonden“

Für die Simulation sind weitere Videos zum Handling der Wafer mit noch ausführlicheren Erläuterungen sinnvoll. Eine Animation zum Ablauf des Bondvorganges, insbesondere zum zeitlichen Verlauf der Bondparameter sollte auch hier das Prozessverständnis erhöhen.

Lerneinheit „Bestimmen optischer Parameter mittels Ellipsometrie“

Unterlagen, die am realen Gerät benutzt werden wie beispielsweise Tabellen zu den optischen Parameter, sollten zusätzlich in die Simulation integriert werden. Diese Unterlagen könnten auch teilweise in die Drucksensor-Kochbücher aufgenommen werden. Weiterhin ist eine Animation zum physikalischen Verhalten (Brechung, Transmission, Reflexion) des Laserlichtes für das theoretische Verständnis hilfreich.

Lerneinheit „Optische Schichtdickenmessung“

Weitere Animationen zum Fokussieren der Wafer und zum Kalibrieren des Messgerätes sind angebracht. Zudem ist eine einfache Simulation, die ein Messergebnis zu unterschiedlich eingestellten Parametern liefert, eine gute Ergänzung.

Lernumgebung

Der Prototyp zur Lernumgebung sollte dem aktuellen technischen Stand hinsichtlich Software, Benutzerverwaltung usw. angepasst werden. Der inhaltliche Aufbau der Lernumgebung sollte vereinheitlicht und vervollständigt werden. Die zurzeit noch separaten Lernprogramme müssen in die Lernumgebung integriert werden. Zudem ist eine Verwaltung der Prozessdaten maschinenübergreifend für alle virtuellen, mit unterschiedlicher Software erstellten Maschinen nötig.

Reinraumpraktika

Ein Plan zum gesamten Fertigungsprozess ist eine gute Orientierung und sollte daher aus den bestehenden Übersichten zusammengestellt werden. Einseitige Arbeitsblätter zu den Arbeitsschritten an einer Maschine, zur Anordnung und zur Lage der Bedienelemente, zum Geräteaufbau sowie zum Prozess – sofern noch nicht vorhanden – sollten erstellt werden. Zudem sollten die Handbücher der Hersteller während des Praktikums bereit stehen. Die Betreuer sollten unmittelbar vor Beginn des realen Praktikumsteiles über den aktuellen Stand des virtuellen Labors informiert sein. Echte Prozesszeiten sollten nur für kurze Prozesse eingehalten und ansonsten auf die für die Praktika vertretbare Zeiträume reduziert werden. Es sollte die Gelegenheit geschaffen werden, die Funktionalität des selbst gefertigten Drucksensors zu testen, beispielsweise an den Entsendehochschulen. Zudem sollten die Teilnehmer einen Praktikumsbericht verfassen.