

Thesen und Empfehlungen zur universitären Ingenieurausbildung¹

(- Stand 04.03.2004 -)

I Einführung

Lebensstandard und Lebensqualität in Deutschland gründen zu einem erheblichen Teil auf moderner Technik, auf ihrer breiten Verfügbarkeit und auf ihrem effizienten Einsatz. **Die künftige Konkurrenzfähigkeit der deutschen Volkswirtschaft im internationalen Wettbewerb kann nur gesichert werden, wenn Deutschland seine derzeitige Stellung bei der innovativen Weiterentwicklung der Technik auf den verschiedenen Arbeitsgebieten beibehält und zielstrebig ausbaut. Der darauf ausgerichteten Ausbildung des technisch-wissenschaftlichen Nachwuchses, seiner frühen Einbindung in zukunftsweisende Forschungsprojekte und dem Transfer der dabei entwickelten neuen Konzepte in die Innovationskette kommt daher eine besondere Bedeutung zu.**

Hauptverantwortlich für die Sicherung der technischen Infrastruktur und die Weiterentwicklung der Technik sind Ingenieure der unterschiedlichen Fachrichtungen. Zu ihren Aufgaben gehört es, in enger Zusammenarbeit mit den Naturwissenschaften, den Wirtschaftswissenschaften und zunehmend auch mit den Gesellschaftswissenschaften neue Erkenntnisse zu erarbeiten und daraus technische Lösungen für Probleme und Anforderungen der Gesellschaft zu entwickeln, sowie diese zu implementieren und zu vermarkten.

Dem Ingenieur kommt daher, neben der Funktion des Fachmanns für ein überschaubares Spezialgebiet, zunehmend die Rolle des Mittlers und Kommunikators zwischen unterschiedlichen Fächern zu, der die Aufgabe hat, sehr unterschiedliche Konzepte und Anforderungen in ein funktionsfähiges Produkt oder einen technischen Prozess zu integrieren. In dieser Funktion sind Ingenieure somit auch wesentliche Treiber und Träger der Veränderungsprozesse in Industrie und Gesellschaft.

Für diese Aufgabe wird ein erhebliches Maß an Wissen, Kreativität, Tatkraft, Kooperationsfähigkeit und Verantwortungsbereitschaft gefordert. An Ingenieuren und Ingenieurinnen mit diesen Fähigkeiten besteht in Deutschland ein zunehmender Mangel, der sich in Zukunft zu einer ernststen Bedrohung der gesamtwirtschaftlichen Leistungsfähigkeit auswachsen kann.

Für diesen Mangel sind verschiedene Gründe maßgebend. Zwar kann von einer generellen Technikfeindlichkeit der Gesellschaft nicht gesprochen werden, denn dem Vorwurf der ungezügelter Nutzung und Ausbeutung der Natur wird gerade in Deutschland mit überzeugenden Konzepten zur Nachhaltigkeit technischer Entwicklungen begegnet. Trotzdem bleibt die öffentliche Einstellung gegenüber den Aufgaben der technisch-wissenschaftlichen Forschung und Entwicklung eher zurückhaltend bis indifferent. Das äußert sich exemplarisch in der schulischen, insbesondere der gymnasialen Ausbildung, in welcher naturwissenschaftliche und technische Fra-

¹ Diskussionspapier für das Präsidium der DFG,
erarbeitet unter der Federführung von Vizepräsident Eigenberger

gestellungen im Vergleich zu anderen Lehrinhalten in der letzten Dekade deutlich an Interesse verloren haben.

Damit zusammen hängt, dass sich in der öffentlichen Wahrnehmung die ursprünglich mit der Entwicklung technischer Produkte und Prozesse verbundene Faszination des innovativen Erforschens und kreativen Gestaltens zunehmend auf andere Bereiche verlagert hat. Beispiele sind die (durchaus nachvollziehbare) Begeisterung für die Lebenswissenschaften bei forschungsbegeisterten Jugendlichen und die Attraktivität von betriebs- und gesellschaftswissenschaftlichen Studiengängen (Betriebs- und Volkswirtschaft, Jura), die das Image des selbständigen, innovativen Gestaltens unternehmerischer, administrativer oder gesellschaftlicher Prozesse vermitteln.

Es wird somit nicht nur darauf ankommen, die Zahl der Studienanfänger im Ingenieurbereich ausreichend hoch zu halten. Vielmehr besteht die Aufgabe darin, mehr von den intelligentesten, kreativsten und leistungsbereitesten jungen Menschen für den Ingenieurberuf zu interessieren. Die Lösung dieser Aufgabe wird stark davon abhängen, ob die gesellschaftliche Notwendigkeit und der intellektuelle Reiz der Gestaltung und Weiterentwicklung technischer Prozesse in der Öffentlichkeit wieder deutlicher gemacht werden kann. Dazu sind Hochschule, Wirtschaft und Politik in gleicher Weise gefordert. Die Hochschulen sind dabei insbesondere mit der Aufgabe konfrontiert, das Ingenieurstudium attraktiv und in seinen unterschiedlichen Ausprägungen verständlich und überschaubar zu gestalten.

Innerhalb der Hochschulen kommt den technisch orientierten Universitäten die Aufgabe zu, Ergebnisse der Grundlagenforschung frühzeitig auf ihre praktische Anwendbarkeit in technischen Produkten und Prozessen zu untersuchen und die Ergebnisse im Erfolgsfall zügig in die wirtschaftliche Innovationskette einzufügen. Die Einbindung in diesen Innovationsprozess ist ein wichtiger Teil der universitären Ausbildung in der zweiten Hälfte des Studiums. Sie steht vor allem im Zentrum der Promotionsausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses, sowohl für eine folgende Industrietätigkeit wie für eine spätere Position als Hochschullehrer.

1. Ingenieurausbildung

Die deutsche Ingenieurausbildung mit ihren unterschiedlichen Ausbildungsprofilen an Berufsakademien, Fachhochschulen und Universitäten ist bewährt und weltweit anerkannt. Trotzdem ist es erforderlich, sie regelmäßig im Hinblick auf die internationale Entwicklung der Hochschullandschaft zu überprüfen und ihre Strukturen und Inhalte an neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Anforderungen der Praxis anzupassen.

Ziel jeder Ingenieurausbildung muss ein hinreichend breites ingenieurwissenschaftliches Fundament mit exemplarischer fachspezifischer Vertiefung sein,

- das zur Entwicklung nachhaltiger technischer Lösungen befähigt und anhält,
- das neben fachwissenschaftlichen Fähigkeiten die Kommunikationsfähigkeit mit den Nachbardisziplinen und den Naturwissenschaften sicherstellt,
- das wirtschaftswissenschaftliches und gesellschaftswissenschaftliches Grundwissen umfasst
- und auf diese Weise eine tragfähige Basis für lebenslanges Lernen bietet.

Die Wichtung dieser Ausbildungsziele wird sich je nach Ausbildungsprofil unterscheiden. Dafür haben sich in Deutschland unterschiedliche Wege an Berufsakademien, Fachhochschulen und an Universitäten etabliert und bewährt.

Berufsakademien verfolgen das Ziel, im Wechsel zwischen methodenorientierter Ausbildung und berufspraktischer Erfahrung eine schnelle Berufsfähigkeit auf einem klar umgrenzten, für die Wirtschaft besonders nachgefragten Gebiet zu erreichen. Die so ausgebildeten Ingenieure müssen die Möglichkeit erhalten, in strukturierten Weiterbildungsangeboten ihre Wissensbasis zu erweitern, wenn sich später ihr Einsatzgebiet oder ihr Anforderungsprofil verändert.

Der von Fachhochschulen angebotene Ausbildungsweg ist ebenfalls anwendungsbezogen ausgerichtet. Er zielt in der Regel auf die sichere Beherrschung klar abgrenzbarer fachlicher Grundlagen und die kompetente Nutzung des aktuellen fachlichen Anwendungswissens in einem der etablierten Ingenieurgebiete ab.

Dem dritten Ausbildungsweg haben sich die Universitäten verschrieben. In ihm soll ein Profil mit einer **breiten theoretischen Basis und exemplarischer fachlicher Vertiefung vermittelt werden, das dazu befähigt, bestehende Erkenntnisgrenzen in Theorie und Anwendung mit neuen methodischen Ansätzen zu erweitern**. Für einen ausgewählten Kreis von Absolventen/innen schließt sich an diesen dritten Weg die wissenschaftliche Weiterqualifikation im Rahmen von Doktorarbeiten an. Nur Universitäten besitzen die dafür notwendige Forschungsinfrastruktur. Aus dem Pool der so Qualifizierten wird, nach entsprechender Bewährung in praktischer und wissenschaftlicher Arbeit, der Hochschullehrernachwuchs in den Ingenieurwissenschaften berufen.

2. Hochschulforschung

Mit der universitären Ausbildung direkt verknüpft und in die wissenschaftliche Qualifikation der Doktoranden eingebunden ist die Aufgabe der Hochschulforschung. Sie hat insbesondere dadurch an Bedeutung gewonnen, dass mit der Neuordnung der industriellen Forschungslandschaft und der Konzentration auf kurz- und mittelfristig relevante Kerngebiete in der Industrie ein deutlicher Rückbau der früher breit angelegten vorwettbewerblichen („exploratorischen“) Forschung stattgefunden hat. Da echter wissenschaftlicher Fortschritt nicht planbar ist, sondern stets auf der nicht durch Vorgaben eingeschränkten Intuition einzelner Forscher beruht, ist eine ausreichende Basis an breit angelegter vorwettbewerblicher Forschung für die Innovationsfähigkeit und die Leistungsfähigkeit jeder Volkswirtschaft von entscheidender Bedeutung.

Durch ihren Rückbau in der Industrie besteht für Deutschland die Gefahr, im internationalen Wettbewerb zurückzufallen, wenn nicht an anderer Stelle Kapazitäten für freie Forschung aus- und aufgebaut werden. Für technisch orientierte Universitäten resultieren daraus sowohl die Chancen wie die Verpflichtung, die entstehenden Lücken zu kompensieren. Daher sind Politik und Wirtschaft in noch stärkerem Maße als früher gefordert, an und in Verbindung mit Universitäten Mittel und Freiräume für thematisch freie Grundlagenforschung bereit zu stellen, sowie Verfahren zu konzipieren und zu etablieren, wie die dort entwickelten Konzepte und Ergebnisse schnell in die industrielle Innovationskette Eingang finden können.

3. Bologna-Prozess

Die Diskussion um die zweckmäßige Gestaltung und Weiterentwicklung der Ingenieurausbildung an wissenschaftlichen Hochschulen hat durch die Bestrebungen zur europaweiten Angleichung und Vereinheitlichung von Ausbildungsstrukturen und Abschlüssen im Rahmen des Bologna-Prozesses² eine besondere Aktualität und Dynamik erhalten. Hier sorgen insbesondere die Randbedingungen bei der Forderung nach Ablösung der im Ingenieurbereich etablierten und bewährten eingliedrigen Diplomstudiengänge durch die zweigliedrige Bachelor/Master-Struktur³ für kontroverse Diskussionen. Allerdings erscheint es im Sinne des oben Gesagten zu kurz gegriffen, wenn sich die Diskussion ausschließlich auf die Strukturierung der Ausbildung fokussiert und die damit direkt verbundene Frage der universitären Forschung ausklammert.

4. Aufgabenverteilung im tertiären Bildungsbereich

Mit der Diskussion zur europaweiten Angleichung und Vereinheitlichung von Ausbildungsstrukturen rückt auch die Aufgabenverteilung und Verzahnung zwischen den unterschiedlichen fachlich-wissenschaftlichen Ausbildungswegen des tertiären Bildungsbereichs an Berufsakademien, Fachhochschulen und Universitäten ins Zentrum des Interesses. Ihre Strukturierung und sinnvolle Weiterentwicklung im Rahmen des Bologna-Prozesses erfordert eine offene und faire Diskussion aller Beteiligten. Das vorliegende Thesenpapier will diese Diskussion begleiten, indem es auf wichtige offene Fragen hinweist und für den universitären Bereich konkrete Lösungsvorschläge entwickelt.

5. Ziel und Inhalt der Stellungnahme

Ziel der Stellungnahme ist es somit, durch konkrete Thesen und Empfehlungen die Diskussion darüber zu initiieren und zu strukturieren, wie die deutschen Lehr- und Forschungsstrukturen im Ingenieurbereich auf die künftigen Anforderungen auszurichten sind, damit Attraktivität und Zukunftsfähigkeit des Ingenieurberufs in Deutschland gesichert werden.

Dazu ist der folgende Hauptteil in vier Abschnitte gegliedert. Wegen seiner entscheidenden Bedeutung für alles Folgende steht die Aufgabe der organisatorischen Strukturierung mit der Diskussion um die Ablösung der klassischen eingliedrigen Diplomstudiengänge durch die zweigliedrige Bachelor/Master-Ausbildung sowie die dabei sinnvolle Aufgabenteilung zwischen Fachhochschulen und Universitäten am Anfang (Teil II). Die hier gemachten Ausführungen zur forschungsorientierten Ausbildung an Universitäten können auch für andere (nichttechnische) Fachgebiete von Interesse sein.

² Im Juni 1999 haben Vertreter des Bundes und der Kultusministerkonferenz die sog. Bologna-Erklärung der europäischen Wissenschaftsminister unterzeichnet, nach der europaweit eine vergleichbare Studienstruktur mit zwei aufeinander folgenden Studienzyklen eingeführt werden soll.

³ KMK-Beschlüsse vom 12.06.2003 (10 Thesen zur Bachelor- und Masterstruktur in Deutschland) und vom 10.10.2003 (Ländergemeinsame Strukturvorgaben gemäß § 9 Abs. 2 HRG für die Akkreditierung von Bachelor- und Masterstudiengängen).

Die drei folgenden Teile konzentrieren sich auf die Aufgaben der Universitäten bei der inhaltlichen Gestaltung und Weiterentwicklung der Lehre (Teil III), der Doktorandenausbildung (Teil IV) und der Sicherung des Hochschullehrernachwuchses (Teil V).

Nur implizit angesprochen wird im Folgenden die Aufgabe, die Ergebnisse einer thematisch freien Grundlagenforschung an den Universitäten schnell und effizient einer volkswirtschaftlichen Nutzung zugänglich zu machen. So wichtig die Lösung dieser Aufgabe ist, so notwendig ist es, zunächst zwischen den Beteiligten prinzipielles Einverständnis über die in den Teilen II bis V angesprochenen Fragen zu erreichen. Die Diskussion einer strukturierten Zusammenarbeit von Hochschulen und Wirtschaft bei der Erarbeitung innovativer Forschungsansätze, bei der zügigen Erprobung ihrer Anwendungsrelevanz und bei ihrer raschen Umsetzung in technische Prozesse und Produkte ist daher einer getrennten Stellungnahme vorbehalten.

II Organisatorische Strukturierung der zukünftigen Ingenieurausbildung

1. Status

Die bisherige mehrgleisige deutsche Ingenieurausbildung an Berufsakademien, an Fachhochschulen und an Universitäten gilt allgemein als bewährt, sie wird durchwegs im Ausland anerkannt und gelegentlich übernommen und ist von den Abnehmern in Wirtschaft und Öffentlichkeit akzeptiert. Gleichwohl stehen ihre Effizienz, die mit der Ausbildung verbundenen Kosten und die mit der Mehrgleisigkeit verbundene Aufgabenzuweisung in der öffentlichen Diskussion. Das gilt aktuell umso mehr, als sich die Politik im Hinblick auf die Schaffung eines gemeinsamen europäischen Hochschulraums in der Bologna-Erklärung auf die europaweite Angleichung der wissenschaftlichen Ausbildungsstrukturen und die generelle Einführung des aus zwei Studienzyklen bestehenden Bachelor-Master-Systems geeinigt hat.

1.1 Ausbildungsprofile

Weitgehende Übereinstimmung besteht in Deutschland darin, dass in der Ingenieurausbildung unterschiedliche Anforderungsprofile der Abnehmer erfüllt und dabei unterschiedliche Begabungs- und Neigungsprofile der Studierenden berücksichtigt werden müssen. Dabei werden – bei allen fachspezifischen Besonderheiten – zwei Ausbildungsprofile klar voneinander unterschieden:

- (1)** Ein Profil mit stärker anwendungsbezogener Spezialisierung zielt auf eine sichere Beherrschung klar abgrenzbarer fachlicher Grundlagen und die kompetente Nutzung eines aktuellen fachspezifischen Anwendungswissens in den etablierten Erkenntnisgrenzen ab. Die Vermittlung dieses Wissens erfolgt zweckmäßig in klassenähnlichen Verbänden mit limitierter Teilnehmerzahl und einer entsprechend engen Betreuung und Führung bei der gezielt ausgewählten Stoffvermittlung. Traditionell entspricht das erste Ausbildungsprofil dem Anspruch und der Ausbildungsstruktur an Fachhochschulen und – mit noch stärkerer Integration berufspraktischer Erfahrungen – an Berufsakademien. Sein Vorteil ist die zügige, zielgerichtete Vermittlung einer vollen Berufsfähigkeit auf einem konkreten Arbeitsgebiet.
- (2)** Ein Profil mit einer breiten theoretischen Basis und exemplarischer fachlicher Vertiefung soll dazu befähigen, bestehende Erkenntnisgrenzen in Theorie und Anwendung mit neuen methodischen Ansätzen zu erweitern. Das setzt die frühzeitige Konfrontation mit offenen Fragestellungen und die Einbindung in innovative Forschungsprojekte voraus. Daher wird sich die Stoffvermittlung nicht nur auf klar umgrenzte Stoffgebiete beschränken können, sondern in höherem Maße Eigenverantwortung, selbständige Strukturierung und Selbstkontrolle bei der Aufnahme und Verarbeitung des Lehrstoffs erfordern. Das zweite Ausbildungsprofil entspricht den Zielen der universitären Ausbildung. Sein Vorteil ist die Vermittlung breiter ingenieurwissenschaftlicher Grundlagen als Basis für sehr unterschiedliche fachliche Spezialisierungen und eine zügige fachliche Neuorientierung.

Beide Ausbildungsprofile werden sowohl von der Wirtschaft wie von den Studierenden stark nachgefragt, wobei je nach späterem Aufgabenbereich das eine oder das

andere Ausbildungsprofil einen adäquateren Berufsstart ermöglicht. Daher ist die Charakterisierung beider Profile als *unterschiedlich aber gleichwertig* nachdrücklich zu unterstützen.

Bei aller Betonung der Gleichwertigkeit ist allerdings auch die deutliche Artikulation der Unterschiede notwendig, um bei Studierenden Frustration, Studienabbruch oder zeitraubende Umwege in der Ausbildung und bei Arbeitgebern Fehlbesetzungen zu vermeiden. Hier wurden in der Tat in der Vergangenheit Fehler gemacht, indem der Zugang zum Fachhochschulstudium kapazitätsbedingt beschränkt wurde, während er für ein Universitätsstudium in vielen technischen Fächern offen blieb. Daher lag die Quote der Studienabbrecher im Ingenieurbereich an Universitäten im Mittel deutlich höher als an Fachhochschulen⁴.

Allerdings muss festgehalten werden, dass sich die **Eignung** von Studienanfängern für den einen oder den anderen Ausbildungsweg nicht immer eindeutig feststellen lässt. Die **Neigung** dazu hängt von zahlreichen Einflüssen ab und kann sich während des Studiums erfahrungsgemäß deutlich verändern. Einigkeit besteht darin, dass die spätere berufliche Tätigkeit künftig noch öfter als bisher einen Wechsel in der fachlichen Spezialisierung und in der organisatorischen Zuständigkeit erfordern wird. Daher spricht alles dafür, die mit dem jeweiligen Ausbildungsprofil verknüpfte Qualifikation nicht als abschließend, sondern als für Neues offen anzulegen und deshalb zwischen den beiden Ausbildungsprofilen Durchlässigkeit und Anschlussfähigkeit zu fordern. Darauf wird in den Abschnitten 2.4 und 2.5 näher eingegangen.

Nur Universitäten besitzen bisher die für eine Weiterentwicklung der Ingenieurwissenschaften notwendige Forschungsinfrastruktur. Sie ist die Voraussetzung für eine forschungsorientierte Ausgestaltung des Ausbildungsprofils (2), insbesondere in ihrer Fortsetzung bei der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Rahmen von Promotionsarbeiten. Promotionsarbeiten bilden gleichzeitig (mehr als in anderen Wissenschaftsbereichen mit ausgeprägter Postdoc-Kultur) die zentrale Basis bei der Weiterentwicklung der Ingenieurwissenschaften. **Daher darf das Ausbildungsprofil (2) nicht nur auf die Aufgabe der reinen Stoffvermittlung reduziert werden, sondern ist stets auch in Verbindung mit dem Forschungsauftrag der Universitäten und den dafür zur Verfügung gestellten Ressourcen zu sehen.**

1.2 Systemvergleich: Diplom – Bachelor/Master

Das duale Hochschulsystem in Deutschland mit Berufsakademien, Fachhochschulen und Universitäten bietet bisher **einzigige** Studiengänge mit einem Diplomabschluss an, die auf die jeweiligen Ausbildungsprofile (1) und (2) gemäß Abschn. 1.1 zugeschnitten sind. Eingangsvoraussetzung ist die jeweilige Hochschulreife, die für Universitäten durch den Abiturabschluss gegeben ist.

Demgegenüber erfolgt im **zweizügigen** anglo-amerikanischen System zunächst der Übergang von der (im Vergleich zur gymnasialen Oberstufe verkürzten) High School auf das College. Dort erhalten alle Studierende eine auf die notwendigen Grundlagen und eine erste Berufsfähigkeit ausgerichtete drei- bis vierjährige Bachelor-Ausbildung. Dabei zielt der Bachelor-Abschluss auf eine dem deutschen anwendungsbezogenen Ausbildungsprofil (1) vergleichbare Qualifikation. Nur für diejeni-

⁴ Die von HIS veröffentlichten Schwundquoten, gemittelt über den gesamten Ingenieurbereich, liegen bei 37% für Universitäten und 17% bei Fachhochschulen.

gen, die dafür geeignet und daran interessiert sind, wird eine wissenschaftliche Vertiefung in einem Graduiertenstudium mit Master-Abschluss oder Promotion angeboten.

Die Aussicht, einen Großteil der Ingenieurabsolventen an Fachhochschulen und Universitäten künftig nach einer kompakten und daher notwendigerweise kostengünstigeren Bachelor-Ausbildung in den Beruf zu entlassen, ist daher insbesondere in der Politik auf großes Interesse gestoßen.

Allerdings gibt es gegen die generelle Einführung des Bachelor/Master-Systems in der deutschen Ingenieurausbildung auch erhebliche, sachlich begründete Vorbehalte. Dabei konzentriert sich die Kritik im Wesentlichen auf drei Punkte. Zum einen bestehen erhebliche Zweifel, ob im Ingenieurbereich mit einer 6- bis 7-semesterigen Ausbildung eine mit dem Bisherigen vergleichbare Berufsqualifizierung erreichbar ist.

Der zweite Kritikpunkt bezieht sich auf die Implementierung des universitären Ausbildungsprofils (2). Wegen der anwendungsorientierten Berufsqualifikation des Bachelor-Abschlusses wird im englisch/nordamerikanischen Bachelor/Master-System die Vermittlung vertiefter fachlich-wissenschaftlicher Grundlagen zum großen Teil auf die Masterphase verlagert. Demgegenüber erlauben es die bisherigen einzügigen Diplomstudiengänge an Universitäten, zunächst eine breite Basis an wissenschaftlichen Grundlagen zu legen und diese anschließend exemplarisch zu vertiefen. Der Vorteil eines so aufgebauten einzügigen Curriculums für eine stärker wissenschaftlich orientierte Ingenieurausbildung wird mittlerweile auch in Ländern mit traditionell zweizügiger Bachelor/Master-Ausbildung gesehen. So wird auch in den führenden technisch orientierten Universitäten der USA die Einführung einzügiger Master-Programme intensiv diskutiert⁵. In England und an den IITs (Indian Institutes of Technology) sind entsprechende einzügige Masterprogramme mit dem Abschluss „Master of (Engineering-) Science“ bereits fest etabliert oder im Aufbau⁶. Auch in anderen europäischen Ländern wird intensiv nach Wegen gesucht, das universitäre Grundstudium mit einer soliden und breiten wissenschaftlich fundierten Grundlagenorientierung beizubehalten.

Der dritte Kritikpunkt folgt aus der Tatsache, dass Art und Qualität der Lehrinhalte ausländischer Bachelor/Master-Studiengängen bereits häufig innerhalb eines Landes und erst recht zwischen verschiedenen Ländern so unterschiedlich sind, dass keinesfalls von international einheitlichen Standards gesprochen werden kann. Damit unterscheidet sich die internationale Situation der Ingenieurausbildung deutlich von der in Deutschland. Hier konnte bisher *in den etablierten Ingenieurfächern* sowohl an Fachhochschulen wie an Universitäten durch jeweils von den Fachbereichs- bzw. den Fakultätentagen erstellte und regelmäßig aktualisierte Rahmenpläne ein weitgehend vergleichbarer Ausbildungsstandard in den wissenschaftlich-technischen Grundlagen der Ingenieurausbildung sichergestellt werden. **Es wäre ein Schritt in die falsche Richtung, wenn die auf diese Weise in Deutschland erreichte, vergleichbar hohe Qualität bei der Vermittlung der ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen zu Gunsten einer (nur schwer zu definierenden) Profilierung einzelner Hochschulen geopfert würde.**

Im Unterschied zu dem zweizügigen Bachelor/Master-System leidet allerdings das einzügige deutsche Ausbildungssystem darunter, dass es zwischen den Ausbil-

⁵ „Time to think about a Master’s of Engineering“, James M. Tien, IEEE Vice President Educational Activities, IEEE Vol. 27, June 20003 (www.theinstitute.ieee.org/pdfs/tijun03.pdf).

⁶ Siehe <http://www.iitb.ac.in:8080/examples/acad/ddrules.html> und andere indische IITs.

dungsprofilen (1) und (2) keine wohl definierten Übergänge und Übergangshilfen gibt. Sie wären notwendig, um Studierenden, die ihre Eignung falsch eingeschätzt haben, den Übergang in das andere System zu erleichtern. Dies könnte sowohl zu einer Reduzierung der Ausbildungszeiten für Hochschulwechsler wie der Abbrecherquoten im Universitätsstudium beitragen.

Dass die eingliedrige deutsche Ingenieurausbildung mit Diplomabschluss durch ein zweigliedriges Bachelor/Master-System ersetzt werden soll, ist politisch entschieden⁷. Diese Entscheidung war zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Hochschulraums notwendig und liegt auch im Interesse der europa- und weltweit vernetzten deutschen Industrie. Allerdings ist es essenziell, dass dabei die bestehenden Stärken und Vorteile der deutschen Ingenieurausbildungsprofile nicht aufs Spiel gesetzt werden. **Daher setzt eine Übernahme des Bachelor/Master-Systems voraus, dass sich darin sowohl die bisherige Qualität wie auch die Qualifikationsunterschiede der deutschen Ingenieurausbildung an Universitäten, Fachhochschulen und Berufsakademien abbilden lassen.** Dies wiederum bedeutet, dass sich die betroffenen Hochschullehrer gemeinsam mit Wirtschaft und Politik am Prozess der Gestaltung des europäischen Forschungsraums aktiv beteiligen müssen. Dabei bietet es sich an, den Impuls des Bologna-Prozesses auch zu einer inhaltlichen Überarbeitung und zu einer strukturellen Anpassung der deutschen Ausbildungs- und Forschungsstrukturen im Ingenieurbereich zu nutzen.

Die nachfolgenden Überlegungen konzentrieren sich auf diese Aufgabe. Sie muss die Wahrung und die zukunftsichere Weiterentwicklung einer exzellenten, von vielen Hochschulen getragenen (und nicht nur auf wenige Centers of Excellence konzentrierten) Ingenieurausbildung und –forschung zum Ziel haben, die den erwarteten Bedarf an Absolventen der beiden Ausbildungsprofile (1) und (2) deckt. Sie wird damit auch den Anforderungen und Erwartungen einer europäisch und weltweit vernetzten deutschen Wirtschaft entsprechen und gleichzeitig die europäische Ausrichtung der deutschen Bildungs- und Forschungspolitik stützen.

Für die dafür notwendige Diskussion sollen im Folgenden einige zentrale Fragen, Argumente und Thesen formuliert werden. Sie sind aus universitärer Sicht formuliert, aber von dem Bemühen getragen, für alle Ausbildungswege akzeptable Bedingungen zu gewährleisten.

2. Modifiziertes Bachelor/Master-System in Deutschland

Gemäß dem vorher Gesagten muss es das Ziel bei einer Angleichung der europäischen Ausbildungsstrukturen im Ingenieurbereich sein,

- die Qualität der deutschen Ingenieurausbildung beizubehalten und im Veränderungsprozess zu stärken,
- dabei die unterschiedlichen Anforderungsprofile der Studierenden und der Wirtschaft zu bedienen und die Unterschiede im Ausbildungsangebot klar und deutlich in der Öffentlichkeit zu artikulieren,
- zwischen den unterschiedlichen Ausbildungswegen Übergänge vorzusehen und dafür Beratungsangebote und Eingliederungshilfen zu schaffen und

⁷ KMK-Beschluss vom 24.10.1997 (Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit des Studienstandortes Deutschland).

- den Veränderungsimpuls zu nutzen, um dort Änderungen in der Ausbildungsstruktur und den Ausbildungsinhalten vorzunehmen, wo sie sachlich notwendig oder wünschenswert sind.

Aus Gründen der oben geforderten Transparenz sollten sich die unterschiedlichen Ausbildungsprofile auch in den vergebenen Abschlussgraden widerspiegeln. Dazu bieten sich die Bezeichnungen *Bachelor/Master of Engineering* und *Bachelor/Master of Science* an.

2.1 Bachelor und Master of Engineering an Fachhochschulen und Berufsakademien

In der anglo-amerikanischen Ausrichtung entspricht das Bachelor-Studium mit seinem Ziel, für eine Berufsfähigkeit ausreichende, anwendungsbezogene Grundlagen und Fähigkeiten zu vermitteln, dem Bildungsauftrag von Fachhochschulen und Berufsakademien. An diesen Hochschulen wird das Bachelor-Studium daher neben der Vermittlung einer ausreichenden Wissensbasis stärker auf die Vermittlung berufsqualifizierender Fähigkeiten ausgerichtet sein.

Dazu kann es sich anbieten, neben den etablierten Ingenieurstudiengängen vermehrt auch auf aktuelle Anforderungsprofile der Wirtschaft ausgerichtete spezielle Ausbildungsangebote vorzusehen⁸. Allerdings sollte auch hier der (kurzfristige) Vorteil einer schnellen Berufsfähigkeit in einem konkreten Aufgabenbereich sorgfältig gegenüber dem (langfristigen) Vorteil einer breiteren, für viele unterschiedliche Anwendungen offenen Ausbildung abgewogen werden.

Zur Verbreiterung und Vertiefung der fachlichen Grundlagen kann sich an Fachhochschulen ein Master-Studium anschließen. Dabei sollte der Zugang zum Master-Studium gemäß den Vorgaben der KMK⁹ von einer besonderen Qualifikation abhängig gemacht werden.

2.3 Bachelor und Master of Science an Universitäten

Im Hinblick auf eigene und ausländische Erfahrungen sollte das Bachelor-Studium an Universitäten – so wie bisher das universitäre Grundstudium – auf die Vermittlung einer **breiten methodischen Basis und auf die wissenschaftliche Fundierung allgemeiner Ingenieurgrundlagen** konzentriert werden. Damit wird auch der in anderen europäischen Ländern gesehene Forderung Rechnung getragen, neben dem auf die Vermittlung von anwendungsrelevanten Fähigkeiten ausgerichteten „Bachelor of Engineering“ einen „Bachelor of Science“ anzubieten.

Im Vergleich mit dem bisherigen universitären Grundstudium bis zum Vordiplom bietet ein solches 6- bis 7-semesterige Bachelor-Studium **eine Reihe von zusätzlichen Vorteilen:**

- Es ermöglicht eine umfangreiche und abgeschlossene Grundausbildung im Ingenieurbereich, die deutlich über das bisherige Vordiplom hinausgeht. Sie umfasst alle wesentlichen wissenschaftlichen Grundlagen, vermittelt jedoch

⁸ „Empfehlungen zum Ausbau der Fachhochschulen“: Wissenschaftsrat, Januar 2002 (S. 81 ff).

⁹ KMK-Beschlüsse vom 12.6. und 10.10.2003

nur eingeschränkt die Fähigkeit zu ihrer selbständigen Anwendung in konkreten Arbeitsgebieten.

- Es bietet damit eine hervorragende Basis für eine, sich in der Regel direkt anschließende Spezialisierung und exemplarische Vertiefung in einem „konsekutiven“ Master-Studium.
- Es bietet zugleich eine abgeschlossene Basis für eine anschließende oder spätere Weiterqualifikation in einem Ergänzungs- oder Zweitstudium mit anders gelagertem, z. Bsp. nichttechnischem Schwerpunkt (Patentanwalt, Master of Business Administration, ...)

Es bietet **auch** die Möglichkeit, mit der erworbenen abgeschlossenen Grundausbildung eine berufliche Tätigkeit aufzunehmen und die Weiterqualifikation in einem Master-Studium ggf. zu einem späteren Zeitpunkt fortzusetzen. Wegen der eingeschränkten Anwendungserfahrung erfordert ein solcher Berufseinstieg allerdings eine umfangreichere Einarbeitungsphase als mit dem bisherigen Diplomabschluss. Dafür müssen von der Wirtschaft bei Bedarf entsprechende Eingliederungshilfen entwickelt werden.

Das so konzipierte Bachelor of Science-Studium vermittelt somit eine *vollständige ingenieurwissenschaftliche Grundausbildung*. Wie bisher im universitären Vordiplom liegt die entscheidende fachliche Hürde bei der Meisterung der anspruchsvollen wissenschaftlichen Grundlagen in den ersten Studiensemestern. Der Bachelor of Science-Abschluss kann damit nicht die Funktion eines zertifizierten Ausstiegs für solche Studierende übernehmen, die für die Anforderungen eines weiterführenden Studiums nicht hinreichend qualifiziert sind. Er ist vielmehr die direkte fachliche Eingangsvoraussetzung für ein sich anschließendes „konsekutives“ Master of Science-Studium. Daher sind „weitere besondere Zulassungsvoraussetzungen“¹⁰ für die Aufnahme des Master-Studiums in diesem Fall fachlich nicht begründbar. In allen anderen Fällen („Quereinstieg“) sind allerdings entsprechende Qualifikationsnachweise zu fordern.

Studien- und Diplomarbeiten sowie Industriepraktika sind bisher integrale Elemente aller deutschen universitären Ausbildungsgänge im Ingenieurbereich. In den Studien- und Diplomarbeiten werden technisch-wissenschaftliche Problemstellungen weitgehend selbständig bearbeitet. Es bietet sich an, diese bewährten Elemente dadurch in das universitäre Bachelor/Master-System zu übernehmen, dass eine Bachelor-Abschlussarbeit, z. Bsp. im 7ten Studiensemester an die Stelle der Studienarbeit und die Master-Arbeit im 10ten Studiensemester an die Stelle der Diplomarbeit tritt. Das durchgängig konzipierte universitäre Bachelor/Master-Curriculum bestünde dann gemäß Abb. 1 (unten) aus dem 5- oder 6-semesterigen Bachelor-Studium mit der Bachelor-Arbeit im 6ten oder 7ten Semester und der sich anschließenden Vertiefung im Master-Studium mit der Master-Abschlussarbeit im 10ten Semester. Es wäre damit genauso lang, wie das bisherige 9-semesterige Diplomstudium (Abb. 1, links), wenn man das in den meisten Ingenieurfächern geforderte ca. 26-wöchige industrielle Praktikum einrechnet.

¹⁰ „10 Thesen zur Bachelor- und Masterstruktur in Deutschland“, KMK-Beschluss vom 12.6.2003

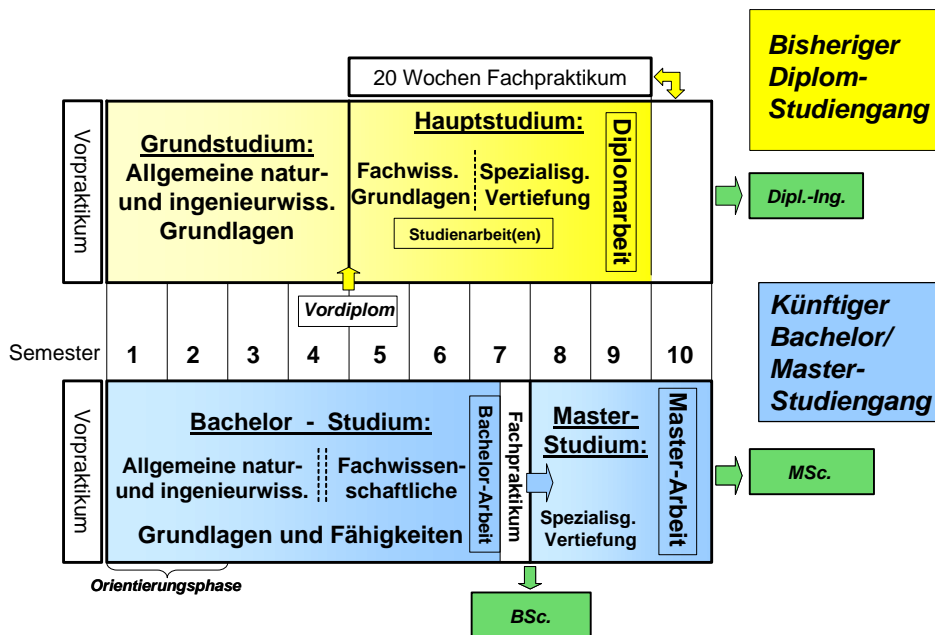


Abb. 1: Bisheriger universitärer Diplomstudiengang (oben) und Beispielschema eines künftigen konsekutiven Bachelor-Master-Studiengangs (unten)

Im Industriepraktikum soll der Bezug des Erlernten zur späteren praktischen Arbeit hergestellt werden. Ein erster Teil von 6 bis 8 Wochen Dauer sollte wie bisher vor Beginn des Studiums absolviert werden. In dafür geeigneten Studienrichtungen könnte der während des Studiums zu absolvierende zweite Teil („Fachpraktikum“) so mit der Bachelor-Arbeit verbunden werden, dass z. Bsp. im 7ten Semester ein industrie-relevantes Forschungs- oder Entwicklungsthema in enger Abstimmung zwischen dem daran interessierten Industrieunternehmen und dem betreuenden Hochschullehrer ausgegeben und bearbeitet wird. Damit erhielten die Bachelor-Absolventen nach einem auf die Vermittlung wissenschaftlicher Grundlagen ausgerichteten Ausbildungsabschnitt einen direkten Einblick in die Anwendungsrelevanz des Erlernten und die in der Industrie aktuellen Fragestellungen und Arbeitsweisen. Diese Kombination hätte somit folgende Vorteile:

- Zum einen würde die Themenstellung des bisherigen Industriepraktikums noch stärker in die universitäre Ausbildung integriert,
- zum zweiten würde ein solches Verfahren die Forschungsk Kooperation zwischen Industrie und Universität zusätzlich strukturieren und intensivieren,
- drittens könnten Industrie und Studierende prüfen, ob sie an einer direkten Aufnahme eines Beschäftigungsverhältnisses nach Abschluss der Arbeit interessiert sind, sodass sich,
- viertens, daraus *mittelfristig und bedarfsgesteuert* ein dem anglo-amerikanischen System vergleichbarer Berufseinstieg mit universitärem Bachelor-Abschluss entwickeln könnte, allerdings auf Basis einer stärker wissenschaftlich orientierten Grundausbildung.

Insgesamt unterscheidet sich die hier vorgeschlagene Form der universitären Bachelor-Ausbildung aber deutlich von der bisherigen angelsächsischen Strukturierung, nach der in der Bachelor-Ausbildung der Schwerpunkt auf praxisrelevanten Methoden und Techniken und einem dafür ausreichenden berufsqualifizierenden Abschluss liegt, während die vertiefte theoretische Basis und Begründung erst in einem optiona-

len Masterstudium nachgeholt wird. Eine solche Gliederung wird für eine *universitäre* Ingenieurausbildung als nicht sinnvoll angesehen, weil sie die Vermittlung der eigentlichen Basis der universitären Ausbildung unnötig hinausschiebt.

Nachdem die skizzierten Probleme einer ausschließlich anwendungsorientierten und auf eine schnelle Berufsfähigkeit fokussierten universitären Bachelor-Ausbildung auch in zahlreichen anderen europäischen Ländern erkannt und kritisch gesehen werden, ist die Politik zu ermutigen, im Rahmen des Bologna-Prozesses das Nebeneinander von stärker anwendungsorientierten, berufsqualifizierenden und von auf die Vermittlung einer breiten Basis an wissenschaftlichen Grundlagen ausgerichteten Bachelor-Studiengängen als spezifisch europäischen Weg vorzusehen. Dabei braucht der zweite Weg zum Bachelor nur eine eingeschränkte Berufsfähigkeit zu vermitteln, weil er in der Regel in einem nachfolgenden Master-Studium fortgesetzt oder von einer industriellen Einarbeitungsphase gefolgt wird.

Ergänzt werden muss diese Mehrgleisigkeit durch die Einrichtung von strukturierten Beratungsangeboten und von Übergangshilfen von dem einen auf den anderen Ausbildungsweg. Dafür werden im Folgenden am Beispiel des Übergangs zwischen Fachhochschulen und Universitäten konkrete Vorschläge gemacht.

2.4 Hochschulwechsel

Wie bereits eingangs bemerkt, lässt sich die **Eignung** von Studienanfängern für den einen oder den anderen Ausbildungsweg zunächst nur schwer feststellen, die **Neigung** dazu kann sich während des Studiums erfahrungsgemäß deutlich verändern. Um das Begabungs- (und das Neigungs-) Potenzial auszuschöpfen, spricht daher alles dafür, zwischen beiden Ausbildungswegen gegenseitige Durchlässigkeit zu fordern. Wegen der deutlich unterschiedlichen Zielrichtung der Ausbildungsprofile nach (1) und (2) erfordert diese Durchlässigkeit allerdings die Formulierung klarer Übergangsbedingungen und die Bereitstellung entsprechender Beratungsangebote und Übergangshilfen. Diese müssen von Universitäten und Fachhochschulen gemeinsam entwickelt werden.

Für einen strukturierten Wechsel zwischen den verschiedenen Hochschulsystemen bieten sich zum einen die Orientierungsphase zu Beginn des Studiums sowie der Bachelor-Abschluss an. Auf den Wechsel in der Orientierungsphase und die dafür notwendigen Voraussetzungen und Hilfen wird in Abschnitt III, 3.1 näher eingegangen. Der strukturierte Wechsel nach dem Bachelor-Abschluss ist Inhalt des nächsten Abschnitts.

2.5 Master of Science-Studiengänge für Quereinsteiger

Ein Wechsel von der Fachhochschule an die Universität nach abgeschlossenem Bachelor-Examen wird auf den erfahrungsgemäß kleinen Kreis der Studierenden fokussiert sein, die an einer wissenschaftlichen Vertiefung ihrer Ausbildung und ggf. an der Fortsetzung ihrer Ausbildung im Rahmen einer Promotion interessiert und aufgrund ihrer Studienleistungen dafür erkennbar geeignet sind. Für diesen Personenkreis existieren zurzeit nur Übergangsbedingungen nach abgeschlossenem Diplom und zwar im Rahmen von „Eignungsfeststellungsverfahren“ oder einem universitären Er-

gänzungsstudium. Beide sind wegen ihrer unterschiedlich administrierten Umsetzung und des erhöhten Zeitaufwandes immer wieder in der Diskussion.

Hier bietet es sich an, im direkten Zusammenwirken von Fachhochschulen und (benachbarten) Universitäten auf einen universitären Abschluss und eine mögliche Fortsetzung in einer Promotion angelegte Master of Science-Programme zu entwickeln. Sie sollen Fachhochschul-Absolventen mit Bachelor-Abschluss in gut strukturierter Form die bisher in einem Ergänzungsstudium geforderten Fähigkeiten vermitteln und würden sowohl das bisherige Ergänzungsstudium wie das Eignungsfeststellungsverfahren obsolet machen. Gegenüber diesen hätten sie den Vorteil, dass dieser Ausbildungsweg bereits nach dem Bachelor beginnt, d.h. mit einem minimierten Zeitverlust gegenüber einem „Universitätsstudium von Anfang an“ verbunden ist, sowie mit einem universitären Abschluss endet, der zur Promotion berechtigt.

Er würde gewissermaßen den im angelsächsischen üblichen Ausbildungsweg mit einer stärker praxisorientierten Grundausbildung nach Ausbildungsprofil (1) und einer anschließenden wissenschaftlichen Vertiefung in das deutsche System einführen, allerdings nur für die (erfahrungsgemäß niedrige) Zahl derjenigen Fachhochschul-Absolventen, die an diesem Übergang interessiert und dafür besonders befähigt sind. Für entsprechend qualifizierte Übergänger wäre auch die erhebliche Mehrbelastung tragbar, die mit einem solchen Übergangsprogramm zwischen dem Ausbildungsprofil (1) und (2) verbunden sein wird.

In gleicher Weise könnte auch der Quereinstieg von Studierenden anderer universitärer Studiengänge sowie besonders qualifizierter ausländischer Studierender mit einem dem Ausbildungsprofil (1) entsprechenden Bachelor-Abschluss erleichtert werden.

2.6 Zusammenfassung

Das hier vorgeschlagene Konzept der universitären Ingenieurausbildung ist schematisch in Abb. 2 zusammengefasst: Nach einem auf die persönlichen Begabungs- und Neigungsprofile ausgerichteten Beratungs- und Auswahlverfahren beginnen die Studierenden ihre Ingenieurausbildung an Berufsakademien, Fachhochschulen oder Universitäten. Qualifikationsprüfungen in der Orientierungsphase sollen dafür sorgen, dass nur diejenigen ihre Bachelor-Ausbildung fortsetzen, die für das vorgesehene Profil ausreichend qualifiziert sind. Für das universitäre Studium sind in Abb. 2 zwei konsekutive Bachelor-Master-Studiengänge mit der Möglichkeit des Wechsels nach dem Bachelor-Examen angedeutet. Absolventen mit einem universitären Bachelor-Abschluss sollten ein fachlich anschließendes („konsekutives“) Master-Studium ohne zusätzliche Eingangsprüfungen fortsetzen können. Für ein nicht-konsekutives Master-Studium können zusätzliche Eingangsvoraussetzungen gefordert werden. Für den Quereinstieg in ein Master-Studium (aus dem Ausland, aus anderen universitären ingenieur- oder naturwissenschaftlichen Studiengängen oder aus einem Fachhochschul- oder Berufsakademie-Studium) werden in der Regel spezifische Qualifikationsleistungen zu fordern sein. Dafür sollten, insbesondere für den Übergang von Fachhochschulen an Universitäten, spezielle Master-Programme angeboten werden. Sie können, wie angedeutet, nach der gleichen Zahl von Semestern zu einem universitären Master-Abschluss mit Fortsetzungsmöglichkeit in einer Promotion führen, wie ein universitäres konsekutives Bachelor/Master-Studium.

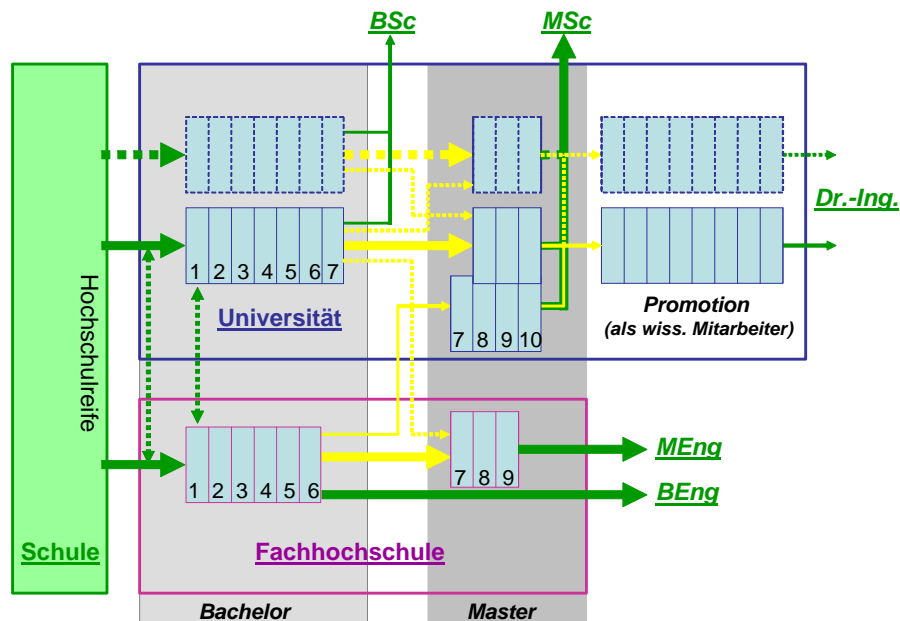


Abb. 2: Beispielschema zum Zusammenwirken der Ingenieurausbildung an Fachhochschulen und Universitäten (die Zahlen markieren die Studiensemester)

Thesen:

- II 2.1 Zur klaren Unterscheidung der unterschiedlichen Ausbildungsprofile sollte grundsätzlich die Abschlussbezeichnung Bachelor/Master of Engineering für das Ausbildungsprofil (1) an Berufsakademien und Fachhochschulen sowie Bachelor/Master of (Engineering-) Science für das Profil (2) an Universitäten vergeben werden.
- II 2.2 An Universitäten wird die Einführung von in der Regel auf eine Fortsetzung im Master-Studium konzipierten, „konsekutiven“ Bachelor/Master-Studiengängen empfohlen, die die bisherigen Diplomstudiengänge ersetzen und mit einer dem Diplom vergleichbaren Qualifikation abschließen. Eine Begrenzung der Zulassung zum konsekutiven Master-Studium (durch Quoten oder Eingangsprüfungen) wäre für Bachelor-Absolventen solcher Studiengänge fachlich nicht begründbar.
- II 2.3 Der mit der Einführung des Bachelor/Master-Curriculums verknüpfte Impuls soll genutzt werden, dort Änderungen und Weiterentwicklungen in Struktur und Inhalten der universitären Ingenieurausbildung vorzunehmen, wo sie notwendig und sinnvoll erscheinen. Dazu werden im Teil III konkrete Empfehlungen gegeben.
- II 2.4 Die konsekutiv angelegten universitären Bachelor/Master-Studiengänge können z. Bsp. wie folgt gegliedert sein (siehe Abb. 1):
 - 7-semesteriges Bachelor-Studium beginnend mit einer 2-semesterigen Orientierungsphase und endend mit einer Abschlussarbeit (vergleichbar einer Studienarbeit) im 7. Semester,
 - 3-semesteriges Master-Studium mit einer Abschlussarbeit (vergleichbar der bisherigen Diplomarbeit) im 10. Semester,

- II 2.5 Für den Wechsel zwischen den Ausbildungsprofilen (1) – Bachelor/Master of Engineering und (2) – Bachelor/Master of Science wird als Standardübergang der jeweilige Bachelor-Abschluss vorgesehen.
- II 2.6 Dazu sollten für besonders qualifizierte Bewerber mit einem BEng-Abschluss spezielle MSc-Studiengänge im Zusammenspiel von Universitäten und benachbarten Fachhochschulen entwickelt und angeboten werden, die die geforderten zusätzlichen Lehrinhalte in gut strukturierter Form vermitteln, mit einem universitären Abschluss enden und ggf. auf eine anschließende Promotion vorbereiten. Diese Studiengänge bieten sich auch als möglicher Übergang zu einer Promotion für besonders qualifizierte Studierende mit Bachelor-Abschluss benachbarter Studiengänge sowie aus Ländern mit einem angelsächsischen Ausbildungssystem an.

3. Qualitätssicherung an Universitäten

Ein vergleichbares Niveau bei der Vermittlung der wissenschaftlichen Ingenieur-**Grundlagen** ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal der Ingenieurausbildung an allen deutschen Universitäten. Es darf nicht zugunsten einer (vermeintlichen) Profilierung und Spezialisierung einzelner Hochschulen aufgegeben werden. Die Profilierung und Spezialisierung erfolgt vielmehr schon bisher durch die Forschungsausrichtung der einzelnen Fakultäten und Universitäten. Sie wirkt sich in der Ausbildung erst richtig im Vertiefungsstudium (d.h. künftig am Ende der Bachelor-Ausbildung und im Master-Studium) sowie während der Promotion aus. Die hierbei erreichte *Qualität der Forschung* wird bereits jetzt durch anerkannte Kriterien (wissenschaftliche Publikationen, eingeworbene Forschungsmittel, Sonderforschungsbereiche....) hinreichend erfasst und der Öffentlichkeit vermittelt.

Die Qualitätssicherung einer deutschlandweit vergleichbaren, inhaltlich hochwertigen und in der Umsetzung erfolgreichen Ingenieurausbildung verlangt nach drei sich ergänzenden, aber durchaus trennbaren Qualitätssicherungsmaßnahmen:

- Zum einen muss – viel mehr als bisher – Wert auf die Auswahl der für das jeweilige Ausbildungsprofil geeigneten Studienanfänger/innen gelegt werden. Das erfordert die bereits angesprochenen Beratungs- und Korrekturmöglichkeiten in den beiden ersten Studiensemestern („Orientierungsphase“).
- Zum zweiten müssen **Inhalt und Umfang** der im Studium zu vermittelnden wissenschaftlichen Ingenieurgrundlagen spezifiziert und festgelegt werden. Für Universitäten erfolgte dies bisher durch Rahmenpläne der jeweils fachlich zuständigen Fakultätentage in Verbindung mit der Genehmigung der Studien- und Prüfungsordnungen durch die Landesministerien. Da in die Fakultätentage renommierte und in der Regel industrieerfahrene Hochschullehrer berufen wurden, war die inhaltliche Qualitätssicherung bisher gut etabliert und trug maßgeblich zum guten Ruf der Ingenieurausbildung an deutschen Universitäten bei. Die Fakultätentage sind aufgefordert, die mit der Einführung des Bachelor/Master-Systems verbundenen Herausforderungen proaktiv aufzunehmen, da die inhaltliche Definition von Ausbildungsstandards bei ihnen in guten Händen wäre. Sie müsste dann nicht vorschnell auf neue Agenturen übertragen werden.

- Zum dritten erfordert die Qualitätssicherung die Kontrolle der **sachgerechten und erfolgreichen Umsetzung** der Ausbildungsstandards. Sie obliegt bisher den Fakultäten und ihren Studien- und Prüfungskommissionen und bedient sich hauptsächlich des Instruments der Studierendenbefragung. Diese liefert wichtige Hinweise, sollte aber durch fakultätsinterne und fakultätsübergreifende Kontrollmechanismen erweitert werden. So bietet die gegenseitige Evaluation fachlich ähnlicher Fakultäten einen tragfähigen Ansatz¹¹. Ferner haben verschiedene Bundesländer eigene Qualitätssicherungseinrichtungen ins Leben gerufen, die Fakultäten sowohl hinsichtlich ihrer Lehre wie ihrer Forschungsleistungen bewerten sollen.

European Credit Transfer System (ECTS)

Mit dem Übergang auf das Bachelor/Master-System ist die Einführung eines europaweit einheitlichen Leistungspunktesystems nach ECTS sinnvoll und notwendig. Dabei sollte die Vergabe von Leistungspunkten auch an den Anforderungen einer Lehrveranstaltung und dem für einen erfolgreichen Abschluss erforderlichen Aufwand und nicht nur an der Semesterwochenstundenzahl orientiert werden. Allerdings dürfen an die Einführung des ECTS-Systems keine zu hohen Erwartungen geknüpft werden, denn selbstverständlich kann damit allein keine echte Vergleichbarkeit von Prüfungsinhalten und Prüfungsleistungen geschaffen werden. Dies ist nur durch zusätzliche und intensive Qualitätssicherungsmaßnahmen (und auch damit nur ansatzweise) erreichbar. Daher muss es den Hochschulen überlassen bleiben, die Zulassung zu Studienangeboten und zu Prüfungen (wie bisher) von zusätzlichen Leistungsnachweisen abhängig zu machen.

Thesen:

- II 3.1 Anhand von klar strukturierten Beratungsangeboten vor Aufnahme des Studiums sowie in einer auf maximal zwei Semester angelegten Orientierungsphase zu Beginn des Bachelor-Studiums sollen Studierende aller Ausbildungsprofile anhand von Qualifikationsprüfungen und in Beratungsgesprächen ihre Eignung für das gewählte Ausbildungsprofil überprüfen (siehe dazu III, 3.1).
- II 3.2 Für durchgängig konzipierte (konsekutive) Bachelor/Master-Studiengänge soll die Qualitätssicherung bei der Festlegung von *Inhalt und Umfang der wissenschaftlichen Ingenieurgrundlagen* nach deutschlandweit einheitlichen Rahmenbedingungen und Vorgaben gewährleistet bleiben.
- II 3.2 Die Erarbeitung entsprechender Rahmenpläne sollte wie bisher durch die Fakultätentage erfolgen.
- II 3.3 Die formale Genehmigung entsprechender Studien- und Prüfungsordnungen und die Überprüfung ihrer erfolgreichen Implementierung und Umsetzung sollte von den Länderministerien geregelt oder den Universitäten übertragen werden. Die Nutzung fakultätsinterner und übergreifender Prozesse zur Überprüfung der sachgerechten Umsetzung der Studien- und Prüfungsordnung ist wünschenswert. Von einer auf die Überprüfung formaler Kriterien ausgerichteten

¹¹ Z. Bsp. wurde eine gegenseitige Evaluation der Maschinenbau fakultäten der Universitäten Darmstadt, Kaiserslautern und Karlsruhe unter Federführung der ETH Zürich vereinbart.

ten Akkreditierung von universitären Ingenieurstudiengängen wird keine ausreichende Qualitätssicherung erwartet.

- II 3.4 Alle erforderlichen Prüfungsleistungen sollten im Rahmen des Leistungspunkte-Systems nach ECTS (European Credit Transfer System) erbracht und nachgewiesen werden, um die gegenseitige Anerkennung von im Ausland erbrachten Studienleistungen zu vereinfachen.
- II 3.5 Die aufnehmenden Universitäten sind frei, über ECTS hinausgehende Qualitätssicherungsmaßnahmen sowohl für im Inland als auch im Ausland erbrachte Studienleistungen vorzusehen.

4. Ausbildungskosten

Die Mehrgleisigkeit der Ingenieurausbildung an Berufsakademien, Fachhochschulen und Universitäten mit ihrer auf die Ausbildungsprofile (1) und (2) ausgerichteten Spezialisierung (siehe Abschnitt 1.1) hat sich bewährt. Daher wird auch für diejenigen Fächer eine vergleichbare Mehrgleisigkeit der Ausbildungswege gefordert, in denen der Bedarf der Gesellschaft an Absolventen mit fachpraktischem Schwerpunkt im Vergleich zu denjenigen mit einer breiteren Basis an theoretischen Grundlagen und an methodisch fokussierter Problemlösungskompetenz hoch ist¹². Politik und Wissenschaftsrat propagieren daher einen verstärkten Ausbau der Fachhochschulen, was – bei gleichbleibenden Ressourcen – eine Mittelumichtung und einen entsprechenden Rückbau der Ausbildungskapazität an Universitäten impliziert.

Die maßgebenden Triebkräfte hinter diesen Umschichtungskonzepten beruhen insbesondere auch auf finanziellen Überlegungen, nach denen die Kosten einer Fachhochschulausbildung pro Studierendem wegen der fehlenden Forschungsaufgaben deutlich geringer sind, als an Universitäten. Mit diesem Argument sehen sich auch die Ingenieurwissenschaften an den Universitäten konfrontiert, obwohl der Wissenschaftsrat mittlerweile ein ausgewogenes Verhältnis des Ingenieurausbildungsangebots an Fachhochschulen und Universitäten konstatiert.¹³

So sinnvoll und nachvollziehbar die Forderung nach effizienten und kostengünstigen Ausbildungsstrukturen ist, so deutlich muss darauf hingewiesen werden, dass die **universitäre Forschung zwar eine eng mit der Ausbildung verknüpfte aber zugleich wichtige eigenständige Aufgabe** ist. Deswegen ist es sachlich nicht gerechtfertigt, für einen Vergleich der Ausbildungssysteme die Kosten der universitären Forschung auf die Ausbildungskosten pro Studierendem umzulegen. Vielmehr muss die Politik die Frage getrennt beantworten, wie viel Ingenieurforschung sich Deutschland an welchen Universitäten leisten will (und zur Sicherung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit leisten muss!). Die dafür notwendigen Aufwendungen sind dann auch getrennt von den Ausbildungskosten bereitzustellen.

Auf die entscheidenden Synergieeffekte, die sich aus der Verknüpfung von universitärer Forschung und Ausbildung ergeben, wird insbesondere in Abschnitt IV eingegangen. Dort wird deutlich, dass die universitäre Integration von Forschung und Ausbildung auch kostenmäßig wesentlich günstiger ist als ihre institutionelle Trennung.

¹² „Thesen zur zukünftigen Entwicklung des Wissenschaftssystems in Deutschland“: Wissenschaftsrat, Juli 2000.

¹³ „Empfehlungen zur Entwicklung der Fachhochschulen“: Wissenschaftsrat, Januar 2002 (S. 91).

III Inhaltliche Strukturierung des Universitätsstudiums

1. Allgemeine Grundlagen und Spezialisierung

In den letzten Jahren wird im Ingenieurbereich eine immer stärkere Ausdifferenzierung von grundständigen Studiengängen beobachtet. Eine Triebfeder dieser Entwicklung ist häufig die Tendenz von Hochschulen und Fachbereichen, möglichst viele aus der beschränkten Anzahl der für ein Ingenieurstudium motivierbaren Studienanfänger/innen mit interessant klingenden oder öffentlichkeitswirksamen Schlagworten anzuziehen. Das führte zu einem drastischen Anstieg der angebotenen Studiengänge¹⁴ bei im Schnitt deutlich abnehmenden Studierendenzahlen pro Ingenieurstudiengang.

Da sich diese Studiengangsvielfalt durchaus in Konkurrenz der einzelnen Fachbereiche entwickelt und nur selten in ein Gesamtkonzept der Ingenieurausbildung eingliedert ist, kommt es zu inhaltlichen Überschneidungen, zu erheblichen Abstimmungsproblemen bei der Organisation und Zuweisung von Lehrveranstaltungen und Prüfungen und zu Ernüchterung und Frustration bei den Studierenden, wenn sie mit der Realität des Studiums und den Berufsperspektiven einer zu engen Spezialisierung konfrontiert werden.

So wünschenswert und notwendig es ist, dass neuartige Berufsanforderungen sowie neue technisch-wissenschaftliche Konzepte frühzeitig in die Ausbildung einfließen, so kritisch wird die Tendenz einer „Profilierung“ von Hochschulen über immer neue, öffentlichkeitswirksame Schlagworte aufgreifende Studiengänge gesehen. Das gilt insbesondere für das Bachelor-Studium an Universitäten, in dem die Vermittlung einer breiten, ingenieurwissenschaftlichen Basis nach Ausbildungsprofil (2) gemäß Teil II, 1.1 im Vordergrund stehen sollte. Sie bietet nach allgemeiner Überzeugung die beste Voraussetzung dafür, sich schnell und kompetent in die wechselnden beruflichen Anforderungen einer Ingenieurkarriere einzuarbeiten.

Auf aktuelle Anforderungen von Wirtschaft und Gesellschaft sollte stattdessen mit gezielten Weiterbildungsangeboten und Aufbaustudiengängen reagiert werden. Auch die Bachelor-Phase im Ausbildungsprofil (1) an Fachhochschulen und Berufsakademien bietet (im Gegensatz zum Ausbildungsprofil (2)) die Chance, schnell mit spezifischen Studienangeboten auf öffentlichen Bedarf zu reagieren¹⁵.

Thesen:

III 1.1 Die Ingenieurstudiengänge *an Universitäten* sollten wieder stärker auf die verbindenden inhaltlichen Gemeinsamkeiten bezogen werden (siehe Abschnitt 2.) und in ihren Rahmenbedingungen (Bachelor/Master, Leistungspunktesystem) organisatorisch einheitlich und durchlässig gestaltet sein. Im Bereich des Bachelor-Studiums sollten die gemeinsamen Grundlagenfächer gestärkt, die weitergehende Differenzierung dem Masterstudium überlassen werden.

III 1.2 Neue Bachelor-Studiengänge sollten nur dann eingerichtet werden, wenn sie sich durch wesentliche, eigenständige Inhalte von existierenden unterscheiden.

¹⁴ Der Fakultätentag Maschinenbau/Verfahrenstechnik zählt alleine in seinem Bereich über 50 verschiedene Studiengänge.

¹⁵ „Empfehlungen zur Entwicklung der Fachhochschulen“: Wissenschaftsrat, Januar 2002

den. Weniger, aber dafür flexible und modular aufgebaute Studiengänge sollten angestrebt werden.

- III 1.3 Um das zu erreichen, könnte die Verantwortung für die Gestaltung und Durchführung von Ingenieur-Studiengängen innerhalb der Universität (ggf. unter Einschluss der Allokation von Finanzmitteln für die Lehre) aus der *alleinigen* Zuständigkeit von Fakultäten oder Fachbereichen gelöst und hochschulintern einer geeigneten Organisation ("School of Engineering") übertragen werden, in der die Ingenieur fakultäten zusammenwirken.

2. Inhaltliche Strukturierung

Wie in der Einführung bereits angesprochen, orientiert sich ingenieurwissenschaftliche Tätigkeit unmittelbar an den Bedürfnissen unserer modernen Industriegesellschaft. Sie wird dabei sehr stark von Produkten und produktorientierten Dienstleistungen getrieben und zielt darauf, neue Produkte zu entwickeln, bestehende Produkte durch Erhöhung ihrer Leistungsfähigkeit und/oder durch Verringerung der in ihrem Lebenszyklus auftretenden Kosten und Umweltbelastungen zu verbessern und neue Möglichkeiten sowie Formen produktorientierter Dienstleistungen zu erarbeiten. Produktentwicklung im weitesten Sinne umfasst alle Vorgänge, die mit der Ideenfindung, dem Entwurf, der Konstruktion, der Herstellung, der Nutzung und der Wiederverwertung oder der Entsorgung eines Produktes verbunden sind.

Der Umfang dessen, was in diesem Zusammenhang zum ingenieurwissenschaftlichen Grundwissen gezählt werden sollte, nimmt stetig zu. Die Bandbreite reicht von einer stärkeren Betonung naturwissenschaftlicher Grundlagen für verfahrenstechnische und materialwissenschaftliche Ausrichtungen über den Stellenwert der Informationswissenschaften bis zu einer intensiven Befassung mit wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Fragen in den Produktions- und Arbeitswissenschaften. Das macht zum einen eine zunehmende Ausdifferenzierung grundständiger Studiengänge unumgänglich, läuft zum anderen aber einer stärkeren Konzentration auf das Verbindende zuwider.

Daher müssen die Studiengänge klar unterscheiden, was jeweils zum unverzichtbaren und kompetent zu beherrschenden Basiswissen gezählt wird und für welche Gebiete eine Kommunikations- und Anschlussfähigkeit mit Nachbardisziplinen auf Basis der Kenntnis ihrer grundlegenden Konzepte und Methoden anzustreben ist. Gleichzeitig sollten Gemeinsamkeiten unterschiedlicher Fächer stärker herausgearbeitet und bei der Stoffvermittlung genützt werden. Das gilt insbesondere für die *methodische Basis* aller Ingenieurwissenschaften.

2.1 Gemeinsame Methoden und Werkzeuge: Angewandte Systemwissenschaften

Die größten Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Ingenieurfächern bestehen zweifellos auf methodischem Gebiet. Die Entwicklung von physikalisch begründeten mathematischen Modellen für die betrachteten Prozesse, in Verbindung mit der detaillierten experimentellen Untersuchung und der empirischen Approximation nicht hinreichend modellierbarer Zusammenhänge, kann geradezu als Kennzeichen einer ingenieurwissenschaftlichen Behandlung angesehen werden.

Der Ingenieur der Zukunft muss darauf vorbereitet sein, in Hochtechnologie-Produkten noch stärker als bisher mechanische, elektronische, chemische, biologische und informatorische Teilsysteme zu einem optimalen Gesamtsystem zu integrieren und dabei viele, sehr unterschiedliche Größenskalen umfassende Wechselwirkungen in der problemspezifischen Detaillierung zu erfassen (mehrskalige Analyse, Modellierung und Simulation).

Lösungen für diese Aufgaben können nur mit leistungsfähigen systemwissenschaftlichen Methoden unter Einsatz von computergestützten Werkzeugen und Algorithmen der numerischen Mathematik und der Informatik und mit neuartigen detaillierten Messverfahren entworfen, validiert und umgesetzt werden. Die hierfür notwendigen Methoden sind bisher auf ein breites Spektrum unterschiedlicher Fächer (Mathematik, Systemtheorie, Informatik, Scientific Computing, Messtechnik, Regelungs- und Automatisierungstechnik sowie viele Anwendungsfächer) verteilt. Sie werden dort weitgehend unabhängig voneinander weiterentwickelt. Ihr Einsatz und ihre Vermittlung in der Lehre erfolgt bisher meist wenig koordiniert. Alle diese Gebiete sollen im Folgenden den so definierten **angewandten Systemwissenschaften (im Ingenieurbereich)** zugeordnet werden.

Thesen:

- III 2.1 Das Fachgebiet der *angewandten Systemwissenschaften* soll als ein wichtiges gemeinsames Fundament ingenieurwissenschaftlicher Arbeit in der Lehre etabliert und gemeinsam (fachübergreifend) weiterentwickelt werden.
- III 2.2 Durch die frühzeitige Einführung von leistungsfähigen allgemeinen numerischen Simulationswerkzeugen und von Computer-Algebra-Systemen (z. Bsp. mit der Funktionalität von MATLAB[®] bzw. MAPLE[®]) sowie von rechnergestützten Mess- und Analyseverfahren in die projektbezogene Lehre (siehe Abschnitt 3.2) soll der Blick der Studierenden bereits im Grundstudium auf die Charakteristika, Anforderungen und Lösungsmethoden für komplexere technische Systeme gerichtet werden.
- III 2.3 In diesem Sinne sollte die Mathematik- und Informatik-Ausbildung stärker auf die Grundlagen und Anforderungen der Werkzeuge der angewandten Systemwissenschaften ausgerichtet werden.

2.2 Physikalische Grundlagen der Ingenieurwissenschaften

Die meisten Aufgabenstellungen der Ingenieurwissenschaften werden mit den Kontinuumstheorien der Physik behandelt. Diese sind als Inhalt von Vorlesungen in (Strömungs-) Mechanik, Thermodynamik und Elektrotechnik fester Teil ingenieurwissenschaftlicher Curricula. Detaillierte atomare und molekulare Vorstellungen und das dafür entwickelte Instrumentarium der Physik und Chemie spielen dagegen bisher eine eher untergeordnete Rolle.

Mit der zunehmenden Bedeutung der hierarchischen Strukturierung von Werkstoffen und Oberflächen von der nanoskaligen über die mikroskopische bis hin zur mesoskopischen Ebene, der rasch wachsenden Leistungsfähigkeit von Methoden zur molekularen Simulation und mit ihrer Übertragung auf die Behandlung granularer Vielteilchensysteme bahnen sich hier Änderungen an. Davon betroffen sind die wei-

tere Entwicklung elektronischer Schaltkreise oder magnetischer und optischer Speichermedien und die dazu notwendigen Fertigungs- und Prüftechniken, ebenso wie die gezielte nanoskalige Funktionalisierung von Implantatoberflächen (Biokompatibilität) oder mikroskopische Ausprägung von Bauteiloberflächen (Lotus-Effekt).

Dazu muss ein ausreichendes Grundverständnis atomarer und molekularer Wechselwirkungen und ihrer Beschreibung in Vielteilchenmodellen als Basis für eigene Forschungsansätze und eine Kommunikation mit den naturwissenschaftlichen Entwicklungspartnern vermittelt werden.

These:

III 2.4 In Ergänzung der Kontinuumstheorien der Physik sollen die naturwissenschaftlichen Grundlagen von Physik und Chemie künftig stärker mit Blick auf den hierarchischen Aufbau von Strukturen, auf die maßgebenden atomaren und molekularen Vorgänge, und auf die Wechselwirkungen der nanoskaligen, mikroskopischen und mesoskopischen Strukturelemente vermittelt werden.

2.3 Grundlagen der Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften

In dem Maße, wie unser berufliches und privates Leben immer mehr von technischen Produkten und Prozessen unterstützt, beeinflusst oder überhaupt erst ermöglicht wird, werden Fragen der Interaktion zwischen Mensch und Produkt immer wichtiger. Bei näherer Betrachtung erweisen sich diese Interaktionsfelder allerdings als außerordentlich vielfältig. Im Zentrum stehen zurzeit die Fragen nach der Wirtschaftlichkeit, der Vermarktbarkeit und der erwarteten Nutzungsdauer, die ihrerseits wieder auf komplexe Weise von gesellschaftlichen Trends und Wertevorstellungen abhängen.

Einen zweiten Fragenkomplex bildet die zweckmäßige technische Gestaltung der Schnittstelle zwischen Prozess oder Produkt und seinem Bediener oder Nutzer. Auch hier spielen neben der technischen Funktionalität und Bedienbarkeit, neben der intuitiven Verständlichkeit und neben Gefährdungspotenzial und inhärenter Sicherheit auch die sich ändernde Wahrnehmung technischer Produkte und die damit zusammenhängenden rechtlichen Fragen der Verantwortung und der Produkthaftung eine wichtige Rolle.

Schließlich sind diesem Bereich auch die ökologischen und ethischen Fragen zuzuordnen, die mit dem Schlagwort "Verantwortung des Ingenieurs für Technik und Umwelt" beschrieben werden. Auch hier hängen die erforderlichen Bewertungsmaßstäbe von dem aktuellen gesellschaftlichen Wertesystem ab. Das bedeutet, dass sich die Ingenieurwissenschaften nicht nur mit den Naturwissenschaften sondern auch mit den Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften in einer starken Verschränkung befinden, die in der Ausbildung noch stärker berücksichtigt werden muss.

Produkte und Systeme unseres technischen Umfelds entstehen heute vielfach in Gruppen, in denen Ingenieure und andere Fachleute unterschiedlicher Ausbildung und (nationaler) Herkunft Leistungen unter zeitlicher und finanzieller Optimierung erbringen müssen. Für dieses berufliche Umfeld ist es notwendig, die Grundlagen des Projektmanagements zu beherrschen, sowie Sozialkompetenz in der Gruppe und internationale Sensibilität zu entwickeln.

These:

III 2.5 Lehrveranstaltungen und Lehrformen für die Vermittlung der oben angesprochenen Kenntnisse und Fähigkeiten sollen entwickelt und sowohl im Pflichtfachbereich und insbesondere im Wahlpflichtbereich der Ingenieurausbildung verankert werden. Das könnte die derzeitige Beliebigkeit bei der Wahl nichttechnischer Fächer sinnvoll einschränken und gleichzeitig deutlich machen, welche nichttechnischen Fächer für eine technisch orientierte Hochschule wünschenswert oder essenziell sind.

2.4 Produktentstehung

Eine zentrale Ingenieuraufgabe ist die Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte und Prozesse und ihre effiziente Integration in ein vorhandenes technisches und gesellschaftliches Umfeld. Diesen Gesamtprozess kann man unter dem Begriff *Produktentstehung* zusammenfassen. Die Produktentstehung ist der Prozess zur ganzheitlichen Planung und prototypischen Realisierung neuer technischer Systeme. Im Maschinenbau wird er von der Findung des Produktprofils über die Konzipierung und Optimierung der technischen Gestaltung bis hin zu einer Realisierung in Unikaten, Prototypen oder einer Serienfertigung führen. In den Werkstoffwissenschaften kann er vom nanoskaligen Aufbau besonders geeigneter Einsatzstoffe über die Aufprägung geeigneter Gefüge- und Gebrauchseigenschaften bis zum Endprodukt fortschreiten. Umgekehrt besitzt in Architektur und Bauwesen auch die technische Infrastrukturplanung ein traditionell starke Basis, von der ausgehend die Entwicklung konkreter Teilkomponenten erfolgt. In jedem Fall sind die Produktentstehungsprozesse gekennzeichnet von einer hohen Komplexität, Vernetztheit und Multidisziplinarität.

Die Komplexität dieses Produktentstehungsprozesses nimmt stetig zu. Das ist auch darauf zurückzuführen, dass mechanische Funktionen und Kopplungen zunehmend durch Informationsübertragung und komplexe Informationsverarbeitung ergänzt oder ersetzt werden. Für die dazu erforderliche Hard- und Software haben die Informationswissenschaften ihre eigenen Produktentwicklungsprozesse etabliert. Daher kommt es z. Bsp. bei der Entwicklung mechatronischer Produkte darauf an, die Komponenten der Informationsverarbeitung, der Elektrotechnik und der Mechanik ganzheitlich in einem gesamten Produktentstehungsprozess zusammenzuführen.

Notwendig für die Ausbildung ist es, diesen Produktentstehungsprozess im Verlauf des Studiums erfahrbar zu machen, so dass die Kompetenzen zur Beherrschung der Komplexität aufgebaut werden können. Dabei gewinnt eine ganzheitliche, die gesamte Produktentwicklung und die gesamte Produktlebensdauer umfassende Sichtweise eine immer größere Bedeutung. Dies schließt insbesondere auch Fragen der zweckmäßigen Produktionstechnik, der Betriebs- und der Vertriebslogistik und des Produktmarketings ein.

These:

III 2.6 Der Produktentstehungsprozess in seiner Vielfältigkeit und seinen unterschiedlichen Facetten muss im Rahmen eines wissenschaftlichen Studiums in der notwendigen Komplexität betrachtet und vermittelt werden, um auf diese Weise auf die Berufspraxis vorzubereiten. Das beste Instrument dazu ist die

Eigenarbeit in Teams unter wissenschaftlicher Betreuung (siehe dazu auch Abschnitt 3.2).

3. Wissensvermittlung

Die traditionelle Vermittlung der naturwissenschaftlich-technischen Basis im Grundstudium wird wegen ihres oft formal-abstrakten und wenig anwendungsbezogenen Charakters immer wieder kritisiert. Es ist diese Durststrecke bis zum Vordiplom, die mitunter auch solche Studierende zur Resignation und Studienaufgabe führt, die eigentlich für den Ingenieurberuf geeignet wären, aber nicht über formale Konzepte sondern in erster Linie über konkrete Gestaltungsaufgaben zu motivieren sind.

Andererseits beruhen die wissenschaftlichen Grundlagen des Ingenieurbereichs ganz entscheidend auf den formalen theoretischen Konzepten von Mathematik und Physik. Daher muss die Vermittlung ihrer Kenntnis und die Erarbeitung der Kompetenz in diesen Konzepten ein wesentliches Element einer universitären Ingenieurausbildung bleiben und tendenziell eher gestärkt als reduziert werden.

Dazu ist es notwendig, neue Strukturen zu entwickeln,

- nach denen Studierende ihre Eignung zu einem universitären Ingenieurstudium frühzeitig testen können

und neue Wege der Wissensvermittlung zu entwickeln und zu implementieren,

- auf denen eine anwendungsbezogene Ergänzung und Vertiefung theoretischer Konzepte bereits im Grundstudium erreicht werden kann.

Außerdem sind Konzepte zu entwickeln,

- wie der aus Nachbardisziplinen erfolgende Lehrimport insbesondere in den theoretisch anspruchsvollen Fächern erfolgreicher gestaltet werden kann.

Dafür werden im Folgenden drei Empfehlungen gegeben.

3.1 Hochschulzugang und Orientierungsphase

Die grundsätzliche Einführung eines Auswahlverfahrens der Hochschulen für Studienanfänger in den Ingenieurwissenschaften ist aus Gründen der Qualitätssicherung notwendig (siehe Teil II, 3.). Es soll ergänzt werden durch die Orientierungsphase zu Beginn des Studiums, die den Studierenden ein Einblick in die Studienanforderungen und die Arbeitsweise des Ingenieurs vermittelt. Dabei sollen sich die Studienanfänger selbst testen, ob sie die für ein universitäres Ingenieurstudium notwendigen Fähigkeiten und Interessen besitzen. Diese Orientierung muss durch Tutorien und ein ausführliches Beratungsangebot unterstützt werden.

Thesen:

III 3.1 Alle Ingenieurstudiengänge sollen mit einer Orientierungsphase beginnen, die das erste und zweite Semester umfasst. In ihr sollen die Studierenden in den Übungen und bei der Projektarbeit (siehe 4.4) von Tutoren und Assistenten begleitet und zu selbstorganisierter Gruppenarbeit angeleitet werden.

III 3.2 Prüfungen am Ende des ersten und zweiten Semesters („Eignungsprüfungen“) mit einmaliger Wiederholbarkeit sollen in Verbindung mit qualifizierten Beratungsangeboten zu einem möglichen Wechsel von Studiengang und Hochschulart über die Fortführung des Studiums entscheiden und die spätere Abbrecherquote senken.

Es wurde wiederholt vorgeschlagen, für größere Ingenieurbereiche in den ersten beiden Semestern eine für alle verbindliche gemeinsame "Orientierungsphase" vorzusehen und erst danach gemäß den unterschiedlichen Anforderungen zu verzweigen und zu detaillieren. Der Vorteil ist, dass die Entscheidung für die konkrete Ausrichtung des Studiums erst zu einem späteren Zeitpunkt und dann viel begründeter getroffen würde. Diese Vorschläge in etwas modifizierter Form aufgreifend wird empfohlen:

III 3.3 Das Grundstudium für Studiengänge größerer Ingenieurbereiche soll in den ersten beiden Jahren zu einem erhöhten Anteil (>75%) aus gemeinsamen oder inhaltlich äquivalenten Lehrveranstaltungen bestehen und sich erst später verzweigen.

3.2 Projektarbeit im Team

Im Blick auf die im Ausland bewährte Praxis wird empfohlen:

III 3.4 Der Projektarbeit im Team muss bereits im Grundstudium ein größerer Raum zugewiesen werden,

- um Eigeninitiative und das Bewusstsein für die Komplexität technischer Produktentstehungsprozesse zu fördern,
- um die Nutzung der vermittelten theoretischen Konzepte (Mathematik, Systemwissenschaften, Naturwissenschaften) an konkreten Anwendungsbeispielen zu erproben,
- um wünschenswertes Zusatzwissen (Wirtschaftswissenschaften, Gesellschaftswissenschaften) im konkreten Kontext aufzunehmen,
- um die Teamfähigkeit (Interaktion, Artikulation, Präsentation) zu üben und zu stärken.

3.3 Lehrimport und -export

Traditionell wird ein erheblicher Anteil der wissenschaftlichen Grundlagen in der Ingenieurausbildung an Universitäten durch Professoren aus Nachbardisziplinen vermittelt („importiert“). Zur Entwicklung einer Kommunikationsfähigkeit mit den Nachbardisziplinen ist der Lehrimport durch ausgewiesene Fachvertreter dieser Disziplinen für die Studierenden essenziell. Gleichwohl stellt er für Lehrende und Studierende eine besondere Herausforderung dar. Das gilt insbesondere für die Pflichtvorlesungen in den Eingangssemestern mit großer Hörerzahl in Mathematik, Informatik und den Naturwissenschaften. Probleme entstehen, wenn Vorlesungs- und Übungsinhalte nicht ausreichend auf die Vorkenntnisse der Studierenden abgestimmt erscheinen und die Studierenden den Bezug zu ihrem Ingenieurstudium vermissen. Perpetuiert werden die Probleme, falls sich die betroffenen Hochschullehrer von den

Ingenieur fakultäten allein gelassen fühlen, wenn es um die Abstimmung von Lehrinhalten und insbesondere die Betreuung von Übungen und Tutorien geht.

Die Betreuung von Übungen und Tutorien sollte daher künftig noch stärker als bisher als gemeinsame Aufgabe der exportierenden und der importierenden Einheiten betrachtet werden. Dabei besteht die Hoffnung, dass eine verstärkte wissenschaftliche Zusammenarbeit von Natur- und Ingenieurwissenschaften dazu hilft, das Verständnis für Bedürfnisse und Unterschiede bei der wechselseitigen Stoffvermittlung wieder zu beleben und eine gelegentlich etablierte wechselseitige Sprachlosigkeit zu überwinden. Daher sind die Bemühungen, die Praxis des Lehrimports zu verbessern, nicht von den Anstrengungen um eine stärkere Forschungs Kooperation zwischen den Fakultäten zu trennen.

These:

III 3.5 Die Betreuung von Übungen und Tutorien in Mathematik, numerischer Mathematik und Informatik soll stärker als bisher als gemeinsame Aufgabe der exportierenden und importierenden Einheiten betrachtet werden. Dabei sind in Kleingruppen verstärkt Beispiele aus dem Ingenieurbereich zu behandeln. Der dafür erforderliche erhöhte Betreuungsaufwand soll insbesondere auch von solchen Ingenieurinstituten mitgetragen werden, die weniger stark über eigene Lehrveranstaltungen in der Grundausbildung involviert sind.

Auch in den Wirtschafts- und mehr noch in den Geistes- und Sozialwissenschaften behindert die oben apostrophierte Sprachlosigkeit zwischen den Disziplinen, dass „Nichttechnische Wahlfächer“ für Ingenieure mehr als exotische Farbtupfer in einem fachzentrierten Studium darstellen. Eine gemeinsame systematische Behandlung der angesprochenen Interaktionen zwischen Produkt/Prozess und Gesellschaft mit Schwerpunkten auf ökonomischem, ökologischem, sozialem und ethischem Gebiet sollte die Ingenieurwissenschaften stärker mit den Gesellschaftswissenschaften zusammenführen. Sie würde gleichzeitig deutlich machen, welche dieser Bereiche an einer technisch orientierten Universität besonders notwendig sind.

Thesen:

III 3.6 Für die Vermittlung der in Abschnitt III, 2. geforderten

- fachübergreifenden Methoden und Werkzeuge der angewandten Systemwissenschaften,
- Fähigkeiten zur selbständigen Entwicklung komplexer technischer Produkte,
- Ergänzung der naturwissenschaftlichen Grundlagen im Bereich molekularer und atomarer Vorgänge und Wechselwirkungen und
- der für eine nachhaltige Technikentwicklung notwendigen Grundkenntnisse in Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften

sollen neue Lehrkonzepte für Ingenieure aus einer Kombination von Vorlesungen und Projektarbeit entwickelt und für diese Entwicklungen (zeitbeschränkt und kompetitiv) Mittel bereitgestellt werden.

IV. Promotionen

1. Ingenieurpromotionen

Universitäre Forschung im Ingenieurbereich findet zu einem ganz entscheidenden Teil im Rahmen von Promotionen statt. In den Ingenieurwissenschaften promovieren bisher in der Regel zwischen 10 und 20% der Diplomabsolventen. Das ist erheblich weniger als der Promotionsanteil in den meisten Naturwissenschaften, entspricht aber offensichtlich dem Bedarf der Wirtschaft an dieser Zusatzqualifikation. Der ganz überwiegende Teil der promovierten Ingenieure verlässt nämlich die Universität mit dem Promotionsabschluss, um eine Tätigkeit in der freien Wirtschaft aufzunehmen. Im Gegensatz zu den Naturwissenschaften ist daher der Anteil der promovierten Hochschulwissenschaftler ("Postdocs") im Ingenieurbereich traditionell viel geringer.

Die Ingenieurpromotion erfolgt in aller Regel im Rahmen eines festen Beschäftigungsverhältnisses. Neben der Bearbeitung ihres wissenschaftlichen Forschungsthemas sind die wissenschaftlichen Mitarbeiter eingebunden in und unverzichtbar für die Aufrechterhaltung einer qualifizierten universitären Ausbildung. In Tutorien, im Rahmen der Betreuung von Übungen und Praktika sowie bei der Durchführung von Studien- und Diplomarbeiten stellen sie sicher, dass die Studierenden eine fundierte wissenschaftliche Ausbildung erfahren.

Die etablierte Form der Ingenieurpromotion an deutschen Universitäten ist somit eingebunden in und verknüpft mit dem Lehr- und Forschungsauftrag der Universitäten. Unter Anleitung ihrer Betreuer gewinnen die wissenschaftlichen Mitarbeiter auf diese Weise Erfahrungen in der wissenschaftlichen Stoffvermittlung und Mitarbeiterführung und erfahren andererseits durch Studien- und Diplomarbeiten Unterstützung bei der Bearbeitung ihres eigenen Forschungsthemas. Zusammen mit den Erfahrungen im Management der von ihnen betreuten Forschungsprojekte und in der Präsentation und Verteidigung der erarbeiteten Ergebnisse bei Kooperationspartnern und auf wissenschaftlichen Tagungen erhalten sie über die eigentliche wissenschaftliche Arbeit hinaus Zusatzqualifikationen, die von späteren Arbeitgebern hoch geschätzt und entsprechend honoriert werden.

Von verschiedenen Seiten geforderte Änderungen dieses etablierten und in die universitäre Ausbildung integrierten Systems der Ingenieurpromotion zielen im wesentlichen auf eine deutliche Verkürzung der Promotionsphase von zur Zeit 4 bis 5 Jahren ab. Es ist aber offensichtlich, dass dies nur entweder auf Kosten der Qualität der wissenschaftlichen Arbeit oder der oben genannten Zusatzqualifikation erfolgen kann. Diese Zusatzqualifikation wird aber gerade in der Wirtschaft von einem deutschen promovierten Ingenieur erwartet und eingefordert. Außerdem wäre bei einem Verzicht auf diese Zusatzqualifikation in der derzeitigen universitären Personalsituation die Qualität der wissenschaftlichen Ausbildung der Studierenden direkt betroffen.

Allerdings ist es wünschenswert, auch im Bereich der Promotionsausbildung eine über alle Ingenieur-Institute und -Fachbereiche vergleichbar hohe Qualität durch organisatorische Rahmenbedingungen zu sichern. Diese könnten z. Bsp. von einer „Graduate School of Engineering“ für den gesamten Ingenieurbereich einer Universität vorgegeben und überwacht werden. Dabei ist weniger an ein strukturiertes Promotionsstudium als an regelmäßige, im Wesentlichen von den Doktoranden selbst gestaltete, fachbezogene Doktorandenseminare sowie an Blockseminare zu fachübergreifenden Themen („Soft skills“, Wirtschaftswissenschaften, Managementtechniken....) gedacht. Dazu bietet es sich an, für die Teilnahme an den fachbezogenen Doktoran-

denseminaren themenverwandte, aber instituts- und fachbereichsübergreifende „Klassen“ zu bilden. Außerdem kann es sinnvoll sein, dem Doktoranden neben seinem Doktorvater von Beginn an einen zweiten Ansprechpartner zuzuweisen, der in der Regel später den Mitbericht zur Doktorarbeit übernimmt. Ziel ist es, auf diese Weise die institutsübergreifende Vernetzung der Doktoranden zu fördern.

Thesen:

- IV 1.1** Die bisherige Art der projektorientierten, in die universitäre Forschung und Lehre eingebundenen Ingenieurpromotion soll als Regelfall beibehalten werden.
- IV 1.2** Zur Sicherung einer vergleichbaren Qualität der Doktorandenausbildung sollte die Bildung einer fachbereichsübergreifenden „Graduate School of Engineering“ erwogen werden, die Standards für promotionsbegleitende Seminare und Fortbildungsveranstaltungen entwickelt und überwacht.
- IV 1.3** In Ergänzung zum unter IV 1.1 genannten Regelfall können Graduierten- oder Promotionskollegs mit dreijähriger Promotionszeit dort eingerichtet werden, wo sich Forschungsverbände mit interdisziplinärem Charakter auf konkrete, gemeinsame Forschungsaufgaben konzentrieren.

2. Industriepromotion

In letzter Zeit haben größere Industrieunternehmen vermehrt Industriepromotionen in für sie interessanten Themenbereichen angeboten mit der Aussicht, die Arbeit in einer auf drei Jahre befristeten Industrieposition durchzuführen und bei einem von der Industrie vermittelten Professor abschließen zu können. So sinnvoll und notwendig in vielen Fällen bei einer Promotion die direkte Zusammenarbeit mit der Industrie ist, so kritisch wird eine Fortführung oder Ausweitung dieser Praxis gesehen.

Die Ingenieurpromotion stellt eine umfangreiche, selbständige, **in die universitäre Forschung und Lehre eingebundene Forschungsarbeit** dar, deren Thema vom Doktoranden und vom betreuenden Hochschullehrer gemeinsam festgelegt und deren Inhalt gemeinsam an den Arbeitsfortschritt angepasst wird. Im Interesse einer fairen und sinnvollen Aufgabenteilung zwischen Industrie und Hochschule sollte an dieser Regel festgehalten werden. Sie gewährleistet, dass die Arbeit durchaus in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit einem Industriepartner durchgeführt werden kann, aber im Einflussbereich des betreuenden Hochschullehrers verbleibt.

These:

- IV 2.1** Promotionsarbeiten in Verbindung mit der Industrie sollten nur dann ausgegeben oder betreut werden, wenn ihr ein gemeinsames Forschungsprojekt zugrunde liegt und die Durchführung der Promotion nach Art und Umfang den am betreuenden Institut üblichen Bedingungen und Standards entspricht. Die bisher gelegentlich praktizierte Annahme einer vollständig in der Industrie durchgeführten umfangreichen Forschungsarbeit zur Promotion wird davon nicht berührt.

V. Hochschullehrer-Nachwuchs

Nach abgeschlossener Promotion ist der Wechsel in die Wirtschaft im Ingenieurbereich die Regel. Die sich damit anschließende Erfahrung und Bewährung in der beruflichen Praxis stellt in den meisten Ingenieurfächern eine wünschenswerte wenn nicht notwendige Voraussetzung für eine spätere Berufung an eine Hochschule dar. Das gilt in besonderem Maße für alle konstruktiven und planerischen Fachrichtungen (z. Bsp. im Bauingenieurwesen). Für eine universitäre Hochschullaufbahn ist daneben aber auch die Bekanntheit in und die Vernetzung mit der internationalen wissenschaftlichen Community von großer und stetig zunehmender Bedeutung.

In den weniger konstruktiv oder planerisch ausgerichteten Fachgebieten fanden promovierte Absolventen in der Vergangenheit häufig eine erste Anstellung in den zentralen Forschungslabors der Großindustrie. Hier hatten sie die Möglichkeit, sich an Forschungsthemen wissenschaftlich weiterzuqualifizieren und sich mit der internationalen wissenschaftlichen Community bekannt zu machen. In dem Maße, wie zentrale Forschungsabteilungen in den letzten Jahren stärker auf das kurz- und mittelfristige Kerngeschäft konzentriert wurden, ist diese Art der „wissenschaftlichen“ Industriekarriere deutlich seltener geworden. Mit genau diesem Qualifikationsprofil wurden allerdings in der Vergangenheit viele Industrieforscher für eine anschließende Hochschullehrerlaufbahn gewonnen. Die auf diese Weise gesicherte Kombination von Anwendungskompetenz und internationaler wissenschaftlicher Vernetzung der deutschen Hochschulforschung und -lehre hat maßgeblich zu ihrem exzellenten Ruf beigetragen.

Die Gewährleistung der Anwendungskompetenz muss auch künftig ein wesentliches Ziel bei der Sicherung des akademischen Nachwuchses im Ingenieurbereich sein. Für die eingangs geforderte stärkere Vernetzung von Hochschule und Industrie mit dem Ziel eines schnellen und erfolgreichen Transfers universitärer Forschungsergebnisse in die industrielle Innovationskette ist die Qualifizierung künftiger Hochschullehrer in der Industrie auch heute von entscheidender Bedeutung. Ebenso wichtig ist aber auch die Vernetzung mit der internationalen wissenschaftlichen Community des Fachgebiets, die mit Abschluss der Promotion in der Regel noch nicht ausreichend erfolgt ist. In Abwägung der verschiedenen, dafür vorgeschlagenen Konzepte werden im Wesentlichen drei unterschiedliche Optionen für die künftige wissenschaftliche Qualifikation zum Hochschullehrer gesehen:

- (1) wie bisher über eine Qualifikation in industrieller Forschungs- und Entwicklungstätigkeit im Anschluss an die Promotion;
- (2) für Arbeitsgebiete, in denen eine industrielle Tätigkeit nicht zwingend erscheint, eine Hochschullaufbahn über Post-doc-Phase und Aufbau einer eigenen Arbeitsgruppe (ggf. Juniorprofessur) ähnlich wie in den Naturwissenschaften;
- (3) für Arbeitsgebiete, in denen industrielle Erfahrungen erwartet und/oder vom Bewerber gewünscht werden, eine Post-doc-Phase in Verbindung mit der Leitung einer universitären Arbeitsgruppe, zweckmäßigerweise vor der Industrietätigkeit.

Die in anderen Wissenschaftsgebieten stark nachgefragte befristete Qualifizierungsphase im Rahmen der Stelle eines Nachwuchsgruppenleiters (Emmy-Noether-

Programm der DFG oder Juniorprofessur) sollte für die spezifischen Anforderungen im Ingenieurbereich modifiziert und verstärkt propagiert und genutzt werden.

Für ingenieurwissenschaftliche Bereiche, in denen die Vernetzung mit der internationalen wissenschaftlichen Community essentiell ist, hat die Post-doc-Phase vor der Industrietätigkeit den Vorteil, dass diese Verbindungen im Rahmen der Promotionsarbeit geknüpft und im Anschluss daran vertieft werden können. Danach wechselt der Bewerber/die Bewerberin von der befristeten Qualifizierungsstelle als Leiter einer Arbeitsgruppe an der Universität auf eine seiner Qualifikation entsprechende Tätigkeit in der Industrie.

Diese Laufbahn qualifiziert somit für den Beruf des Hochschullehrers, ohne den (Zwangs-) Mechanismus des Tenure Track oder die Notwendigkeit, ggf. eine Überbrückungsfinanzierung (DFG-Heisenberg-Programm) zu beanspruchen. Für die Industrie war eine entsprechend hervorragend ausgewiesene Persönlichkeit auch bisher trotz ihres höheren Alters durchaus attraktiv, vor allem dann, wenn bereits intensive Industriekontakte und Projektkooperationen bestanden.

Es wird vorgeschlagen, den letztgenannten Qualifikationsweg in den dafür geeigneten ingenieurwissenschaftlichen Fachgebieten unter den folgenden Bedingungen verstärkt auszubauen und zu nutzen:

Thesen:

- V 1.1** Absolventen mit hervorragender Promotion und der erkennbaren Eignung zum Hochschullehrer erhalten nach Abschluss ihrer Promotion die Möglichkeit, sich auf eine einem Nachwuchsgruppenleiter entsprechende Position zu bewerben oder die Leitung einer wissenschaftlichen Arbeitsgruppe zu übernehmen. Dafür bietet die 4- bis 5-jährige (mit den eingangs genannten weiteren Qualifikationen verbundene) Promotionsphase eine ausgezeichnete Grundlage. Sie lässt die Bewerbung um eine entsprechende Stelle auch ohne oder mit einer verkürzten „Post-Doc“-Phase zu.
- V 1.2** Die Nachwuchsgruppenleitung wird für einen Zeitraum von höchstens zwei mal drei Jahren vergeben. Danach wird in der Regel ein Wechsel in die Industrie erwartet, sofern noch kein Ruf auf eine Hochschulprofessur erfolgt ist. Je nach fachlicher Ausrichtung können die im Rahmen der Nachwuchsgruppenleitung durchgeführten Forschungsprojekte so gewählt werden, dass sie den Wechsel in die Industrie vorbereiten.
- V 1.3** Für diesen Qualifizierungsweg (ohne Industrieerfahrung) wird erwartet, dass der Bewerber im Masterstudium oder der Promotion mindestens einmal die Hochschule für einen längeren Zeitraum (in der Summe von mindestens einem Jahr) gewechselt hat, oder einen solchen Wechsel nach Abschluss seiner Promotion vornimmt.
- V 1.4** Bund und Länder sowie die DFG sollten prüfen, ob ihre vorhandenen Programme für Ingenieure entsprechend angepasst werden können. Die Industrie wird aufgerufen, für diesen Qualifikationsweg gemeinsam mit dem Kandidaten und seinem Hochschulinstitut Forschungsprojekte anzubieten.