

WISSENSCHAFTSSYSTEMATIK VS. ARBEITSPROZESSBEZOGENE HANDLUNGSSYSTEMATIK IN DER INGENIEURBILDUNG

Steffen Kersten

TU Dresden, Institut für Berufspädagogik und Berufliche Fachrichtungen
steffen.kersten@tu-dresden.de

Abstract 1 *Kompetenzorientierte Lernprozesse in der Ingenieurausbildung sind mit der Forderung verbunden, an vollständigen, ganzheitlichen und arbeitsprozessbezogenen Handlungen orientiert zu sein. Dieser Ansatz führt zunehmend zu einer Abkehr von wissenschaftsdisziplinär strukturierten Ausbildungsanteilen zugunsten exemplarisch gewählter, auf konkrete Problemlösungen ausgerichtete Projektmodule. Der folgende Beitrag setzt sich mit dieser Entwicklung kritisch auseinander und führt zu der These, dass erfolgreiche Ingenieur Tätigkeit in der Berufspraxis einer wissenschafts-systematischen Grundbildung bedarf.*

Keywords: Ingenieurpädagogik, Hochschuldidaktik, kompetenzorientiertes Lernen

Abstract 2 *Competence orientated learning in engineering education is connected with the demand, to be oriented on complete, holistic and work process related activities. This approach is increasingly leading to a move away from science discipline structured study shares in favor of exemplary selected project modules, aligned to specific problem solving processes. The following article deals with this development critically and leads to the thesis that successful engineering activity in professional practice requires science systematic basic education.*

Keywords: Engineering Pedagogy, competence-oriented learning

ZUM KOMPETENZBEGRIFF IN DER INGENIEURAUSBILDUNG

Spätestens seit BOLOGNA ist die „kompetenzorientierte Gestaltung akademischen Lehrens und Lernens“ zum bildungspolitischen Schlagwort hochschuldidaktischer Bemühungen geworden. Studienziele sind in Kompetenzen zu beschreiben, Studiengänge sind kompetenzorientiert zu strukturieren, die methodische Gestaltung der akademischen Lehr- und Lernprozesse sollte auf die Herausbildung von Kompetenzen gerichtet sein und natürlich darf das kompetenzorientierte Prüfen und Bewerten nicht vergessen werden. Die „Learning-Outcomes“ sind in Form von Kompetenzen bzw. Qualifikationen zu beschreiben und aus Tätigkeitsanalysen in den anvisierten Beschäftigungsfeldern der späteren Graduierten zu ermitteln. Damit soll die Berufsfähigkeit der Studienabsolventen auf dem Arbeitsmarkt gesichert werden. Durch die Orientierung der Lernziele in den Studienmodulen auf die vom akademischen Arbeitsmarkt nachgefragten, und damit recht arbeitsprozessbezogenen Kompetenzen bzw. Qualifikationen, geraten mehr und mehr Studiengangstrukturen in den Fokus hochschuldidaktischer Diskussionen, in denen die arbeitsprozessbezogene Handlungssystematik die Wissenschaftssystematik in der akademischen Lehre verdrängt.

Dieser Ansatz kompetenzorientierten Lehrens und Lernens zieht sich durch alle Bereiche der Pädagogik und bleibt dabei, trotz vieler aufzeigbarer Stärken, nicht ohne berechtigte Kritik. Für die

Allgemeinbildung z.B. formuliert HEYMANN: „Die Kompetenzorientierung steht für den Anspruch, dass die Ergebnisse schulischen Lernens handlungsrelevant, praktisch anwendbar sowie persönlich und gesellschaftlich bedeutsam sein sollen.“ [1, S. 8] In Kritik dazu formuliert HUISKEN: „Mit dem Kompetenzcurriculum wird eine Fähigkeit angestrebt, die es nicht gibt und die auch kein Unterricht erzwingen kann. Es soll die Sache – die Mathematik oder die Fremdsprache z.B. – so gelernt werden, dass alle Anwendungsfälle der ‚Arbeits- und Lebenswelt‘ bereits in dieser Lehre enthalten sind... Diesem Ideal liegt der absurde Gedanke zugrunde, dass die Befähigung zu etwas Bestimmtem immer den Mangel an sich hat, eben nur für dieses Bestimmte tauglich zu sein und für etwas anderes, was z.B. von der Wirtschaft nachgefragt wird, gerade nicht. Der brutale Anspruch, der in der Propaganda dieser Fähigkeiten zum Ausdruck kommt, besteht darin, dass allen ‚Problemen‘, die im Beruf – aber nicht nur dort – auftauchen, adäquat und flexibel begegnet werden soll, um sie zur Zufriedenheit jener, die einem die Probleme bereiten, zu bewältigen. Im Unterricht erschlägt der ‚situationsspezifische Anwendungszusammenhang‘ jegliche Aneignung von bestimmtem, sachlogisch dargebotenem Wissen; oder es wird umgekehrt ein rein der Wissenschaft folgender Lernprozess als praxisfern denunziert... ‚Problemlösungskompetenz‘ ist der schöngefärbte Begriff für die Aneignung von geistigen Anpassungstechniken für reibungsfreies Funktionieren im Beruf, im Jobcenter bei der Einarbeitung und Umschulung oder im Privatleben.“ [2, S. 59f] Sicherlich ist die Kritik der Kölner Schülerin Naina KÜMMEL an der Allgemeinbildung nicht ganz unberechtigt, wenn sie bei Twitter schreibt „Ich bin fast 18 und hab keine Ahnung von Steuern, Miete und Versicherungen. Aber ich kann ‘ne Gedichtsanalyse schreiben. In 4 Sprachen.“ [3, S. 15] Inhalte und Ziele allgemeiner Bildung aber ausschließlich dem Aspekt ihrer Verwertbarkeit zu unterwerfen, dürfte allerdings auch kaum der richtige Weg sein, um Schüler auf einen noch völlig offenen privaten wie beruflichen Lebensweg vorzubereiten.

Der in der beruflichen Bildung genutzte Kompetenzbegriff geht weitgehend auf ein Verständnis BADERS zurück. Entsprechend seiner Definition ist „Berufliche Handlungskompetenz die Fähigkeit und Bereitschaft des Menschen, in beruflichen Situationen sach- und fachgerecht, persönlich durchdacht und in gesellschaftlicher Verantwortung zu handeln sowie seine Handlungsmöglichkeiten ständig weiterzuentwickeln“. [4, S. 75] Berufliche Handlungskompetenz hat demnach einen Bezug zu konkreten beruflichen Situation (man ist kompetent für etwas), beinhaltet die Selbstregulation und Verantwortung im beruflichen Handeln sowie das Vermögen der eigenen Weiterentwicklung. Dieser Auffassung folgend begann man in den 90er Jahren die Curricula in der beruflichen Bildung umzustrukturieren, von disziplinär strukturierten Unterrichtsfächern zu arbeitsprozessbezogenen Lernfeldern. „Lernfelder sind durch Zielformulierungen, Inhalte und Zeitrichtwerte beschriebene thematische Einheiten, die an beruflichen Aufgabenstellungen und Handlungsabläufen orientiert sind. Aus der Gesamtheit aller Lernfelder ergibt sich der Beitrag der Berufsschule zur Berufsqualifikation.“ [5, S. 14] Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: Die berufliche Grundbildung im Berufsfeld Bautechnik ist heute wie folgt curricular strukturiert:

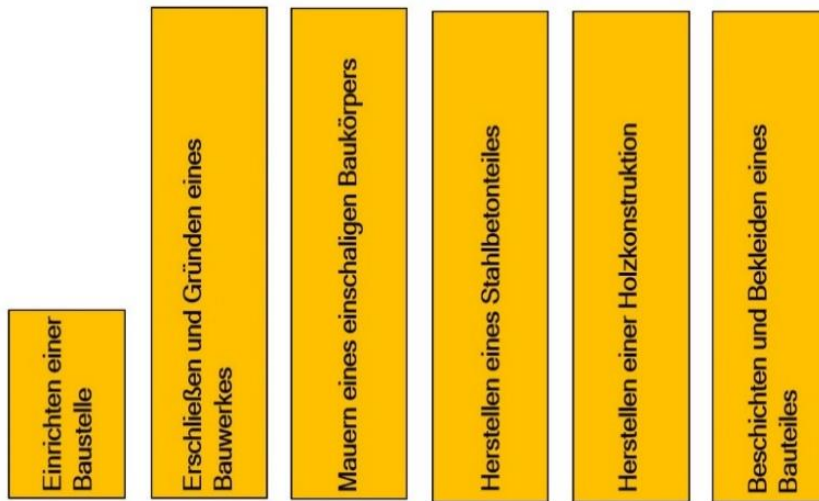


Abb. 1: Lernfelder in der Grundbildung Bautechnik [vgl.6, S. 8]

Grundlage für die erfolgreiche Einführung dieses Lernfeldkonzeptes sind Berufsstandards, die mit dem Berufsbild und den Prüfungsanforderungen klar in den Ausbildungsordnungen beschrieben sind und für die berufliche Bildung in ganz Deutschland verbindlichen Charakter haben. Damit sind die beruflichen Tätigkeitsfelder klar definiert. Hinzu kommt, dass die akademisch qualifizierten Berufspädagogen durchaus in der Lage sind, wissenschaftsdisziplinäre Systematisierungen über die Lernfelder hinweg vorzunehmen, um variable, transferierbare Wissensgrundlagen zu entwickeln.

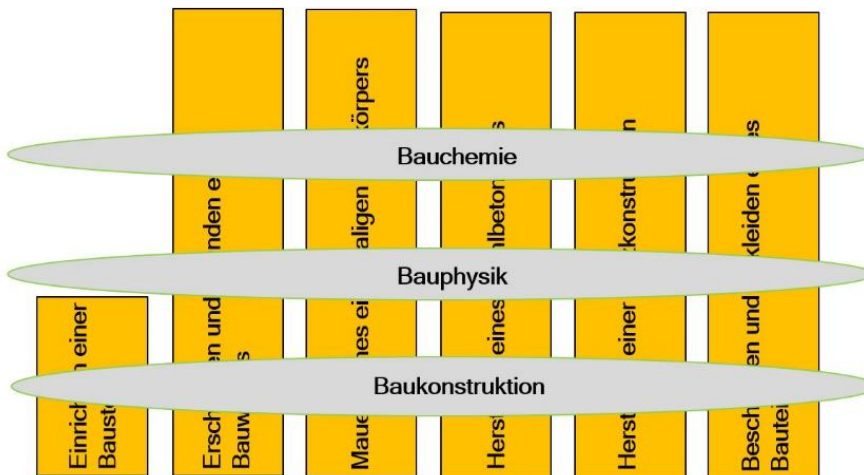


Abb. 2: Wissenschaftsdisziplinäre Systematisierungen über die Lernfelder der Grundbildung Bautechnik

Letztgenannte Bedingung ist selbstverständlich umso mehr in der akademischen Ingenieurausbildung gegeben. Eine klare Definition des Berufsbildes des Ingenieurs mit hinreichend präzisen Beschreibungen der konkreten Tätigkeitsbereiche des Ingenieurs als strukturgebende Elemente eines Curriculums dürfte allerdings Schwierigkeiten bereiten.

Bereits vor ca. 90 Jahren beschrieb BRAMESFELD die Tätigkeitsbereiche des Ingenieurs wie folgt:

- Technischer Forscher
- Ingenieur im höheren Lehrberuf
- Theoretiker und Rechner
- Versuchsingenieur
- Erbauer und Konstrukteur
- Bauleiter und Werkstättenpraktiker
- Arbeitsorganisator, Projektingenieur, beratender Ingenieur
- Verwaltungsingenieur, Industriekaufmann, Patentingenieur
- Unternehmer-Ingenieur

[7, S. 40 Tafel I]

Die Vielfalt der Aufgabenbereiche des Ingenieurs dürfte heute ähnlich umfangreich ausfallen, von der Entwicklung/Konstruktion über Produktion, Evaluation/Begutachtung, Vertrieb, Management bis hin zu akademischer Forschung und Lehre. Die aus dieser Tätigkeitsvielfalt resultierende Offenheit des Berufsbildes des Ingenieurs muss zwangsläufig zu einem akademischen Kompetenzverständnis führen, welches weniger die Berufsfähigkeit im Sinne der Vorbereitung auf konkrete berufliche Tätigkeiten als mehr „die Anschlussfähigkeit der akademisch entwickelten und vermittelten Inhalte und Methoden für berufliche Kontexte“ beinhaltet. [8, S. 22] Eine solche wissenschaftlich geprägte Ingenieurkompetenz ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- *reflexiv und explikationsfähig*; die Fähigkeit zur Reflexion des eigenen Handelns als auch zur Übertragung der eigenen Dispositionen auf neue Handlungskontexte
- *erkenntnisbasiert*; die Fähigkeit, Handlungssituationen systematisch, methodenkritisch sowie theorie- und erkenntnisgeleitet zu bewältigen
- *disziplinär organisiert*; Kompetenzentwicklung in wissenschaftsdisziplinären Strukturen in Kombination mit interdisziplinären, praktisch-konkreten Problemstellungen
- *auf komplexe neuartige Situationen und Aufgaben bezogen*; die Fähigkeit zur Bewältigung generischer Situations- und Aufgabenklassen auf der Basis grundlegender Herangehensweisen und Handlungspläne sowie dem systematischen Einsatz von wissenschaftlichen Methoden;
- *tätigkeitsfeldbezogen*; bedeutet in diesem Sinne die flexible Beschäftigungsfähigkeit in einem der Disziplin affinen Tätigkeitsfeld.

[vgl. 8, S. 22f]

Basierend auf den dargelegten Überlegungen zu einer tragfähigen Kompetenzauffassung für die akademische Ingenieurbildung lässt sich folgende These ableiten:

These 1:

Aufgrund notwendiger Unterschiede in den Kompetenzauffassungen zwischen beruflicher Bildung und Ingenieurbildung kann ein rein arbeitsprozessorientiertes Curriculum, analog dem Lernfeldmodell der deutschen Berufsbildung, kein tragfähiges Konzept zur Strukturierung ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge sein.

GRUNDLAGENWISSEN FÜR KONSTRUKTION UND ENTWICKLUNG

Wenn die Polyfunktionalität der Ingenieure nicht als Argument für eine überwiegend disziplinär ausgerichtete Struktur der Ingenieurbildung überzeugt, dann untersucht man einen wesentlichen Tätigkeitsbereich hinsichtlich der erforderlichen Persönlichkeitsdispositionen für dessen erfolgreiche Bewältigung. LOHMANN hat einst formuliert: „In den Naturwissenschaften wird entdeckt, in der

Technik erfunden.“ [9, S. 602] Das Lösen technischer Gestaltungsprobleme ist eines der wesentlichen Aufgabenfelder des Ingenieurs. In dem 2005 erschienenen Buch „*Kunst und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts*“ [10] untersucht HEYMANN die Ansätze der Konstruktionslehre der vergangenen 100 Jahre. Es würde den Umfang dieses Artikels sprengen, all diese Ansätze entsprechend ihrer Vorgehensweisen nach den erforderlichen Persönlichkeitsdispositionen des Ingenieurs zu untersuchen. Die Notwendigkeit einer systematischen Wissensbasis für die technische Konstruktion ist allerdings allen Ansätzen gemein. „Die mangelnde Kenntnis der Gesetzmäßigkeiten einer Konstruktionswissenschaft ist eine Ursache der Unkenntnis der Möglichkeiten.“ [11, S. 1077]. Der wesentliche Unterschied zwischen den Ansätzen besteht darin, ob sie auf wissenschaftsmethodischen Vorgehensweise beruhen oder eher heuristischen Denkregeln folgen. Beispielhaft sei hier der Konstruktionsprozess nach ULLMANN grafisch veranschaulicht. Neben dem Wissen über den Konstruktionsprozess selbst erfordert die erfolgreiche Lösung des technischen Gestaltungsproblems domain-spezifisches Wissen, welches einer fachsystematischen Strukturierung bedarf.

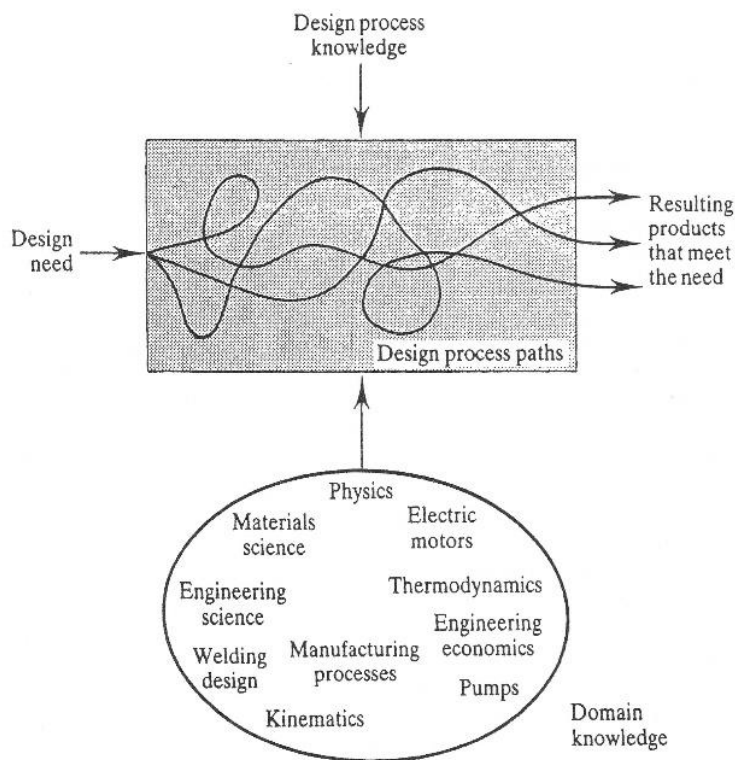


Abb 3: Konstruktionsprozess nach Ullmann (1992) zit. in [10, S. 488]

Jede Erfindung bedarf einer Uridee. Eine Eingebung, eine Vision, ein Geistesblitz? Eingebungen und Geistesblitze sind nicht erlernbar. Kreativität schon. „Die Idee ist nicht nur als kreatives Phantasiegebilde zu begreifen, sondern als „eine bestimmte Verknüpfung realer Erfahrungen, Fakten oder realer Elemente. ... Je größer die Anzahl der realen Elemente, um so größer die Verknüpfungsmöglichkeiten. ... Um eine Idee zu finden, müßte man also systematisch von einer Elementekombination ausgehen.“ [11, S. 1284f] Bekanntes, Ähnliches, Analoges, systematisch geordnet im Zweck-Mittel-Zusammenhang, bietet die Basis für erfolgreiche Konstruktion. „Das Erkennen einer Möglichkeit setzt das Wissen um eine Gesetzmäßigkeit voraus.“ [11, S. 1092] Dem

ließe sich die enorme Entwicklung der Möglichkeiten externer Wissensspeicherung durch die Informationstechnologien entgegenhalten. Ohne Zweifel hat sich die Entwicklungsarbeit des Ingenieurs durch die Informationstechnologien stark verändert. Nahezu unbegrenzte Möglichkeiten der externen Speicherung von Informationen und deren systematischem Abruf, Automatisierung von Berechnungen, Modellierung technischer Systeme und deren Simulation implizieren veränderte Anforderungen an den Ingenieur. Geblieben ist die Notwendigkeit einer systematischen Wissensbasis. Ohne diese ist das Verständnis extern gespeicherter Informationen nicht möglich, lassen sich diese Informationen nicht zu handlungsrelevanten Bestandteilen der eigenen Wissensstruktur machen. Dieses Grundlagenwissen verkörpert „ein Minimum an Wissen über ein Wissensgebiet, das jedoch den Schüler befähigt, jede weitere Information über dieses Wissensgebiet zu verstehen und richtig einzuordnen. ...Dieses Grundlagenwissen für ein bestimmtes Wissensgebiet ist hauptsächlich von dem betreffenden Wissensgebiet selbst abhängig, weniger von den beruflichen Anforderungen ...“. [12, S. 83] Die Konsequenzen aus diesen Überlegungen führen zur These 2:

Der schöpferische Prozess der technischen Konstruktion in der Ingenieurtätigkeit erfordert neben methodischen und heuristischen Voraussetzungen fachsystematisch strukturiertes Grundlagenwissen.

WISSENSSCHEMATA UND WISSENSSYSTEME

Die Vielfalt der Tätigkeitsbereiche des Ingenieurs im Allgemeinen und die schöpferische Tätigkeit des Ingenieurs in der Entwicklung und Konstruktion im Besonderen erfordern flexibles, auf neue Situationen transferierbares Wissen. Wie ist aber solches flexible Wissen im Gedächtnis repräsentiert und wie entsteht es? „Denken geht aus dem Tun hervor und wirkt als Handlungsregulation auf dieses zurück.“ [13, S. 50] Wissen entsteht durch Handeln. Jede Handlung erzeugt eine Struktur, eine "charakteristische, durch die Handlung gestiftete Ordnung". [14, S. 88] Das Wissen "... ist der dauernde Niederschlag des Handelns, Wahrnehmens und der kognitiven Prozesse, die das Handeln und Wahrnehmen ordnen. Das Wissen ist zugleich die Quelle neuen Handelns, Wahrnehmens und Denkens." [15, S. 193] Ein seit Jahrzehnten recht anerkanntes Modell der internen Wissensrepräsentation entwickelte AEBLI zu Beginn der 80er Jahre (Denken – Das Ordnen des Tuns Bd. 1 und 2) Darin unterscheidet er zwischen Wissensschemata (auch Handlungsschemata) und Wissenssystem. Die Schemata repräsentieren das Handlungswissen. Sie sind gebunden an den Zweck der Handlung und hierarchisch strukturiert. Schemata entstehen im Handeln durch Wissensreproduktion, -rekonstruktion und -transformation aus dem Wissenssystem und/oder durch Wissenskonstruktion im Sinne des Generierens neuer Erfahrungen.

Wissenssysteme sind im Gegensatz dazu ahierarchisch aufgebaut und zweckfrei. Sie sind ein "Netz von gleichgeordneten, sozusagen 'gleichgeschalteten' Elementen" [15, S. 198]. Wissenssysteme entstehen durch Einebnung der Schemata, wobei die zweckgebundenen hierarchischen Strukturen in die zweckfreien ahierarchischen Strukturen eingeebnet werden. "Das Material bleibt das gleiche; aber die dynamische Ausrichtung auf ein Handlungs- oder Erkenntnisziel weicht aus der Struktur. Es geht jetzt um den Zusammenhang des Bildes, um die Kohärenz des Systems, nicht mehr um die einsame Spitze ...". [15, S. 200]

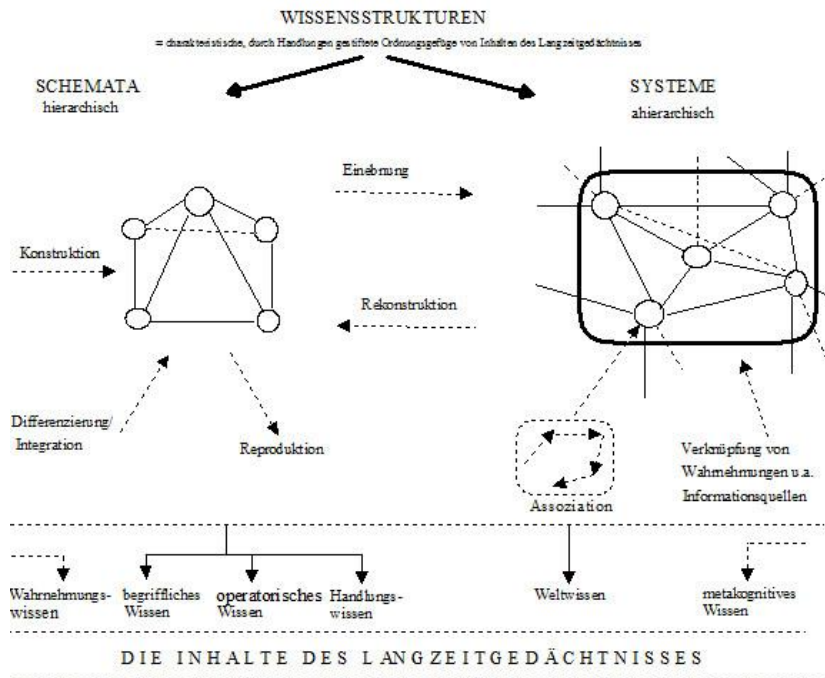


Abb. 4: Wissensrepräsentation nach AEBLI, [16, S. 41]

Flexibles, auf neue Situationen übertragbares Ingenieurwissen setzt bewegliche Wissenssysteme voraus, in denen das zweckfreie Wissensnetzwerk an möglichst vielen Knoten wieder hierarchisch aufgerichtet werden kann, um gemäß der gegebenen Handlungssituation taugliche Schemata bereitstellen zu können. Bewegliche Wissenssysteme entstehen aber nur, wenn sich die im Lernhandeln angeeignete Schemata in zweckfreie Netzwerke einbetten lassen. Verallgemeinerungen und Systematisierungen spielen hierbei eine entscheidende Rolle.

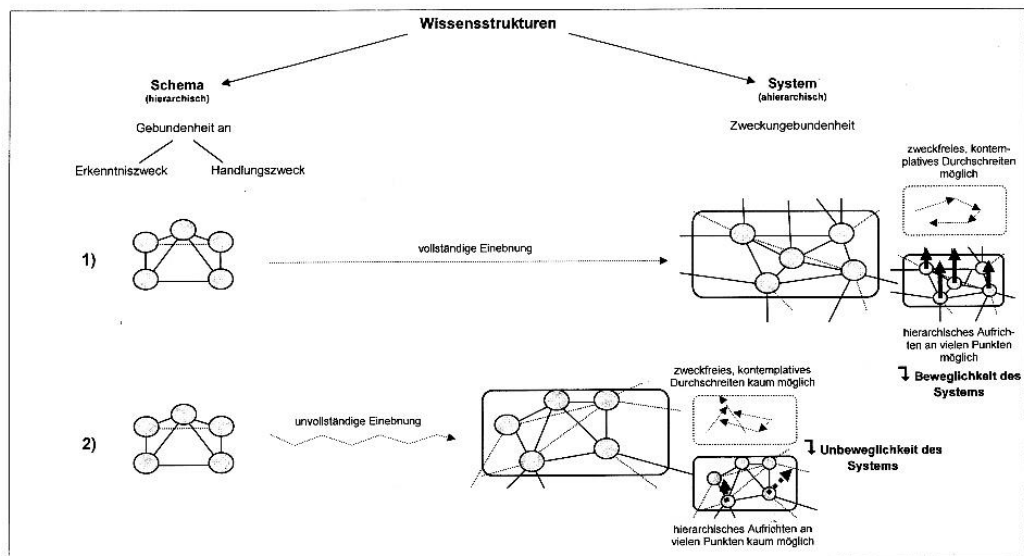


Abb. 5: Einbettung von Schemata [17, S. 77]

Lassen die Lernhandlungen durch eine zu hohe Situationsspezifität und Invariabilität keinen Spielraum für die Überführung der im Lernen entstandenen Handlungsschemata in zweckfreie Strukturen, entsteht Wissen, welches genau nur im gleichen Handlungskontext reproduzierbar ist. Für die flexibleren Prozesse der Rekonstruktion und Transformation ist es ungeeignet. Ich sehe die Gefahren weniger hinsichtlich der prozeduralen Elemente des Wissens. Methoden und Heuristiken, angewendet in konkreten ingenieurtypischen Problemlösungsprozessen führen fast immer zu verallgemeinerbaren Wissens-elementen und somit zur Stärkung der methodischen Komponente der Kompetenz. Bezüglich der deklarativen Elemente der Schemata wird aber zu hohe arbeitsprozessbezogene Exemplarizität die Beweglichkeit des entstehenden Wissenssystems einschränken.

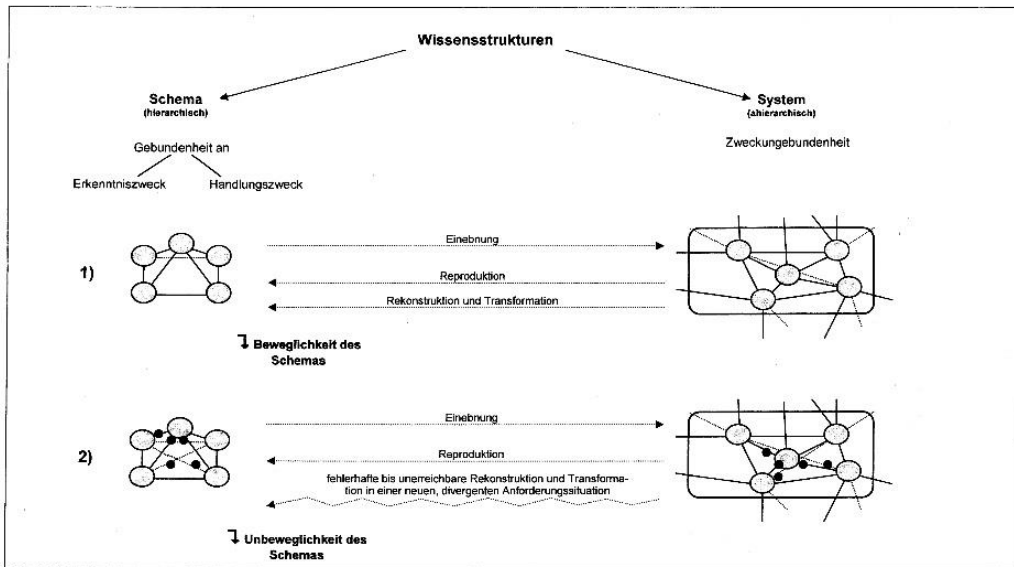


Abb. 6: Reproduktion, Rekonstruktion und Transformation von Wissen [17, S. 78]

Aus diesen kognitionspsychologischen Überlegungen lässt sich eine weitere These ableiten.

These 3:

Die Herausbildung variabler Wissenssysteme erfordert Lernhandlungen mit beweglichen Schemata in fachsystematischen Strukturen.

LOHMANN sah im Finden und Lösen der richtigen wissenschaftlichen Fragestellungen (W-Fragen) den Kern ingenieurtypischen, heuristischen Denkens. Er plädierte für eine konsequente Nutzung arbeitsprozessbezogener Aufgaben in der Ingenieurbildung auf der Grundlage wissenschaftsdisziplinärer Strukturen. „Im Falle der Ingenieurpädagogik kann aber die Wissensauswahl trotzdem nicht allein vom Standpunkt des Findens von W-Fragen getroffen werden, weil dadurch u.a. das didaktische Prinzip der Systematik gefährdet würde. Die Wissensauswahl geschieht innerhalb der für die Ingenieurerziehung gezogenen Wissensgrenzen. Dieses Wissensquantum aber muß genutzt werden, die Fähigkeit des Findens und Lösen von W-Fragen zu entwickeln.“ [11, S. 1077]

Die Kompetenzentwicklung in der Ingenieurausbildung erfordert demzufolge eine doppelte Handlungssystematik: Fachsystematische Lernhandlungen zur Entwicklung soliden Grundlagenwissens und arbeitsprozessbezogene Lernhandlungen zur methodischen Befähigung für ingenieurtypische Problemlösungsprozesse.

Referenzen

- [1] Heymann, H. W. (2004). Besserer Unterricht durch Sicherung von "Standards"? In Pädagogik, 56 (2004) Heft 6, S. 6 -10, Beltz-Verlag
- [2] Huisken, F. (2005). Der "Pisa-Schock" und seine Bewältigung: wieviel Dummheit braucht/verträgt die Republik?. Hamburg
- [3] Hock, A.; Neubacher, A.; Sauga, M.; Seith, A. (2016) Das Unvermögen. In: Der Spiegel 70 (2016) Heft 8, S. 15 - 23
- [4] Bader, R. (1989). Berufliche Handlungskompetenz. In: Die berufsbildende Schule 41 (1989) Heft 2, S. 73-77, DBB-Verlag
- [5] KMK (2000). Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz, Stand 15.09.2000
- [6] KMK (1999). Rahmenlehrpläne für die Berufsausbildung in der Bauwirtschaft. Stand 05.02.1999.
- [7] Bramesfeld, E. (1925). Der Ingenieurberuf. Leipzig
- [8] Schaper, N; Reis, O.; Wildt, J.; Horvath, E.; Bender, E. (2012). Fachgutachten zur Kompetenzorientierung in Studium und Lehre. HRK
- [9] Lohmann, H. (1953/54): Die Technik und ihre Lehre- Ein Forschungsteilprogramm für eine wissenschaftliche Ingenieurpädagogik. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Dresden 3 (1953/54) Heft 4, S.602-629
- [10] Heymann, M. (2005). Kunst und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts. Zürich
- [11] Lohmann, H. (1959/60). Zur Theorie und Praxis der Heuristik in der Ingenieureraziehung. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Dresden 9 (1959/60) Heft 4, S. 1060 – 1096 und Heft 5, S. 1281 – 1321
- [12] Wenzel, E. (1967). Geordneter Bildungsstoff – Projektiertes Wissen. Berlin
- [13] Gudjons, H (1989). Handlungsorientiert lehren und lernen: Projektunterricht und Schüleraktivität. Bad Heilbrunn
- [14] Aebli, H. (1980). Denken - das Ordnen des Tuns. Bd.1: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie. Stuttgart
- [15] Aebli, H. (1981). Denken - das Ordnen des Tuns. Bd.2: Denkprozesse. Stuttgart
- [16] Sonntag, K.(1993). Die Repräsentation beruflicher Wissensstrukturen – Leitgedanken zur Beschaffenheit und Organisation von Wissensstrukturen und ihre Bedeutung beim Lernen. In: Dresdner Beiträge zur Berufspädagogik Heft 3. Dresden 1993
- [17] Pastohr, M. (2008). Die Leistungsfähigkeit von Systemen tertiärer Bildung an der Schwelle zum Beschäftigungssystem. Dissertation TU Dresden