

Teil I Hintergrund der Untersuchung

2 Situationsanalyse

Veränderte Lernanforderungen durch neue Arbeits- und Organisationskonzepte, vor allem die Notwendigkeit einer verstärkten Umsetzung der Schlüsselqualifikationen in Verbindung mit Schlüsselinhalten, bringen zahlreiche Überlegungen zur Veränderung der beruflichen Ausbildung und somit auch der Ingenieurausbildung hervor.

Sowohl der VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) als Berufsverband als auch Ingenieurpädagogen, wie z.B. die Internationale Gesellschaft für Ingenieurpädagogik (IGIP), fordern seit langem und hochaktuell eine bessere Vorbereitung der Ingenieure auf die Berufspraxis.

Nach Aussagen des VDE werden folgende Anforderungen an das Studium gestellt: "Die Anforderungen der Wirtschaft an die Absolventen der Hochschulen sind in Anbetracht des Wandels sowohl innerhalb der Technik als auch innerhalb der Unternehmen sehr vielfältig. ... Hierzu gehören hauptsächlich folgende Kenntnisse und Fähigkeiten: Priorität hat eine hohe Fachqualifikation einschließlich der Fähigkeit der Absolventen zum selbstorganisierten Lernen und Arbeiten" (VDE 2000).

Innerhalb der IGIP werden mögliche Auswirkungen auf die Gestaltung und den Ablauf von Laborveranstaltungen diskutiert. "Die Ziele von Labordidaktik waren seither ausschließlich lehr-orientiert. Die Studenten sollen lernen, ihr Wissen zu vertiefen und, in geeigneten Berichten, anderen zu vermitteln. Seit der Begriff des praxis-orientierten Projektlabors aufgekommen ist, sind die Ziele erweitert worden. Die Studenten sollen industriegerecht Probleme lösen und die gewonnenen Ergebnisse präsentieren lernen" (Haug 1997). Das *praxis-orientierte Projektlabor* unterscheidet sich vom *lehr-orientierten Labor* im Wesentlichen durch den erweiterten Freiraum der Lernenden, vgl. dazu auch Kapitel 2.4.2 Lernarrangements im Laboratorium.

Im Folgenden soll in vier Schritten auf diese spezielle veränderte Situation eingegangen werden. Im *ersten Schritt* werden unterschiedliche Arbeits- und Organisationskonzepte

angesprochen und neuere Sichtweisen aufgezeigt. Im *zweiten Schritt* stehen insbesondere der steigende Automatisierungsgrad und die zunehmende Vernetzung in der industriellen Produktion im Hinblick auf den Informationsfluss im Vordergrund. Der *dritte Schritt* fokussiert die veränderten Qualifikationsanforderungen, die sich aus Schritt eins und zwei ergeben. Abschließend wird im *vierten Schritt* auf das lernorganisatorische Gestaltungsfeld eingegangen, in dem durch bestimmte Veränderungsspielräume Einfluss auf die Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen genommen werden kann.

2.1 Neue Arbeits- und Organisationskonzepte

Das Umfeld und die Probleme, die sich dem Ingenieur heute stellen, sind von einer neuen Dimension und Qualität. Mit der Einführung neuer Technologien unterliegen auch die Marktstrukturen und ihre Organisationsformen einem stetigen, weltweiten Wandel. Betriebliche Tätigkeiten und damit verbundene Anforderungen an die betreffenden Menschen verändern sich dementsprechend. Diesen externen Veränderungen steht ein interner, eher mentaler, Änderungsprozess gegenüber, der allgemein als Wertewandel in Wirtschaft und Gesellschaft bezeichnet wird. Im Kontext dieses Wertewandels ist z.B. die Arbeitszufriedenheit, die u.a. von der Selbst- und Mitgestaltung an der Arbeit mitbestimmt wird, zu berücksichtigen.

Die externen Einflüsse bewirken, dass die Komplexität und Dynamik der Veränderungsprozesse derart zunimmt, dass die Anpassungsfähigkeit vieler Unternehmen an ihre Grenzen stößt.

So haben sich z.B. die Produktlebenszyklen nach verschiedenen Untersuchungen innerhalb von 15 Jahren nahezu halbiert. Hingegen verkürzten sich die Entwicklungszeiten für neue Produkte im gleichen Zeitraum nur geringfügig (Mees 1993). Noch dynamischer stellt sich die Entwicklung bei der Aktualität von Informationen bzw. Wissen dar; auch die "Halbwertszeit" des Wissens (die Zeit, in der nur noch die Hälfte des ursprünglichen "Wissens" aktuell ist) verkürzt sich laufend. Informationen, die gestern noch wichtig waren (z.B. fachliche Spezialkenntnisse, Produktinformationen usw.), sind morgen kaum noch etwas wert. Die "Halbwertszeit" ist also durchaus wörtlich zu nehmen. Die einzelnen zeitkritischen Informationen gewinnen somit zunehmend an Bedeutung.

Auch die Internationalisierung verändert die Umgebungsbedingungen. Sie vollzieht sich durch offenere Märkte, größere Wirtschaftsräume, den Abbau von Handelsbeschränkungen, weiträumigere Standortverteilungen der Produktionsstätten. Internationalisierung heißt für das einzelne Unternehmen - und nicht zuletzt auch für den Ingenieur - mehr Wettbewerb und größere Konkurrenz. Die Internationalisierung bedeutet aber auch, dass neue Aktionsräume entstehen, in denen gehandelt werden kann.

Zunehmend wird erkannt, dass diese Zunahme an Komplexität und Dynamik nur mit flexiblen Organisationen bewältigt werden kann. Dies gilt nicht nur für die Unternehmen, sondern es trifft auch auf die Ingenieure von heute zu.

Die tayloristischen Organisationsformen des Arbeitens und des Lernens basieren auf der noch weit verbreiteten pessimistischen Sicht des Menschenbilds; Vorgesetzte müssen ihre Mitarbeiter motivieren und kontrollieren, Lehrer müssen ihre Schüler zur Mitarbeit anregen. Hauptmerkmal ist zum einen die arbeitsteilige Reduktion der Komplexität des zu Arbeitenden bzw. des zu Lernenden und die dadurch erzeugte Reduktion der Fähigkeiten des Menschen durch die Organisation. Zum anderen ist die Integration und Koordination der arbeitsteiligen Leistung durch das Misstrauensprinzip der Ergebniskontrolle zu nennen (Reetz, in: Beiler u.a. 1994).

Neuere Sichtweisen, wie z.B. die Human-Resources-Konzepte der betrieblichen Personal- und Organisationsentwicklung, gehen davon aus, dass die Menschen im Unternehmen nicht einseitig als führ- und steuerbare Objekte zu betrachten sind, sondern dass sie Subjekte mit einem Potential an Erfahrungen und Fähigkeiten darstellen, das aufgrund der organisatorischen Bedingungen genutzt werden kann. Anwendung finden solche Ansätze bei der sogenannten "schlanken Produktion". Im Gegensatz zur Massenproduktion nach dem tayloristischen Prinzip, die mehr zu einer Dequalifizierung der Arbeiter und zu einer hierarchisch gestuften Arbeitsteilung führte, verlangt das System der *Lean Production* kooperative Effizienz auf der Grundlage breiter beruflicher Fähigkeiten (Reetz, in: Beiler u.a. 1994). Sowohl Einsatz im Team als auch Problemlösungsfähigkeiten sind Merkmale, die dieses System kennzeichnen. In solchen Arbeits- und Organisationskonzepten spiegelt sich die starke Interdependenz zwischen Organisationsentwicklung und Qualifizierung (Schlüsselqualifizierung) wider.

2.2 Steigender Automatisierungsgrad / zunehmende Vernetzung

Betrachtet man die Entwicklung der Industriellen Produktion, Anlagen- und Prozesstechnik in den letzten zehn Jahren, so ist ein stark zunehmender Grad an Automatisierung festzustellen. In nahezu allen Bereichen der Industrie steigt das Maß der Dezentralisierung. Intelligente Funktionen werden weg von einer zentralen Steuerung hin zu den einzelnen Produktionselementen ausgelagert; es entstehen Vernetzungen (Brosch 1999). Alle Branchen werden in Zukunft auf die Kommunikationsfähigkeit der eingesetzten Systeme, Geräte und Komponenten achten müssen. Durch den Einzug der Digitaltechnik in die Steuerungssysteme in allen Bereichen der Automatisierungstechnik werden umfangreiche Datenpakete digital und bidirektional ausgetauscht. Dadurch wird eine anwenderfreundliche Bedienung, Programmierung und Fehleranalyse möglich (Brosch 1999). Der entstehende Informationsfluss, angefangen beim weltweiten Internet bis hin zum einfachsten Endschalter einer Produktionsinsel, verändert die Anforderungen an die Arbeit und an die Organisation.

Folglich greifen scheinbar erfolgreiche Ursache-Wirkungs-Modelle immer weniger in einer Organisation, die durch die technischen, insbesondere die kommunikationstechnischen, Möglichkeiten in ihren Teilbereichen miteinander so verknüpft ist, dass die Wirkung von Eingriffen oft nicht lokal begrenzt bleibt. Vielmehr handelt es sich heute um dynamische Systeme, die als komplexe, rückgekoppelte Netzwerke verstanden werden müssen.

Bussysteme spielen in diesen Systemen eine zunehmend wichtige Rolle. Sie tauschen elektronische Informationen in allen Bereichen eines modernen Unternehmens aus: von der obersten "Chefetage" bis in die unterste Ebene der Produktion. Der Einzug der mittlerweile preislich sehr günstig gewordenen Mikroprozessortechnik selbst in die untersten Ebenen der Automatisierungskomponenten macht den Einsatz von Feldbussystemen immer attraktiver. Dabei bringt die Vernetzung der unterschiedlichen digitalen Komponenten mit ihrer dezentralen technischen "Intelligenz" erhebliche Einsparungen bei dem Aufbau, der Inbetriebnahme, im Betrieb der Anlage und bei der Fehlersuche mit sich (Brosch 1999). Die Information wird zum entscheidenden "Produktionsfaktor" (vgl. dazu auch Kapitel 5.1 Allgemeines zur Vernetzung mit Bussystemen).

2.3 Mehrdimensionale Anforderungen / Schlüsselqualifikationen

Durch die Veränderungen im Wirkungsbereich von Arbeit und damit auch der Ingenieure ergibt sich aus zwei unterschiedlichen Momenten die Notwendigkeit mehrdimensionaler Fähigkeiten: zum einen sind dies die veränderten Qualifikationsanforderungen, um in der Berufs- und Arbeitswelt bestehen zu können. Das andere Moment geht in seiner Dimension noch einen Schritt weiter: zusätzlich zum Bestehen in der Berufs- und Arbeitswelt ist es notwendig, diese auch aktiv zu gestalten. Es muss also auch eine Qualifikation erreicht werden, die ein aktives Mitwirken bei dem praktischen Gestalten von Arbeitsorganisation und Arbeitsinhalten, der Auslegung technischer Systeme und der Schnittstellen zwischen Systemabläufen und menschlichen Arbeitsverrichtungen ermöglicht (Rauner 1988).

Eine rein fachliche - eindimensionale - Ausrichtung dieser Qualifikationen ist daher nicht ausreichend. "Bemängelt werden Defizite in den sogenannten *Soft Skills*, wie z.B. Teamfähigkeit, ... die rasche Einarbeitungsfähigkeit in die Probleme der Anwender Zusätzlich wird vom zukünftigen Ingenieur verlangt, dass er sich flexibel neuen Gegebenheiten anpassen muss und darauf entsprechend vorbereitet wird. Er soll außerdem Grundwissen aus benachbarten Disziplinen, gute Methodenkenntnisse ... sowie system- und problemorientiertes Denken in seiner Ausbildung vermittelt bekommen. Es werden Ingenieure als eine Art Problemlöser benötigt, die sich schnell auf neue Technologien einstellen können. ... Je stärker die Teamarbeit entwickelt wird, um so mehr gibt es über den reinen Informationstransfer hinaus (Lehrer-zentrierte Ausbildung) die Möglichkeit, neue Fragestellungen aufzuwerfen oder gar Denkweisen zu verändern. ... Der VDE empfiehlt: Der Anteil fachübergreifender, nicht-technischer Inhalte sollte im gesamten Studium etwa 15% des Stundenvolumens betragen. Viele der erwünschten Zusatzqualifikationen können in die bisherige Lehre integriert werden" (VDE 2000).

Im Zusammenhang mit technischer Ausbildung und fachübergreifenden Qualifikationen wird auch in der Ingenieurpädagogik der Begriff der *Schlüsselqualifikation* benutzt. Allgemein wurde die Diskussion um die Schlüsselqualifikationen Mitte der 80er Jahre verstärkt aufgenommen. Eine Vielzahl von Modellprojekten und Veröffentlichungen zu dem Thema folgten. Diese umfangreiche und vielschichtige, wissenschaftliche Diskussion soll an dieser Stelle nur in den Teilen hinzugezogen werden, die sich

konkret mit der Problematik der Entwicklung von Schlüsselqualifikationen im Kontext von Lernorganisationen auseinandersetzen. In der einschlägigen Literatur finden sich zahlreiche unterschiedliche Konzepte zu Schlüsselqualifikationen. Ein Dilemma, dass mit dem Begriff Schlüsselqualifikationen oft in Verbindung gebracht wird, beschreibt Zabeck (1991) wie folgt:

- Je allgemeiner und unspezifischer die Schlüsselqualifikationen definiert werden, desto wahrscheinlicher ist es, dass der Transfer misslingt.
- Je enger und situationsspezifischer die Schlüsselqualifikationen gefasst werden, desto weiter entfernen sie sich von der ihr zugesprochenen Form.

D.h., dort, wo Schlüsselqualifikationen ohne Bezug auf Inhalte nur im Sinne von Fähigkeitskataloge umschrieben werden, findet kein Transfer statt. Fähigkeitskataloge stellen nur dann keinen Rückfall in die überholte Theorie der funktionalen Bildung dar, wenn auch gesagt wird, mit welchen Inhalten diese Fähigkeiten einzuüben sind. Das Schlüsselqualifikationskonzept löst das Problem der Stoffüberfülle aus sich allein nicht (Dubs 1995). Schlüsselqualifikationen wollen/sollen antizipativ sein, d.h. auch für die Zukunft gültige Fähigkeiten und Inhalte umfassen. Während sich abzeichnet, dass antizipative Fähigkeiten empirisch bestimmbar sind (Reetz 1993), ist nicht möglich, die künftig relevanten Inhalte zu erfassen. Da für ein transferwirksames Wissen Lernen Fähigkeiten und Inhalte miteinander zu verbinden sind, bleibt die Inhaltsfrage auch bei Schlüsselqualifikationen zentral.

Schon Mertens (1974) hat darauf hingewiesen, dass Schlüsselqualifikationen einem ständigen Wandel unterliegen. Lässt man sich auf das Konzept der Schlüsselqualifikationen ein, so bedarf es einer ständigen Überprüfung der aufgestellten Qualifikationskataloge.

Schlüsselqualifikationen, wie beispielsweise Entscheidungsfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit oder die Fähigkeit zur selbstständigen Arbeitsgestaltung, machen deutlich, dass es sich dabei um eine höhere Form beruflicher Handlungsfähigkeit bzw. Qualifikation mit antizipativen Charakter handelt. Reetz (in: Beiler u.a. 1994) nennt in diesem Kontext drei theoretische Zusammenhänge der Qualifikation:

- Erstens:* aus Sicht der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung bildet Qualifikation ein Bündel von arbeitsmarktverwertbaren Fähigkeiten.

Zweitens: aus Sicht der Curriculum- und Lernzieltheorie kann man Qualifikation als komplexes Lernziel auffassen.

Drittens: aus Sicht der Kompetenztheorie werden (Schlüssel-)Qualifikationen als persönliches Potential an Fähigkeiten aufgefasst.

Die dritte Sichtweise, die sich mit persönlichkeitsbezogenen Fähigkeitspotentialen auseinandersetzt, spielt im Zusammenhang mit der Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen eine vorrangige Rolle. Sie soll daher auch in dieser Arbeit Grundlage der Betrachtungsweise von Schlüsselqualifikationen sein.

Für die durchgeführte Untersuchung wurde das Konzept von *Reetz* durch die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem *PETRA-Projekt*, welches eine pragmatische - nach Lernstufen und Zielbereichen gestufte - Taxonomie-Matrix liefert, ergänzt.

Die beiden herangezogenen Schlüsselqualifikationskonzepte sollen an dieser Stelle in kurzer Form vorgestellt werden.

Schlüsselqualifikationen und Persönlichkeit nach L. Reetz (1974)

Reetz hat früh die Gefahren des Ansatzes von Mertens (Rückfall in die funktionale Bildungstheorie) erkannt und seinen Ansatz als Persönlichkeitstheorie entwickelt und damit eine Verlagerung des Lernens auf die Person vornimmt (und damit konstruktivistische Elemente in das Schlüsselqualifikationskonzept hineinbringt) sowie das Lernen als aktiven Prozess definiert (Dubs 1995). In den Mittelpunkt stellt er die menschliche Handlungsfähigkeit. Reetz verweist in seinem Konzept auf den Zusammenhang von Inhalten und Fähigkeiten, der eine Voraussetzung für einen wirksamen Transfer ist.

Nach Reetz (in: Beiler u.a. 1994) meinen Schlüsselqualifikationen das Potential an **Selbst-, Sozial- oder Methodenkompetenz**, das beim Menschen vorhanden ist. Die Bedeutung des Fachwissens bleibt jedoch nach wie vor bestehen. Es muss vielmehr handlungsorientiert neu strukturiert werden, damit es als Transferwissen bereitsteht. Schlüsselqualifikationen sollen Fachwissen also nicht ersetzen, sondern sie sollen es ergänzen und verfügbar machen (Reetz, in: Beiler u.a. 1994).

Die drei Kompetenzen, die als Schlüsselqualifikationen bezeichnet werden, sollen an dieser Stelle kurz umschrieben werden.

Selbstkompetenz: Zu dieser Kompetenz werden nach Reetz charakterliche Einstellungen und Grundbefähigungen wie Ausdauer, Initiative, Leistungs- und Lernbereitschaft und

moralische Urteilsfähigkeit gezählt. Dies Kompetenz, die sich in lebenslangen Lern- und Qualifikationsprozessen bildet, wird in hierarchischen, tayloristischen Arbeits- und Lernorganisationen nur unzureichend berücksichtigt.

Sozialkompetenz: Die heutige Gesellschaft ist durch Konkurrenz und Einzelkämpfertum geprägt. Solidarität findet nur an sehr wenigen Stellen statt: die Familie und soziale Einrichtungen sind hier zu nennen. Neue Arbeits- und Organisationskonzepte bringen jedoch Teamarbeit, Arbeiten in Gruppen etc. mit sich. Dadurch werden Sozialkompetenzen, wie Kommunikationsfähigkeit, Kritikfähigkeit, Solidarität usw., von den Mitarbeitern verlangt.

Methodenkompetenz: Das Problemlösen, also handelnd ein Ziel zu erreichen, ohne dass der Weg ausreichend bekannt ist, ist etwas, was dem Menschen täglich widerfährt. Auch in der beruflichen Umgebung werden solche Kompetenzen verlangt, die eine Planung, Umsetzung und Beurteilung von Lösungs- bzw. Arbeitsprozessen ermöglichen.

Die Wichtigkeit von Methodenkompetenz zeigt sich, wenn man die zunehmende Komplexität und Vernetzung in den Arbeits- und Betriebsorganisationen betrachtet: ohne die Fähigkeit des **vernetzten, ganzheitlichen Denkens** ist es kaum möglich, die vielschichtigen Zusammenhänge zu erfassen und zu beeinflussen. Mit ganzheitlichem Denken ist ein integrierendes, zusammenfügendes Denken gemeint. Es beruht auf einem breiteren Horizont, geht von größeren Zusammenhängen aus und berücksichtigt viele Einflussgrößen. "Ein Denken also, das mehr demjenigen des viele Dinge zu einem Gesamtbild zusammenfügenden Generalisten als dem analytischen Vorgehen des auf ein enges Fachgebiet beschränkten Spezialisten entspricht." (Ulrich 1988).

Die Notwendigkeit einer neuen ganzheitlichen Denkweise beruht darauf, dass die Probleme, die sich dem Ingenieur heute stellen, von einer neuen Dimension und Qualität sind, d.h. eine Charakteristik aufweisen, die sich stark von früheren unterscheidet. Die typischen Merkmale aktueller Problemsituationen in allen Gesellschaftsbereichen lassen sich mit Hilfe von Begriffen der Systemtheorie wie *Vernetztheit, Komplexität, Rückkopplung* usw. darstellen (Ulrich 1988).

Ulrich (1988) nennt sieben "Bausteine des ganzheitlichen Denkens":

Baustein 1: Das Ganze und die Teile

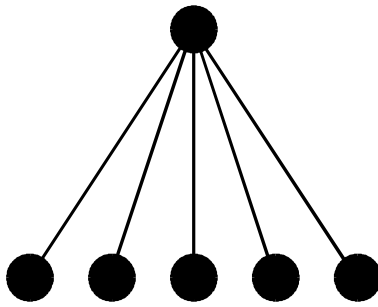
Baustein 2: Vernetztheit

Baustein 3:	Das System und seine Umwelt
Baustein 4:	Komplexität
Baustein 5:	Ordnung
Baustein 6:	Lenkung
Baustein 7:	Entwicklung

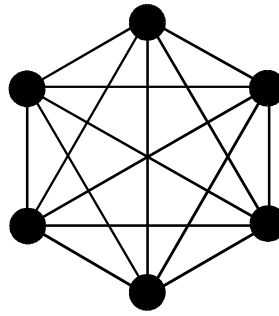
Die Zusammenstellung der Bausteine lässt erkennen, dass ein direkter Bezug zu der Ingenieurausbildung hergestellt werden kann. Die Bausteine 1, 2, 4 und 6 sind dabei besonders interessant für die durchgeführte Untersuchung und werden daher im Verlauf der Ausführungen noch angesprochen. Umfangreiche und detaillierte Ausführungen zum ganzheitlichen Denken und Handeln finden sich bei Ulrich (1988).

Durch den Baustein 2 *Vernetztheit* des ganzheitlichen Denkens (s.o.) wird die Überschneidung zum *vernetzten Denken* sehr deutlich. Im ganzheitlichen Ansatz werden u.a. folgende Fragen gestellt: Wie sind die einzelnen Teile des Systems miteinander verbunden? Aus welchen Zusammenhängen setzt sich das Gesamtbild zusammen?

In vielen Fällen wird dabei eine lineare Kausalkette als Verbindung angenommen, d.h. es wird von einfachen Linien ausgegangen, die Ursache und Wirkung miteinander verbinden. Oftmals wird sogar eine monokausale Verbindung vermutet, bei der ein Tatbestand auf eine einzige Ursache zurückzuführen ist. Diese bislang scheinbar so erfolgreichen Ursache-Wirkungs-Modelle greifen allerdings immer seltener in einer Welt, die zunehmend komplexer wird. Durch den hohen Grad an Komplexität eines Systems lässt sich die Wirkung von Eingriffen nicht mehr lokal begrenzen, sie breitet sich vielmehr netzwerkartig aus. An die Stelle der Vorstellung einer linearen Kausalkette muss die eines Netzwerkes treten (vgl. Abb. 2-1).



a) Monokausales Modell



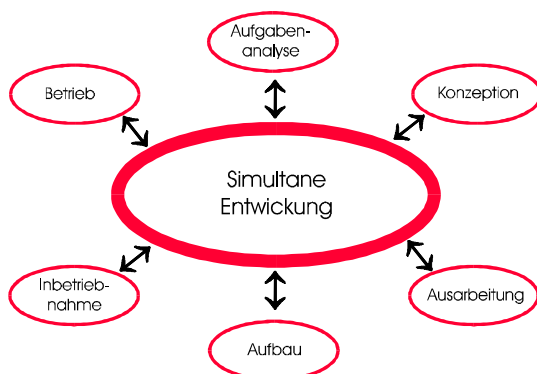
b) Symmetrisches vernetztes Modell

Abbildung 2-1: Monokausales und vernetztes Denken

Ein anschauliches Beispiel dazu liefert das tayloristische Prinzip der Arbeitsteilung (Haase, in: Blandow/Theuerkauf 1997). Nach diesem Prinzip wird der Produktionsprozess in möglichst viele Einzelteile zerlegt; eine weitgehend sequentielle Arbeitsteilung ist die Folge (vgl. Abb. 2-2).

**Abbildung 2-2: Sequentielle Produkterstellungskette**

Der Wirkungsverlauf zwischen den einzelnen Teilen kann jedoch von Fall zu Fall unterschiedlich sein und daher mit dem tayloristischen Prinzip nicht mehr erfasst werden. An die Stelle der sequentiellen Kette tritt eine simultane Entwicklungsumgebung (vgl. Abb. 2-3):

**Abbildung 2-3: Simultane Entwicklung eines Produktes**

Die einzelnen Teile der dynamischen Ganzheit eines Entwicklungsprozesses werden so durch ein vielfältiges Netzwerk verbunden.

Das kurze Beispiel des ganzheitlichen vernetzten Denkens als eine Form der Methodenkompetenz zeigt, dass Schlüsselqualifikationen mehrdimensionaler Ausprägung sind und zum Bestehen in neuen Arbeits- und Organisationskonzepten aber auch zu deren Gestaltung und Weiterentwicklung notwendig sind.

Schlüsselqualifikationen im PETRA-Projekt nach U. Klein (1990)

Im PETRA-Projekt steht eine transferorientierte Ausbildung im Vordergrund, bei der einmal gelerntes auf veränderte oder neue Situationen angewendet oder bei neu zu Lernendem auf frühere Erfahrungen zurückgegriffen werden kann (Klein 1990). Die beschriebenen Qualifikationen haben dabei nicht nur im Arbeitsleben ihre Bedeutung, sondern sie prägen ganz allgemein auch das Zusammenleben in Familie und Gesellschaft (Dubs 1995). Die Schlüsselqualifikationen werden im PETRA-Projekt in einer Taxonomie-Matrix zusammengefasst, die horizontal nach fünf Dimensionen mit den entsprechenden Zielbereichen und vertikal nach vier aufeinander aufbauenden Lernstufen gegliedert ist, vgl. Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1: Taxonomie der Schlüsselqualifikationen (Kurzfassung als Gerüst-Matrix) nach Klein (1990)

	I	II	III	IV	V
	Organisation und Ausführung der Übungsaufgabe	Kommunikation und Kooperation	Anwenden von Lerntechniken und geistigen Arbeitstechniken	Selbstständigkeit/ Verantwortung	Belastbarkeit
Zielbereich	Arbeitsplanung, Arbeitsausführung, Ergebniskontrolle	Verhalten in der Gruppe, Kontakt zu anderen, Teamarbeit	Lernverhalten, Auswerten und Weitergeben von Informationen	Eigen- und Mitverantwortung bei der Arbeit	Psychische und physische Beanspruchung
A Reproduktion					
B Reorganisation					
C Transfer	<i>Feld I C</i>				
D Problemlösen	<i>Feld I D</i>				

In den einzelnen Feldern der Matrix (vgl. Klein 1990, S. 32/33) wird umschrieben, was die Lernenden und die Lehrenden können bzw. tun müssen, wobei die Rolle des Lehrenden mit zunehmender Komplexität vom "Unterweiser" zum "Lernberater" verändert bzw. das eigenständige Lernen zum tragenden Faktor wird.

Exemplarisch sei an dieser Stelle ein Auszug der Taxonomie-Matrix dargestellt, der für die durchgeführte Untersuchung und der damit verbundene Beurteilung der *Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen* herangezogen wurde (vgl. Tabelle 2-2).

Dargestellt werden lediglich die Felder I C und I D der Matrix aus Tabelle 2-1.

Tabelle 2-2: Exemplarische Auszug aus der Taxonomie-Matrix (Klein 1990)

	I		II
	Organisation und Ausführung der Übungsaufgabe		Kommunikation und Kooperation
Zielbereich	Arbeitsplanung, Arbeitsausführung, Ergebniskontrolle		Verhalten in der Gruppe, Kontakt zu anderen, Teamarbeit
	Lernender	Ausbilder	
C Transfer	plant seine Aufgaben unter Berücksichtigung übergeordneter Gesichtspunkte. Er überträgt verfügbare Kenntnisse und Fertigkeiten auf veränderte Aufgabenstellungen.	erteilt Aufträge zu selbstständiger Planung und Arbeitsausführung, berät bei Bedarf , hält sich aber mit Vorschlägen zurück. Er leitet zu systematischer Fehleranalyse und Korrektur an.	
D Problemlösen	analysiert eine komplette Aufgabenstellung, entwickelt selbstständig und kreativ Lösungsalternativen und löst die Aufgabe methodisch.	führt an Aufgabenstellungen heran, die unkonventionelle Lösungsansätze erfordern. Er moderiert Fachgespräche zur systematischen Problemanalyse.	

Die Inhalte der einzelnen Matrixfelder machen den starken praktischen Bezug zur beruflichen Bildung deutlich - das PETRA-Projekt liefert somit für die durchgeführte Untersuchung einen wesentlichen Beitrag.

2.4 Lernorganisatorisches Gestaltungsfeld zur Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen

Schlüsselqualifikationen sind nicht durch direkte Instruktionen, sondern durch indirekte Förderung der persönlichen Kräfte und Kompetenzen zu erwerben. Dazu müssen die lernorganisatorischen Bedingungen geändert werden (Reetz, in: Beiler u.a. 1994).

Inwieweit solche veränderten Lernorganisationen Wirkungsverbindungen auf zu

entwickelnde und zu fördernde Qualifizierungen (Schlüsselqualifizierung) aufweisen können, soll in den folgenden drei Teilkapiteln theoretisch aufgezeigt werden.

Im ersten Teilkapitel sollen allgemeine Gestaltungsspielräume im didaktischen Handlungsfeld dargestellt werden. Der Bezug zum realen Arbeitsplatz, ganzheitliches Lernen, fächerübergreifendes Lernen und der Grad der Lernsteuerung sind die Dimensionen, die dieses Handlungsfeld bestimmen.

Im zweiten Teilkapitel wird auf die gegenwärtigen Formen von Lernarrangements eingegangen, wie sie in den Laboratorien an der Fachhochschule Hannover zu finden sind. Konkrete Lernsituationen, wie aktives Lernen, exploratorisches Lernen, Lernen in Gruppen und selbstorganisiertes Lernen werden erläutert.

Im dritten Teilkapitel wird der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Lernsteuerung auf die Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen hat. Die Öffnung der Lernumgebung ist eine der Möglichkeiten, die Lernsteuerung zu beeinflussen.

2.4.1 Gestaltungsspielräume in der beruflichen Bildung

Nicht das erweiterte fachliche Lernen, sondern das multidimensionale und effiziente Lernen wird zur eigentlichen lernorganisatorischen Aufgabe in der Ingenieurausbildung. Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten und Modellversuche beschäftigen sich mit dieser Aufgabe. Ein Modell, welches sich u.a. mit dem Didaktischen Handlungsfeld zur Umsetzung dieser erweiterten Zielsetzung auseinandersetzt, findet man bei Tilch (in: Tilch/Biel 1998). Dieses auch auf die Ingenieurausbildung zu übertragende Modell soll an dieser Stelle kurz vorgestellt werden.

Ausgangspunkte für das Modell sind die vier Dimensionen *Arbeit*, *Integration*, *Ganzheit* und *Lernsteuerung* (vgl. Abb. 2-4).

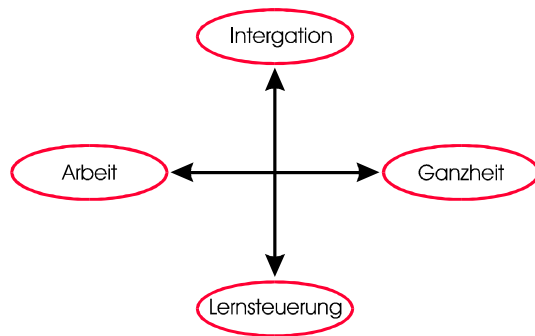


Abbildung 2-4: Didaktisches Handlungsfeld eines ganzheitlichen Konzeptes zur Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen (Tilch, in: Tilch/Biel 1998)

Die Dimension *Arbeit* umfasst in diesem Modell nicht nur den fachlichen Bezug zum realen Arbeitsplatz. Vielmehr müssen in ihr auch arbeitsorganisatorische und soziale Beziehungen berücksichtigt werden. Immer mehr Unternehmen verstehen sich als lernende Organisationen - eine stärkere Beteiligung der Beschäftigten und die Erweiterung ihrer Entscheidungs- und Gestaltungsspielräume sind die Folge. Dementsprechend werden zunehmend neue Fähigkeiten, wie z.B. das Organisationslernen, verlangt.

Die Dimension *Integration* verdeutlicht, dass in zunehmendem Maße die unterschiedlichen Lernzieldimensionen *kognitives, affektives und psychomotorisches Lernen* kombiniert miteinander angesprochen werden müssen. Die Tragweite dieser Dimension wird im Zusammenhang mit dem handlungsorientierten Lernen sowohl in der praktischen Lerneffizienz als auch in den theoretischen Begründungen besonders deutlich (Tilch, in: Tilch/Biel 1998). So liegen zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen vor, dass kognitive Fähigkeiten das Erlernen praktischer Fähigkeiten beeinflussen, insbesondere den Transfer dieser Fähigkeiten in unterschiedlichen Lern- und Arbeitszusammenhängen (Schelten 1987; Sonntag/Schaper 1988). Der enge Zusammenhang zwischen Kognition und Aktion geht ebenfalls aus den handlungstheoretischen und kognitionspsychologischen Begründungen zum handlungsorientierten Lernen hervor (Aebli 1980/81).

Die Dimension *Ganzheit* meint in diesem Kontext das Lernen in seiner situationsspezifischen Komplexität. Die Entwicklung von Fähigkeiten, wie vernetztes, ganzheitliches Denken, setzt vielschichtige, fächerübergreifende Zusammenhänge bei den Aufgabenstellungen voraus (vgl. Beispiel: Methodenkompetenz, S. 18). Wesentlich für diese Dimension ist der kontextuelle Zusammenhang zwischen, einerseits im

technisch-fachlichen Sinn der Lösung eines allein technischen Problems und andererseits im weiteren Sinn für das Erkennen organisatorischer und sozialer Zusammenhänge der Produktion und Anwendung (Tilch, in: Tilch/Biel 1998).

Der Dimension der **Lernsteuerung** kommt in der Diskussion um einen Paradigmenwechsel in der Didaktik beruflichen Lernens eine besondere Bedeutung zu (Kösel/Dürr 1995). In dieser Dimension werden Aspekte einer teilautonomen Lernsteuerung, Mitbestimmung, Lernkoordination und das soziale, kooperative Lernen zusammengefasst.

Anhand des beschriebenen Modells wird deutlich, dass alle vier Dimensionen bei der Analyse und Beurteilung von Lernumgebungen von großer Bedeutung sind und daher schon bei der Gestaltung berücksichtigt werden müssen.

2.4.2 Lernarrangements im Laboratorium

Verglichen mit anderen Formen der Lehrveranstaltung an der Fachhochschule Hannover, wie z.B. der Vorlesung in der frontalen Form, stellt das Lernarrangement "Laboratorium für Leistungselektronik" wie auch andere Laboratorien prinzipiell ein weiter gefasstes Handlungsfeld zur Verfügung. Begründet wird dies durch die didaktische Legitimation eines Laboratoriums an einer Fachhochschule, wobei das Lernen im Labor die handlungsorientierte Umsetzung des in der Vorlesung vermittelten theoretischen Wissens ist. Über die Aufgaben der Laboratorien im ingenieurwissenschaftlichen Bereich findet man bereits bei Langeheinecke (1971) folgende vier Grundfunktionen:

- (1) Vertiefen und Ergänzen des Stoffes, der schon in anderen Unterrichtsveranstaltungen vermittelt wurde.
- (2) Einführung in die Technik des Messens, der Messgeräte, und der Messverfahren.
- (3) Begegnung mit dem Versuch als Erkenntnisquelle.
- (4) Anregung und Anleitung zum selbstständigen Arbeiten, allein und in der Gruppe.

Abgesehen von der zweiten Aufgabe, die durch ihren starken fachlichen Bezug gekennzeichnet ist, steht diese knappe Beschreibung in vielen Aspekten mit dem heute aktuellen Didaktischen Handlungsfeld eines ganzheitlichen Konzeptes zur Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen in Einklang.

Die Bandbreite von Laborarbeit reicht von der Ergänzung der Vorlesung mit starren Vorgaben bis hin zum Problemlösungsverhalten.

Haug (1997) spricht von den *3 Stufen von Laborarbeit*:

Tabelle 2-3: Drei Stufen von Laborarbeit (Haug 1997)

Stufe III	Selbstständige ingenieurwissenschaftliche Arbeit (erreicht mit Semester und Diplomarbeiten)
Stufe II	Schrittweises Hinführen zu mehr selbstständiger (kreativer, innovativer) Labor-Arbeit
Stufe I	Übungs- und Praktikums-Versuche nach starrer Vorgabe

"Versuche der Stufe I werden nach starrer Vorschrift *abgefahren*. Es gibt keinen Freiraum für irgendwelche *Mitbestimmung der Lernenden* noch für Innovation. Diese Versuche sind schierer Programmierter Unterricht. Zwar sind sie anfangs unabdingbar, führen aber allein nie zum Ziel: dem selbstständigen, kreativen Ingenieur. Dies wird erst erreicht mit der wirklich selbstständigen, nur noch locker geführten Laborarbeit der Stufe III. Dazwischen klafft oft eine von den Studenten als unangenehm empfundene Lücke. Sie ist höchst demotivierend, wenn im höheren Studienfortschritt noch Labors in Form der Stufe I stattfinden" (Haug 1997).

Prinzipiell kann das Arbeiten im Laboratorium auch durch die folgenden vier Lernsituationen beschrieben werden, deren Intensität in den Stufen I - III (vgl. Tabelle 2-3) der Laborarbeit jedoch prinzipiell sehr unterschiedlich sein kann:

- *aktives Lernen,*
- *exploratorisches Lernen / Lernen aus Fehlern,*
- *Lernen in Gruppen,*
- *selbstorganisiertes Lernen.*

Einige Lernsituationen sind dabei interdependent oder zeigen deutliche Konvergenzen. Grundsätzlich sollte bei einer Versuchsdurchführung in einem Laboratorium ein Lernarrangement angeboten werden, das alle vier Lernsituationen ermöglicht. Ist dies idealer Weise der Fall, so werden sich diese immer in der Intensität, mit der sie auftreten, unterscheiden. Dies zeigt sich, wenn man die Lernsituationen im Einzelnen analysiert.

Aktives Lernen

"Man wird im allgemeinen durch die Gründe, welche man selbst gefunden hat, besser überzeugt als durch die, welche im Geiste anderer entstanden sind."

(Blaise Pascal), in: Schwarze/Webler (1998)

Der wohl wichtigste Gesichtspunkt bei der Betrachtung von Lernprozessen lautet: *Lernen ist ein aktiver Prozess*. In der heutigen wissenschaftlichen Diskussion ist diese Erkenntnis eine Selbstverständlichkeit. Betrachtet man jedoch ältere wissenschaftliche oder verbreitete alltägliche Vorstellungen über das Lernen, so herrscht ein stark rezeptives, passives Verständnis von Lernen vor (Friedrich u.a. 1997). Erst in den letzten Jahrzehnten wurde ein Verständnis entwickelt, nach dem der Lernende sein Wissen, seine Fähigkeiten und seine Fertigkeiten in der aktiven Auseinandersetzung mit den jeweiligen Lernanforderungen aufbaut. Ausgehend von seinem Wissen muss der Lernende den Sachverhalt - sei es problemlösend, sei es angeleitet - durchdringen und neue Verknüpfungen mit seinem Wissen herstellen (Friedrich u.a. 1997).

Lernen und Lernumgebung sind dabei komplementäre Begriffe: Lernumgebungen haben eine Anregungs- und Unterstützungsfunktion. Sie regen Lernende an, indem sie Lernanforderungen präsentieren, und sie unterstützen das Lernen, indem sie von sich aus oder auf Abruf Lernhilfen präsentieren (Friedrich u.a. 1997).

Genauere Erläuterungen dazu werden im Kapitel 4.5 (Beschreibung der Laborumgebungen) gegeben.

Exploratorisches Lernen / Lernen aus Fehlern

Der Mensch ist ein neugieriges Wesen. Er lernt, indem er Neues untersucht und ausprobiert. Die fachlichen Bezeichnungen dafür sind "entdeckendes" oder "exploratorisches Lernen" (Greif, in: Greif/Kurtz 1998). Elemente der "Theorie des Entdeckungslernens" von Bruner (1965 a, b) sind z.B. Überlegungen und Annahmen zum Erwerb, zur Transformation und zur Bewertung von Wissen als simultane Vorgänge beim Lernen sowie zur Repräsentation von Wissen. Er nennt u.a. die Verfügbarkeit spezieller heuristischer Methoden des Entdeckens (Friedrich u.a. 1997).

Greif weist in diesem Zusammenhang auf "ermutigende Resultate", besonders bei Langzeiteffekten und dem Transfer des Gelernten, hin (Greif, in: Greif/Kurtz 1998).

Fehlertraining in verschiedenen Varianten wird bei Greif (Greif/Kurtz 1998) als die "effektivste Lernmethode im Vergleich zu anderen" bewertet (Frese 1991, Hiltcher/Frese 1993).

Das Besondere beim exploratorischen Lernen ist, dass der Lernende nicht durch ein konkretes oder spezifisches, sondern durch ein unspezifisches Ziel motiviert wird, etwas Neues zu erfahren (Lorenz 1977). Planungen im Voraus gelingen dabei kaum. Fehler sind somit unvermeidbar (vgl. Hiltcher/Frese 1993). Wer exploratorisches Lernen anwenden will, muss sich deshalb mit dem Lernen aus Fehlern auseinandersetzen.

Lernen in Gruppen

Lernprozesse können kooperativ innerhalb von Gruppen stattfinden. Jeder Gruppenteilnehmer sollte dabei beobachten, nachdenken, sprachlich formulieren und gegebenenfalls auch handeln. Verbaler Gedankenaustausch und praktische Kooperation sind dabei integrierende Bestandteile des gesamten Lerngeschehens. Lernen in Gruppen bedeutet aber nicht, alles gemeinsam zu machen. Vielmehr ist das entscheidende Merkmal, dass eine wechselseitige Unterstützung der Lernenden untereinander stattfindet. Eigenaktivität darf dem Einzelnen daher nicht abgenommen werden. Im Gegenteil: sie kann und soll durch Kooperation eher angeregt werden; denn jede Handlung oder Teilhandlung, jede verbal geäußerte Einschätzung ist unmittelbar den Reaktionen der anderen Gruppenmitgliedern ausgesetzt (Skell, in: Greif/Kurtz 1998).

Zusammengefasst können folgende Vorzüge des Lernens in Gruppen genannt werden:

- *Das Lernen in Gruppen ist häufig anregender als einzelnes Lernen.* Jeder Gruppenteilnehmer hat andere Ansichten, andere Vorkenntnisse, andere Ideen usw. Dadurch werden neue Gedanken bei den einzelnen Teilnehmern generiert und verarbeitet. *Synergieeffekte* sind das Ergebnis. Es entsteht ein Gruppenvorteil hinsichtlich der Kreativität und der Qualität z.B. beim Lösen von Problemsituationen.
- *Das Lernen in Gruppen fördert die Kommunikationsfähigkeit.* Sofern die Teilnehmer sich aktiv am Gruppengeschehen beteiligen, müssen sie argumentieren und diskutieren. Das bedeutet, dass sie ihr Wissen explizit machen müssen, sie müssen untereinander kommunizieren.
- *Das Lernen in Gruppen trägt zur Klärung und Stabilisierung des eigenen Wissens bei.* Dadurch dass die Teilnehmer ihr Wissen bei möglichen Diskussionen in eigene Worte fassen müssen, zeigen sich eigene Wissenslücken und Verständnisschwierigkeiten. Unterschiedliche

Interpretationen und Einschätzungen werden offengelegt; das eigene Wissen steht auf dem Prüfstand und wird dabei mehr oder minder stark ergänzt oder verändert. Um sein eigenes Wissen verständlich vorzutragen, muss es strukturiert und organisiert werden; dies trägt ebenfalls zur Klärung und Stabilisierung bei.

- *Das Lernen in Gruppen fördert Sozialkompetenz.* Um praktisches Lernen in Gruppen zu ermöglichen, sind von den einzelnen Teilnehmern bestimmte Verhaltensweisen im Umgang zu pflegen: gegenseitige Anrede, Ausredenlassen, Zustimmung, Freundlichkeit usw. Es müssen mitunter Differenzen geklärt, Kompromisse erarbeitet werden. Kompetenzen zum sozialen Handeln können entwickelt und gefördert werden.
- *Die Lern- und Durchhaltungsmotivation kann durch Lernen in Gruppen gesteigert werden.* Die Motivation ist oftmals der Schlüssel zum Erfolg. Die von einer funktionierenden Gruppe ausgehenden Synergieeffekte, Anregungen und sozialen Unterstützungen tragen im Wesentlichen auch zur Motivation bei. Die besten "Motivatoren" eines Menschen sind oftmals andere Menschen und der Erfolg.
Collins u.a. sind der Meinung, dass das Lernen in Gruppen günstig sei für die *intrinsische Motivation* der Lernenden und die Entwicklung von Kooperationsbereitschaft und Teamgeist. Schließlich verweisen sie noch auf die positive Wirkung eines "gesunden Wettbewerbs" (Collins u.a. 1989).

Selbstorganisiertes Lernen

Selbstorganisiertes Lernen im Kontext der Ingenieurpädagogik lässt sich konkret durch das Ausmaß beschreiben, in dem die Lernenden (allein oder in der Gruppe) selbstbestimmt entscheiden können, was sie lernen und wie sie lernen. Greif/Kurtz (1998) nennt sechs Bereiche, in denen vom Lernenden selbstbestimmt entschieden werden kann:

- Lernaufgaben und Lernschritte
- Regeln der Aufgabenbearbeitung
- Lernmittel, Lernmethoden oder Lernwerkzeuge
- Zeitliche Investitionen und Wiederholungen
- Form der Feedbacks und der Unterstützung durch Experten
- Soziale Unterstützung durch Lernpartner

Sind in allen Bereichen maximale Entscheidungsfreiheiten vorhanden, spricht man von *radikal selbstbestimmtem Lernen*. Faktisch ist dies jedoch kaum möglich, da immer

konkrete Begrenzungen vorhanden sind (vgl. dazu Kapitel 4.5.2.4 Grenzen der Öffnung). Vielmehr ist es sinnvoll, Strategien und Techniken des *selbstgesteuerten Lernens* möglichst abgestimmt auf den jeweiligen Lehrstoff zu entwickeln und zu fördern.

Der gegenüber dem selbstgesteuerten Lernens weiter gefasste Begriff des selbstorganisierten Lernens ist allgemeiner und offener. Im Verlauf der Arbeit soll der Begriff des selbstorganisierten Lernens bevorzugt werden, wenngleich in der Ingenieurausbildung systemimmanente Grenzen (Prüfungsordnungen, Lehrpläne, materielle Voraussetzungen usw.) den Grad der Selbstständigkeit in starkem Maße bestimmen (vgl. dazu Kapitel 4.5.2.3 Aufgabenorientiertes selbstorganisiertes Lernen und Kapitel 4.5.2.4 Grenzen der Öffnung). Trotz dieser Einschränkungen erscheint es sinnvoll, das Ziel des selbstorganisierten Lernens aufrecht zu erhalten. Aus Erkenntnissen der Pädagogischen Psychologie, Entwicklungspsychologie und Motivationspsychologie gibt es eine Vielzahl von Hinweisen, dass die Erweiterung der Selbstbestimmung beim Lernen für die Motivation und Leistung sehr förderlich sein kann (Greif, in: Greif/Kurtz 1998).

2.4.3 Öffnung der Lernumgebung im Laboratorium

Um ein Lernarrangement im Laboratorium zu erreichen, dass in seiner Wirkung Schlüsselqualifikationen entwickeln und fördern kann, muss Einfluss auf die Dimension Lernsteuerung genommen werden. In Anlehnung an allgemeine didaktische Kategorien können folgende Entscheidungsfelder dazu genannt werden (Tilch, in: Tilch/Biel 1998):

- Lernbereiche, Lernziele und Lernaufgaben
- Art und Auswahl der Lernschritte innerhalb der Lernbereiche
- Lernstrategien (Regeln zur Aufgabenbearbeitung)
- Lernmethoden, Lernmittel/Lernwerkzeuge
- Lernorganisation (Sozialform, Hinzuziehung des Lernhelfers, organisatorischer Ablauf)

Durch eine Verlagerung der Lernsteuerung - weg von der tradierten lehrerorientierten Form, hin zu einer selbstorganisierten lernerorientierten Form von "Unterricht" - wird ein Lernarrangement erreicht, bei dem man auch von einer **geöffneten Lernumgebung** sprechen kann. Die Lücke zwischen der Stufe I und der Stufe III (vgl. Tabelle 2-3) wird geschlossen, bzw. ein Labor der Stufe I wird durch die Öffnung der Lernumgebung auf die Stufe II gehoben. "Der Student steigt vom Schüler ... zum Mitarbeiter, der Professor vom Standard-Lehrer ... zum Problemlösungsmanager. ... In Stufe II der selbstständigen Arbeit geht es um Problemlösungsverhalten, aber auch um Kommunikationsfähigkeit, Handlungs-, Entscheidungs- und Sach-Kompetenz. Von Bedeutung sind weiterhin Denke in Systemen, Modellbildung, interdisziplinäres Arbeiten, Verstehen komplexer Zusammenhänge" (Haug 1997).

Das Bild vom lediglich extrinsisch motivierten Lernenden, für den die Lehrperson vor allem die Aufgabe hat, die Lerninhalte anschaulich und eindrucksvoll zu vermitteln, wandelt sich zu einem neuen Bild, bei dem der Lernende intrinsisch an der Entfaltung seiner Fähigkeiten allgemein wie an den unterrichtlichen Zielen und Inhalten interessiert ist. Die Lehrperson wird beim Lernen zum Ratgeber und Helfer (Tilch, in: Tilch/Biel 1998). Die Lernenden sind dadurch in der Lage, aktiver und selbstverantwortlicher zu lernen und auch mehr "positiv akzentuierte" Fehler zu machen (vgl. dazu auch Kapitel 4.5.2 Divergenz des Öffnungsgrads).

