

Concurrent Engineering - Folgen für die Ausbildung

Dietz, P.

Nach den zahlreichen Schlagworten wie CAD, CAM, CIM in der Produktentwicklung, die im wesentlichen die Anwendung des Rechners als Werkzeug zur Durchführung der Aufgaben in den traditionell gegliederten und gestalteten Abteilungen eines Unternehmens bezeichnen, sind mit Begriffen wie "Concurrent engineering", "Simultaneous engineering" oder dem entsprechenden deutschen Ausdruck "Integrierte Produktentwicklung" Methoden gemeint, die ein Aufbrechen der arbeitsteiligen Unternehmensorganisationen bedeuten können und damit auch Fragen nach einer dem modernen Produktentwicklungsprozeß angepaßten Ingenieurausbildung aufwerfen. Ziel dieses Beitrages ist es daher, die bisherigen traditionellen Strukturen in der Ingenieurausbildung des Maschinenbaus kritisch auf ihre Anwendung in der künftig von der integrierten Produktentwicklung geprägten Arbeitsweise industrieller Unternehmen zu untersuchen und mögliche Änderungsvorschläge zu erarbeiten.

Synonyms such as CAD, CAM and CIM basically describe computers employed like a tool accomplishing tasks during product development in a traditionally divided and structured engineering company. Conceptions like „Concurrent Engineering“, „Simultaneous Engineering“ or the respective German term „Integrierte Produktentwicklung“ denote methods that can break up a company’s current working structure and thus produce the need for an education adapted to modern product development processes. This article aims at critically examining the mechanical engineer’s education in terms of its applicability towards concurrent engineering methods of operation and working out suggestions for possible improvements.

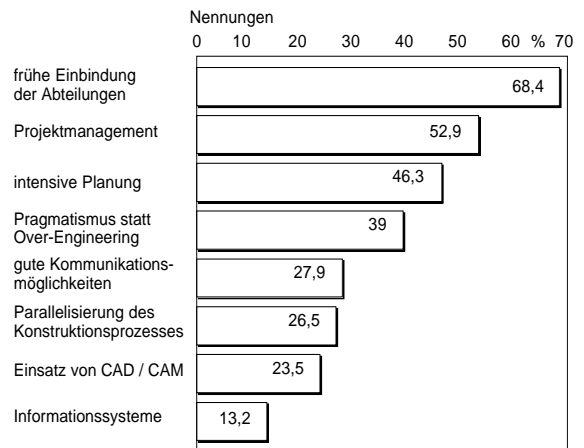


Bild 1: Maßnahmen zur Verkürzung der Produktentwicklungszeit (Ergebnis einer industriellen Befragung 1990 /1/,140 Befragte)

1 Handlungsbedarf für die Umstellung traditioneller Produktentwicklungsprozesse

Die Idee der integrierten Produktentwicklung kann als Anwendung der Koordinationstechnik auf den Ingenieurbereich gesehen werden. Koordinationstechniken sind in vielen Bereichen der Wissenschaften bekannt, ihre spezielle Anwendung in der Produktentwicklung des Maschinenbaus soll es erlauben unterschiedliche Belange während des Entwicklungszy-

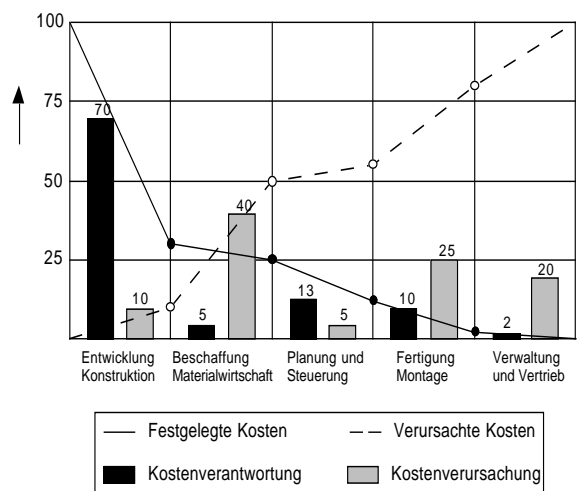


Bild 2: Produktverantwortung und Information nach VDI 2234 /2/

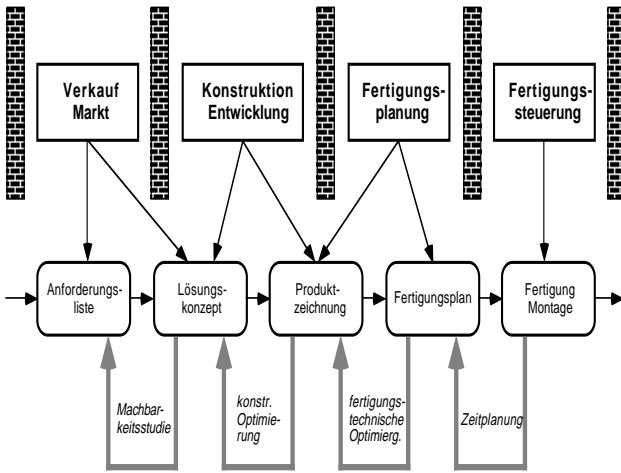


Bild 3: Traditionelle Produktentwicklung: Serielle Anordnung der Entwicklungsschritte und Abtrennung der Verantwortlichkeit

klus eines Produktes gleichzeitig zur Geltung zu bringen und damit eine gleichzeitige Entwicklung von Produkt, Produktionsprozeß und Produktionseinrichtungen zu forcieren. Diese Aufgabe ist nicht nur technisch äußerst komplex und schwierig, hinzu kommen die durch den traditionellen tayloristischen Ansatz der Produktentwicklung entstandenen Aufgaben- und Hierarchiebereiche in den Unternehmen, die sich einer solchen Revolution in der Methodik der Produktentwicklung und dem damit unter Umständen verbundenen Gedanken einer Unternehmensrestrukturierung oft widersetzen.

Dabei wird die Anwendung von Modulen und Methoden der integrierten Produktentwicklung mit dem Ziel der Qualitätserhöhung bei gleichzeitiger Verkürzung der Entwicklungszeit grundsätzlich akzeptiert. Eine 1990 durchgeführte Befragung /1/ zeigt, daß in einer effektiven Planung und Organisation des Entwicklungsprozesses unter Einbeziehung vieler beteiligter Abteilungen große Handlungspotentiale zur Beein-

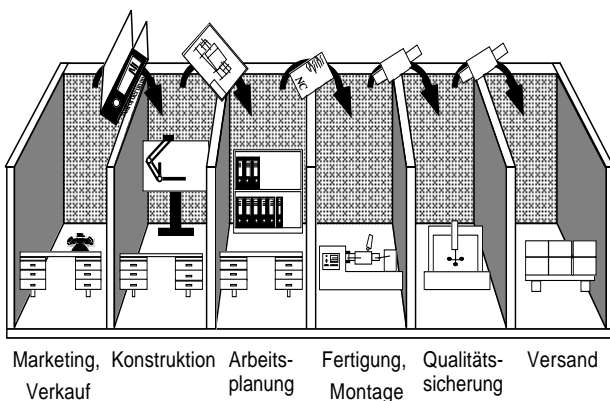


Bild 4: Geistige Mauern zwischen den Abteilungen behindern den Informationsfluß (nach Ehrlenspiel /3/)

flussung des Produkterfolges gesehen werden (**Bild 1**). Diese Aussage ist umso bedeutender, als in der gleichen Befragung die deutschen Unternehmen einstimmig feststellten, daß die "Stellschrauben" zur Beeinflussung des Produkterfolges zu 70 bis 80 % im Entwicklungsbereich liegen. Dies deckt sich auch mit dem auf die Produktkostenverantwortung bezogenen Bild nach VDI 2234 /2/, **Bild 2**, in dem darüber hinaus auch die Diskrepanz zwischen Produktverantwortung und Informationslevel bei der heutigen arbeitsteiligen Produktentwicklung deutlich wird. Die Notwendigkeit zur integrierten Produktentwicklung soll an den Nachteilen der arbeitsteiligen Organisation abgeleitet werden:

Bild 3 zeigt am Ausschnitt aus dem Ablauf einer Produktentwicklung und den zugehörigen Verantwort-

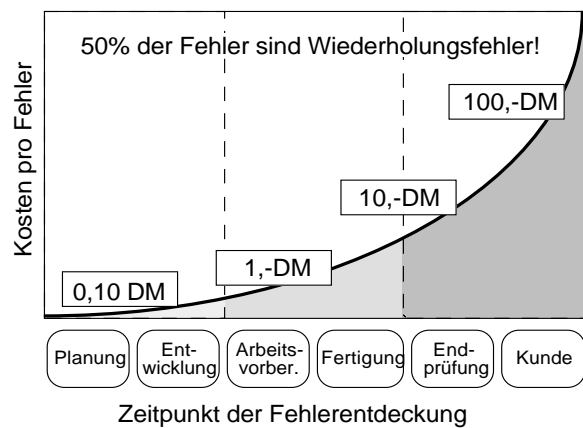


Bild 5: Fehlervermeidungskosten (Zehnerregel)

lichkeiten die serielle Anordnung der einzelnen Entwicklungsschritte, wobei durch die angedeuteten "Mauern" vor allem die zeitliche und organisatorische Trennung der Entwicklung von Produkt und Produktionsprozeß gekennzeichnet ist. Optimierungen finden auf der Basis der Einzelschritte statt, ein Feed Back der nachgelagerten zu den vorgelagerten Aktivitäten wird schon dadurch eingeschränkt, daß eventuelle Iterationen außerordentlich zeit- und kostenaufwendig sind. Diese funktionale Arbeitsteiligkeit und die aus ihr entstandene Firmenorganisation führt nach Ehrlenspiel /3/ zu Informationsbarrieren zwischen den einzelnen Abteilungen, die sich in einer Qualitätsminderung der Produkte und einer Verlängerung der Entwicklungszeit auswirkt bis hin zur Blockierung der Zusammenarbeit durch Abteilungsgeismen, **Bild 4**. Die Folge ist, daß die Erfahrungen der in diesem Produktentwicklungsprozeß nachgeschalteten Abteilungen sich als kostspielige Konstruktionsänderungen auswirken, für die allgemein

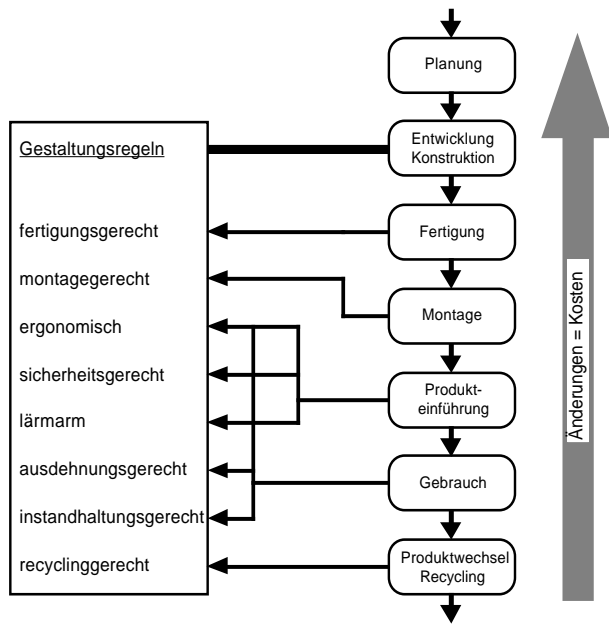


Bild 6: Einfluß der im Produktlebenszyklus der Konstruktion nachgeschalteten Phasen auf die Produktgestaltung

das Gesetz gilt, daß die Änderungskosten exponentiell mit der zeitlichen und organisatorischen Entfernung von der Konstruktion steigen, **Bild 5**. Da bekanntlich keine Produktentwicklung fehlerfrei ist, bringt jede Änderung durch die Konstruktion in der Regel erhöhte Aufwendungen in der Fertigungsplanung und bei der anschließenden Produktion mit sich, was nicht nur die beschriebene Verteuerung bewirkt, sondern auch eine Quelle für neue Fehler darstellt

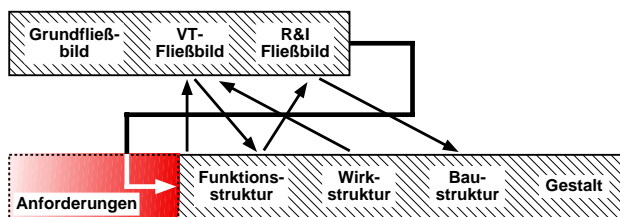


Bild 7: Traditionelle Entwicklung eines verfahrenstechnischen Prozesses

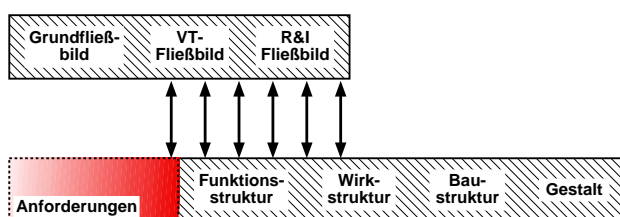


Bild 8: Grundlagen zur Entwicklung eines neuen verfahrenstechnischen Prozesses

.Die Beachtung der Forderungen und Erkenntnisse aus den nachgeschalteten Phasen des Produktlebenszyklus auf die Produktgestaltung ist aber unerlässlich. Schließlich ist die Entwicklung nicht nur für die Erfüllung der Produktfunktion selbst, sondern auch für eine fertigungs-, montage-, gebrauch- und recycling-gerechte Gestaltung des Produktes verantwortlich. In der Konstruktionslehre werden diese Einflüsse oft als "Restriktionen" bezeichnet, wenn man allein die Erfüllung der Funktion in den Vordergrund der Entwicklung stellt. Die Erfüllung dieser Restriktionen wird meist der branchenspezifischen Berufserfahrung des Konstrukteurs zugeschrieben, eine Hilfe bietet die Aufstellung von Gestaltungsregeln nach zusammenfassenden Gesichtspunkten, z.B. nach /4/, wie sie in **Bild 6** schematisch dargestellt sind.

Diese bisher am Beispiel typischer maschinenbaulicher Entwicklungen erläuterten Zusammenhänge gelten im besonderen Maße, wenn es sich um die Entwicklung von Produkten handelt, die die Einbindung mehrerer Fachgebiete erfordert, z.B. die Entwicklung neuer physikalischer Meßgeräte, Produkte der Mechatronik oder verfahrenstechnischer Prozesse. **Bild 7** zeigt am traditionellen Ablauf einer verfahrenstechnischen Prozeßentwicklung, wie aus dem verfahrenstechnischen Fließbild ein Installationsfließbild entsteht, aus dem die Konstruktionselemente ausgewählt werden. Eine maschinenbaulich wie verfahrenstechnisch begründete Weiterentwicklung ist so nicht möglich, da nur bekannte Standardelemente in die Überlegung einbezogen werden können. Dabei läßt sich gerade an diesem Beispiel der verfahrenstechnischen Entwicklung sehr deutlich zeigen, daß ein Concurrent Engineering - in diesem Fall in der Zusammenarbeit von Bereichen der Verfahrenstechnik und des Maschinenbaus, **Bild 8**) - erhebliche Entwicklungspotentiale enthält, da Neuerungen in hohem Maße gekennzeichnet sind durch Entwicklungen aus anderen Fachgebieten /5/.

2 Grundzüge des Concurrent Engineering

Das Konzept der integrierten Produktentwicklung, d.h. die simultane Ingenieur Tätigkeit über alle Phasen eines Abwicklungsprozesses, bedeutet eine Abkehr vom tayloristischen Prinzip hin zu einer koordinierten und sich im Sinne einer effektiven Produktentwicklung gegenseitig beeinflussenden Kommunikation. Obgleich simultaneous engineering immer mit der Anwendung von Kommunikationstechniken in Zusammenhang gebracht wird, handelt es sich nicht um eine

Technologie, sondern um eine Organisationsstrategie in der Projektarbeit.

Unter den grafischen Darstellungen kommt das "Concurrent engineering wheel" /6, 7/ dem Grundgedanken am nächsten - in **Bild 9** ist diese Idee zur Darstellung einer Blume verarbeitet, die ihre "Nährstoffe" aus den Analysen des Produktlebenszyklus bezieht und deren "Frucht" (Produktmodell) von der gleichzeitigen Beeinflussung durch unterschiedliche Kompetenzen - den "Blütenblättern" - geformt wird. Dieses Bild ist grundsätzlich aus denselben Objekten und Verantwortlichkeiten aufgebaut wie die in Bild 3 gezeigte traditionelle Produktentwicklung. Nach wie vor können auch Einzelaktionen einzelner Abteilungen zur Verbesserung des Produktes oder des Produktionsprozesses beitragen. Der entscheidende Unterschied ist aber die Schaffung eines Informationsflusses zwischen den einzelnen Abteilungen während der Entwicklung, alle Objekte der Produktentwicklung können parallel mit verschiedenen Operationen bearbeitet werden. Dies ermöglicht zu einem frühen Zeitpunkt den Austausch von Belangen aus den verschiedenen Blickwinkeln und die Integration unterschiedlicher

Aufgabenstellungen aus den äußeren Einflüssen (Restriktionen) durch einen koordinierten Wissensbeitrag unterschiedlicher beteiligter Abteilungen. Der wichtigste Unterschied gegenüber der traditionellen Entwicklung ist der, daß die Entscheidungsstruktur nicht hierarchisch vorgegeben ist und von dem Ergebnis der sequentiell abgearbeiteten Teilaufgaben bestimmt ist, sondern sich mit dem Fortschreiten der Produktentwicklung selbst erst entwickelt.

Die mit einer solchen neuartigen Entscheidungsstruktur verbundenen Anforderungen an die interaktive Kommunikation und Informationsverarbeitung erfordern rechnergestützte Werkzeuge, die wiederum aus einem konzeptionellen Modell für den simultanen Produktentwicklungsprozeß zu entwickeln sind. Es sei aber noch einmal klargestellt: Der Grundgedanke der rechnerintegrierten Produktentwicklung ist eine gegenüber dem traditionellen hierarchischen Ansatz völlig neue Organisationsstrategie, deren Verwirklichung weit größere Konsequenzen für die Firmenstruktur hat als die Schaffung einer rechnergestützten Entwicklungsumgebung.

Während sich eine Reihe von Veröffentlichungen mit dieser Herausforderung der Wissensverarbeitung und der Schaffung einer rechnergestützten Systemumgebung einschließlich der damit verbundenen Schnittstellenprobleme befassen (z.B. /8-11/), bereitet die praktische Integration der einzelnen Fachleute und ihres Wissens in der industriellen Durchführung noch große Schwierigkeiten und wirft die auch hier näher zu behandelnde Frage auf, ob die heutige Ingenieurausbildung hinreichend auf eine solche Arbeitsweise ausgerichtet ist.

3 Anforderungen an Kompetenz und Verhalten des Konstrukteurs

Die im vorhergehenden Abschnitt und besonders die in Bild 9 gezeigte Vorgehensweise erfordert eine Integration der Aufgaben und Kompetenzen in den gesamten Entwicklungsvorgang. Von der Konzentration aller Tätigkeiten in einer Person ging die technische Entwicklung ursprünglich aus, im handwerklichen Meisterbetrieb ist auch heute noch der Erfolg des Unternehmens maßgeblich

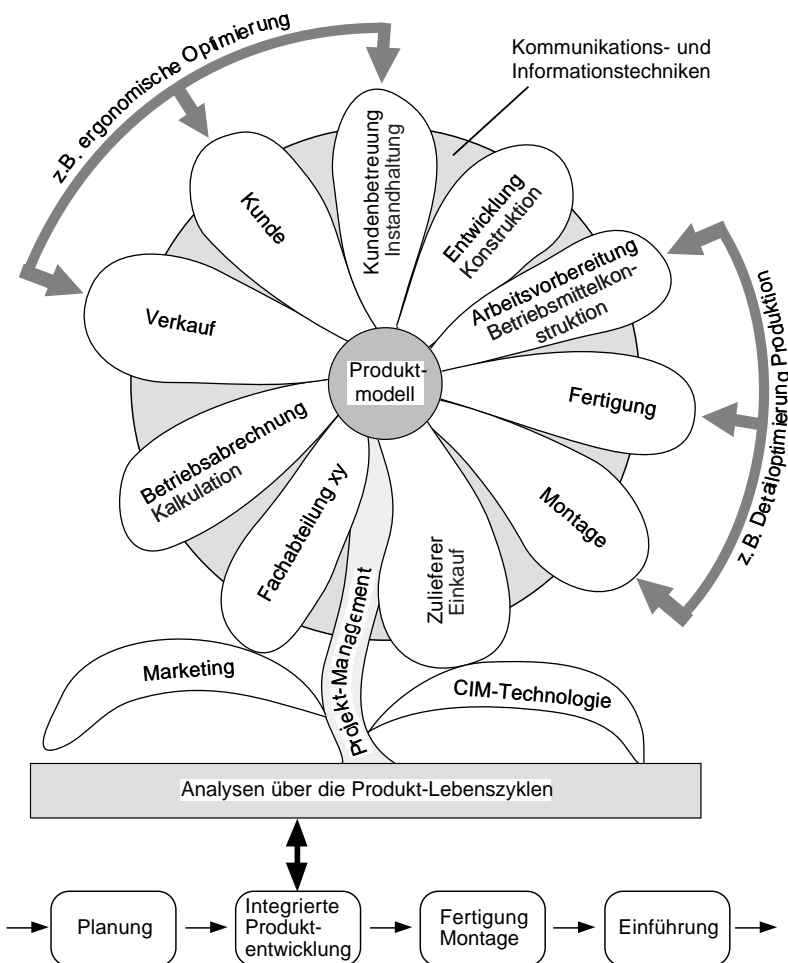


Bild 9: Struktur der integrierten Produktentwicklung

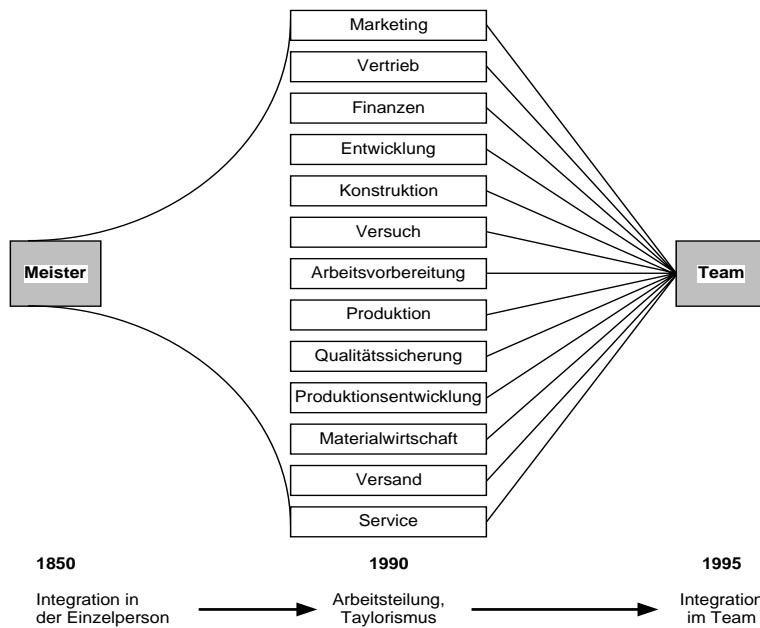


Bild 10: Von der Integration im "All round"-Menschen zur Integration der Spezialisten im Team (nach Ehrlenspiel /12/)

von den umfassenden Fähigkeiten des Einzelnen und seiner Integrationsfähigkeit bei der Lösung schwieriger Aufgaben geprägt. Die zunehmende Komplexität des industriellen Prozesses führte geschichtlich zu Aufgabenteilung und Spezialisierung. Ehrlenspiel /12/ zeigt deutlich, **Bild 10**, daß die Verwirklichung einer integrierten Produktentwicklung unter Ausnutzung des speziellen Fachwissens aller Mitarbeiter nur durch die konsequente Einbindung der Individuen in Entwicklungsteams verwirklicht werden kann.

Der Effekt einer solchen Teambildung liegt in einer enormen Zunahme sowohl der Wissensbreite wie der Wissenstiefe im Team, der Förderung der Kreativität durch gruppenspezifische Effekte und den Einsatz gezielter Methoden wie Brainstorming, der direkten Informationsverbreitung und -verarbeitung in unterschiedlichen Arbeitsbereichen des Unternehmens und nicht zuletzt in einer arbeitspsychologisch sehr wichtigen Anhebung des "Verständnisses für die Arbeit des anderen", **Bild 11**. Arbeitspsychologische Untersuchungen /13/ kommen zur Definition von typischen Rollenverteilungen in solchen Teams, wie sie in **Bild 12** in einer bewertenden Liste aufgeführt sind. Die hierin aufgezeigten Beschreibungen der Verhaltensweisen haben zwar direkt keinen Bezug zu den traditionellen Abteilungs- und Arbeitsstrukturen eines Unternehmens - die meist in erster Linie maßgebend für die Zusammenstellung eines Entwicklungsteams sind - , sie geben aber zumindest einen deutlichen Hinweis darauf, daß die erfolgreiche Teamarbeit nicht

nur durch das Fachwissen der Beteiligten geprägt sind, sondern auch durch deren Verständnis für Gruppenarbeit, durch Entscheidungsverhalten, Kommunikations- und Managementtechniken.

Obleich die Gruppenarbeit im Produktentwicklungsprozeß aus wissenschaftlicher Sicht unterschiedlich beurteilt wird (vgl. z.B. /14/), hat sie sich doch mit der Einführung des Concurrent Engineering in der Industrie als wichtigstes und erfolgreichstes Instrument erwiesen. Damit steht zumindestens fest, daß die Aufgaben und Kompetenzen des den Entwicklungsprozeß leitenden Ingenieurs sich gegenüber dem tayloristischen Arbeitsprozeß komplett geändert haben: Der "Konstrukteur" wird zum "Konstruktionsma-

nager", der "Erfinder" wird zum "Kordinator", der gemeinsam mit seinem Team den Erfolg bestimmt.

Diese neue Betrachtung des Berufsbildes für den verantwortlichen Konstrukteur führt zur Forderung nach mehr Kompetenz in übergreifenden Aufgaben und damit auch zu einer entsprechenden Forderung nach Ausbildung und Wissen in den Bereichen des Managements, der Methoden, der rechnergestützten Hilfsmittel und der gesellschaftlichen Zusammenhänge. Binz /15/ stellt die Forderung nach einer gezielten Aus- und Weiterbildung zur Verbesserung der

- **Fachkompetenz**, z.B. Technologie, Werkstoffkunde, Maschinendynamik, EDV, Fremdsprachen usw.
- **Methodenkompetenz**, z.B. Methodisches Kon-

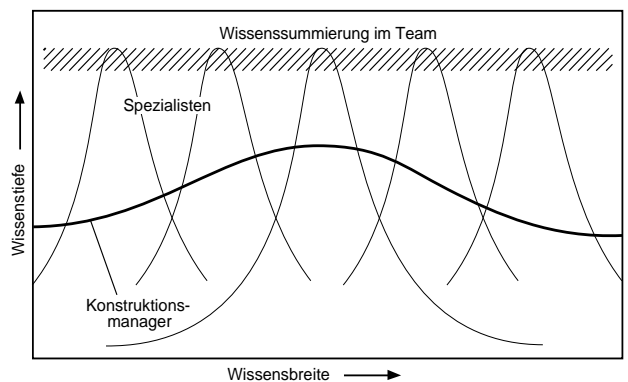


Bild 11: Erweiterung von Wissenstiefe und Wissensbreite durch Teamarbeit

Aufgabe/Rolle im Team	Typische Charakterzüge	Positive Beiträge zum Team	Anmerkungen und Beobachtungen
Angestellter/Planer (praktischer Planer)	konservativ, pflichtbewußt, verläßlich, berechenbar	organisiert, setzt Ideen und Pläne durch harte Arbeit und gesunden Menschenverstand um	könnte unflexibel und langsam auf neue Gelegenheiten reagieren
Vorsitzender (Zielsetzer und Begründer)	mündig/reif, vertrauens-erweckend, selbstsicher, beherrscht	klärt Prioritäten und Ziele, fördert Entscheidungsfreudigkeit, ermutigt alle zur Teilnahme	könnte länger brauchen, um das Potential neuer Konzepte zu erkennen
Gestalter (dynamischer Antreiber)	nervös, ausgelassen, dynamisch	trotz Trägheit, übt Druck aus, findet Wege Hindernisse zu umgehen	könnte ungeduldig werden, wenn nur wenig Fortschritt gemacht wird
Betriebsleiter (bewältigt kreativ Probleme)	individualistisch, phantasievoll, einfallsreich, unkonventionell	produziert originelle Ideen, löst schwierige Probleme	könnte ungeeignet sein, mit anderen gut zu kommunizieren und ein Team zu leiten
Betriebsmittelplaner (verhandelt und beschafft Informationen)	extrovertiert, enthusiastisch, neugierig, kommunikativ	erforscht neue Möglichkeiten, schließt Kontakte und vermittelt	könnte das Interesse verlieren, sobald anfänglicher Enthusiasmus vergangen ist
Beobachter/Bewerter (untersucht Alternativen)	nüchtern, kühl, intelligent, objektiv, vorsichtig	sieht alle Alternativen, analysiert, beurteilt präzise wahrscheinliche Folgen, dickköpfig	könnte ungeeignet sein, Teammitglieder zu motivieren oder zu inspirieren
Team Mitarbeiter (scharfsinniger Zuhörer)	sozial eingestellt, verträglich, anpassungsfähig, scharfsinnig, sensibel	hört zu, baut auf, wendet Streitereien ab, kann mit schwierigen Menschen umgehen, fördert den Teamgeist	könnte in Krisensituationen unentschlossen sein
Endbearbeiter (gewissenhafter Perfektionist)	ordentlich, gewissenhaft, bestrebt	sucht Fehler, Versäumnisse und Dinge die übersehen wurden, konzentriert sich auf Zeitpläne und Ziele und hält andere dazu an, diese einzuhalten	neigt dazu, sich an Kleinigkeiten aufzuhalten, könnte zögernd beim Delegieren von Aufgaben sein
Spezialist (engagierter Profi)	professionell, hingebungs-voll, engagiert	liefert spezielles Wissen oder technisches Können	Beitrag ist auf einen kleinen Bereich beschränkt

Bild 12: Rollenverteilung und Bewertung in einem Entwicklungsteam nach Belbin /13/

struieren, Kostengünstig Konstruieren, Wertanalyse, FMEA, QFD, Controlling, Managementtechniken usw.

- **Sozialen Kompetenz**, z.B. Teamarbeit, Kommunikation, Mitarbeiterführung, Entscheidungsverhalten usw.

Hinzu kommt die unverzichtbare Forderung nach Kompetenz in der Handhabung und Anwendung der meist rechnergestützten Hilfsmittel zur Informationsverarbeitung innerhalb des Unternehmens, die heute noch in den meisten Unternehmen weit schwächer als notwendig (und oft dargestellt) vorhanden ist. In /1/ wird das dem Simultaneous Engineering zugrundeliegende Zusammenspiel von Prozeß, Produkt und Instrumenten in einem zeitorientierten Projektmanagement dargestellt. In Anlehnung an diese Darstellung zeigt **Bild 13** die auf den Konstruktionsmanager zukommenden Anforderungen bezüglich Wissen und Kompetenz für die integrierte Produktentwicklung in einem Team mit Fachspezialisten.

4 Folgen für die Ingenieurausbildung

Der Erwerb des mit dem Concurrent Engineering verbundenen Wissens über Methoden und Hilfsmittel

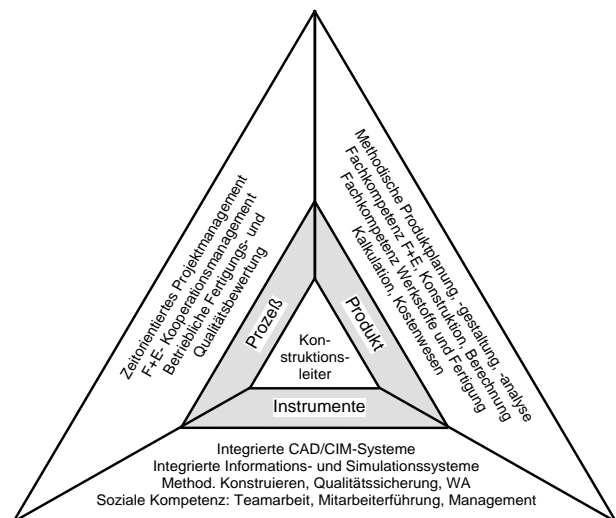


Bild 13: Wissens- und Kompetenzanforderungen an den Konstruktionsleiter zur erfolgreichen Bewältigung von Entwicklungsaufgaben im simultaneous engineering

wird von einer Reihe von Autoren im Bereich der Weiterbildung vorgeschlagen. Diese Vorschläge beruhen nach Ansicht des Verfassers ausschließlich auf den in Deutschland üblichen und durch jahrelange Tradition "festgezimmerten" Strukturen der Ingenieurstudiengänge. Die in **Bild 14** beispielhaft an vier deutschen Universitäts-Studiengängen des Studienganges "Allgemeiner Maschinenbau" ausgewerteten Fächer nach den oben angeführten Kompetenzmerkmalen zeigen, daß

- neben einer naturwissenschaftlich ausgerichteten Grundausbildung die Spezialisierung in technischen Fächern weitaus überwiegt,

- das methodische Wissen nur in sehr wenigen Fächern (z.B. Konstruktionsmethodik, Qualitätswesen, Betriebswirtschaftslehre) vermittelt wird, und daß
- eine Ausbildung der integrativen Kompetenzen wie z.B. Management, Kostenentscheidungen, Sozialkompetenz praktisch nicht vorhanden ist.

Die Auswertung zeigt ferner, daß der Studierende durch die zeitliche Anordnung der einzelnen Fächer ausgehend von einer breiten naturwissenschaftlichen Grundausbildung zum Fachspezialisten für bestimmte Sparten des Maschinenbaus ausgebildet wird. Methodische Fächer sind meist im Hauptstudium angeordnet, die in Seminaren, Fachprakti-

TH Darmstadt	RWTH Aachen	Univ. Hannover	TU Clausthal	
Vordiplom (1. bis 4. Studiensemester)				
Mathematik Technische Mechanik Werkstoffkunde Physik Chemie Elektrotechnik	Mathematik Technische Mechanik Werkstoffkunde Physik Chemie Elektrotechnik Darstellende Geometrie	Mathematik Technische Mechanik Werkstoffkunde Physik Chemie Elektrotechnik Thermodynamik	Mathematik Technische Mechanik Werkstoffkunde Physik Chemie Elektrotechnik Thermodynamik und Wärmeübertragung	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;">Grundlagen</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;">Anwendung</div>
Technisches Zeichnen Maschinenelemente Technol. d. Fertigung	Maschinenzeichnen Maschinenelemente Fertigungstechnik	Maschinenzeichnen Maschinenelemente Produktionstechnik Transporttechnik	Maschinenzeichnen Maschinenelemente Fertigungstechnik	
Einfühhrg. i.d. Recht Volks- oder Betriebswirtschaft	Betriebsorganisation	Nichttechn. Fach		
Hauptdiplom (5. bis 10. Studiensemester)				
1 Studienrichtung Allg.Maschinenbau	16 Studienrichtungen Grundlagen des Maschinenwesens	4 Studienrichtungen Entwicklgs- u. Konstruktions-technik	4 Studienrichtungen Allg. Maschinenbau	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;">Methoden</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;">Grundlagen</div>
Maschinendynamik Regelungstechnik Strömungslehre Werkstoffkunde Ber.3 (Allg. Grundlagen des Maschinenbaus) Programmierkurs	Regelungstechnik Ströml. u. Gasdynamik Festigkeitslehre Wärmeübertragung Num.Mathematik Programmierkurs Gr. 1 (Math., Mech.) Gr. 2 (thermod., Physik, Chemie) Gr. 3 (Meßtechnik, Elektrotechnik)	Meßtechnik Regelungstechnik Angew. Mechanik El. Antriebstechnik Informationstechnik Konstruktionswerkstoffe	Meßtechnik Regelungstechnik Maschinendynamik Mathematik IV Betriebsfestigkeit Reibungstechnik Informationstechnik	
Ber. 1 (Kraft- und Arbeitsmaschinen) Ber. 2 (Produktions- und Verarbeitungsm.) Ber. 4 (weitere Wahlf.)	Wärme-, Kraft- und Arbeitsmaschinen Gr. 4 (Maschinenbau)	Energie- und Verfahrenstechnik Konstruktions- und Sicherheitstechnik Wahlfächer Fertigungstechnik Getriebetechnik weitere Wahlfächer	Kraft-und Arbeitsmaschinen El., mech., hydraul. und pneum. Antriebstechnik Materialflußtechnik Produktionstechnik Digitaltechnik Systemverhalten Schwerpunkt 1 Schwerpunkt 2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;">Anwendung</div>
Wirtschaftswissenschaft Meth. Konstruieren Wahlf. aus Ber. 4	Arbeitswissenschaften Meth.Konstruieren	Betriebsführung und Kostenrechnung Nichttechn.Fach Arbeitswissenschaften	Betriebswirtschaft Meth.Konstruieren Planung von Anlagen Nichttechn. Fach	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 5px; display: inline-block;">Methoden</div>

Bild 14: Auswertung der Lehrveranstaltungen in den Studiengängen des allgemeinen Maschinenbaus an vier Technischen Universitäten nach den Kriterien einer integrierten Produktentwicklung. Stand etwa 1990, die einzelnen Lehrinhalte und -strukturen können in einer solchen Darstellung nur zusammenfassend geschildert werden.

ka und Projektarbeiten erwerbbarer Übung im Umgang mit der Gruppenarbeit ist - wenn überhaupt - erst gegen Ende des Studiums angesiedelt. Im Sinne der oben gestellten Anforderungen ermangelt es innerhalb einer solchen Struktur einer ganz wesentlichen Effizienz: In den ersten zwei bis drei Jahren seines Studiums wird der Studierende zum verbissenen Einzelkämpfer bei der Erlangung von Grundlagen- und Fachwissen, das zudem zumindestens vor dem Vorexamen weitgehend theoretisch und grundlagenbezogen ausgerichtet ist und meist keinen erkennbaren Zusammenhang mit dem von dem Studierenden eigentlich gewählten Beruf des Maschinenbauingenieurs hat. Die Chance, den Studenten bereits zu Beginn in eine integrierte Arbeitsumgebung einzuführen und durch querschnittsbezogene Lehrveranstaltungen mit integrierten und kommunikativen Arbeitstechniken bekanntzumachen, wird vertan. Die Folge davon ist, daß die Absolventen ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge bei der Integration in ein Unternehmen oft einen erheblichen Zeitbedarf haben. Hinzu kommt, daß das in der Hochschulausbildung erworbene Fachwissen weniger als allgemein angenommen zur Anwendung kommt, da die Vielfalt der Ingenieuraufgaben in der Industrie und die rasante Entwicklung des technischen Fortschrittes die Anwendung von Spezialwissen sowohl zeitlich als auch in der Anwendungsbreite begrenzt.

In einem Markt, der immer kompliziertere Produkte in immer kürzerer Zeit fordert, ist die effiziente Zusammenarbeit in Planung, Organisation, Produktion, Vertrieb und Unternehmensführung eine wichtige Voraussetzung. Kooperatives Verhalten in Projektteams und selbständiges Handeln in Abstimmung mit den Zielen des Unternehmens verlangen aber hierzu eine fundierte theoretische Ausbildung und geübte Verhaltensweisen, die bereits im Studium erworben werden sollten. Die logische Forderung nach einer Ingenieurausbildung, die den Anforderungen des Concurrent Engineering genügt, kann aus den oben dargestellten Zusammenhängen nur in einer Umstrukturierung der Studiengänge bestehen, die folgenden Grundsätzen gerecht wird:

- Einbindung von mehr Sozialkompetenz in das Studium. Da gerade die Kommunikationstechniken eine bedeutende Rolle auch bei der Lösung von Entwicklungs- und anderen Ingenieuraufgaben haben, ist eine seminaristische Ausbildung mit anschließender Anwendung bei den Fachveranstaltungen im ersten Abschnitt des Studiums

anzusetzen. **Bild 15** zeigt beispielhaft einige Themenbereiche, die heute meist in Weiterbildungsveranstaltungen angeboten werden, die aber nach Meinung des Verfassers unmittelbar zur Grundausbildung gehören.

Die Arbeit in kleinen Gruppen sollte gefördert werden, wobei z.B. in den Entwurfsarbeiten des Fachs Maschinenelemente Kreativitätstechniken eingesetzt werden können oder eine systematische Auswahl von Lösungen im Team erfolgen kann. Auch die gemeinsame Erstellung von Anforderungslisten in Praktika vertieft diese Arbeitsweise.

- Aufnahme von Lehrveranstaltungen, die den Studierenden in die betriebliche Praxis eines Unternehmens einführen. Gedacht ist hier insbesondere an Themenstellungen, die gemeinsam mit den betriebswirtschaftlichen Grundlagenveranstaltungen einen Eindruck vermitteln über betriebliches Kostenwesen, Controlling, Marketing, Unternehmensorganisation und Projektmanagement. In vielen Hochschulen wird das Grundlagenwissen zur Betriebswirtschaft in weitgehend theoretischen Veranstaltungen gelehrt, die zwar für ein betriebswirtschaftliches Studium notwendig sind, den Studierenden der Ingenieurfächer oft mehr verwirren als ihm in der späteren Berufspraxis helfen.

An der TU Clausthal wurde im Wintersemester 1994/95 in einem Modellversuch eine Vorlesungsveranstaltung mit seminaristischen Übungen zum Thema "Unternehmensorganisation und Controlling" gehalten, die von drei Dozenten aus der betrieblichen Praxis vorgetragen wurde. Die Auswertung dieser Veranstaltung zeigte, daß gerade der enge Kontakt zur betrieblichen Praxis den Studenten den Zugang zu diesem Wissen erheblich erleichterte und eine hohe Effizienz bewirkte.

- Ausgewogenheit von Grundlagen- und Methodenfächern gegenüber den fachspezifischen Fächern. Insbesondere sind die methodischen Vorgehensweisen zu verstärken, wobei sich auch fachgebundene Lehrveranstaltungen wie Konstruktionslehre, Industriebetriebslehre, Qualitätsmanagement usw. eignen, da sie die methodischen Instrumente zur Lösung der Fachaufgaben verwenden.
- Verstärkung von Fächern, die einen Überblick auch über angrenzende Fachgebiete geben und

Themenbereich persönliche Arbeitstechniken Zeitplanung, Lern- und Kreativitätstechniken, Systemdenken, Zielsetzungen, Gliederungs-, Entscheidungs- und Darstellungstechniken, Arbeitsplatzgestaltung
Themenbereich Kommunikation Interpersonelle Kommunikation, Sozial- und Informationsverhalten, Verhalten in Arbeitsgruppen, Projektteams, Selbst-Präsentation, Konfliktbewältigung
Themenbereich Visualisierung und Präsentation Rhetorik für Ingenieure, Medien, technische Hilfsmittel, Mind-Mapping, Aufbau einer Präsentation, Prospekte, Kataloge, Infostand ...
Themenbereich Führen Führungsstile und Formen, Autorität und Charisma, Führungsverantwortung, Hierarchien und Informationsebenen
Themenbereich Beratung und Motivation Problemerkennung, Problemanalyse, Lösungsalternativen, Gesprächstechniken, Nachfaßaktion, Erwartungen und Befürchtungen, Bedürfnisse und Motive, Selbstmotivation, Regelkreis der Motivation

Bild 15: Lehrinhalte zur Sozialkompetenz

damit die effiziente Mitarbeit bei der Lösung komplexer und fachübergreifender Entwicklungsaufgaben fördern. Diese Aufgabe fordert ein hohes Maß an didaktischem Geschick, da schon allein aufgrund der Fächerbegrenzung ein einfaches "Hinzubelegen" aus anderen Fachbereichen nicht möglich ist. Industrielle Fachausschüsse /16/ schlagen zur Erlangung dieser als Systemkompetenz bezeichneten Fähigkeiten die Einführung einer speziellen Lehrveranstaltung "Systemtechnik" vor, die die Integration des in den Fachveranstaltungen gewonnenen Wissens über Elemente, Geräte oder Software in technische Systeme beinhaltet.

- Zeitliche Umstrukturierung der Lehrfächer, die ein ausgewogenes Nebeneinander von theoretischen Grundlagen und Anwendungen ermöglicht. Z.B. kann eine zeitliche Abstimmung des theoretischen Faches "Thermodynamik" mit dem angewandten Fach "Kraft- und Arbeitsmaschinen" dem Studenten die Integration der Theorie in die Maschinengestaltung verdeutlichen und ihn zu vertieftem wissenschaftlichen Arbeiten motivieren. Man könnte sich auch vorstellen, daß eine anspruchsvolle Physik im Hauptstudium angesiedelt wird und die bereits vorgestellten angewandten Fächer wie Mechanik, Thermodynamik oder Elektrizitätslehre theoretisch vertieft.

Eine vor einigen Jahren durchgeführte Abstimmung der Vordiplomfächer "Technische Mechanik", "Physik", "Elektrotechnik", "Thermodyna-

mik", "Programmierkurs" und "Maschinenelemente" an der TU Clausthal führte zu einer wesentlichen Effektivierung der Lehre. Dabei wurden in einer zeitlichen Abstimmung unter den "Zulieferern" und "Abnehmern" einzelner Lehrkapitel gegenseitige Verweise, die direkte Übernahme von Ergebnissen des einen in das andere Fach, abgestimmte Übungen und Praktika bis hin zur Ausarbeitung einer abgestimmten didaktischen Vorgehensweise ausgearbeitet, ohne daß die Eigenständigkeit der jeweiligen Lehrveranstaltung darunter litt.

- Zum Grundlagenwissen gehört eine gegenüber früheren Gepflogenheiten wesentlich verstärkte Ausbildung der Studierenden in den sogenannten C-Techniken. Wesentliches Element der integrierten Produktentwicklung ist die rechnergestützte Kommunikation, die hierfür notwendigen Grundlagen und der Umgang mit den entsprechenden Werkzeugen müssen dem Studierenden so früh wie möglich vertraut gemacht werden. Hierzu gehört neben einem einführenden Programmierkurs im ersten Semester und der praktischen Durchführung konstruktiver Entwürfe mit CAD unter Einbeziehung von rechnergestützten Auslegungs- und Berechnungstechniken eine Grundlagenvorlesung zur Softwareentwicklung, die den Belangen des Ingenieurstudiums gerecht wird. Veranstaltungen im Hauptexamen befassen sich mit der Anwendung der Rechnerstechniken auf Ingenieuraufgaben, z.B. die rechnergestützte Planung und Fertigung, Simulationsverfahren, objektorientierte Programmierung und anderes mehr. Wesentlich dabei ist die zeitabgestimmte Anwendung dieser Werkzeuge in technischen Fächern, um so die integrierten Arbeitsweisen in Praktika, Seminaren usw. zu erproben.
- Fachspezifische Spezialisierungen sollten auf das Ende des Studiums konzentriert werden mit dem Ziel, den Studierenden anhand praxisbezogener Themenstellungen in die Erarbeitung spe-

ziellen Fachwissens einzuführen. Schwerpunkt dieser Fächer ist es grundsätzlich nicht, den Studierenden zu einem bestimmten Fachspezialisten zu erziehen, sondern ihn das wissenschaftliche "Lernen zu lehren". Das an den Hochschulen vorhandene Fachwissen

"an vorderster Front" ist sehr wertvoll, aufgrund des sich ständig ändernden Wissensstandes könnte hier neben der beschriebenen "exemplarischen" Anwendung eine wichtige Aufgabe in der Weiterbildung durch die Hochschulen liegen. Gerade die deutschen Hochschulen mit ihrem eindeutigen Forschungsauftrag sind hierfür besonders prädestiniert.

- Die Anteile des studium generale sollten durch diese Forderungen nicht geschmälert werden, für die persönliche Entwicklung des Studierenden ist dieser Freiraum unbedingt notwendig. Allerdings sollten die "nichttechnischen Fächer" nicht mit allgemeinen Sprachkursen ausgefüllt werden - dies ist nach Auffassung des Verfassers eine Aufgabe der Schulen und der persönlichen Weiterbildung.

Die angestellten Betrachtungen führen nicht nur zu Forderungen nach einem neuen und erweiterten Lehrangebot, sie stellen auch insbesondere im Rahmen der Einhal

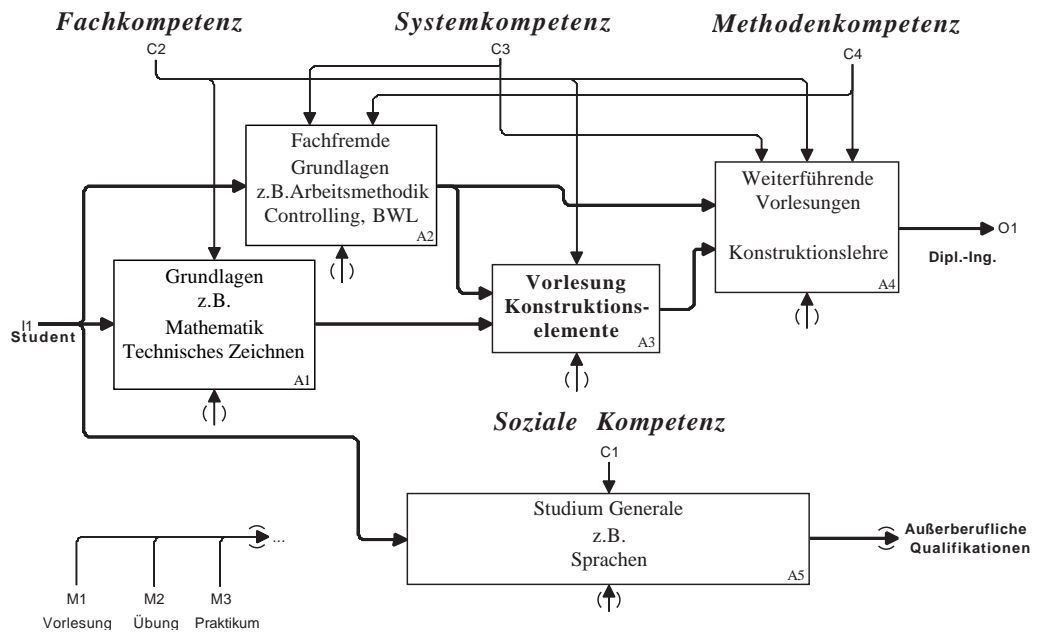
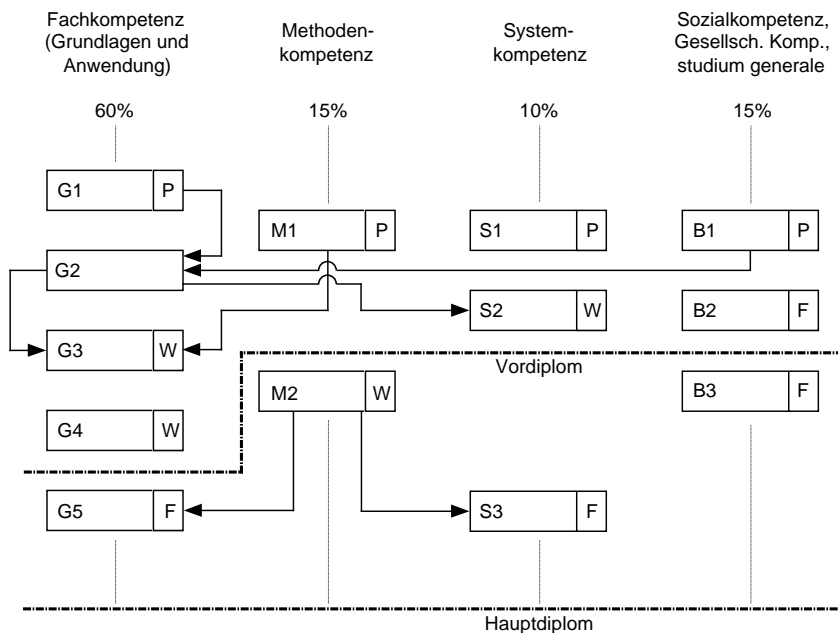


Bild 16: Untersuchung des Informationsumsatzes im Fach Maschinenelemente und dessen Abhängigkeit von Grundlagenvorlesungen mit Hilfe der SADT-Analyse



Inhalte z.B.:

- G1 = Mathematik I
- G2 = Technisches Zeichnen, CAD
- G3 = Konstruktionselemente I
- M1 = Betriebswirtschaftliche Grundlagen I
- S2 = Elektrische Antriebe I
- B1 = Kommunikation und Teamwork

Gewichtung:

- P = Pflichtfach, zeitlich eingeordnet
- W = Wahlfach, Auswahl aus einem begrenzten Katalog von Alternativen
- F = Fakultatives Fach, freie Wahl aus dem Programm der Hochschule oder Fakultät

Bild 17: Struktur eines modular aufgebauten Maschinenbaustudiums unter Berücksichtigung der zu erwerbenden Kompetenzen

tung von Studienregelzeiten erhebliche Ansprüche an eine zeitliche Strukturierung des Studiums. Hier heißt sich das in Deutschland bewährte Humboldt'sche Prinzip des Universitätsstudiums, das dem Individuum die größere Chance der eigenen Entwicklung bei gleichzeitiger Lockerung des Prüfungsdrucks gibt - mit allen Gefahren der Studienzeitverlängerung oder der Ineffizienz im Studium - , mit einem zeitlich gut durchgeplanten, "verschulten" Studium mit nur eingeschränkten eigenen Entfaltungsmöglichkeiten. Da auch unter dem Eindruck europäischer Austauschprogramme Lösungen geschaffen werden müssen, die eine hinreichende Flexibilität in der Wahl einzelner Studienfächer gewährleisten und z.B. der völlig unterschiedlichen Gewichtung einzelner Fächer in unterschiedlichen Universitäten und Ländern gerecht werden, sollte angestrebt werden das Studium nach Modulen aufzubauen und das bisherige Vorexamen im wesentlichen durch eine zeitliche Vorgabe der Prü-

fungen zu erhalten. Dies hätte zwar den Nachteil, daß das Vorexamen der deutschen Technischen Universitäten nicht mehr unbedingt untereinander austauschbar ist, entsprechende Anerkennungsverfahren könnten aber ohne Probleme eine Kompensation schaffen. Schließlich kann die bereits begonnene europaweite Evaluierung zur Definition von Punkten in einem Anerkennungssystem (ECTS-System im ERASMUS-Programm) die notwendige Flexibilität in der Eigengestaltung des Studiums schaffen und damit auch die aus der Geschichte europäischer Universitäten bekannte Möglichkeit, neben dem gewählten Fach auch den akademischen Lehrer zu wählen.

Die Realisierung eines solchen Systems ist grundsätzlich unter Erhaltung der bestehenden Hochschulstrukturen möglich, sie erfordert aber ein erhebliches Maß an interfakultativem Verständnis und Zusammenarbeit bei der Durchleuchtung der Stu-

diengänge und ihrer Umstrukturierung. Methodische Werkzeuge für ein gezieltes Vorgehen sind vorgegeben - **Bild 16** stellt am Beispiel des Informationsumsatzes im Fach "Konstruktionselemente" die Anwendung der SADT-Analyse zur Erarbeitung einer Anordnung von Vorlesungsinhalten in den Grundlagenfächern dar.

Bild 17 zeigt schematisch ein Konzept zur Gestaltung eines universitären Studiums des Maschinenbaus, das den oben genannten Anforderungen näher kommt als der bisherige Aufbau, **Bild 18** gibt einen - subjektiven und unvollständigen - Überblick über Lehrziele zur Erreichung der berufsqualifizierenden Kompetenzen. Wichtig ist dabei eine gewisse Flexibilität in der Wahl der Fächer und ihre Einordnung in die Zeitachse. Die Auflösung in Module und deren großzügigere zeitliche Einordnung könnte sich motivierend auswirken und die Anwendung studienbegleitender Prüfungen zur Erzielung kürzerer Studienzeiten begünstigen. Zwar muß wegen des beschriebenen Abhängigkeitsgerüsts vieler Lehrveranstaltungen eine Grundstruktur mit auch zeitlich vor-

Fachkompetenz

- Naturwissenschaftliche und Angewandte Grundlagen
- Frühzeitige Einbindung von Entwicklungstrends
- Vermittlung neuester Techniken mit neuesten Methoden
- Einbindung des angewandten Grundlagenwissens der Informationsverarbeitung
- Einbindung betriebswirtschaftlicher Grundlagen

Methodenkompetenz

- Methoden zur Marktanalyse und Produktinnovation
- Methoden der Qualitätssicherung
- Methoden zur systematischen Entwicklung von Produkten
- Systematisches Erschließen und Nutzen vorhandenen Fachwissens, systematische Dokumentation von Arbeitsergebnissen
- Methoden des Kostenmanagements
- Ökologische Technikbewertung, Umweltmanagement
- Methoden der Kommunikation in Unternehmen, Struktur und Controlling
- Methoden der Modellbildung, Planung, Simulation und Bewertung komplexer Systeme

Systemkompetenz

- Überblickwissen über angrenzende Fachgebiete, die für die Gestaltung von Systemen wichtig sind
- Fachübergreifendes, systemorientiertes Denken
- Entwickeln interfakultativer Szenarien und Visionen

Sozialkompetenz und gesellschaftsbezogene Qualifikationen

- Projektmanagement, Arbeitstechniken, Durchsetzungsvermögen
- Lernvermögen, Mobilität und Flexibilität
- Sprachkenntnisse, fremde Kulturen und Mentalitäten
- Kommunikation, Teamwork, Präsentation, Moderation, Verkaufstechnik
- Prozeßorientierte Vorgehensweisen unter Zeit- und Kostengesichtspunkten
- Erkennen und Analyse gesellschaftlicher Bedürfnisse, Schnittstellen technischer Problemstellungen zur Gesellschaft

Bild 18: Generelle Forderungen an die Lehre zur Erreichung berufsqualifizierender Kompetenzen

gegebenen Lernzielen bestehen, die Modularisierung begünstigt aber einen der persönlichen Entwicklung des Studierenden angepaßten Abgleich von z.B. theoretischen und angewandten Fächern, methodischen und fachspezifischen Lehrinhalten oder die Kombination einer Studienarbeit mit den hierfür relevanten Lehrveranstaltungen. Sie erleichtert den internationalen Studentenaustausch erheblich und stellt für die einzelnen Hochschulen Möglichkeiten zur Verfügung, ihre Spezifika weiter zu fördern und im internationalen Wettbewerb der Hochschulen anzubieten. Schließlich bildet ein solches System erheblich bessere Grundlagen für die Durchlässigkeit zwischen Fachhochschul- und Universitätsstudiengängen.

Literatur

- /1/ Bullinger, H.-J. und Wasserloos, G.: Reduzierung der Produktentwicklungszeiten durch Simultaneous Engineering. CIM 6/90 Management, S. 4-12
- /2/ VDI 2234: Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1990
- /3/ Ehrlenspiel, K.: Auf dem Weg zur integrierten Produktentwicklung In: Rechnerunterstützte Produktentwicklung, Bad Soden. VDI-Bericht 812, 1990, S. 165 - 179. VDI-Verlag Düsseldorf
- /4/ Pahl, G. und Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer
- /5/ Dietz, P.: Konstruktionssystematische Überlegungen und beanspruchungsgerechtes Gestalten von Maschinen der Verfahrenstechnik. Konstruktion 45 (1993), S. 17-20
- /6/ Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G.: Concurrent Engineering - Contemporary Issues and Modern Design Tools. Chapman & Hall, New York, 1993
- /7/ Albers, A.: Simultaneous Engineering, Projektmanagement und Konstruktionsmethodik - Werkzeuge zur Effizienzsteigerung. VDI-Berichte Nr. 1148, S. 439 - 455. VDI-Verlag Düsseldorf 1994
- /8/ Beitz, W., Lam, A., Ratfisch, U. und Tegel, O.: Eine Systemumgebung zur Unterstützung von Simultaneous Engineering. VDI-Berichte Nr. 1148, S. 439 - 455. VDI-Verlag Düsseldorf 1994
- /9/ Lu, St.: Wissensverarbeitung für Simultaneous Engineering. CIM Management 6/90, S.17 - 30
- /10/ Yang, F.-C. and Wang, M.-T.: An Object-Oriented Feature-Based Computer-Aided Design System for Concurrent Engineering Center for Automation Technology, Chungli, Taiwan
- /11/ Stuffer, R.: Planung und Steuerung der integrierenden Produktentwicklung. Diss. TU München 1993
- /12/ Ehrlenspiel, K.: Produktkosten-Controlling und Simultaneous Engineering. In: Péter Horváth (Hrsg.): Effektives und schlankes Controlling. Schäffer-Poeschel, S. 289 - 308. Stuttgart 1992
- /13/ Belbin, R.M.: Management-Teams - Why They Succeed or Fail. Heinemann. London 1981
- /14/ Dörner, D.: Gruppenverhalten beim Konstruktionsprozeß. In: Entwicklung und Konstruktion im Strukturwandel. VDI Berichte 1120, Seite 27 - 37. VDI-Verlag Düsseldorf 1994
- /15/ Binz, H.: Der Wandel des Berufsbildes "Konstruktionsleiter" - vom Chefkonstrukteur zum Konstruktionsmanager. In: Entwicklung und Konstruktion im Strukturwandel. VDI Berichte 1120, Seite 39 - 50. VDI-Verlag Düsseldorf 1994
- /16/ Holland, M.: Prozeßgerechte Toleranzfestlegung. Bereitstellung von Prozeßgenauigkeitsinformationen für die Konstruktion. Diss. TU Clausthal 1994
- /17/ VDE/ZVDEI: Auswirkungen des Strukturwandels in der Elektroindustrie auf die Ingenieurausbildung. Stellungnahme des Ausschusses Ingenieurausbildung im Verband Deutscher Elektrotechniker e.V. und des Ausschusses Berufsbildung im Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. Frankfurt/Main, Dezember 1994
- /18/ Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. Hanser 1995

Prof. Dr.-Ing. Peter Dietz ist Direktor des Instituts für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal, Robert Koch Str. 32, 38678 Clausthal-Zellerfeld