

o.Prof.Dr.-Ing.A.Albers / Dipl.-Ing.S.Matthiesen

Maschinenbau im Informationszeitalter Das Karlsruher Lehrmodell

Einleitung

Der Fundus menschlicher Erkenntnisse wächst in rasantem Tempo: Täglich veröffentlichen Wissenschaftler weltweit etwa 7000 Arbeiten. Jährlich werden 8000 Patente angemeldet. Die Informationsgesellschaft produziert unbegrenzt Informationsmengen und speichert sie digital ab. Durch maschinelle Informationsverarbeitung und weltweit vernetzte Computer (Internet) werden diese Informationen global verfügbar gemacht. Hierdurch können Anstrengungen in Forschung und Entwicklung direkt an den aktuellen Stand anknüpfen. Das Informationszeitalter macht so eine bisher nie dagewesene Wissensexplosion möglich [6].

Auch im Maschinenbau findet eine derartige Wissensexplosion statt. Die Anzahl der Maschinenelemente und die Zahl ihrer verschiedenen Ausprägungen, stieg durch neue Werkstoffe und neue Fertigungstechnologien in den letzten Jahren stark an. In Zukunft wird sich dieser Trend fortsetzen, wahrscheinlich sogar verstärken. Durch ein verändertes industrielles Umfeld mit dem Trend zum Einsatz vorgefertigter Teilsysteme und der Integration von Sensoren und Reglern in die Maschinenelemente zu mechatronischen Komponenten, steigt die Anzahl der auf dem Markt verfügbaren Maschinensysteme sogar noch drastischer an.

Zu dieser Wissensexplosion kommt eine vollständige Veränderung der Managementstrukturen in der Industrie. Simultaneous Engineering mit parallel ablaufenden Entwicklungsprozessen für Produkt und Prozeß in interdisziplinären Teams, erfordert neben Fachwissen zusätzliche Qualifikationen des Entwicklungsingenieurs, wie Teamfähigkeit, interdisziplinäre Kommunikationskompetenz und Durchsetzungsvermögen [5]. Diese Veränderungen stellen einen ganz neuen Anspruch an die universitäre Lehre. Die Ausbildung muß die gestiegene und in Zukunft weiter steigende Zahl von Maschinenelementen und –systemen berücksichtigen, darf sich dabei aber nicht nur auf die Vermittlung von Fachkompetenz beschränken, sondern muß vielmehr auf die weiteren Anforderungen aus der industriellen Arbeitswelt des Ingenieurs eingehen [1;2].

Neben einer klaren Methodenkompetenz zur Beherrschung des Entwicklungsprozesses zählen die Sozialkompetenz und die Umsetzungskompetenz mit ihren entsprechenden Methoden (Softskills) zu den Kernkompetenzen der Produktentwickler und müssen in der universitären Lehre vermittelt werden [3;4].

Das Karlsruher Lehrmodell

An der Universität Karlsruhe wird seit April´99 ein neues Lehrmodell in der Vorlesung Maschinenkonstruktionslehre durch das Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau eingeführt. Das Modell berücksichtigt die stark gestiegene Menge des zu vermittelnden Maschinenelementwissens und das veränderte industrielle Umfeld der späteren Maschinenbauingenieure. Es vermittelt neben Fachkompetenz auch die sogenannten Softskills. Ein wesentliches Hilfsmittel ist hierbei der Einsatz multimedialer Werkzeuge in der Lehre.

Das Modell gliedert sich in drei Veranstaltungsmodule: Vorlesung, Übung und Workshop. Diese beinhalten jeweils unterschiedliche Lehr- und Lernziele.



Abb.1: Verknüpfungen des neuen Vorlesungskonzeptes

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 und ein Extruder– die durch die gesamte Vorlesung die Besprechung der einzelnen Maschinenelemente in einem komplexen technischen Gesamtsystem begleiten.

Die **Übung** vertieft das theoretische Wissen um gleichzeitig die praktische Anwendung des Vorlesungsstoffes in konkreten Übungsaufgaben zu vermitteln. An die dritte Komponente, den Workshop werden aus der Saalübung Aufgaben weitergegeben.

Im **Workshop** werden in studentischen Teams konkrete Aufgaben bearbeitet. Zu Beginn der Veranstaltung werden den Studenten Maschinenelemente vor allem praktisch begreifbar gemacht. Dadurch liefert der Workshop der Vorlesung und der Übung Leitbauteile und Leitsysteme, die den Studierenden in Funktion und Gestalt bekannt sind.

Vorlesung

Heutige Vorlesungskonzepte bestehen meist aus einer Aneinanderreihung verschiedener Maschinenelemente. Bei jedem Maschinenelement wird explizit auf eine Beschreibung des Maschinenelementes, auf seine Funktion, seine Gestaltung und seine Auslegung eingegangen. Dabei wird versucht, alle Maschinenelemente vollständig zu bearbeiten.

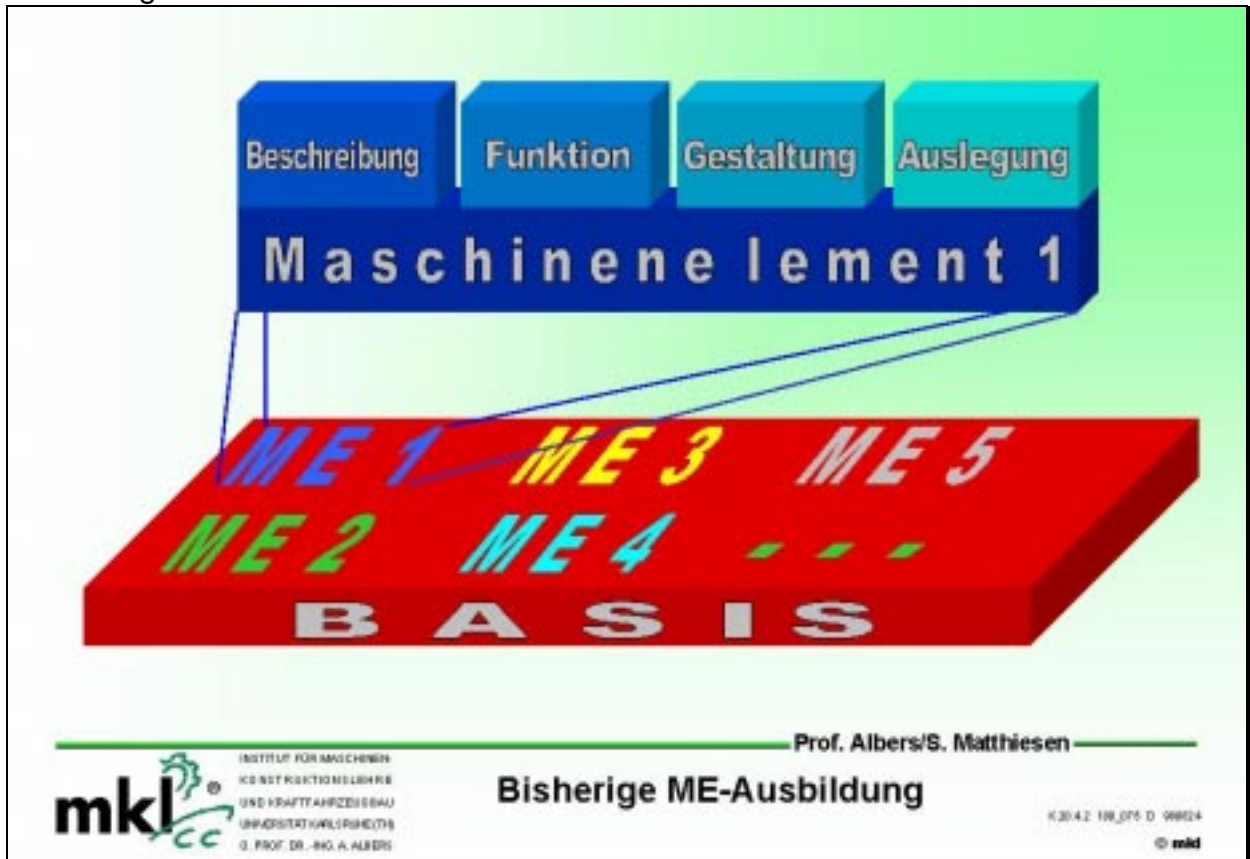


Abb.2: Struktur bisheriger Maschinenelementausbildungen

Wie oben bereits beschrieben ist durch die Vielzahl neuer Maschinenelemente eine vollständige Behandlung bei gleichbleibender Vorlesungskapazität nicht möglich und auch nicht sinnvoll. Das neue Karlsruher Vorlesungskonzept basiert auf einem völlig anderen Ansatz, den Studenten trotz stetig steigender Zahl von Maschinenelementen eine ganzheitliche und vollständige Maschinenelementelehre zu vermitteln.

Die Maschinenelemente werden von Anfang an auf einer höheren Abstraktionsebene methodisch orientiert betrachtet. Sehr viele Maschinenelemente können bereits als System aus mehreren Elementen aufgefaßt werden. Jedes Element eines Systems erfüllt dabei seine Funktion durch eine Wechselwirkung (z.B. durch einen oder mehrere Körperkontakte) mit mindestens einer anderen Systemkomponente. Die eigentliche Funktion und damit die gewünschte Wirkung wird hier also erst durch den Kontakt einer Fläche mit einer anderen Fläche realisiert. Diese Flächen werden somit zu Wirkflächen -WF.

Jede Wirkfläche steht zu irgendeinem Zeitpunkt mit mindestens einer anderen Wirkfläche in Wechselwirkung um die Funktion des Maschinenelementes zu erfüllen. Die beiden Wirkflächen bilden ein Wirkflächenpaar -WFP. Beanspruchung, Auslegung und Gestaltung dieser Wirkflächen sind allein von der Funktion des Maschinenelementes, den Einsatzrandbedingungen und den mit dieser Wirkfläche in Wechselwirkung stehenden anderen Wirkflächen abhängig. Wirkflächenpaare völlig

unterschiedlicher Maschinenelemente werden häufig ähnlich ausgelegt und gestaltet, da immer wieder gleiche Elementarfunktionen durch Wirkflächenpaare realisiert werden, wie zum Beispiel der geschmierte Kontakt unter Hertzscher Pressung. Die Struktur des Maschinenelementes erfüllt dann lediglich die Funktion, die Wirkfläche in ihrer definierten Lage zu halten. Sie wird im folgenden als Trag-Stütz-Struktur –TSS- bezeichnet und muß nach ihrer Funktionserfüllung gestaltet und ausgelegt werden. Ähnlich der Wirkfläche ist also die Gestaltung und Auslegung der Trag-Stütz-Struktur allein von der Funktion und den Umgebungsbedingungen abhängig.



Abb.3: Wirkflächenpaare und Stützstrukturen

Im neuen Vorlesungsansatz wird dem Studenten zu Beginn der Maschinenkonstruktionslehre die Theorie der Wirkflächenpaare und Stützstrukturen vermittelt. Maschinenelemente werden also am Anfang der Veranstaltung auf eine hohe Abstraktionsebene gestellt. Gleichzeitig wird hierdurch die für den Maschinenbauingenieur so wichtige Fähigkeiten zur Abstraktion gelehrt und vertieft. Später wird die Theorie an ausgewählten Maschinenelementen exemplarisch und ausführlich belegt. Der Student lernt die Theorie aus der Vorlesung auf ein konkretes Beispiel herunterzubrechen und anzuwenden. Die Maschinenelemente werden dabei zunächst immer aus der Sicht und dem Zusammenhang der Leitsysteme heraus betrachtet und damit sowohl in ihren Elementeigenschaften als auch in den Wechselwirkungen mit dem Gesamtsystem besprochen. Als Beispiel sei hier die Tellerfeder als Element der Anfahrkupplung genannt. Bei der Behandlung weiterer wichtiger Maschinenelemente kann sich der Dozent auf die exemplarisch erläuterten Maschinenelemente berufen und braucht die neuen Elemente der 3. Ebene (Abb.4) nur kurz ansprechen, da der Student bereits gelernt hat, Wissen höheren Abstraktionsgrades auf konkrete Problemstellungen zu transformieren. Beispielsweise tritt zwischen der Systemkomponente Wälzkörper und der Systemkomponente Lageraußenring also im Wirkflächenpaar Wälzkörperoberfläche / Lagerlaufbahn Hertzsche

Pressung auf. Im Wirkflächenpaar zweier miteinander kämmender Zahnräder, der Paarung zweier Zahnflanken, tritt ebenfalls Hertzsche Pressung auf. Folglich werden Zahnflanken und Wälzkörperoberflächen auf einer gehobenen Abstraktionsstufe auch ähnlich ausgelegt und gestaltet. Die Lebensdauerbetrachtung wird ausführlich am Beispiel der Wälzlager durchgeführt, während auf die Flankentragfähigkeit der Verzahnung nur kurz und verknüpfend eingegangen wird.



Abb.4: Das Ebenenmodell der neuen Maschinenkonstruktionsausbildung

Die Vorlesung hat nicht den Anspruch alle Maschinenelemente vollständig zu behandeln, sondern vermittelt vielmehr die Fähigkeit unbekannte Maschinenelemente und komplexe Maschinensysteme durch Abstraktion auf funktionsbestimmende Wirkflächenpaare und strukturbeschreibende Stützstrukturen im Maschinensystem zu verstehen, zu analysieren und neue Elemente in bekanntes Grundlagenwissen einzuordnen. Damit wird die Fähigkeit zur selbständigen Synthese gefördert. Rund 15% des Vorlesungsinhaltes behandelt nichtmechanische mechatronische Elemente und Systeme, um so die Erweiterung der modernen Maschinenkonstruktion klar zu machen. Beispielsystem ist hier wieder der automatisierte Antriebsstrang. Die gesamte Vorlesung wird durch multimediale Präsentationstechnik unterstützt. Der Vorlesungsumdruck wird aktuell und automatisch erstellt. Der Inhalt ist in einem vorlesungsübergreifenden *Klassierungsschlüssel Produktentwicklung* eingeordnet. Die Studenten können so selbständig erarbeitetes Wissen mit Hilfe des Klassierungsschlüssels in die ständig wachsende „**Wissensbasis-Produktentwicklung**“ einordnen.

Übung

Unter Übung wird nach dem neuen Lehrmodell generell eine Veranstaltung verstanden in der ein übungsleitender Assistent allen Studenten gleichzeitig im Frontalunterricht

Wissen vermittelt. In der Übung wird die Vorlesungstheorie aufgegriffen und vertieft. In Übungsaufgaben, die sich zum Großteil auf die Leitbauteile und Leitsysteme der Vorlesung und des Workshops beziehen, lernt der Student theoretisches Wissen auf konkrete Probleme anzuwenden und das verinnerlichte Wissen umzusetzen und zu transformieren. Auch die Übungen sind multimedial unterstützt und in den *Klassierungsschlüssel Produktentwicklung* eingeordnet.

Workshop

Im Workshop sollen neben Fachkompetenz auch die für den Ingenieur so wichtigen, wie oben bereits erwähnten, Softskills vermittelt werden. Es wird von Anfang an konsequent Teamarbeit verlangt. Konstruktion findet im Team unter selbständiger Aufgabenverteilung statt. Erfahrungen der einzelnen Teammitglieder müssen unter den anderen Teammitgliedern ausgetauscht werden. Die für die Studenten aus der Schule oft völlig ungewohnte Teamarbeit muß natürlich erst unter Anleitung geübt werden. Dazu stehen sechs Assistenten neben 18 studentischen Hilfswissenschaftlern während den wöchentlich stattfindenden Workshops bereit. Zu Beginn des Workshops greifen die Betreuer noch autoritär in die Teamarbeit der Studenten ein. Im zweiten und dritten Semester ziehen sich die Betreuer immer weiter aus der Problemlösung zurück und greifen nur noch beratend in die Prozesse ein. Betreuung wird in den späteren Semestern also nur noch als Coaching verstanden. Dadurch wird eine ständig wachsende Selbständigkeit von Seiten der Studenten gefordert.

In den ersten zwei Semestern werden die Studenten mit einem einfachen Leitsystem und den Leitbauteilen konfrontiert. Sie haben die Möglichkeit Getriebemotoren in 18 von Assistenten und Hilfswissenschaftlern begleiteten Workshops und 9 freien Workshops zu zerlegen und die verschiedenen Systemkomponenten zu analysieren.



Abb.5: mkl-Workshop

Im ersten Semester werden im Workshop unter anderem Themen wie Technisches Freihandzeichnen, Analyse von Bauteilen in Gestalt und Funktion, Oberflächenanalysen und Messung unter Beachtung verschiedener Herstellprozesse, Passungsanalyse und erste Syntheseüberlegungen behandelt. Im zweiten und dritten Semester werden vor allem Maschinensysteme mit steigendem Komplexitätsgrad konstruiert und entworfen. Auch diese Arbeiten finden in studentischen Teams statt. Schnittstellen bei der Konstruktion legen die Teams selbst fest. Einzelkonstruktionen werden von den Studenten abgestimmt, zusammengeführt und dann von den Betreuern als Ganzes bewertet. Abschlußaufgabe ist eine Konstruktion aus dem industriellen Umfeld mit offener Problemstellung, deren Lösung auch den Betreuern, die nur noch delegierend in den Problemlösungsprozeß eingreifen, unbekannt ist [7].

Multimediaeinsatz in der Lehre

In der Vorlesungen werden die zu vermittelnden Lehrinhalte mittels animierter Präsentationstechnik dargeboten. Unter anderem eignet sich das Microsoft Programm Powerpoint in Kombination mit einem Beamer sehr gut. Im Gegensatz zur einfachen Folienpräsentation kann die Abfolge des Inhaltes im vorgestellten Folienbild didaktisch sinnvoll aufgebaut werden. Die Präsentation kann auf diese Weise sehr viele Informationen in einem Folienbild enthalten, ohne daß der Student von einer auf einmal präsentierten Informationsonsflut überfordert wird. Er kann den Ausführungen des Dozenten und dem zeitgleichen Aufbau des Folienbildes besser folgen.

Komplizierte Sachverhalte, wie z.B. die Funktionsweise eines synchronisierten Schaltgetriebes, können anhand eines in die Beamerpräsentation eingebundenen Videos unter enormer Zeitersparnis plausibel gemacht werden. Außerdem können Modelle durch eine Live-Videoübertragung vergrößert auf einer Projektionswand dargestellt werden. Experimente können so einer großen Studentenzahl gut erkennbar präsentiert werden.

Die Präsentationsform mit Hilfe von Beamer und Präsentationsprogramm ist sehr flexibel. Vorlesungsinhalte können noch kurz vor Vorlesungsbeginn in die Präsentation aufgenommen werden. Es wird dadurch möglich das aktuelle Tagesgeschehen in der Vorlesung zu berücksichtigen und visuell durch das Präsentationsmedium zu unterstützen. Aus dem Präsentationsprogramm ist ein tagesaktuelles Vorlesungsskript ohne größeren Aufwand ableitbar. Eine Verbreitung des Vorlesungsinhaltes via Internet wird ebenfalls leicht möglich.

Zur erfolgreichen Nutzung animierter Präsentationstechnik in der Vorlesung müssen einige Randbedingungen beachtet werden: Der leicht verdunkelte Raum und das schnelle ablaufen der Animationsbilder kann die Studenten leicht zu einer Art „Fernsehmentalität“ verleiten. Um diese Einstellung von Beginn an zu verhindern, muß auf geeignete Beleuchtung (Spotlight auf den Dozenten), Mimik und Gestik des Dozenten in besonderem Maße geachtet werden. Außerdem ist es sehr wichtig, daß die Studenten während der Präsentation immer wieder haptisch gefordert werden. Das Karlsruher Skript ist deshalb nicht vollständig und muß vom Studenten selbständig während der Vorlesung ergänzt werden.

Wie jedes Werkzeug ist auch Multimedia nur dann ein gutes Werkzeug, wenn der Einsatz den Anforderungen gemäß ist. Der Tafelanschrieb entfällt auch im neuen Vorlesungskonzept nicht vollständig. Wichtige Zeichnungen, die die Studenten synchron mit dem Dozenten anfertigen sollen, werden weiterhin bewußt an der Tafel entwickelt.

Gerade im Informationszeitalter fällt es schwer unter dem Begriff Multimedia nicht sofort an den Einsatz moderner Techniken wie Laptop, Beamer etc. zu denken. Wie bereits erwähnt ist es aber ausschlaggebend dem Lernziel angepaßte Werkzeuge anzuwenden. Der Mehrebenenschnitt, der den Studenten erfahrungsgemäß erhebliche Verständnisprobleme macht, kann mit von Studenten selbst durchgeführten Schnitten an Äpfeln viel einleuchtender plausibel gemacht werden, als durch eine animierte Präsentation.



Abb.6: Einsatz eines Apfels zur Erklärung von Schnittdarstellungen in technischen Zeichnungen

Erste Evaluationsergebnisse und Aussichten

In einem ersten schriftlichen Testat, das mit allen Studenten im Rahmen der großen Saalübung durchgeführt wurde, konnte festgestellt werden, daß der theoretische Lehransatz auf Basis der Wirkflächenpaare und Stützstrukturen von den Studenten erfaßt worden ist. Die Transformation der Theorie auf eine konkrete Problemstellung gelang besser als von uns erwartet.

Die Umstellung auf multimediale Präsentationstechnik wurde von den Studenten sehr positiv bewertet. Die Gefahr einer Reiz- und Informationsüberflutung durch die multimediale Präsentation muß allerdings weiterhin beachtet werden. Das einfache Erstellen von Folienbildern und die Bemühung eine vollständige Präsentation zu liefern, birgt die Gefahr das Folienbild zu überlasten. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, daß Beschränkung auf das Wesentliche im Folienbild einen deutlich besseren Lehrerfolg gewährt.

Durch eine begleitende Studie werden wir nach Abschluß des ersten Studienjahres im September 2000 den Erfolg des neuen Lehrkonzeptes detaillierter beurteilen können.

Literatur- bzw. Quellenhinweise

- [1] Albers, A.; Wohin steuert die Maschinenkonstruktionslehre ?; Jahrestagung der WGMK 1996. Universität Karlsruhe (TH); 1996.
- [2] Albers, A.; Birkhofer, H.; Die Zukunft der Maschinenelementlehre; Tagungsunterlagen zum Workshop Heiligenberg; 23.04 u. 24.04.97; Universität Karlsruhe u. Universität Darmstadt; 1997.
- [3] Albers, A.; Birkhofer, H.; Neue Lehre; Tagungsunterlagen zum 1. Workshop Lichtental; 09.02 u. 10.02.98; Universität Karlsruhe u. Universität Darmstadt; 1998.
- [4] Albers, A.; Birkhofer, H.; Neue Lehre; Tagungsunterlagen zum 2. Workshop Lichtental; 24.02 u. 25.02.99; Universität Karlsruhe u. Universität Darmstadt; 1999.

- [5] 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.
- [6] <http://www.schulweb.de/schnet95/html/schnet95-Einordnu.html>.
- [7] Albers, A.; Birkhofer, H; Matthiesen, S.; Neue Ansätze in der Maschinenkonstruktionslehre; Beitz Kolloquium 09.07.99; 1999.

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