

OPTIMAL QUALIFIZIERT FÜR DIE INDUSTRIE

Das Pforzheimer Modell zur innovativen Ausbildung von Konstrukteuren

>> von Rainer Häberer und Rupert Zang > Der Markt verlangt komplexe, kostengünstige Produkte, die nach kurzer Entwicklungszeit mit hoher Qualität auf den Markt kommen. Um diesen hohen Anforderungen gerecht zu werden, müssen zukünftige Ingenieure bereits im Studium gezielt darauf vorbereitet werden. Im Produktentstehungsprozess spielen Konstrukteure eine entscheidende Rolle. Von ihnen hängt es ab, ob eine Firma am Markt erfolgreich ist. Sie legen ein Produkt fest und bestimmen damit die Funktionalität, Qualität, Kosten und Wettbewerbsfähigkeit.

Seitdem Konstrukteure mit CAD und modernen Berechnungstools arbeiten, hat sich ihr operatives Tun verringert. Strategische und vor allem kreative Tätigkeiten traten in den Vordergrund, insbesondere weil die Produkte weit komplexer und die wirtschaftlichen und technischen Anforderungen gestiegen sind.

Die Erfahrung zeigt, dass die Qualität und Leistungsfähigkeit eines Konstrukteurs stark von seiner Berufserfahrung abhängt. Ein Konstrukteur benötigt viele Jahre, bis er in der Lage ist, anspruchsvolle Produkte fehlerfrei konstruieren zu können. Ein Absolvent, der seine Karriere als Konstrukteur startet, hat vielfach nur das Niveau eines technischen Zeichners.

Diese Behauptung ist natürlich provokant und wirft Fragen auf:

- Wird der Konstrukteur im Studium optimal ausgebildet?
- Ist der Student mit dem Studium überfordert?
- Sind die an einen Konstrukteur gestellten Anforderungen zu hoch?
- Verwenden die Professoren in ihrer Lehre geeignete Konzepte und Methoden?

Die Antwort ergibt sich aus den Erwartungen, die an einen Konstrukteur gestellt werden.

WAS SIND DIE ERWARTUNGEN AN EINEN KONSTRUKTEUR?

Der Konstrukteur muss die Grundlagen seines Maschinenbaustudiums beherrschen. Das sind vor allem Technische Mechanik, Werkstoffkunde, Mathematik, Maschinenkonstruktionslehre, Strömungslehre und Wärmelehre.

Ein zentraler Punkt ist die Dimensionierung der Produkte hinsichtlich Festig-

keit und Dauerhaltbarkeit. Hinzu kommt die Wahl geeigneter Werkstoffe und einer geeigneten Oberflächenveredelung.

Beim Methodischen Konstruieren wird eine Aufgabe abstrahiert und in einzelne Funktionen zerlegt. Für jede Funktion wird eine geeignete Lösung erarbeitet, die abschließend auf ihr technisches und wirtschaftliches Potenzial hin überprüft wird.

Der Konstrukteur legt die Baustruktur des Produktes fest und ist so verantwortlich für die Funktionalität, Qualität, Herstellbarkeit, Herstellkosten und Wettbewerbsfähigkeit. Dies erfordert strategisches Vorgehen und ein hohes Verantwortungsbewusstsein. Der Konstrukteur muss CAD beherrschen und die Teile normgerecht und fertigungsgerecht tolerieren können. Bei der Erarbeitung der Konstruktion müssen die Fragestellungen der vorbeugenden Qualitätssicherung, wie beispielsweise die FMEA, stets präsent sein.

Kenntnisse in Schadenskunde sind sehr wichtig. Hier haben erfahrene Konstrukteure den Absolventen einiges voraus. Ein „alter“ Konstrukteur hat notgedrungen schon viele Schadensfälle erleben müssen, die sich in seinem Unterbewusstsein eingepägt haben.

Von einem Konstrukteur erwartet man grenzenlose Kreativität, ausgeprägte Neugierde sowie hohe Zuverlässigkeit und Sorgfalt. Der Konstrukteur kooperiert mit zahlreichen Schnittstellen, sei es mit Versuchsabteilungen, Kunden, Werken oder dem Einkauf. Dies erfordert nicht nur eine hohe fachliche, sondern auch eine ausgeprägte soziale Kompetenz und eine gute Kommunikationsfähigkeit.

Ebenso wichtig ist eine eindeutige Dokumentation der Arbeit in Form von Zeichnungen, Prozessvorschriften und Berichten. Im Rahmen der Ideenfindung, der Kommunikation und der technischen Argumentation ist es vorteilhaft, wenn der Konstrukteur spontan Handskizzen erstellen kann.

Der Konstrukteur muss nicht nur der absolute Fachmann, sondern gleichzeitig ein guter Verkäufer sein. Er muss seine Arbeitsergebnisse und Ideen an Vorgesetzte, Experten und technikfremde Personen verkaufen können, was eine überzeugende technische Argumentation erfordert.

Eigentlich muss der Konstrukteur ein „Übermensch“ sein. Man kann sich vorstellen, dass ein Absolvent damit leicht überfordert ist. Nur „alte“, erfahrene Konstrukteure sind in der Lage, auf dieser Klaviatur perfekt zu spielen.

Erschwerend kommt hinzu, dass der Erfolg eines Konstrukteurs sehr leicht messbar ist. Ein Fehler hat gravierende Folgen, sei es in einer Fehlfunktion, in hohen Herstellkosten oder in einer Terminverzögerung. All diese Dinge kommen unwillkürlich auf den Tisch und bleiben nicht im Verborgenen.

Es ist klar, dass ein Maschinenbaustudium von 7 Semestern diese „Übermenschen“ nicht hervorbringen kann. Vielmehr durchläuft der Konstrukteur während seiner langjährigen Berufstätigkeit einen kontinuierlichen Reifeprozess.

Dieses Phänomen haben wir während unserer langjährigen Industrietätigkeit immer wieder beobachten können. Als Hochschule, die sich im Vergleich zur Universität eher auf die Entwicklung von Produkten und weniger auf die Forschung konzentriert, sehen wir uns natürlich verpflichtet, die Ausbildung von Konstrukteuren zu verbessern, um die in Pforzheim ausgebildeten Konstrukteure für den Markt besonders attraktiv zu machen.

GRUNDZÜGE EINES NEUEN KONZEPTEES ZUR AUSBILDUNG VON KONSTRUKTEUREN

Vor fünf Jahren haben wir dem Studiengang Maschinenbau – Produktentwicklung zwei neue Profile gegeben, auf die wir einen besonderen Fokus legen wollten. Einerseits die Ausbildung von Versuchsingenieuren, andererseits die Ausbildung von Konstrukteuren. Der Studierende kann sich wahlweise in beiden Profilen oder auch nur in einem Profil vertiefen.

Im Folgenden gehen wir nur auf das Profil „Konstruktion“ ein. Ziel war, dass unsere Absolventen bereits am Ende des Studiums anspruchsvolle konstruktive Aufgaben übernehmen können. Dazu haben wir die Inhalte des Curriculums ergänzt und eng aufeinander abgestimmt. Neu ist, dass unsere Studierenden kurz vor der Bachelor-Thesis in einer finalen Lehrveranstaltung mit 6 ECTS das bislang erworbene Fachwissen und die erlernten Fähigkeiten bei einem an-

spruchsvollen Projekt selbstständig zur Anwendung bringen. Im Grunde genommen proben wir hier mit den Studierenden die spätere Berufspraxis.

Das neue Curriculum orientiert sich stark an den Erwartungen, die an einen künftigen Konstrukteur gestellt werden. Bereits im ersten Semester üben die Studierenden in KL1 das Technische Zeichnen und das Methodische Konstruieren, hier vor allem die Konzeptionsphase mit der Abstraktion in Funktionen und Findung von entsprechenden Lösungs-ideen. Im zweiten Semester erlernen die Studierenden in KL2 die Dimensionierung von Maschinenelementen. Im Rahmen dieser Veranstaltung legt man auch großen Wert auf das Anfertigen von Handskizzen und das fertigungs- und montagegerechte Gestalten. Parallel dazu arbeiten die Studierenden mit CAD. Bei diesem „Spielen am Rechner“ vergessen nahezu alle Studierenden die Zeit. Was ist naheliegender als dies zu nutzen und die in KL1 und KL2 erlernten Inhalte in der CAD-Vorlesung im Rahmen einer Getriebekonstruktion weiter zu vertiefen. KL3 ist eine Weiterführung von KL2. Hier geht es um die Dimensionierung von Getrieben und Kupplungen.

In den ersten 4 Semestern bearbeiten die Studierenden pro Semester jeweils eine Projektarbeit, in der die bislang erlernten Fähigkeiten angewandt, vertieft und die Selbstständigkeit gefördert wird.

Nach dem Praxissemester werden im neuen Curriculum mehrere Vorlesungen angeboten, die das bisher erworbene Wissen weiter ausbauen. Beim fertigungs- und montagegerechten Gestalten liegt der Schwerpunkt auf der sinnvollen Definition von Baugruppen, der fertigungsgerechten Gestaltung von Blech- und Kunststoffteilen sowie der monta-

gerechten Gestaltung von Einzelteilen und Baugruppen. In der Vorlesung Schadenskunde werden typische Schadensfälle metallischer Bauteile analysiert. Die Vorlesung Bauteiloptimierung ergänzt die Schadenskunde. Sie befasst sich mit Bruchmechanik, Korrosion, Tribologie und Schäden an Kunststoffteilen. Gleichzeitig werden konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung dieser Ausfälle aufgezeigt. Flankierende Vorlesungen zu FEM-Methode, zur Maschinendynamik und zu elektrischen Maschinen ergänzen die bislang erlernte Dimensionierung.

DAS SEMINAR ZUR PRODUKT-ENTWICKLUNG

Das neue und sehr wichtige Seminar (mit 6 ECTS) ist ab dem 6. Semester eine Pflichtveranstaltung für alle Studenten. Zu Beginn erhalten die 40-50 Studierenden eine anspruchsvolle - möglichst aktuelle - Aufgabenstellung, die auch in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen erfolgen kann. Die Ziele und die Meilensteine werden vom Professor, der die Rolle des Moderators übernimmt, vorgegeben und verfolgt.

Wöchentlich findet mit allen 4-6 Gruppen ein seminaristisches Treffen statt, bei dem jeweils ein Teilnehmer aller Gruppen über den aktuellen Stand berichtet. Nach einer gemeinsamen Diskussion erfolgt die Festlegung des weiteren Vorgehens. Parallel zu diesem gemeinsamen Treffen vereinbaren die einzelnen Gruppen noch zahlreiche Sondertermine mit ihren Professoren.

Zum Abschluss des Seminars wird eine technische Dokumentation erstellt und die Ergebnisse werden in einem großen Plenum, auch mit externen Experten, präsentiert und diskutiert.

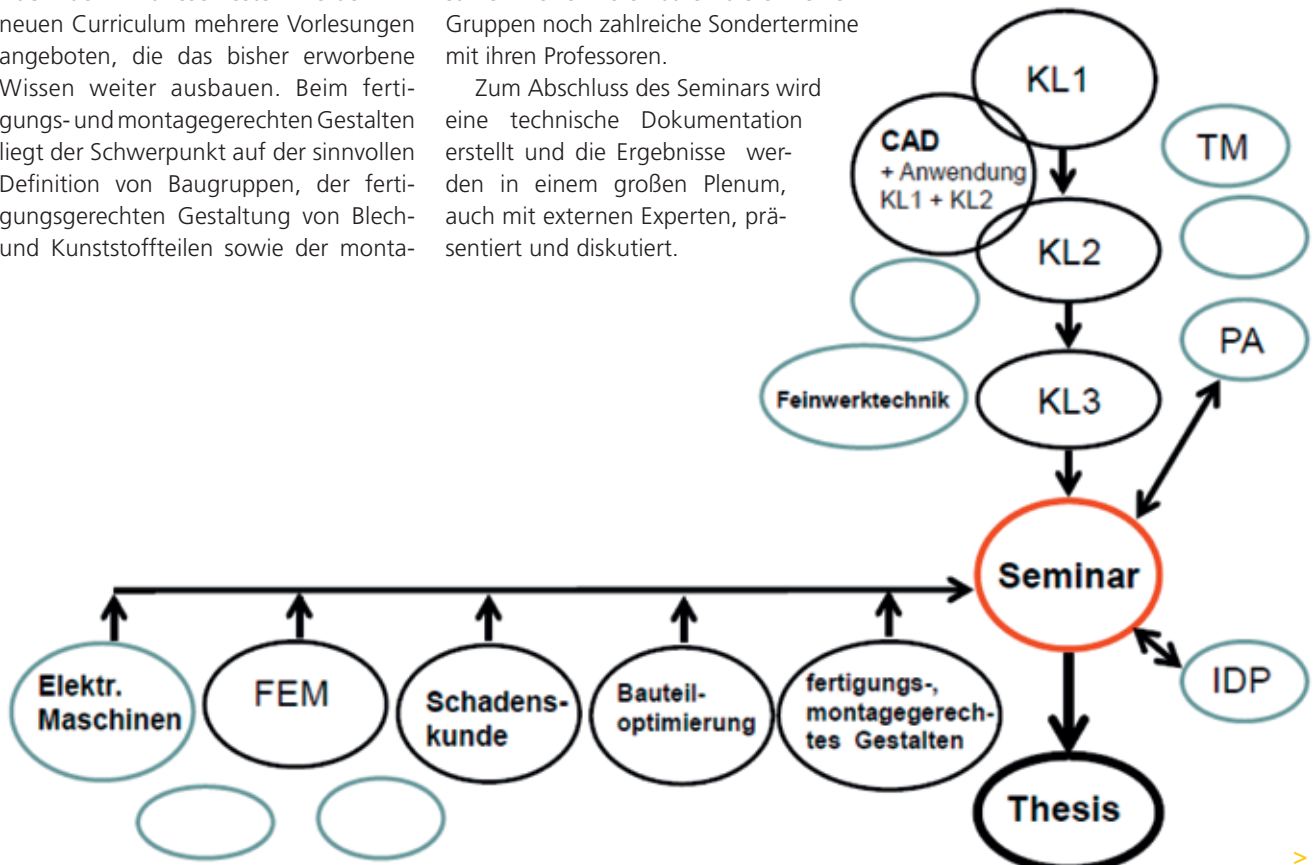
In einem Abschlussgespräch geben sich die Seminar Teilnehmer und der Professor ein Feedback.

Das Seminar soll im Grunde genommen die spätere Berufspraxis abbilden. Dabei wollen wir einen Einblick in eine moderne Entwicklungskultur vermitteln. Da mindestens 4 Gruppen an einem gemeinsamen Thema arbeiten, müssen die Studierenden ein Thema sinnvoll aufteilen und geschickt mit den Schnittstellen umgehen. Die Studierenden üben eine effiziente Planung ihrer Kapazität. Dies erfordert ein strategisches Vorgehen und ein abgestimmtes, paralleles Arbeiten.

Den Teilnehmern sollte bewusst werden, dass der Konstrukteur eine sehr große Verantwortung hat und dass seine Konstruktion das absolute Optimum darstellen muss. Der Weg zur optimalen Konstruktion ergibt sich aus einer evolutionären Herangehensweise. Bei einer revolutionären Vorgehensweise besteht die Gefahr, dass das technische Verständnis über das Produkt verloren geht.

Das Konstruieren ist deshalb kein Job, sondern vielmehr eine künstlerische Tätigkeit, die man als Berufung verstehen sollte.

Ein weiterer Fokus liegt auf der Vertiefung der Entwicklungsmethodik, bei der das strukturierte, systematische Vorgehen geübt wird. Eine Aufgabe muss soweit abstrahiert werden, dass die >



wirklichen Schwerpunkte sichtbar werden. Dies erfordert einen permanenten Wechsel von globaler und detaillierter Betrachtungsweise. Vom Kunden eingespeiste Vorgaben sind immer kritisch hinsichtlich Kosten, Machbarkeit und Funktionalität zu überprüfen ebenso wie die eigene konstruktive Tätigkeit hinterfragt werden sollte. Nur das Beste ist gut genug, um auf dem Markt bestehen zu können. Die Konstruktion muss alle Qualitätswerkzeuge erfolgreich passieren. Der Konstrukteur wendet deshalb bereits während seiner kreativen Tätigkeit die Gedanken der FMEA konsequent an.

Der Professor, der die Rolle des Vorgesetzten hat, führt seine Studierenden auf einem hohen, abstrakten Niveau. Dies verlangt von den Teilnehmern sehr selbstständiges Arbeiten. Der Studierende muss kritische Punkte selbst erkennen und dazu selbstständig geeignete präventive Abhilfemaßnahmen definieren; dazu gehört auch die eigenständige Beschaffung von Informationen.

Jede Woche müssen die Studierenden in einer Power Point-Präsentation den aktuellen Stand präsentieren und

zur Diskussion stellen. Somit üben wir das Präsentieren, das technische Argumentieren und das gemeinsame Festlegen des weiteren Vorgehens.

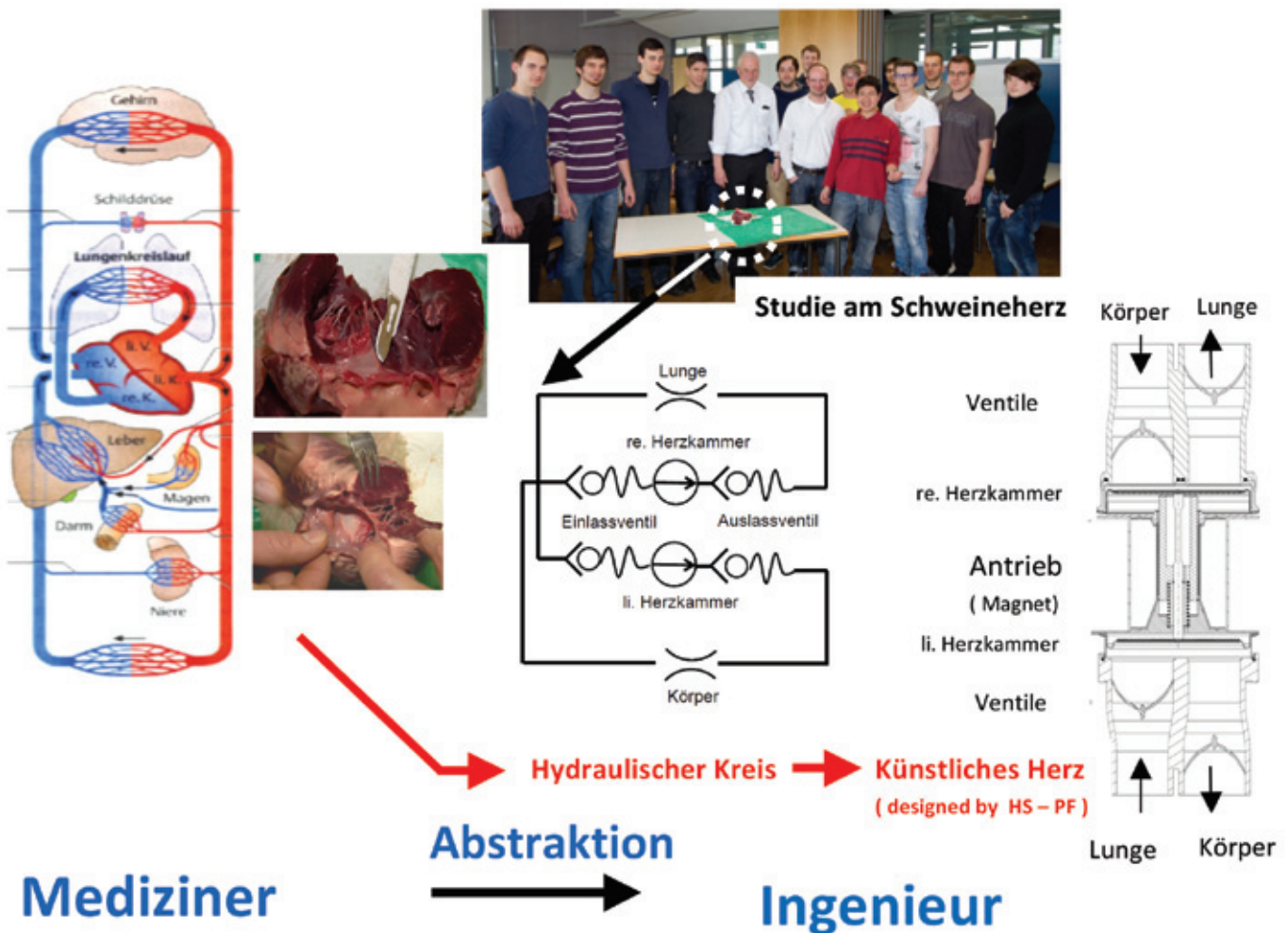
Am Ende des Semesters erstellt jede Gruppe eine abschließende technische Dokumentation von 50 – 100 Seiten; eine exzellente Übung für die nachfolgende Bachelor-Thesis.

Dadurch, dass alle Studierenden einerseits in Gruppen, andererseits die Gruppen wiederum miteinander arbeiten müssen, sind Konflikte natürlich vorprogrammiert. Jeder Teilnehmer findet idealerweise seine Position in diesem Gefüge und lernt, wie er zu handeln hat, um von anderen akzeptiert zu werden. Die Gruppen beginnen sich selbst zu führen und erkennen, dass sie nur etwas erreichen können, wenn sie sich eng mit den anderen Gruppen abstimmen und ihre Aufgaben zeitgerecht und mit hoher Qualität durchführen.

Das Thema sollte interessant, anspruchsvoll und umfangreich sein. Es muss die Studierenden fesseln und an ihre Grenzen bringen. Nur so können sie über sich hinauswachsen und Neues hinzuler-

nen. Im vergangenen Sommersemester bekamen die Studierenden die Aufgabe, ein künstliches Herz zu entwickeln. Zunächst mussten sie die grundlegenden Funktionen von Herz und Blutkreislauf verstehen und als hydraulisches Modell abbilden. Die Studierenden führten eine Patentrecherche durch und analysierten den Stand der Technik. Die Pumpe und die Ventile wurden als die wichtigsten Elemente identifiziert. Beide Elemente, so die Erkenntnis, haben Verbesserungspotenzial, das lediglich von vereinzelt Institutionen verfolgt wird. Andere essentielle Punkte, wie Werkstoffe oder Batterien, werden vielerorts bereits für andere Anwendungen entwickelt. Aus Kapazitätsgründen haben wir diese Punkte nicht weiter vertieft.

Die hydraulische Förderleistung des Herzens ist die zentrale Herausforderung. Das menschliche Herz wiegt gerade 300 – 400 Gramm und kann je nach Belastung 4 bis 20 Liter /Minute fördern. Die bisherigen künstlichen Herzen gehen von der Minimalleistung von 4 Liter/Minute aus und haben aus thermischen Gründen bislang ein Minimalgewicht von 900 bis 1.400 Gramm. Man



erkennt die phänomenale Leistung des menschlichen Herzen und die Herausforderung für die Ingenieure.

Zur Motivation zerlegten wir ein Schweineherz und analysierten die Pumpe und die Saug- und Druckventile. Immer wieder stellte sich die Frage, wieso die Evolution das Problem so gelöst hat. Ein Ingenieur hätte es bestimmt anders gemacht. Muss man sich als Ingenieur an der Natur orientieren oder hat der Ingenieur vielleicht sogar noch bessere Lösungen?

Die erste Gruppe mit 5 Studenten bearbeitete den Pumpenantrieb, die zweite die Pumpe und die dritte sollte das Gesamtsystem weiterverfolgen. Die Gruppen definierten für ihre Komponenten die grundlegenden Funktionen und erstellten einen morphologischen Kasten mit entsprechenden Lösungsansätzen. Wir bewerteten die Lösungsvorschläge und definierten für die Pumpe und den Antrieb jeweils eine überschaubare, weniger risikoreiche und eine stark innovative Lösung.

Da die einzelnen Baugruppen exakt aufeinander abgestimmt sein müssen, kommunizieren die einzelnen Gruppen intensiv miteinander. An diesen Schnittstellen sind natürlich Konflikte vorprogrammiert, mit denen die Studierenden wie in der Berufspraxis umzugehen lernen.

Es folgten die funktionale Auslegung und die konstruktive Detaillierung. Schwerpunkte ergaben sich bei der Auslegung des Elektromagneten, der Hydraulik und dem Festigkeitsnachweis.

Vorteilhaft ist, dass parallel zum Konstruktionsseminar die Professoren Heidrich und Kohmann die Vorlesungen „Elektrische Maschinen“ und „Dimensionierung mit der FEM-Methode“ anbieten. Die Studierenden können das dort erlernte Wissen unmittelbar im Seminar anwenden. Die Kollegen haben ihre Vorlesungen so ausgerichtet, dass die Studierenden sehr schnell die entsprechenden Rechenprogramme bedienen können. Die im Seminar anfallenden Simulationsaufgaben werden als Übungsaufgaben genutzt. Zusammen mit den flankierenden Vorlesungen Fertigungsgerechtes Gestalten, Feinwerktechnik, Bauteiloptimierung und Schadenskunde sind auf diese Weise mehr als 20 ECTS eng miteinander vernetzt.

Die konstruktive Detaillierung konzentriert sich stark auf die Funktionalität, die Herstellbarkeit, die Einstellung und Prüfung, die Tolerierung und die Werkstoffe

mit einer entsprechenden Oberflächenbehandlung oder Beschichtung. Um mit dem Qualitätswerkzeug FMEA vertraut zu werden, erarbeiten wir gemeinsam für eine kleine Baugruppe beispielhaft eine FMEA. Am Ende des Seminars dokumentiert jede Gruppe ihre Ergebnisse in einem technischen Bericht. Eine Präsentation im großen Plenum, auch mit Gästen und Experten, rundet das Konstruktionsseminar ab.

WAS IST NUN INNOVATIV?

Die Studierenden üben im Zeitraffer einen kompletten Entwicklungszyklus mit ganzheitlicher Anwendung von umfangreichem Fachwissen, modernen Entwicklungstools und einer zielführenden Entwicklungsmethodik.

Ein komplexes Thema wird im Team und in Abstimmung mit anderen Gruppen bearbeitet. Intensives Arbeiten mit zahlreichen Schnittstellen erfordert – zur Vermeidung von Doppelarbeit – ein Zeitmanagement mit einem abgestimmten Vorgehen.

Der Studierende übt sich in der zielorientierten technischen Argumentation. Die Sinnhaftigkeit von Vorgaben wird kritisch hinterfragt. Die Seminarteilnehmer erfahren eine intensive Führung durch den Professor auf hohem abstraktem Niveau. Von den Studierenden wird viel Eigeninitiative und Selbstständigkeit eingefordert.

Innovativ ist sicher auch die enge Verzahnung der Kollegen, die ihre Vorlesungen auf das Seminar abstimmen und die im Seminar anfallenden Simulationsaufgaben als Übungsbeispiele verwenden. Die Studierenden sehen die starke Vernetzung der einzelnen Fächer und erleben, wie sich der Kreis gegen Ende des Studiums schließt. Diese enge Verzahnung der Lehrinhalte führt auch dazu, dass sich die Professoren den Studierenden als ein gemeinsames Kompetenzzentrum zeigen.

WAS SIND DIE HERAUSFORDERUNGEN?

Die zur Verfügung stehende Zeit ist sicher ein großes Problem. Ein umfangreiches Thema muss, um die wesentlichen Entwicklungswerkzeuge anwenden zu können, auf das Wichtigste heruntergebrochen werden. Dies bedeutet ein abgestimmtes, paralleles Arbeiten und eine starke Moderation durch den Professor. So kann auch die zeitliche Belastung der Studierenden im Rahmen gehalten werden.

Das Seminar erfordert vom Professor entsprechendes Fach- und Methoden-

wissen, hohe Flexibilität, einen beträchtlichen Zeitaufwand und Führungseigenschaften. Natürlich muss auch darauf geachtet werden, dass die Arbeit zu einem sichtbaren Erfolg führt.

Die Entwicklung und das Feedback der Teilnehmer in den inzwischen 4 Semestern zeigen, dass diese Herausforderungen lösbar sind.

POSITIVE NEBENEFFEKTE

Themen aus der Industrie und damit verbundene Industriekontakte oder aktuelle Themen wecken bei den Studierenden großes Interesse. Dies führt sogar so weit, dass mehrere Studierende das Thema des Konstruktionsseminars im Rahmen einer interdisziplinären Projektarbeit oder einer Bachelor-Thesis weiter bearbeiten.

Seit das Seminar stattfindet und das Curriculum auch ein auf Konstruktion ausgerichtetes Profil hat, zeigen die Absolventen ein verstärktes Interesse an der Konstruktion. Dies ist auch damit zu begründen, dass unsere Studierenden bereits bei der Bachelor-Thesis, die überwiegend in der Industrie angefertigt wird, mit ihrer fachlichen und sozialen Kompetenz überzeugen.

Bei der diesjährigen Fachbereichstagung der Maschinenbaudekane haben wir das in Pforzheim ins Leben gerufene Konzept vorgestellt. Die überaus positive Resonanz hat uns gezeigt, dass wir in Pforzheim etwas Neues geschaffen haben und auf dem richtigen Wege sind, unsere Absolventen optimal für den Arbeitsmarkt zu qualifizieren.

Dr.-Ing. Rupert Zang und
Dr.-Ing. Rainer Häberer
sind Professoren im Studiengang
Maschinenbau.