

# Der Ingenieur im 21. Jahrhundert – Problemlöser zur Sicherung unserer Zukunft

G. Girmscheid

**Zusammenfassung** Die Welt mit ihrem explosionsartigen Bevölkerungswachstum, den Umweltverschmutzungen und Umweltveränderungen fordert höchste Problemlösungskompetenz von den Ingenieuren zur Bewältigung und Steuerung dieser Herausforderungen. Die Naturwissenschaften entwickeln Grundlagen, die die Basis darstellen, um Problemlösungen zu finden. Jedoch werden die Ingenieure die Produkte, Prozesse und Infrastrukturen gestalten und steuern, um dieses Basiswissen verantwortungsvoll hinsichtlich der technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimensionen für die Menschheit nutzbar zu machen. Die Ingenieure und besonders die Bau- und Umweltingenieure werden eine besondere Verantwortung zur Gestaltung der sozio-technischen Systeme haben, die zur Lösung der zukünftigen Aufgaben anstehen. In einem international globalisierten Umfeld stehen die europäischen Ingenieure dabei in einem Kosten- und Leistungs- sowie Lösungswettbewerb mit Ingenieuren sich entwickelnder Länder.

Der Beitrag versucht, aus diesen Umweltbedingungen die Anforderungen an einen zukunftsfähigen und wettbewerbsfähigen Ingenieur sowie die Grundanforderungen an die universitäre Ausbildung der Bau- und Umweltingenieure zu formulieren.

## The Engineer of the 21st Century – Problem solver to secure our future

**Abstract** The world's explosive growth of population, the pollution and the changes of the environment demand the highest problem solving competence from the engineers in order to cope with, and steer, these challenges. The fundamental basis to find problem solutions is developed by the natural sciences, however the engineers will design and steer the products, processes, and infrastructures in order to make this basic knowledge useful for mankind regarding the technical, economical, ecological, and social dimensions in a responsible way. The engineers, and especially the civil and environmental engineers, will have a special responsibility for the design of the socio-technical systems necessary for the solution of future tasks. In an internationally globalized environment, the European engineers are competing regarding costs, performance, and solutions with the engineers of the emerging countries. This contribution aims at framing the demands on the competitive engineer of the future, and the basic demands on the academic education of the civil and environmental engineers.

### Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

M.ASCE, John O. Bickel Award 2004 und 2005  
Professor für Bauprozess- und Bauunternehmensmanagement  
Vorsteher Institut für Bauplanung und Baubetrieb  
ETH Zürich  
CH – 8093 Zürich  
girmscheid@ibb.baug.ethz.ch  
Tel. (+41) 44 633 3787  
Fax (+41) 44 633 1088

## 1 Ausgangslage und globale Entwicklung

Um Strategien und Konzepte für die Ingenieur- und im Besonderen die Bau- und Umweltingenieurausbildung zu entwickeln, ist eine holistische, problemorientierte Umfeldanalyse Grundbedingung zur Erkenntnisgewinnung und Basis für die Gestaltung.

Die Ingenieurpraxis wie auch die Ingenieurausbildung muss sich an den sich rasend schnell verändernden globalen Kontext anpassen.

Veränderungstreiber [1] ist einerseits die Zunahme der Weltbevölkerung bis 2020 auf acht Milliarden, wobei bereits 2015 die meisten Menschen in urbanen Zentren leben werden. Es wird besonders in den sich entwickelnden Ländern zu einer Jugendgesellschaft kommen, bei der 50 % der Bevölkerung zwischen 15 und 30 Jahre alt sein werden, mit den einhergehenden Problemen der Jugendarbeitslosigkeit und der Perspektivlosigkeit, weil das Wachstum in diesen Ländern zwar überdurchschnittlich ist, es aber trotzdem nicht möglich sein wird, diese gewaltige Anzahl an Jugendlichen gleichzeitig zu beschäftigen. Diese Gesellschaften werden allerdings auch eine grosse Anzahl an Akademikern ausbilden, die zu einem relativen Niedriglohn höchstqualifizierte Arbeiten durchführen. Bereits heute bilden Indien und China mehr Akademiker und Ingenieure aus als die USA. Auf der anderen Seite wird es in den bereits entwickelten Ländern – in Europa, den USA, Kanada – zu einer überdurchschnittlichen Überalterung der Bevölkerung mit relativ grossen Problemen der Altersvorsorge kommen, die auch unmittelbar mit der Ausweitung des Pensionsalters einhergehen, besonders unter dem Aspekt, dass die durchschnittliche Lebenserwartung, die vor ca. 300 Jahren bei 37 Jahren lag, heute bereits auf ca. 80 Jahre gestiegen ist.

Wir wissen heute noch nicht, welche zusätzlichen Gefahren die Klimaveränderungen [2] mit sich bringen werden, denn diese Gefahren haben einen verzögerten Zeithorizont, d.h., wir müssen unsere Infrastrukturen, Agglomerationen und Kulturlandschaften mit ihren langen Lebenszyklen ausreichend früh darauf gestalten und dimensionieren. Besonders hervorzuheben sind hier Hochwasserereignisse, Lawinen- und Hangrutschungen, Meeresspiegelanstieg, Trockenheit mit einhergehender Verknappung von Nutzwasser sowie Luftverschmutzung etc.

Zudem leben wir in einer Welt, in der die Explosion des Wissens [3], [4], [5] und der Technologien in den absehbaren nächsten 15 bis 20 Jahren weiterhin gewaltig sein wird: durch die Informations- und Kommunikationstechnologie, durch Kapazitätssteigerungen in der Computertechnologie, in der Logistik von Informationen, Gütern und Dienstleistungen, in der Nanotechnologie, der Biotechnologie und im Material Engineering.

## 2 Kontext des zukünftigen Wirkungsumfelds

In diesem Kontext wird der Ingenieur – aber speziell der Bau- und Umweltingenieur – eine besonders wichtige Rolle spielen und im Interesse der Gesellschaft Systeme, Strukturen und Hilfsmittel entwickeln, um diese gigantischen Herausforderungen, die in der Welt in den nächsten 20 Jahren zu lösen sind, zu bewältigen. Der Ingenieur ist Dienstleister der Gesellschaft und muss sich auch als solcher verstehen. Er kann sein Image auch nur dadurch nachhaltig verbessern, dass er und die entsprechenden Verbände dies in der Gesellschaft kommunizieren.

Der technische und technologische Wandel wird in Zukunft immer schneller werden, Innovationen und erhöhte Wirtschaftlichkeit von Leistungen und Produkten müssen in immer kürzeren Zyklen entwickelt werden [6], [7]. Die Leistungsfähigkeit unserer zukünftigen Gesellschaft ist in einer Welt, die unter einem immer stärkeren, dynamischen Wettbewerb stehen wird, im Wesentlichen vom Ingenieur unserer Ingenieure abhängig. Ingenieure werden im Wesentlichen zu der nationalen Fähigkeit beitragen, durch Innovationen, die auf Nachhaltigkeit ausgelegt sind, Standortvorteile und Wettbewerbsfähigkeit der Nationen und Grosswirtschaftsregionen sicherzustellen. Die Probleme und Anforderungen an die Ingenieure verlangen komplexere interdisziplinäre Lösungsansätze für Produkte, Leistungen und Systeme, basierend auf den neuesten Technologien. Die Ingenieure werden einen wesentlichen Beitrag zur sozialen und ökonomischen Infrastrukturgestaltung leisten, ohne die unsere Gesellschaft nicht auf diesem Lebensstandard existieren könnte, indem sie die neuesten naturwissenschaftlichen Erkenntnisse ingenieurmässig nach ökonomischen Gesichtspunkten umsetzen.

In den entwickelten Ländern bestehen die Anforderungen für Bau- und Umweltingenieure darin, die existierenden Infrastrukturen zu erhalten und auf Nachhaltigkeit umzugestalten, Lösungen für Umwelt- und Naturgefahren zu finden und neue Technologien in Neu- und Bestandsstrukturen zu integrieren.

In den sich entwickelnden Ländern liegen die Anforderungen in der Erstellung und Erhaltung unter engen ökonomischen Vorgaben von nachhaltigen Infrastrukturen, Wohnungen, Industrieanlagen, Agglomerationen, Wasser- und Abwasserversorgungen, Energie- und Kommunikationssystemen für eine explosionsartig wachsende Bevölkerung. Dies muss auf sozio-ökonomischer, ökologischer Basis erfolgen.

Infrastrukturen werden als komplexe Systeme verstanden, geplant, gebaut und betrieben werden. Dabei müssen die funktionalen, technischen und ästhetischen, aber immer wichtiger auch die lebenszyklusorientierten Aspekte der ökologischen wie ökonomischen Auswirkungen systemisch beachtet und gesteuert werden. Die Infrastrukturen stehen in Interaktion mit unterschiedlichen Stakeholdern wie Nutzern und Betroffenen sowie Technik, Natur und kultureller Umwelt. Der Bau- und Umweltingenieur muss die Infrastruktur als System verstehen, das aus Bausubstanz und aus der Integration von Technologie zur Versorgung der Gesellschaft besteht. Er wird einen entscheidenden Beitrag zur Sicherstellung der Sicherheit und Lebensqualität der Gesellschaft leisten.

## 3 Anforderungen an den Ingenieur in der Zukunft

Um aufzuzeigen, welche Anforderungen an die zukünftigen Fähigkeiten und damit auch an die Ausbildung der Ingenieure, aber auch an die Rolle des Ingenieurs in der Gesellschaft gestellt werden, wurden folgende internationale und nationale Strategiepapiere mit allgemeinen Anforderungen an Ingenieure betrachtet:

- National Academy of Engineering (NAE):  
The Engineer of 2020 [8]
- National Academy of Engineering (NAE):  
Educating the Engineer of 2020 [9]
- Continental AG:  
In Search of Global  
Engineering Excellence [10]
- Verein deutscher Ingenieure (VDI):  
VDI-Ingenieurstudie [11]

Diese Strategiepapiere geben einen internationalen Überblick über die zukünftigen Fähigkeiten, die unsere Ingenieure, die in einem global wirkenden Umfeld leitende Funktionen einnehmen, haben sollten. Die Grundlagen dieser Fähigkeiten sollen bereits in der BSc-, MSc- und PhD-Ausbildung durch eine forschungsfokussierte Lehre erreicht werden.

Die Vision über die gesellschaftliche Verantwortung und die damit verbundenen Anforderungen an die Fähigkeiten des Ingenieurs und an die Ausbildung sind in „The Engineer of 2020“ [8] wiedergegeben. Zudem werden die die traditionelle Ingenieurausbildung ergänzenden, interdisziplinären, systemorientierten und ökonomischen Anforderungen des ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology, USA) [12] aufgenommen.

Die Vision des „Committee on the Engineer“ [8, S. 49 u.f.] lautet:

*„We aspire to engineers in 2020 who will remain well grounded in the basics of mathematics and science, and who will expand their vision of design through a solid grounding in the humanities, social sciences, and economics. Emphasis on the creative process will allow more effective leadership in the development and application of next-generation technologies to problems of the future.“*

In der von Continental gesponserten Studie „In Search of Global Engineering Excellence“ [10], an der führende internationale technische Universitäten (ETH Zürich, Massachusetts Institute of Technology etc.) beteiligt waren, wird gefordert [10, S. 14]:

*„The activities of engineers have also changed, from developing new technical skills, units, and equipment to advanced problem-solving requiring skills in project planning, implementation, and integration of complex systems of hardware and software. Engineering teams follow the so-called product lifecycle: idea generation, product conception, product planning, product development and design, production planning, manufacturing, marketing and distribution, maintenance, repair, and overhaul to recycling and demolition. Consequently, engineers must complement their professional and technical expertise with non-technical competences such as systematic problem solving, communication, management, and leadership skills [11].“*

Neben diesen allgemeinen Anforderungen werden die Anforderungen an den Ingenieur zur Simulation und zur Modellierung von neuen Ingenieurstrukturen im Bau- und Endzustand sowie von Nutzungszuständen dramatisch wachsen. Damit wird es möglich, kritische Bauzustände zu simulieren, Alternativen zu entwickeln und diese technisch, sicherheits- und kostenmässig zu bewerten. Ferner müssen Nutzungs- und Störfälle simuliert werden, um Alternativen und Optimierungen zu finden. Damit wird es dem Bau- und Umweltingenieur immer mehr möglich, die Öffentlichkeit über neue Projekte oder geänderte Objekte zu informieren. Zudem kann er dadurch Risiken beurteilen und Gegenmassnahmen planen.

Im Baubereich sind neue Geschäfts- und Projektabwicklungsmodelle sowie deren Supportprozesse zu entwickeln, um die Lebenszyklusorientierung bei Neu- und Umbauten sowie bei der Instandhaltung zu etablieren, damit man nicht nur über Nachhaltigkeit spricht, sondern diese in der Bau- realität als wirtschaftlichen Anreiz nutzt. Besonders die Industrialisierung der Bau- und Unterhaltsprozesse wird sich fortsetzen und verstärken. Automatisierung, Robotik und Logistik werden in Zukunft eine immer grössere Bedeutung in den Bauprozessen und damit für die Managementkompetenzen der Ingenieure erhalten.

Gegenwärtig sind die Städte – teilweise in der entwickelten Welt und besonders dramatisch in den sich entwickelnden Ländern – „Opfer“ von Pollution, Verkehr und Infrastrukturproblemen, Reduzierung von Grünflächen, einer Verarmung der Biodiversität und einer sich verschlechternden Bildung. Hier bieten sich komplexe Fragestellungen, die der Ingenieur mit der sich explosionsartig entwickelnden Technologie lösen muss. Der Bau- und Umweltingenieur muss im Team Lösungsansätze finden, um Systemüberlastungen und Systemunterbrechungen in einem Netz durch Netzsteuerungsmassnahmen schnellstens zu beheben und um Auswirkungen von Naturgefahren und anderen Gefahren zu minimieren bzw. bei deren Eintreten Sicherungs- und Aufbau-massnahmen einzuleiten. Dazu sind Simulationen unumgänglich, die auch in Zukunft entwickelt werden müssen.

Die global beschleunigte Entwicklung der Bevölkerung und Ökonomie wird auch wirtschaftliche Gefahren für unsere Ingenieure mit sich bringen. Heute bereits bildet China [15] ca. dreimal so viele Ingenieure aus wie die USA [14]. China versucht mit grössten Anstrengungen, den Westen technologisch einzuholen und sendet tausende von hoch qualifizierten und neugierigen Ingenieuren und anderen Akademikern in die USA, nach Deutschland und England, um in kurzer Zeit höchstes universitäres Know-how nach China zu bringen. Diese Ingenieure werden auch in den sich entwickelnden Ländern nur einen Teil des Einkommens unserer Ingenieure erzielen. Mit Hilfe der sich immer weiter entwickelnden Informations- und Kommunikationsmittel werden Unternehmen ihre Entwicklungen, Planungen etc. überall auf der Welt durchführen können. Besonders technische Routineaufgaben werden Gegenstand solcher Überlegungen sein, nicht die Systementwicklung sowie ingenieurtechnischen Managementaufgaben. Die Unternehmen werden tendenziell in Versuchung geraten, dieses Potenzial von qualifizierten Niedriglohn-Ingenieuren zu erschliessen – eine schwierige Herausforderung, die Fragen an die Überlebensfähigkeit westlicher Hochlohngesellschaften stellt.

Diese Herausforderung steht mit den Fragestellungen der Wettbewerbsfähigkeit und Innovationsfähigkeit unserer Gesellschaft in Zusammenhang. Auch die nationale Sicherheit gehört zu solchen Fragen, die sich in Grossregionen stellen und auch nur dort gelöst werden können.

Es wird einen Verteilungskampfs um Ressourcen geben, den kleine Nationalstaaten nicht mehr alleine lösen werden. Mächte wie die USA, China, Indien und die EU sowie Konglomerate wichtiger mittelgrosser Staaten stehen in einem Sicherheits- und Ressourcenwettbewerb. Hier ergeben sich die grossen Risiken im Spannungsfeld der Unterschiede sozialen Potenzials und ungleich verteilter Ressourcen, einhergehend mit den Fragen der Nachhaltigkeit unseres sozialen und politischen Handelns. Zu diesen Fragen gibt es keine einfachen Antworten. Trotzdem wird der Ingenieur hier eine sehr wichtige soziale Verantwortung übernehmen.

#### 4 Anforderungen an die Ingenieurausbildung

Die Anforderungen an die Bau- und Umweltingenieurausbildung müssen dem globalen Prozess des Wandels folgen. Damit ist nicht die Anpassung an die kurzfristigen Mode- und Opportunismuszyklen mancher Unternehmensvertreter oder der Marktnachfrage gemeint, sondern langfristige globale Veränderungen. Zur Begründung der Anforderungen an eine zukünftige Bau- und Umweltingenieurausbildung dient die in Kurzform zusammengestellte Analyse (Kapitel 5).

Als Basis zur Formulierung der zukünftigen Anforderungen an Ingenieure und im Besonderen an Bau- und Umweltingenieure sowie an die Lehre und Forschung wurden folgende Grundlagen herangezogen:

- ASCE: Body of Knowledge for the 21<sup>st</sup> Century [15]
- E-CORE: Strategy for Construction RTD [16]
- ECCE: European Council on Civil Engineering

Die ASCE hat in ihrem Policy Statement 465 die uneingeschränkte Forderung nach einer MSc-Ausbildung als Grundlage für die lizenzierte Berufsausübung gestellt. Im Rahmen dieser Positionierung hinsichtlich der zukünftigen beruflichen Qualifikation von US-Ingenieuren in einem globalisiert agierenden Umfeld wurde das „Body of Knowledge (BOK) Committee“ [15] gegründet. In diesem Zusammenhang wurde, aufbauend auf der Vision der NAE [8], gefordert, dass der Ingenieur ganz entscheidend die Infrastrukturen und die Bauprodukte gestaltet und baut. Dabei spielen die vernetzten Fragen der ökonomischen, aber auch nachhaltigen Lebenszyklusbetrachtung von Produkten und Infrastrukturen unter Nutzung und Entwicklung neuer Technologien eine treibende Rolle. Das BOK fordert von der zukünftigen Ingenieurausbildung wissenschaftlich fundierte Wissensinhalte in den BSc- und MSc- Programmen [15, S. 5,6 und S. 28,29].

Die Grundlagen dieser Fähigkeiten sollen bereits in der BSc-, MSc- und PhD-Ausbildung durch eine forschungsfokussierte Lehre erreicht werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass das, was an den Universitäten gelehrt wird, auch seinen fundierten zukunftsorientierten Ursprung in der sich zur Lehre analog spiegelnden Forschung hat. Fächer, die nicht ihre adäquate Abbildung in der Forschung

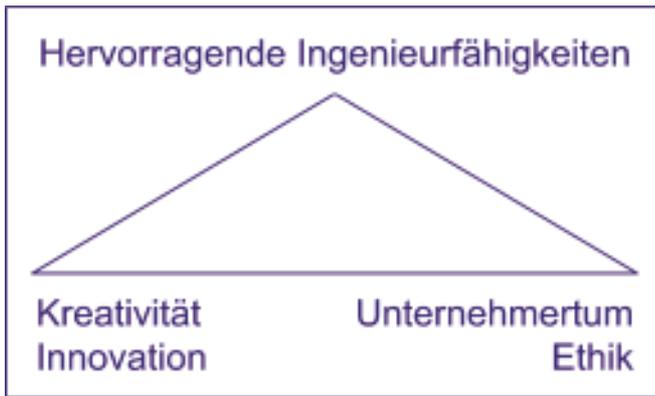


Bild 1. Fähigkeitsdreieck für Ingenieure  
Fig. 1. Ability triangle of Engineers

finden, sind kein oder, wenn doch, nur ein minimal ergänzender Anteil der Hochschulausbildung und bilden somit keine Vertieferrichtung in einer akademischen Ingenieurausbildung

Zusammengefasst können die Anforderungen an den Ingenieur der Zukunft wie folgt formuliert werden [8], [9], [10], [11], [15]:

- **Innovationsfähigkeit**
  - Systemperspektive
  - Entwicklung von Innovationen
  - Fähigkeit zur Integration neuer Technologien und Innovationen
- **Technische Fähigkeiten und Ingenieur-Know-how**
  - analytische Fähigkeiten unter Nutzung naturwissenschaftlicher, mathematischer Grundlagen und unter Beachtung ökonomischer, rechtlicher und politischer Aspekte und Randbedingungen
  - Ressourcenmanagement
  - Kreativität und ingenieurmässige Genialität für Innovationen, Querdenken, Kunst etc.
- **Spezielle Managementfähigkeiten**
  - Prinzipien der speziellen Betriebswissenschaft und des Managements
  - Zusammenarbeit in multidisziplinären Teams mit Experten aus verschiedenen Gebieten
  - Kommunikation der technischen Lösungen nach innen und aussen (Regierungen, private Industrien, Individuen)
  - Erkennen und Verstehen der Komplexität von Markt, Gesellschaft und Globalisierung
  - Managementkompetenz zur Gestaltung und Steuerung seines technischen und ökonomischen Umfelds
  - Zusammenführen und Managen von „outsourced“ Leistungen
  - Übernahme der Systemführerschaft bei der Leistungserbringung
- **Soziale und persönliche Fähigkeiten**
  - Führungseigenschaften, die sich aufgrund der Persönlichkeit ausprägen
  - hohe ethische Standards und Professionalität, gepaart mit Kühnheit und Verantwortungsbewusstsein

- Dynamik, Agilität und Flexibilität, um sich auf die Anforderungen einzustellen und die Probleme zu lösen
- Zudem ist, last but not least, lebenslanges Lernen ein Imperativ und eine wundersame Droge, um jung zu bleiben.

Für die Ingenieurausbildung und besonders für die Bau- und Umweltingenieurausbildung bedeutet dies die Vermittlung und Erprobung von Problemlösungskompetenz mit

- Problemanalyse
- Systemlösungsmethoden
- Dimensionierungsmethoden
- Prozesssteuerungsmethoden

Wir müssen in der Zukunft in unseren Ingenieurcurricula weiter sicherstellen, dass diese Anforderungen in den Ausbildungsinhalten adäquat berücksichtigt werden, besonders durch die neuen, international anerkannten, gestuften Ausbildungsprogramme, die in den letzten Jahren eingeführt wurden. Die neuen Hochschulabschlüsse lassen sich wie folgt deuten:

- BSc-Abschluss (Bachelor of Science): der „Ingenieur im Training“ bzw. Pre-Ingenieurabschluss
- MSc-Abschluss (Master of Science) als professioneller Ingenieurabschluss
- Doktorabschluss als professioneller, wissenschaftlicher Ingenieurabschluss

Die analytische, berechnungsorientierte Ausbildung z.B. der Bauingenieure wird weiter einen Kernbereich darstellen. Dabei muss beachtet werden, dass heute hauptsächlich computerbasierte Berechnungsmethoden existieren. Daher muss hier in den Curricula besonders auf die Ausbildung der Systemabstraktion und Systemmodellierungsfähigkeiten, aber auch auf die effiziente Überprüfung komplexer computerbasierter Ergebnisse Wert gelegt werden. Die Bau- und Umweltingenieure müssen in Zukunft als Systemlöser ausgebildet werden. Die Ausbildung muss eine holistische Problemlösungskompetenz vermitteln, die den Lebenszyklus von baulichen Infrastrukturen umfasst. Das Ziel der universitären Ingenieurausbildung muss es sein, dass die Absolventinnen und Absolventen die Basisinstrumente zum Gestalten und Managen von Infrastrukturen erlernen und anwenden können.

Die Grundlagen in den Kernfächern des Bau- und Umweltingenieurs werden sich trotz der Explosion des Wissens kaum ändern, jedoch die Inhalte und Methoden der Umsetzung. Die zukünftigen Herausforderungen der Gesellschaft und der Technologie verlangen eine interdisziplinäre, systembasierte Lösungskompetenz und zunehmend internationales Talent. Daher sind Querschnittskompetenzen für den Bau- und Umweltingenieur der Zukunft unabdingbar; sie liegen bei Bauingenieuren in den Baubetriebs- und Managementwissenschaften, bei den Umweltingenieuren in den Managementkompetenzen sowie bei allen in den Kommunikations- und Sprachfähigkeiten. Diese kann man nicht outsourcen; sie stellen somit für unsere Ingenieure eine immer wichtigere Kompetenz dar. Die Ingenieurwissenschaften – und auch im Besonderen die Bauingenieurwissenschaften –

Basiswissen	Spezialisierung	Aufbauwissen
Vorlesungen und Übungen Wissensvermittlung		Selbstständige wissenschaftliche Problemlösung
Projektarbeit Wissenserprobung Wissensmehrung		
BSc Bachelor of Science	MSc Master of Science	PhD Dr.-Ing./Dr. sc. techn.

Bild 2. Wissens- und Könnensausbildung in einer universitären Ingenieurausbildung  
Fig. 2. Knowledge and ability development of university engineer education

### Forschungsperspektiven der EU-Bauindustrie (E-CORE)

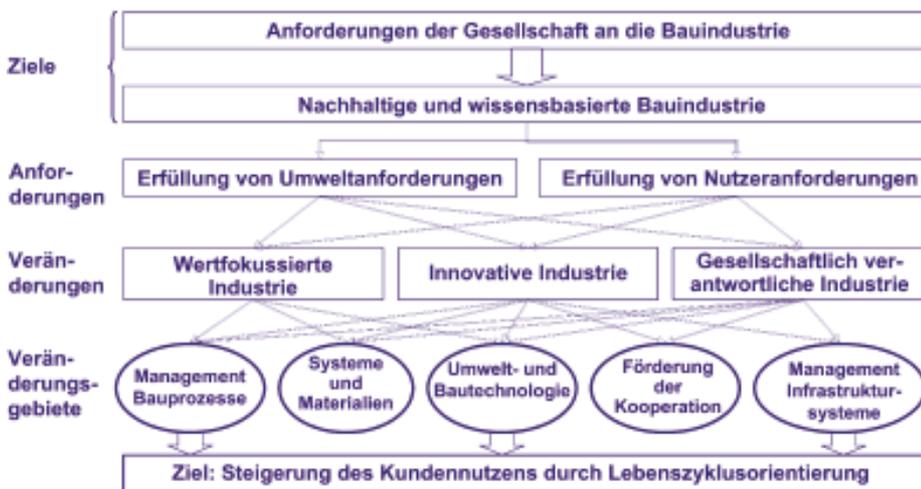


Bild 3. E-CORE – Potenzielle Forschungsschwerpunkte zur Weiterentwicklung der Bauindustrie  
Fig. 3. E-CORE – Potential research emphases to further develop the construction industry

werden einen enormen Beitrag zur Erhaltung und Steigerung der Lebensqualität in den entwickelten und unterentwickelten Ländern leisten.

Das Erfolgskonzept für einen Ingenieur der Zukunft bildet das Fähigkeitsdreieck (Bild 1) aus hervorragenden Ingenieurfähigkeiten des Gestaltens auf Basis der Kenntnis analytischer Konzepte, gepaart mit Unternehmertum mit dem Gespür für den Markt und Kunden sowie den erforderlichen Managementfähigkeiten zur Gestaltung der Planungs- und Produktionsprozesse.

Die Ingenieurausbildung muss Wissen vermitteln und durch selbstständige Wissensanwendung zur analytischen, konstruktivistischen Problemlösung Motivation schaffen, um selbstständiges lebenslanges Lernen zu üben. Dies wird erreicht durch Vorlesungen und Übungen zur Wissensvermittlung und Projektarbeiten zur Wissenserprobung und Wissensvermehrung. Eine Dissertation ermöglicht eine selbstständige wissenschaftliche Problemlösung (Bild 2). Dieses

wissenschaftliche Ausbilden von Ingenieuren wird für die Wirtschaft in Zukunft aufgrund komplexerer Projekte sowie technischer und umweltbedingter Fragestellungen immer bedeutender. Diese lassen sich nicht ausreichend mit dem Standardwissen lösen, sondern es bedarf wissenschaftsmethodischer Lösungsansätze, um Grenzen des Wissens zu überschreiten.

Forschungsfelder für eine wissenschaftliche Ausbildung liegen nicht nur in den traditionellen ingenieurwissenschaftlichen Gebieten; von besonderer Relevanz sind für die EU Forschungsansätze, die nach E-CORE [16] die Bauindustrie in den nächsten zwanzig Jahren zu einer wettbewerbsfähigen globalen Industrie entwickeln. Die Rolle der Bauindustrie wird darin als kunden- und umweltorientierter Wirtschaftszweig gesehen, der die Grundlagen für eine gesunde, prosperierende Gesellschaft bereitstellt, unterhält und steuert. In den strategischen Grundsätzen fokussiert E-CORE auf Forschungsfragen, die die Bauwirtschaft zu einer [6], [18]

- Value focused industry
- Innovative industry
- Socially responsible industry

heranbilden, die im internationalen Wettbewerb erfolgreich ist (Bild 5). Dabei ergeben sich folgende vorrangige Forschungsgebiete:

- Systeme und Materialien
- Neue Tragwerks- und Gründungskonzepte
- Umwelt- und Bautechnologie
- Management von Bauprozessen
- Management von Infrastruktursystemen

Die universitären Hochschulen müssen die Ingenieurstudentinnen und -studenten zu einem lebenslangen Lernen motivieren und befähigen. Dazu ist es erforderlich, die Grundlagen in den BSc- bzw. MSc-Programmen zu legen, denn die Ingenieure werden die Gestalter der dynamischen Prozesse der globalisierten Umwelt sein, die ein dauerndes, lebenslanges Erweitern des Wissens und der Fähigkeiten verlangt. Die universitären Hochschulen sollten daher entsprechende Weiterqualifizierungsprogramme für ein lebenslanges Lernen ihrer akademischen Abgänger anbieten. Diese Programme können durchaus Inhalte bieten, die die kurzfristigeren Marktbedürfnisse von Unternehmen befriedigen, damit diese im Wettbewerb erfolgreich sind.

## 5 Fazit / Ausblick

Die universitäre Ingenieurausbildung muss sich bei immer knapperen Mitteln auf die Kernbereiche der forschungsorientierten Lehre ausrichten. Die Ingenieurwissenschaften sind keine Grundlagenwissenschaften, sondern Gestaltungswissenschaften, auch wenn man formal- und naturwissenschaftliche Methoden zur Lösung von Fragestellungen der Forschung oder von Problemen bei der Gestaltung der Umwelt verwendet. Diese Position müssen die Professorinnen und Professoren in ihrem immer härter werdenden universitären Umfeld und vor allem in der Gesellschaft deutlich machen.

Die Naturwissenschaften entwickeln zurzeit explosionsartig neues Wissen, das sicherlich Basis sein kann, viele Probleme der sozialen, ökologischen und ökonomischen Veränderungen in der Welt zu lösen, jedoch werden nur die Ingenieure dieses Basiswissen in Produkte, Produktionsverfahren und Infrastrukturen umsetzen und für die Gesellschaft nutzbar machen. Die Ingenieure werden die wichtigsten Problemlöser und Gestalter unserer technischen Umwelt sein, unter holistischem Einbezug sozialer, wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte für eine lebenswerte Zukunft. Daher hat die strategische Ausrichtung der Ingenieur fakultäten auf die Kernfächer einer zukunftsorientierten Ausbildung grösste Priorität. Eine Verzettlung in Professuren, die sich zwar im internationalen Ranking gut darstellen lassen, aber nur Randgebiete abdecken, ist ein Luxus, der überdacht werden muss. Dies ist in einem naturwissenschaftlichen Umfeld vieler Hochschulen sicherlich schwierig. Ferner dürfen keine Professuren nur deshalb automatisch wiederbesetzt werden, weil sie bereits eine lange Vergangenheit haben, sondern nur aus Gründen, wie sie in die Strategie und in das Zu-

kunftsprogramm einer solchen Ingenieurausbildung passen. Die Professuren müssen forschungsorientiert und forschungsgetrieben sein. So genannte Kernfächer ohne soliden ingenieurwissenschaftlichen oder ingenieurbetriebswissenschaftlichen Hintergrund gehören weder in die Kerneausbildung noch sollten dafür Professuren etabliert werden.

Eine klar fokussierte, strategische Ingenieurausbildung wird der Gesellschaft, der Wirtschaft, den Unternehmen und den Ingenieuren eine erfolgreiche, lebenswerte Zukunft ermöglichen.

## Literatur

- [1] CIA (Central Intelligence Agency): Long-Term Global Demographic Trends: Reshaping the Geopolitical Landscape. In: [https://www.cia.gov/cia/reports/Demo\\_Trends\\_For\\_Web.pdf](https://www.cia.gov/cia/reports/Demo_Trends_For_Web.pdf). Washington DC, 2001
- [2] Schönwiese, Ch.-D.: Globaler und regionaler Klimawandel – Indizien der Vergangenheit, Modelle der Zukunft. In: UWSF – Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Bd. 17, Nr. 3/2005, S. 171–175
- [3] Marx, W.; Gramm, G.: Literaturflut – Informationslawine – Wissensexplosion. Wächst der Wissenschaft das Wissen über den Kopf? In: Zentrale Informationsvermittlung der Chemisch-Physikalisch-Technischen Sektion der MPG am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, Stuttgart, 2002
- [4] Kuhn, Th. S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Suhrkamp-Taschenbuch – Wissenschaft 25, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/Main, 1991
- [5] Stuhlhofer, F.: Unser Wissen verdoppelt sich alle 100 Jahre. In: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 6, 115–126 (1980)
- [6] Porter, M.E.: Wettbewerbsstrategien. Campus, Frankfurt/Main, 1999
- [7] Goldman, S.L. et al.: Agil im Wettbewerb. Springer Verlag, Berlin, 1996
- [8] National Academy of Engineering: The Engineer of 2020. The National Academies Press, Washington DC, 2004.
- [9] National Academy of Engineering: Educating the Engineer of 2020. The National Academies Press, Washington DC, 2005.
- [10] Continental AG: In Search of Global Engineering Excellence. Continental AG, Hannover, 2006.
- [11] Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Ingenieurstudie 2005. VDI Wissensforum IWB GmbH, Düsseldorf, 2005.
- [12] ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology): Proceedings of the 2004 ABET Annual Meeting: Competing in a Diverse World. Baltimore (MA), 2004
- [13] Ministry of Education: Educational Statistics Yearbook of China 1989–2000. People's Education Press, Beijing, 2000
- [14] NSB (National Science Board): The Science and Engineering Workforce: Realizing America's Potentials. Report 03–09, Arlington (VA), 2003
- [15] American Society of Civil Engineers: Body of Knowledge for the 21st Century. American Society of Civil Engineers, Reston Virginia, 2004.
- [16] European Construction Research Network: Strategy for Construction RTD. European Construction Research Network, Brussels, 2005.
- [17] European Council on Civil Engineering (ECCE): Proceedings of the EUCEET-ECCE International Conference (Sinaia/Rumänien, 13.-17.07.2001). Independent Film, Bukarest, 2002
- [18] Berner, F.: Hochschullehrer-Memorandum: Baubetrieb und Bauwirtschaft – Universitäre Lehre und Forschung. In: Bauingenieur, Bd. 81, Nr. 03/2006, S. 110–116