

Neue Lehrmodelle zur Ausbildung kreativer Konstrukteure

Das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung

-KaLeP-

A. Albers, S. Matthiesen;

Veröffentlichung zum 4. Deutschen Konstrukteurstag,
Der Kreative Konstrukteur; Freiräume schaffen für
Produkt und Prozessentwicklung; 6. u. 7. September
2000, Bochum, VDI; 2000.

Neue Lehrmodelle zur Ausbildung kreativer Konstrukteure an der Universität Karlsruhe

- Das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung KaLeP -

o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers, Karlsruhe

Dipl.-Ing. Sven Matthiesen, Karlsruhe

Zusammenfassung

Das „Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung KaLeP“ ist ein durchgängiges und am Entwicklungsprozess der Praxis orientiertes Ausbildungssystem zur Vermittlung von Produktentwicklungskompetenz an Universitätsingenieure. Es wird seit 1996 am Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Krafffahrzeugbau der Universität Karlsruhe (TH) entwickelt und bereits seit 1998 in der Ausbildung von Maschinenbauingenieuren eingesetzt. Insbesondere wird das veränderte Umfeld, das Universitätsabsolventen in den Unternehmen vorfinden, berücksichtigt. Die Basiskomponente des „KaLeP-Modells“ ist die Maschinenkonstruktionslehre, die die konstruktive Grundausbildung zum Schwerpunkt hat. Seit dem Sommersemester 1999 wird diese Lehrveranstaltung mit einem durchgängigen „Workshop“ unterstützt. Der Workshop dient gezielt dem Aufbau wichtiger Fähigkeiten und Kompetenzen – wie Teamarbeit, Umsetzungsstärke, Organisation und Kreativität - die bisher bei der universitären Ausbildung nicht oder höchstens zweitrangig gefördert wurden. Aufbauend auf der Basiskomponente wird durch zwei weiterführende Komponenten, Grundlagen der Produktentwicklung und Integrierte Produktentwicklung, eine vertiefte Ausbildung zum Produktentwicklungsingenieur ermöglicht. Auf diese beiden Komponenten wird in [2] ausführlich eingegangen.

Einleitung

Entwicklungs- und Herstellprozesse in der Industrie haben sich in den letzten Jahren drastisch gewandelt. Das industrielle Umfeld und die Führungs- und Managementsysteme, die ein Universitätsabsolvent beim Eintritt ins Berufsleben vorfindet, sind mit denen von vor wenigen Jahren kaum noch vergleichbar. Weltweit entwickeln, fertigen und vermarkten Unternehmen ihre Produkte in Projekten, die fast ausschließlich im Team bearbeitet werden. Der Berufsalltag der Absolventen wird von Teamarbeit und - nach einer Einarbeitungsphase - von Teamführung geprägt. Softskills, wie Team- und Führungsfähigkeit, werden für das erfolgreiche Bestehen in der Industrie immer wichtiger.

Ingenieure mit Universitätsabschluss werden von der Industrie vor allem als „Problemlöser“ und „Kreativitätsquellen“ gesucht. Die Absolventen werden sehr früh mit offenen Fragestellungen und unvorhersehbaren Problemen konfrontiert, die es zu lösen gilt. Technologien wandeln sich in kurzer Zeit. Wissen vermehrt sich in atemberaubender Geschwindigkeit. Die Verschmelzung von ganzen Fachgebieten – wie Maschinenbau und Informationstechnologie - in den mechatronischen Produkten erfordert Interdisziplinarität und Offenheit für neue Ideen. Nur in seltenen Fällen wird dem jungen Ingenieur die Lösung einer speziellen Fragestellung an der Hochschule vorgestellt worden sein. Dies ist bei der Vielfalt spezieller Branchen, Aufgaben und Arbeitsgebieten nicht möglich. Vielmehr muss der Ingenieur – auf der Basis einer geeigneten Ausbildung - durch ihm an der Universität vermitteltes methodisches Vorgehen mit ausgeprägten Grundlagenkenntnissen und einer zielgerichteten Arbeitsweise die Lösung schnell und sicher finden. Dies definiert die Anforderungen an eine Universitätsausbildung für Ingenieure im 21. Jahrhundert! Gebraucht wird der „Problemlösungsmanager“ der Technik.

Forderungen an die Ausbildung der Universitäten

Das typische Studium im Ingenieurwesen an der Universität vermittelt vor allem umfangreiches Fach- und Faktenwissen. Methodenwissen und die sogenannten Softskills wie Kreativitätspotential, Sozialkompetenz oder Elaborationspotential spielen eine untergeordnete Rolle (Bild 1)

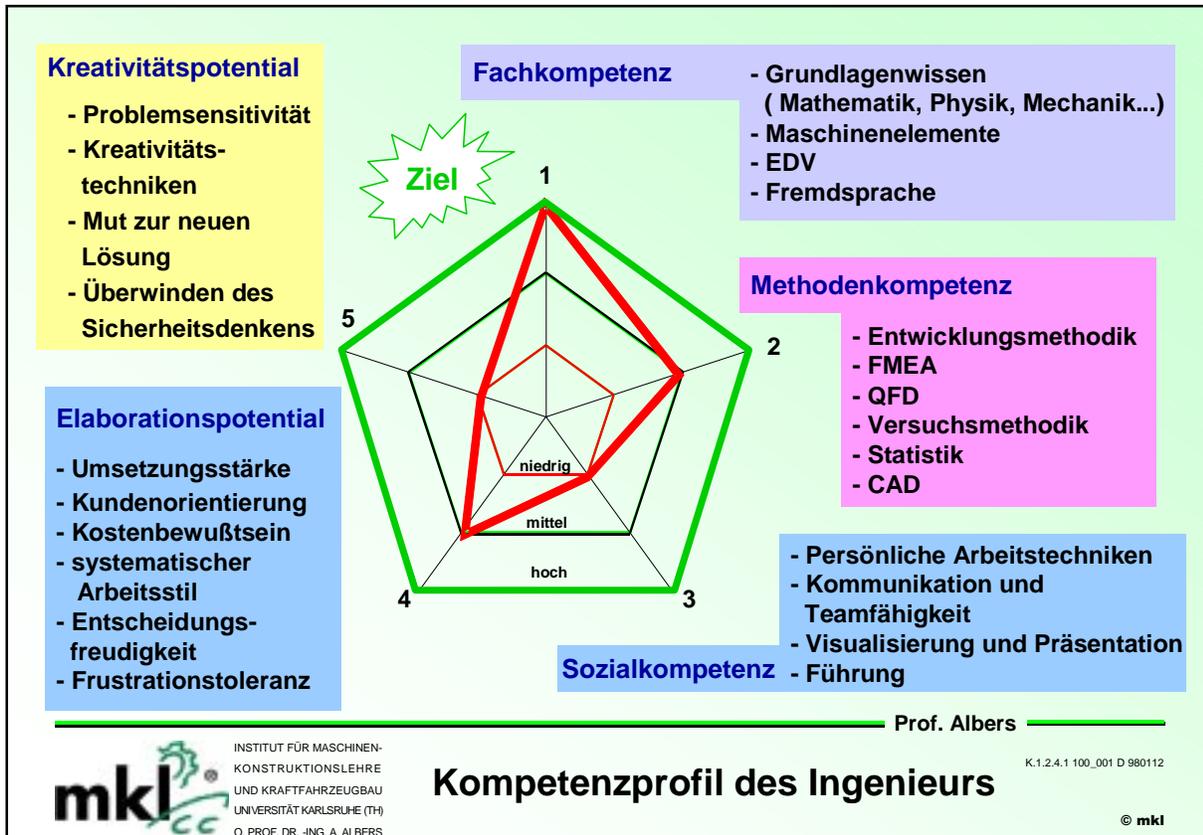


Bild 1 Das veränderte Kompetenzprofil des Ingenieurs [10]

Ziel jeder wissenschaftlichen Ausbildung im Ingenieurwesen an der Universität muss neben der Vermittlung ausgeprägter Grundlagenkenntnisse und der Fähigkeit zum wissenschaftlichen Arbeiten der gezielte Aufbau der Berufsfähigkeit für eine Tätigkeit in der Industrie sein. Dies gilt insbesondere wenn bedacht wird, dass rund 90% aller Universitätsingenieure ihren Arbeitsplatz in Unternehmen finden. Die Berufsfertigkeit – bezogen auf das Fachwissen am speziellen Arbeitsplatz – kann dabei nicht angestrebt werden. Sie muss der innerbetrieblichen Fortbildung vorbehalten bleiben. Wird zum Beispiel bedacht, dass die Vertiefung in eine Hauptfachrichtung – z.B. Verbrennungskraftmaschinen – einen Unterrichtsumfang von etwa 100 bis 200 Stunden beinhaltet, wird klar, dass dies für eine Tätigkeit in der Motorenentwicklung nicht ausreichen wird. Durch ein gezieltes „Training on the job“ sind diese

Spezialkenntnisse sicher problemlos für jeden methodisch im akquirieren und adaptieren von Wissen ausgebildeten und damit an wissenschaftliches Arbeiten herangeführten Diplomingenieur bereits in der Einarbeitungszeit zu erwerben. Es muss daher gefordert werden, genau diese Fähigkeiten und Kompetenzen zu vermitteln.

Die Universitäten bilden Ingenieure für die mittleren und oberen Leitungsebenen in den Unternehmen aus. Dabei überwiegt eine Tätigkeit in Forschung und Entwicklung sowie im strategischen Management [1].

An einigen Universitäten wurde bereits erkannt, „dass Ingenieure des neuen Jahrtausends nicht mit den Methoden des letzten Jahrhunderts ausgebildet werden können“ (Prof. Albers). Es werden bestehende Lehrmodelle überarbeitet und durch neue Ansätze und Elemente den veränderten Anforderungen angepasst.

Um sich diesen neuen Forderungen zu stellen und in Vorträgen, Diskussionen und Workshops über eine Weiterentwicklung der Lehre auf dem Gebiet der Maschinenkonstruktion und der Produktentwicklung zu diskutieren, hat sich auf Anregung von Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Albers und Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Birkhofer eine Gruppe von ca. 20 Hochschullehrern aus den Bereichen Maschinenelemente, Konstruktionsmethodik und Informationstechnologie im Jahre 1997 zum **Arbeitskreis Lehre Maschinenelemente (akme)** unter dem Dach der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Maschinenelemente und Konstruktionsforschung (WGMK) zusammengefunden. Seither wird kontinuierlich an den Zielen einer Neuorientierung und Weiterentwicklung der Maschinenkonstruktionslehre gearbeitet [7], [6].

Umsetzung am Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau

- Das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung KaLeP -

Das Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau trägt mit Hilfe des dafür entwickelten „Karlsruher Lehrmodells für Produktentwicklung - KaLeP“ wesentlich zur Ausbildung der Studenten im allgemeinen Maschinenbau und speziell zu Produktentwicklern bei (Bild 2).



Bild 2 Das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung

Das durchgängige Lehrmodell KaLeP besteht aus maximal drei aufeinander aufbauenden Lehrveranstaltungen: Der „Maschinenkonstruktionslehre I-III“, einem dreisemestrigen Pflichtfach im Grundstudium der Studierenden, der einsemestrigen Veranstaltung „Grundlagen der Produktentwicklung (Konstruktionslehre A)“ als Pflichtfach im Hauptstudium und dem Hauptfach „Integrierte Produktentwicklung“, das als Vertiefungsfach im Hauptstudium gewählt werden kann. Die einzelnen Lehrveranstaltungen sind in sich geschlossen, bauen aber aufeinander auf und behandeln so die vielfältigen Elemente der Produktentwicklung mit unterschiedlichem

Vertiefungsgrad. Die Inhalte aller Lehrveranstaltungen sind nach dem am Institut entwickelten „Klassierungsschlüssel Produktentwicklung“ einheitlich geordnet. Die in den einzelnen Lehrveranstaltungen ausgeteilten Unterlagen können daher von den Studierenden in ein umfassendes Gesamtwerk „Leitfaden der Produktentwicklung“ eingeordnet werden.

Die Lehrveranstaltung „**Maschinenkonstruktionslehre I – III (MKL I-III)**“ vermittelt grundsätzliches Fachwissen aus dem Bereich der Maschinenelemente. Die Besprechung der Maschinenelemente macht allerdings aus unserer Sicht nur dann Sinn, wenn gleichzeitig Prozess- und Methodenwissen zum Entwickeln von Maschinen gelehrt wird, um damit das Elementwissen unmittelbar anwendbar zu machen und im Gesamtzusammenhang des „Konstruierens“ einzuordnen. Deshalb wird gezielt schon in dieser frühen Grundstudiumsveranstaltung ausführlich auf den Konstruktions- bzw. den Entwicklungsprozess und auf dessen Einbindung in die verschiedenen Unternehmensstrukturen eingegangen.

Die einzelnen Maschinenelemente werden von Anfang an aus konstruktionsmethodischer Sicht auf einer höheren Abstraktionsebene und im System der umgebenden Maschine betrachtet. Die Behandlung eines einzelnen Maschinenelementes steht dabei grundsätzlich exemplarisch für auf höherem Abstraktionsniveau gleiche Maschinenelemente. Am Institut wird zu diesem Zweck seit 1998 eine Abstraktionsmethode zur Beschreibung von Maschinen und deren Funktionszusammenhang entwickelt und bereits in der Lehre eingesetzt. Die Methode wurde unter dem Namen „**WFP&LST-Methode (Wirkflächenpaar und Leitstützstrukturen-Methode)**“ in [3] erstmalig beschrieben. Mit WFP&LST wird die für den Ingenieur so wichtige Fähigkeit zur Abstraktion frühzeitig und automatisch aufgebaut [5].

Die Maschinenkonstruktionslehre integriert das Fach- und Methodenwissen der theoretischen und angewandten Grundlagenfächer bei der Gestaltung und Dimensionierung von Bauteilen und Maschinen nach vorgegebenen Anforderungen in ein ganzheitliches, ingenieurmäßiges Denken und Handeln. Damit besteht die Chance einen entscheidenden Beitrag zur Vermittlung von Fach- und Methodenkompetenz zu liefern. Außerdem besteht durch den verbindenden Charakter des Faches mit der selbständigen Konstruktionstätigkeit der Studierenden

eine ausgezeichnete Chance zur Entwicklung von Kreativitäts- und Elaborationspotential (Bild 1).

Um dies zu leisten ist die Lehrveranstaltung Maschinenkonstruktionslehre untergliedert in drei Bausteine: Vorlesung, Übung und Workshop. Damit werden jeweils unterschiedliche Lehr- und Lernziele verfolgt.

Die **Vorlesung**, grundsätzlich als übergeordneter Baustein des Lehrmodells verstanden, liefert die theoretischen Grundlagen für die beiden anderen Veranstaltungsmodule und erläutert an Beispielen aus der industriellen Entwicklungspraxis die Prozesse der Produktentwicklung. Wichtig sind hier zwei Leitbeispiele – ein PKW-Antriebsstrang als Beispiel für Großserienanwendungen und ein Extruder aus der Verfahrenstechnik als Beispiel für den Investitionsgüterbau – die durch die gesamte Vorlesung die Besprechung der einzelnen Maschinenelemente in einem komplexen technischen und auch wirtschaftlichen Gesamtsystem begleiten [3].

Die Vorlesung wird in klassischem Frontalunterricht durchgeführt und ist komplett multimedial aufgebaut. Diese Lehrform eignet sich hervorragend zur Veranschaulichung komplexer Sachverhalte – wobei die konsequente Nutzung adäquater Medienunterstützung (Videos, Animationen, Online-Simulationen) das Verständnis und die Lernleistung wesentlich erhöht. In den Vorlesungen wird das nötige Fundament für eine Problemlösungsfähigkeit aufgebaut und gleichzeitig werden „Impulse zum Nachdenken“ initiiert.

Diesen Vorteilen des Frontalunterrichtes stehen aber auch einige Nachteile gegenüber. Die meist einseitige Kommunikationsform dieser Veranstaltungsart, bei der sich der Lernende eher passiv verhält, fördert eine Einzelkämpfermentalität, die wie oben beschrieben nicht praxisgerecht ist. Die ständige Wissensaufnahme ohne die Möglichkeit selbst aktiv Wissen anwenden zu können, kann demotivierend wirken. Gleichzeitig fällt die Übertragung der abstrakten Theorie auf konkrete Probleme oft schwer.

Es gilt nun die Stärken des Frontalunterrichtes zu nutzen und gleichzeitig die Schwächen durch Kombination mit anderen Unterrichtsmethoden zu vermindern.

Seit dem Sommersemester 1999 wird die Lehrveranstaltung Maschinenkonstruktionslehre durchgängig von Workshops unterstützt.

Mit Hilfe der Workshops sollen Ausbildungsziele erreicht werden, die durch Frontalunterricht schwer oder auch gar nicht vermittelbar sind. Vor allem sind dies die für den Ingenieur so wichtigen bereits erwähnten Softskills. In den Workshops wird von Anfang an konsequent Teamarbeit verlangt. Es hat sich gezeigt, dass sich die Studierenden im erfolgreichen Team verändern. Sie entwickeln neue Fähigkeiten und Fertigkeiten und eröffnen sich neue Handlungsweisen. Nach P.M.Senge [9] entsteht durch Teamarbeit "ein neues Bewusstsein und eine gestärkte Sensibilität" ... „Es wird ein tiefgreifender Lernzyklus in Gang gesetzt.“

Zu Beginn des Workshops muss Teamarbeit natürlich erst unter Anleitung geübt werden. Dazu werden zur Betreuung der ca. 270 Studierenden im ersten Maschinenkonstruktionslehresemester sechs Assistenten neben 18 studentischen Hilfswissenschaftlern in den wöchentlich stattfindenden Workshops eingesetzt. Zu Beginn des Workshops greifen die Betreuer noch „autoritär“, d.h. führend und steuernd in die Teamarbeit der Studenten ein (Bild 3). Der teamorientierte Arbeitsstil wird aber nach anfänglichen Orientierungsproblemen, die typisch sind für Teamarbeit, noch im laufenden Semesters adaptiert. Die Betreuer können sich deshalb schon im ersten MKL Semester von einem delegierenden Führungsstil auf einen beratenden zurückziehen.

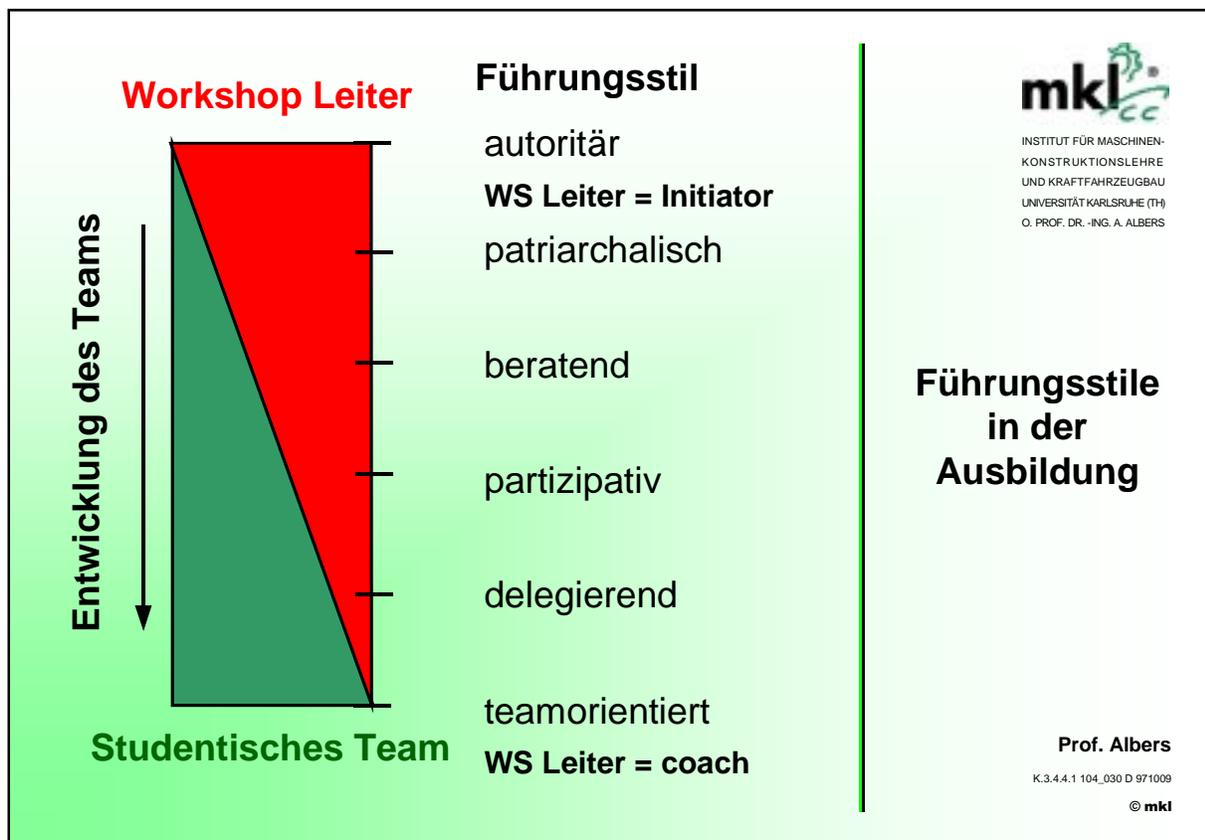


Bild 3 Führungsstile im Teammanagement in der Anwendung auf die Ausbildung

Workshop MKL I „Analyse von Maschinensystemen“

Im **Workshop MKL I** werden die Studenten mit einem einfachen Leitsystem konfrontiert. Sie haben die Möglichkeit Getriebemotoren zu zerlegen und die verschiedenen Systemkomponenten zu analysieren (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Es sind dabei Aufgaben zu den Themen Technisches Freihandzeichnen, Analyse von Bauteilen in Gestalt und Funktion, Oberflächenanalysen und Messung unter Beachtung verschiedener Herstellprozesse, Passungsanalyse und erste Syntheseüberlegungen im Team zu bearbeiten (Bild 6).

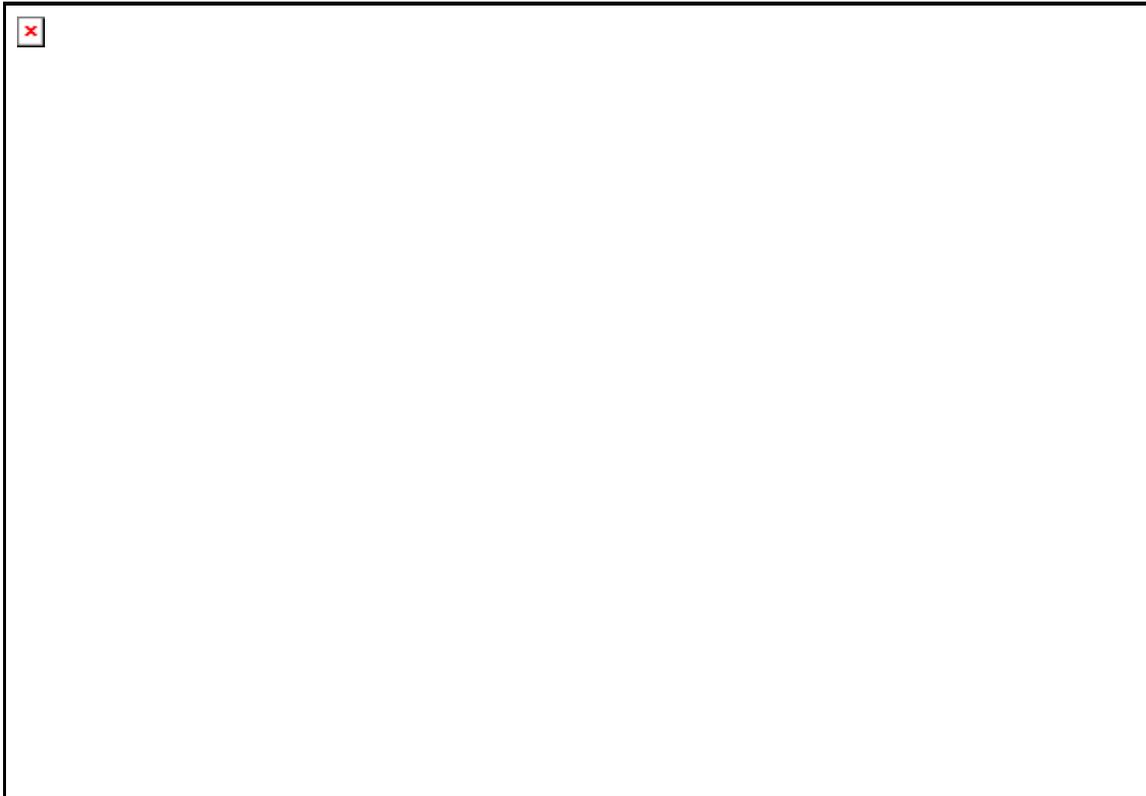


Bild 4 Leitbauteile im Workshop MKL I

3. Workshop

- Demontage der Welle 2
- Analyse der Lagerung von Welle 2
(Lagerart, Lagerfixierung, Kraftleitung)
- Vermessen der Welle 2
- Erstellung einer techn. Zeichnung (unter Anwendung der Klappregel)
- prüfgerechete Bemaßung der Zeichnung
- Kontrolle der Zeichnung durch Nachvollziehen eines Prüfvorganges
- Vergleich von 3D-Freihandskizze, Produktmodell und techn. Zeichnung
- Berechnung der Passung zwischen Lagerinnenring und Welle 2
(Umfangslast/Punktlast)



Prof. Albers / Matthiesen

mkl INSTITUT FÜR MASCHINEN-
KONSTRUKTIONSLERE
UND KRAFTFAHRZEUGBAU
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
O. PROF. DR.-ING. A. ALBERS

Workshopinhalte W3

K.20.4.2 100_206 D 990312
© mkl

Bild 5 Beispiel für Workshopinhalte

Die Aufgaben werden in wöchentlich stattfindenden gemeinsamen Hörsaalübungen, die vom Übungsleiter abgehalten werden, vorgestellt und deren Bearbeitung vorbereitet. Durch ein kontinuierliches und konsequent über alle Maschinenkonstruktionslehresemester geführtes Rückmeldungssystem werden Informationen von den Workshopbetreuern an den Übungsleiter herangetragen. Der Übungsleiter kann daher in den Saalübungen auf die aktuellen Bedürfnisse der Studierenden eingehen.



INSTITUT FÜR MASCHINEN-
KONSTRUKTIONSLEHRE
UND KRAFTFAHRZEUGBAU
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
O. PROF. DR.-ING. A. ALBERS

Studenten im Workshop⁽¹⁾
MKL I

Albers/Matthiesen



K.20.4.2.1.1 100_226 D 990607

© mkl

Bild 6 Studententeam bei der Workshoparbeit MKL I

Workshop MKL II “Konstruktion einfacher Maschinenteilsysteme”

Im Workshop MKL II wird die Gruppenzusammensetzung beibehalten, um die zeitverbrauchende Teambildungsphase in dem, bezogen auf die Lehrinhalte sehr verdichteten Wintersemester einsparen zu können. In diesem Workshopblock, der sich aus 5 Einzelworkshops zusammensetzt, werden vor allem Maschinenkomponenten mit steigendem Komplexitätsgrad entworfen und konstruiert (Bild 7).

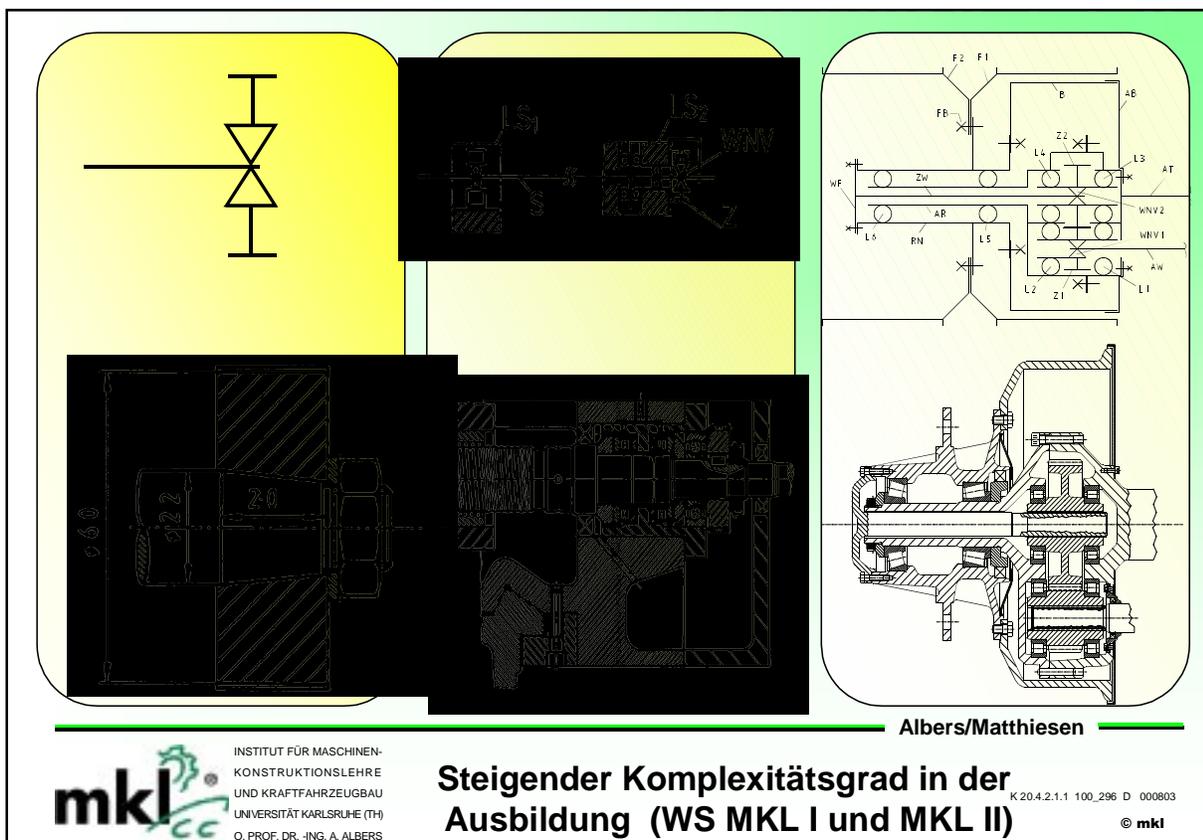


Bild 7 Steigender Komplexitätsgrad der Konstruktionsaufgaben

Jeder Studierende bekommt dabei die gleiche Aufgabe, die im Produktentwicklungszentrum PEZ des Institutes gelöst werden muss. Eine ausgeprägte Kommunikation unter den Teammitgliedern ist dabei gewünscht. Die Gruppe darf sich auf eine mögliche Lösung einigen. Jeder Studierende muss allerdings dem Workshopbetreuer in den betreuten Workshopsitzungen eine eigene Konstruktionszeichnung vorlegen. Die Workshopbetreuer führen in der Workshopsitzung ein mündliches Kolloquium durch und bewerten die Einzelleistung der Teammitglieder und die Gruppenleistung des Teams. Die Summe aus Einzel- und Gruppenleistung wird gleichgewichtet den einzelnen Studierenden zugeordnet. Besonders gute Leistungen werden mit einem Zertifikat prämiert. Mit diesem Bewertungssystem wurden sehr positive Erfahrungen gemacht. Die Teammitglieder bereiten sich gegenseitig auf die Workshopsitzungen vor, um gute Gruppenwertungen zu erzielen. Studenten übernehmen Lehraufgaben und damit Gruppenverantwortung.

Workshop MKL III „Konstruktionsprojekt: Entwicklung einer komplexen Maschinenanlage“

Im Konstruktionsprojekt MKL III im dritten Semester der Maschinenkonstruktionslehreausbildung wird eine industrieorientierte Entwicklungsaufgabe in Teamarbeit bearbeitet. Die Studierenden werden in neue Entwicklungsteams zu 5 Personen eingeteilt. Die Projektarbeit ist in diesem Semester so umfangreich, dass sie nur durch Arbeitsaufteilung im Team gelöst werden kann. Die Schnittstellen bei der Konstruktion legen die Teams selbst fest. Einzelkonstruktionen werden von den Studenten abgestimmt erstellt, zusammengeführt und dann von den Betreuern als Ganzes bewertet. Der Ablauf dieses einsemestrigen Workshops entspricht dem einer klassischen Projektarbeit. Im SS 2000 beinhaltete die Projektarbeit die Entwicklung einer vollautomatischen Montagemaschine für Rillenkugellager (Bild 8).

The image shows a document titled 'Aufgabenstellung' (Task Assignment) for the workshop 'Entwicklung einer vollautomatischen Montageeinheit für Rillenkugellager' (Development of a fully automatic assembly unit for roller bearings). The document is from the 'mk1' institute at the University of Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Germany, and is dated SS 2000. The task is assigned to a young development engineer in a company that manufactures and distributes bearings. The engineer is to develop a fully automatic assembly unit for roller bearings 'F-122502' with a capacity of 250,000 units per year. The unit is to be built in an existing assembly hall with a floor area of 1500 x 1500 mm and a height of 3000 mm. The task is to be completed by July 14th. The document also includes contact information for Prof. Dr.-Ing. A. Albers and Dipl.-Ing. S. Matthiesen.

Entwicklung einer vollautomatischen Montageeinheit für Rillenkugellager

Sie arbeiten als junger Entwicklungsingenieur in einer Firma, die Lager herstellt und vertreibt. Ihr Chef, der Entwicklungsleiter bestellt Sie eines Tages zusammen mit 4 Kollegen in sein Büro und gibt Ihnen folgende Aufgabenstellung:

„Aufgrund einer sehr positiven Auftragslage benötigt unsere Firma eine zusätzliche Maschineneinheit zur vollautomatischen Montage des Rillenkugellagers „F-122502“. Geplant ist eine Montagekapazität von etwa 250.000 Lagern pro Jahr. Die Montageeinheit soll in unserer bereits bestehenden Montagehalle aufgebaut werden. Es steht Ihnen ein freier Raum mit einer Grundfläche von 1500 x 1500 mm und einer Höhe von 3000 mm zur Verfügung (Modell des Raumes kann im 4. OG; Geb. 10.23 besichtigt werden). Der Raum ist von allen Seiten zum Einrichten der Maschine frei zugänglich. Seitenwände sind damit zum Anbringen der Maschinenmodule nicht verfügbar. Aus ergonomischen Gründen soll die Montage der Lager in etwa 900 mm erfolgen. Ihnen steht ein 400V Drehstromanschluss und ein Standardpneumatikanschluss zur Verfügung. Entwickeln Sie für unsere Firma bis zum 14. Juli eine Vollautomatische Montageeinheit für diese Rillenkugellager.“

Ihnen wird ein Rillenkugellager der oben genannten Bauart übergeben.

Ab diesem Zeitpunkt beginnt Ihre Arbeit als Ingenieur. Alle weiteren Informationen, die Sie zur Lösung der Ihnen gestellten Aufgabe benötigen, müssen Sie sich in Ihrem späteren Berufsalltag selbständig beschaffen. In der Durchführung des Projektes werden Sie weitgehend frei arbeiten. Ihr Chef wird Ihnen Termine, sogenannte Milestones vorschreiben, an denen Sie ihm über die Fortschritte Ihrer Arbeit berichten müssen.

Albers/Matthiesen

Aufgabenstellung im WS MKL III

INSTITUT FÜR MASCHINEN-
KONSTRUKTIONSLEHRE
UND KRAFTFAHRZEUGBAU
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
O. PROF. DR.-ING. A. ALBERS

K 20.4.2.1.1 100_297 D 000803
© mk1

Bild 8 Aufgabenstellung im WS MKL III

Anpassung der Entwicklungsaufgabe an die Lehranforderungen

Das Problem einer so offenen Aufgabenstellung in der Lehre ist die Einbindung der spezifischen Lehrinhalte bezogen auf die Auslegung und Dimensionierung der Maschinenelemente, die in der Vorlesung vermittelt werden aber unbedingt in vertiefenden Übungen angewendet und trainiert werden müssen. Die offenen Aufgabenstellung darf mit der dabei durchzuführenden kreativen Lösungssuche keinesfalls – um den Aufwand zu begrenzen - zu einer trivialen Aufgabenstellung führen. Solche „einfachen Aufgaben“ – wie sie gelegentlich vorgeschlagen oder auch bereits eingesetzt werden – ergeben ein falsches Bild von der Tätigkeit eines Ingenieurs und seines Arbeitsgebietes. Gleichzeitig sind eindeutig Defizite in der fachlichen Grundkompetenz eines so ausgebildeten Ingenieurs zu erwarten. Um dieses didaktische Dilemma zu lösen wurde der „**Dipolansatz**“ für die Anpassung der Workshopinhalte und auch letztendlich der Klausuraufgaben entwickelt. Was ist unter einer „Dipolaufgabe“ zu verstehen? Der eine Pol der Aufgabenstellung ist der kreative Aufgabenteil – Kreativ-Pol – der durch eine möglichst offene Aufgabenstellung gekennzeichnet ist. Der zweite Pol ist der konzeptionell festgelegte Teil der Aufgabenstellung – Konzept-Pol . Sein Ziel ist die Integration unverzichtbarer Lehrinhalte, wie z.B. die Gestaltung und Auslegung komplexer Lagerungen oder Getriebestrukturen, in die Workshops, bei gleichzeitig gering gehaltenem Korrekturaufwand. Dieser didaktische Ansatz wurde konsequent umgesetzt und hat sich als tragfähig und allgemein anwendbar erwiesen.

Im folgenden Text wird die Realisierung mit dem Ziel beschrieben, konkrete Hinweise für die Umsetzung zu geben:

In einer großen Hörsaalübung wird den Studierenden die Aufgabe zunächst in sehr offener, praxisorientierter Form präsentiert. Es wird nur vorgeschrieben, welche Lagerart und in welcher Stückzahl montiert werden und welcher Bauraum in der bereits bestehenden Montagehalle für die zu entwickelnde Maschine zur Verfügung steht. Der Raum wird zur besseren Verdeutlichung im Produktentwicklungszentrum mit den Schnittstellen der Umgebung aufgebaut (Bild 9).

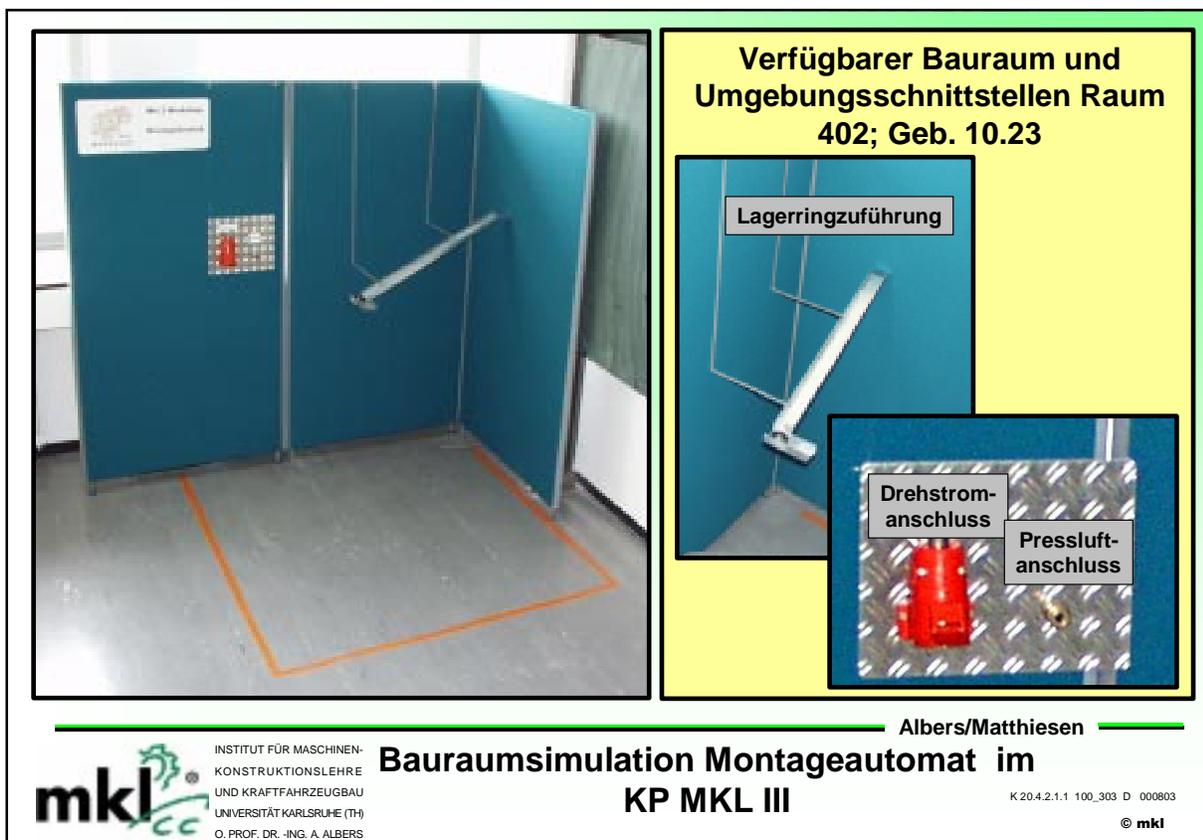


Bild 9 Bauraumsimulation Montageautomat

Zeitliche und vor allem didaktische Restriktionen zwingen, wie oben beschrieben, zu geringfügigen Abweichungen von der industriellen Praxis. Diese Abweichungen von der „Realität“ werden mit den Studenten offen diskutiert, um kein verfälschtes Bild zu erzeugen, den Ausbildungsaspekt zu verdeutlichen und damit dessen Akzeptanz durch die Studierenden zu sichern. In der Aufgabenstellung wurde z.B. vorgeschrieben die Übergabe der Lager von einer Montagemaschine zur nächsten mit Hilfe eines Rundtisches einer bestimmten Firma zu realisieren. Dadurch entsteht eine enge Verknüpfung der Arbeitsmaschinen untereinander und damit der Zwang zu konsequentem Informationsaustausch im Team. Hierdurch wird die Aufgabe nach dem **Dipol-Ansatz** in einen „ **kreativen Teil**“ und einen „**konzeptionell festgelegten Teil**“ gegliedert. Der „kreative Aufgabenteil“ führt zu angeregten Diskussionen im Team. Die Möglichkeit, eigene Ideen in Konstruktionen umsetzen zu können, wirkt äußerst motivierend. Die Lösungen der verschiedenen Entwicklungsteams fielen sehr unterschiedlich aus und waren zum Teil auch für die Betreuer völlig unvorhersehbar.

Auf den „konzeptionell festgelegten Teil“ werden alle zusätzlichen Übungsaufgaben bezogen. Unter anderem sind dies Auslegungs- und Dimensionierungsrechnungen, wie Zahnfuß- und Zahnflankentragfähigkeitsnachweis nach DIN 3990, Schraubenberechnung nach VDI 2230, Festigkeitsnachweise von Wellen, Auslegung von Welle-Nabe-Verbindungen, u.s.w.. Durch die Festlegung dieser zusätzlichen Aufgaben auf den „konzeptionell vorgeschriebenen Aufgabenteil“ werden die von den Entwicklungsteams in den geführten Projektsitzungen zur Korrektur vorzulegenden Lösungen vorhersehbar und damit mit angemessenem Zeitaufwand korrigierbar.

Vorbereitung der Projektbetreuer auf die Betreuungsaufgabe

Das Betreuungsteam besteht – bei den 180 Studenten des Sommersemesters 2000 - aus 6 wissenschaftlichen Mitarbeitern, 12 studentischen Hilfswissenschaftlern und einem verantwortlichen Übungsleiter. Vor allem den studentischen Mitarbeitern war die projektorientierte Arbeit völlig fremd. Zur Vorbereitung auf die spätere Betreuer Tätigkeit wurde daher die Aufgabe in der vorlesungsfreien Zeit vom Betreuungsteam zunächst selbst bearbeitet. Dazu wurden die Aufgaben auf die einzelnen Betreuer verteilt und in Projektsitzungen, ähnlich derer die die Studenten später durchführen sollten, aufeinander abgestimmt. Ein besonderer Schwerpunkt wurde dabei auf die Konzeptfindung gelegt, um in angemessener und durchgängiger Art und Weise auf die von den Studenten vorgelegten Konzepte zur Realisierung der Maschinenfunktionen reagieren zu können. Die Vorgehensweise wurde mit Fotos und zum Teil auf Video dokumentiert. Diese Schulung hat sich als zeitaufwendig aber für eine qualitativ hochwertige Betreuung als unverzichtbar erwiesen.

Didaktischer Ansatz zur Vorbereitung der Studenten auf Projektarbeit im Team

In der ersten Hörsaalübung, in der die Aufgabenstellung präsentiert wird, müssen die Studenten auf die ihnen unbekannte Projektarbeit vorbereitet werden. Fotos aus der Aufgabenvorbereitungsphase erweisen sich hier als sehr nützlich. Den Studierenden wird damit beispielhaft die praktische Vorgehensweise bei der Projektarbeit gezeigt. Inwieweit diese der „vorgelebten“ Arbeitsweise folgen, bleibt ihnen selbst überlassen. Diese klassische und sehr alte Form der Lehre, die auf Nachahmung des Lehrenden beruht, hat sich als sehr leistungsfähig und vor allem zeiteffizient erwiesen.

Die einzelnen Montageschritte, die zur vollständigen Lagermontage erforderlich sind, müssen von den Studierenden zu Beginn der Projektarbeit erst einmal erarbeitet werden. Zu Unterstützung wurde ein Video präsentiert, in dem die Montage manuell

Montagefolge und Bauteile



5. Montageschritt

Montagetätigkeit:



6. Montageschritt

Montagetätigkeit:



INSTITUT FÜR MASCHINEN-
KONSTRUKTIONSLEHRE
UND KRAFTFAHRZEUGBAU
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
O. PROF. DR.-ING. A. ALBERS

**MKL III Konstruktionsprojekt
Funktionsanalyse**

Albers/Matthiesen

K 20.4.2.1.1 100_301 D 000803

© mkl

simuliert wird.

Bild 10 Ein Beispiel für Arbeitsunterlagen zur Funktionsanalyse der einzelnen Montageschritte

Mit Hilfe der ausgeteilten Arbeitsunterlagen (Bild 10) können die einzelnen Schritte im Team diskutiert und dokumentiert werden. Jedes Entwicklungsteam erhält außerdem das zu montierende Lager, das zur Verdeutlichung der Montageschritte und zur Simulation der Montagebewegungen herangezogen werden kann. Die „mit der Hand“ begreiflich gemachten Arbeitsschritte müssen im Anschluss durch Maschinenfunktionen nachvollzogen werden.

Projektarbeit im Rahmen des Workshops MKL III

Die Entwicklungsteams haben nun die Aufgabe, die Lösung der Entwicklungsaufgabe selbstständig zu erarbeiten. Alle Entwicklungsfortschritte, Entscheidungen, Skizzen, Zeichnungen und Berechnungen werden vom Team

dokumentiert und in einem Projektordner abgelegt. Die Entwicklungsteams werden zu insgesamt 4 geführten dreistündigen Projektsitzungen geladen, in denen Sie den Projektbetreuern ihre Fortschritte präsentieren und gleichzeitig Probleme und offene Fragen diskutieren können (Coaching).

Die Wissensüberprüfung dient zur kontinuierlichen Kontrolle des Lernfortschritts. Die Leistungen werden nach einem Punktsystem beurteilt. Auffällige Defizite werden an den Übungsleiter weitergegeben, um darauf in den Hörsaalübungen und der Vorlesung noch einmal eingehen zu können (Feed-back-Komponente). Didaktisch ist die Wissensüberprüfung unbedingt erforderlich, um insbesondere auch schwächeren Studenten durch rechtzeitiges Feed-back individuelle Probleme deutlich zu machen und so das „abkoppeln“ von den Leistungsträgern im Team und auch vom notwendigen und erwarteten individuellen Lernfortschritt durch frühzeitige Gegenmaßnahmen zu vermeiden. Als Unterstützung wurden zusätzliche Sprechstunden eingerichtet.

Im zweiten Teil der Projektsitzung haben die Projektbetreuer vor allem die Aufgabe die Studierenden bei ihrer Arbeit zu unterstützen. Betreuung kann unter der Forderung nach kreativen Lösungen im Workshop MKL III nur noch als Coaching verstanden werden. Die in den vorangehenden beiden Semestern aufgebaute Selbständigkeit wird von den Studierenden nun in verstärktem Maße gefordert.

Als Arbeitsumgebung steht den Entwicklungsteams das Produktentwicklungszentrum (PEZ) des Institutes „rund um die Uhr“ zur Verfügung (0). Die Raumausstattung orientiert sich an einem Entwicklungsbüro aus der Praxis. Besprechungsecke, Rechner, Internet-Anschluss, Projektmanagementsoftware und die für die Kommunikation auch in der Praxis so wichtige Kaffee-Ecke sind Beispiele für die Ausstattung des PEZ. Zukaufteile können umfangreichen Katalogbibliotheken entnommen werden.



Albers/Matthiesen



INSTITUT FÜR MASCHINEN-
KONSTRUKTIONSLHRE
UND KRAFTFAHRZEUGBAU
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
O. PROF. DR.-ING. A. ALBERS

Studierende bei der Bearbeitung des Konstruktionsprojektes im WS MKL III

K 20.4.2.1.1 100_309 D 000803

© mkl

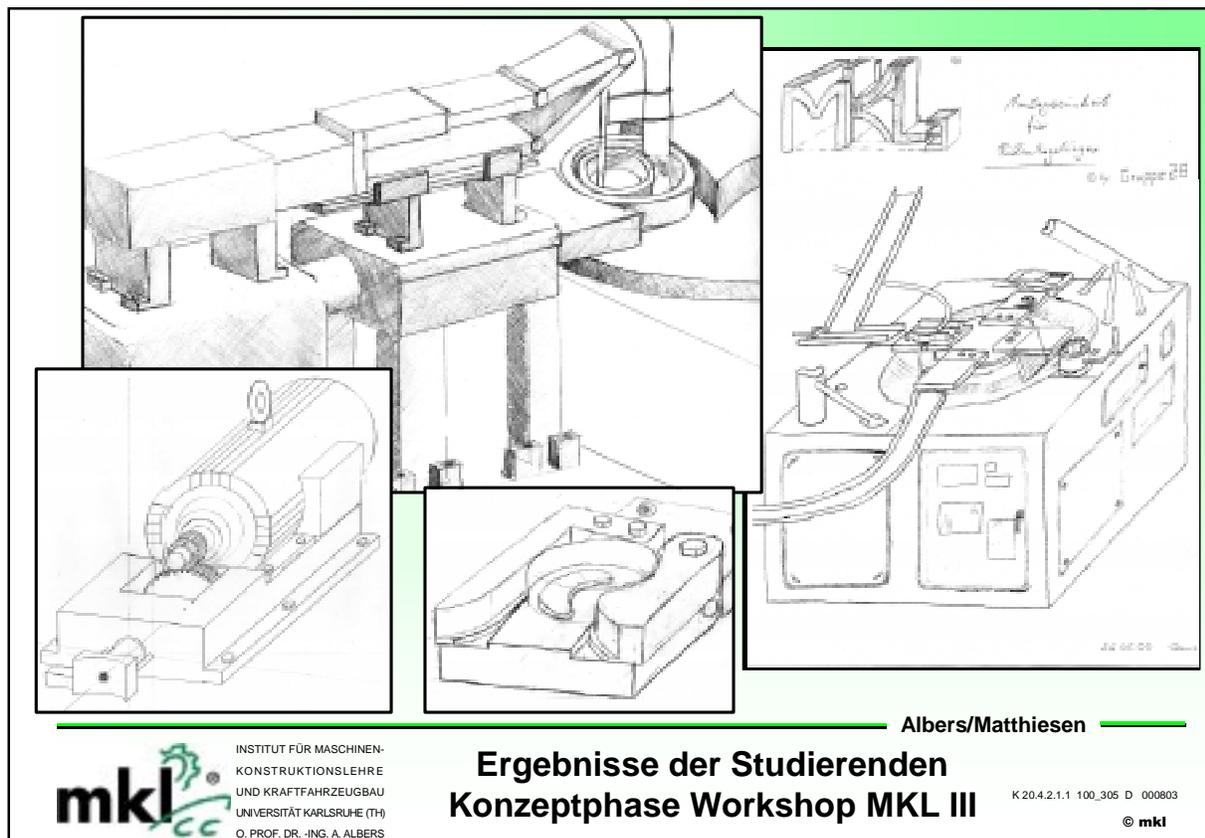
Studierende bei der Entwicklungsarbeit

Aus Kapazitätsgründen bleiben die vorhandenen 3D-CAD Arbeitsplätze (35 Arbeitsstationen) und die 3D-CAD-Schulung durch das Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau für ausgewählte Studierende reserviert. Die Auswahl erfolgt anhand der Punktebewertung aus dem vorangegangenen Semester. Diese Zugangsbeschränkung wirkt sehr leistungsmotivierend, da nur konstruktiv besonders begabte und gleichzeitig engagierte Studenten einen Rechnerarbeitsplatz erhalten und damit der sehr große Aufwand einer begleitenden 3-D-CAD Ausbildung und Betreuung gerechtfertigt wird. Die CAD-Ausbildung ist dabei freiwillig und zusätzlich zu den Lehrmodulen aus MKL III zu leisten. Sie wird nicht im Stundenkontingent berücksichtigt, um nicht – wie bereits ausgeführt – in der Tiefe und Qualität der konstruktiven Inhalte und Tätigkeit der Maschinenkonstruktionslehre - aus unserer Sicht unzulässige - Einschränkungen zugunsten der „Werkzeuganwendung“ CAD machen zu müssen. Durch Teilnahme an der CAD-Schulung verpflichten sich die Teams, auch ihre konstruktive Projektarbeit mit CAD-Unterstützung zu leisten.

Es ist geplant die Rechnerausstattung bei entsprechender Mittelbereitstellung von Seiten der Universität oder durch Industriespenden auf 150 Arbeitsstationen zu erweitern. Eine durchgeführte Umfrage ergab, dass 98% der Studierenden sich - trotz des etwa 2-3fachen Arbeitsaufwands durch die nötige Einarbeitung ins CAD System und die Bearbeitung der Semesteraufgaben mit CAD - eine CAD-Ausbildung im Rahmen des Konstruktionsprojektes wünschen.

Ergebnisse der studentischen Entwicklungsarbeit

Einige Beispiele der Ergebnisse der Workshops sollen im folgenden einen Eindruck von den – aus unserer Sicht überwiegend überraschenden und motivierenden –



Leistungen der Studenten geben (Bild 11 - Bild 14).

Bild 11 Ergebnisse der Studentearbeit: Konzeptphase

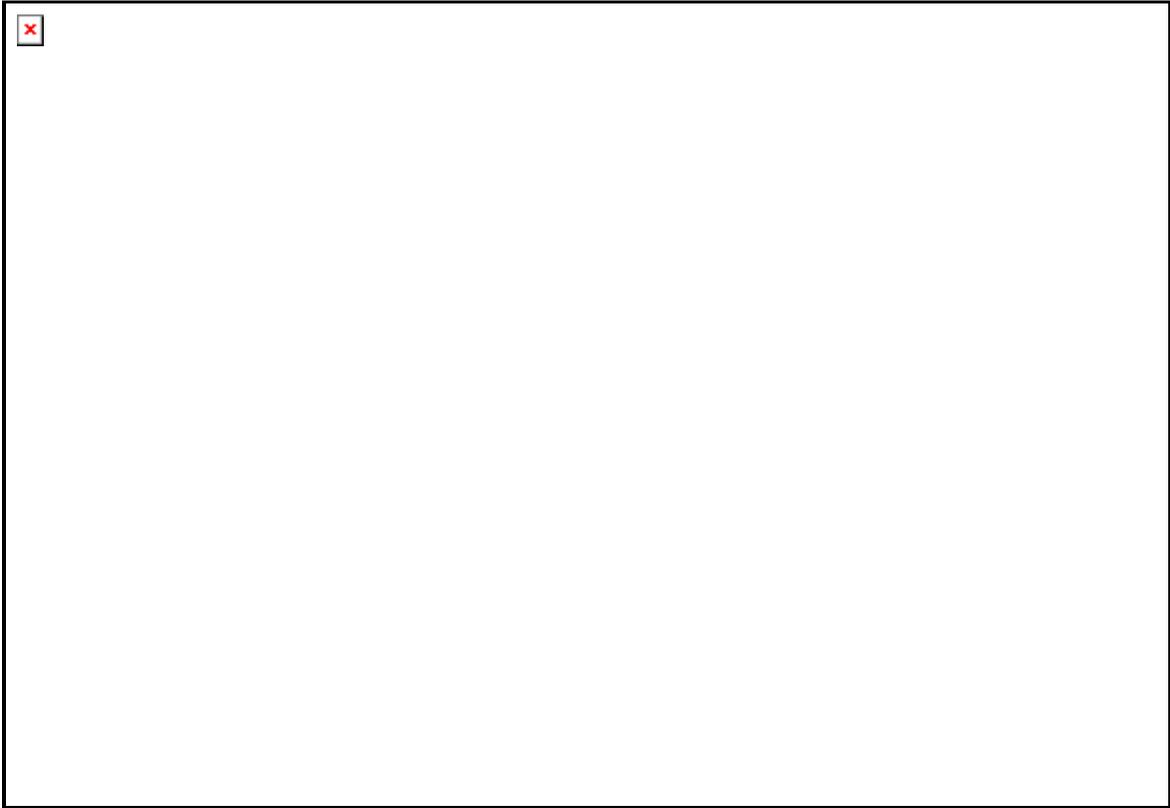


Bild 12 Ergebnisse der Studentenarbeit: Entwurfphase

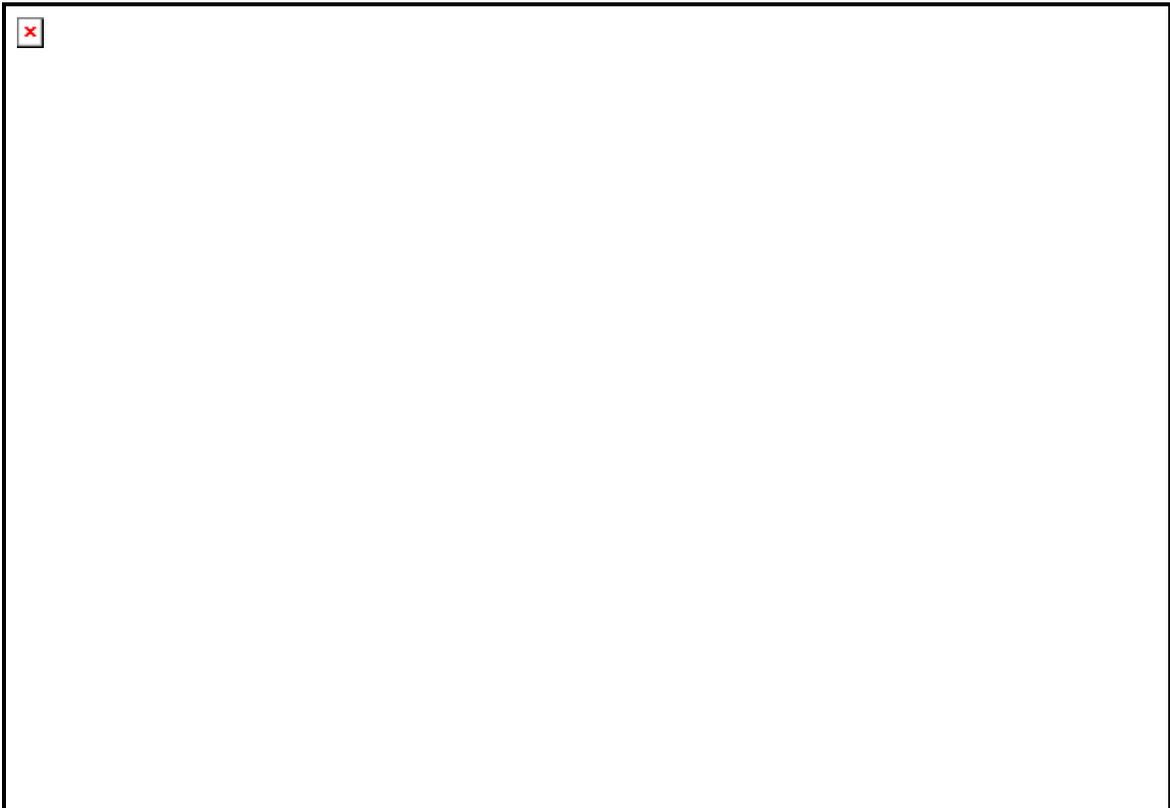
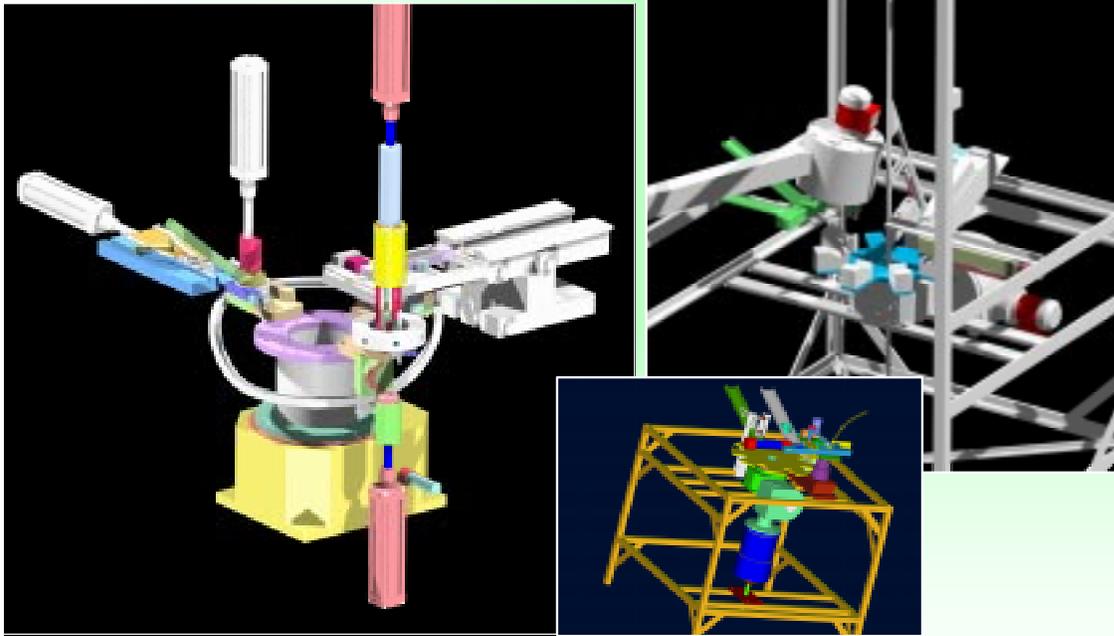


Bild 13 Ergebnisse der Studentenarbeit: Ausarbeitungsphase



Albers / Stuffer / Matthiesen



INSTITUT FÜR MASCHINEN-
KONSTRUKTIONSLEHRE
UND KRAFTFAHRZEUGBAU
UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)
O. PROF. DR.-ING. A. ALBERS

3D-CAD im Rahmen des Workshop MKL III (1)

K 20.4.2.1.1 100_308 D 000803

© mkl

Bild 14 Ergebnisse der Studentenarbeit: CAD Arbeit

Zusammenfassung und Ausblick

Die Erfahrungen mit nun drei Semestern neuer Maschinenkonstruktionslehre nach dem KaLeP-Modell sind geprägt von einer ausgesprochenen Leistungsbereitschaft und Motivation der Studierenden. Die vielerorts berichtete fehlende Leistungsbereitschaft unter heutigen Studierenden war nicht nachvollziehbar. Auch zusätzliche Arbeiten, wie z. B. die Anfertigung von Produktmodellen im CAD-System, wurden motiviert erledigt.

Die Anforderungen an die Projektbetreuer sind mit dem neuen Lehrmodell deutlich gestiegen. Je mehr von den Studierenden gefordert wird, desto höher sind auch die Anforderungen an die „Fordernden“.

Der Aufwand für die Durchführung von KaLeP im Grundstudium ist deutlich höher als nach den klassischen Ausbildungsmodellen. Der Aufwand lohnt sich allerdings, da die Ergebnisse überzeugen. Bei eventuell stark steigenden Studentenzahlen – die wir uns natürlich auch wünschen – ist bei der derzeitigen Ausstattung eine Durchführung nicht möglich!

Die konstruktive Abschlussklausur, die dieses Semester erstmalig nach dem Dipol-Ansatz, ähnlich der Projektaufgabe in MKL III, einen „kreativen“ und einen „konzeptionell festgelegten Teil“ enthält, wird Aufschluss über die aufgebauten Kompetenzen und Fähigkeiten der Studierenden geben.

Die sehr positiven Ergebnisse einer Evaluation der Gesamtveranstaltung Maschinenkonstruktionslehre durch die Studierenden motiviert uns, trotz einiger von den Studenten reklamierten Umsetzungsprobleme, das veränderte Lehrkonzept weiterzuentwickeln und konsequent in der Lehre einzusetzen.

Quellen und weiterführende Literatur

- [1] Albers, A.; Matthiesen, S.; „Neue Modelle für die Ingenieurausbildung – Das Karlsruher Lehrmodell –“, Festschrift der Universität Karlsruhe anlässlich des 175 jährigen Bestehens; Springer; 2000.
- [2] Albers, A.; Burkardt, N.; Matthiesen, S.; Schweinberger, D., „The Karlsruhe Model“- A Successful Approach to an Academic Education in Industrial Product Development; University of Sussex; 2000.
- [3] Albers, A; Matthiesen, S ; „Das Karlsruher Lehrmodell“; 44.Internationalen Wissenschaftliches Kolloquium, Maschinenbau im Informationszeitalter 20.-23.09.1999, Technische Universität Ilmenau, 1999.
- [4] Albers, A., Birkhofer, H.: “Teaching Machine Elements at Universities - Towards Internationally Harmonised Concepts in View of Industrial Needs”; International Conference on Engineering Design, ICED 99, Munich, August 24-26, 1999.
- [5] Albers, A; Birkhofer, H.; Matthiesen, S.; „Neue Ansätze in der Maschinenkonstruktionslehre“; Gedenkschrift Wolfgang Beitz; Gerhard Pahl (Hrsg.); Berlin: Springer; 1999; S. 168-183.
- [6] Albers, A.; Birkhofer, H.; Neue Lehre; Tagungsunterlagen zum 2. Workshop Lichtental; 24.02 u. 25.02.99; Universität Karlsruhe u. Universität Darmstadt; 1999.
- [7] Albers, A.; Birkhofer, H.; Neue Lehre; Tagungsunterlagen zum 1. Workshop Lichtental; 09.02 u. 10.02.98; Universität Karlsruhe u. Universität Darmstadt; 1998.
- [8] Albers, A.; Birkhofer, H.; „Die Zukunft der Maschinenelementlehre“; Tagungsunterlagen zum 1. Workshop Heiligenberg; 23.04 u. 24.04.97; Universität Karlsruhe u. Universität Darmstadt; 1997.
- [9] Senge, P. M.; Die Fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation; Stuttgart, Klett-Cotta, 3. Aufl.;1996.

[10] Albers, A.: „Wohin steuert die Maschinenkonstruktionslehre?“; Jahrestagung der WGMK 1996; Universität Karlsruhe (TH); 1996.

[11] Albers, A.; „Simultaneous Engineering an einem Beispiel aus der Kraftfahrzeugzulieferindustrie“; EK- VIP Führungskräftetreffen des VDI am 18. Juni 1993 in München, Tagungsband, VDI Verlag; 1993.

Kontakt

o.Prof. Dr.-Ing. A. Albers
Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12
76128 Karlsruhe
Tel.:0721/608-2371
Fax: 0721/608-6051
Email: Albert.Albers@mach.uni-karlsruhe.de

Dipl.-Ing. S. Matthiesen
Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12
76128 Karlsruhe
Tel.:0721/608-6471
Fax: 0721/608-6051
Email: Sven.Matthiesen@mach.uni-karlsruhe.de