

Jörg-Peter Pahl



Konstruieren und berufliches Lernen

Konstruieren und berufliches Lernen

Jörg-Peter Pahl

unter Mitwirkung von Maike-Svenja Pahl

Konstruieren und berufliches Lernen



© W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG
Bielefeld 2015

Gesamtherstellung:
W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld
www.wbv.de

Umschlagfoto:
www.shutterstock.de, Garsya

3. erweiterte und aktualisierte Auflage

Bestell-Nr. 6001944a
ISBN (Print): 978-3-7639-5594-7
ISBN (E-Book): 978-3-7639-5595-4

Printed in Germany

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Insbesondere darf kein Teil dieses Werkes ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (unter Verwendung elektronischer Systeme oder als Ausdruck, Fotokopie oder unter Nutzung eines anderen Vervielfältigungsverfahrens) über den persönlichen Gebrauch hinaus verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Für alle in diesem Werk verwendeten Warennamen sowie Firmen- und Markenbezeichnungen können Schutzrechte bestehen, auch wenn diese nicht als solche gekennzeichnet sind. Deren Verwendung in diesem Werk berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese frei verfügbar seien.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

INHALTSVERZEICHNIS

	Vorwort	9
1	Einleitung	11
2	Berufsfeldwissenschaftliche Aussagen zum Konstruieren	15
2.1	Zum berufsfeldwissenschaftlichen Ansatz für den Themenbereich „Konstruieren“	15
2.2	Entwerfen	22
2.3	„Empirisches Konstruieren“ – „Erfinden“	29
2.4	Methodisches Konstruieren	32
2.4.1	Zur Bedeutung des methodischen Konstruierens	32
2.4.2	Grundlagen und Voraussetzungen des methodischen Konstruierens.....	35
2.4.3	Heuristik und Konstruieren	40
2.4.4	Konstruktionssystematiken	43
2.5	Konstruktionshilfen und Einflussgrößen	52
3	Berufs- und fachdidaktische Überlegungen zum konstruktionsorientierten beruflichen Lernen	55
3.1	Entwicklungen in den beruflichen Handlungsfeldern mit Konstruktionsbezug und Folgerungen für die Didaktiken der Arbeits- und Technikbereiche	55
3.1.1	Sprunghafte Veränderungen von Arbeit und Technik in hochtechnologienahen Sektoren.....	55
3.1.2	Berufsfachlichkeit und neue Handlungsfelder mit Konstruktionsbezug	58
3.1.3	Didaktische Implikationen durch neue Entwicklungen mit Bezug zum Konstruieren bei Arbeit und Technik – Berufs- und Berufsfelddidaktische Umsetzung.....	64
3.1.4	Folgerungen aus der Entwicklung von beruflichen Handlungsfeldern mit Bezug zum Konstruieren für die Berufs- und Berufsfelddidaktiken	67

3.2	Berufs- und Fachdidaktik – Rahmenbedingungen des berufs-didaktischen Ansatzes im Bereich des Konstruierens	68
3.3	Prinzipien beim Arbeiten und Lernen im Konstruktionsbereich – eine Basis des berufsdidaktischen Ansatzes	70
3.3.1	Arbeits- und Lernprinzipien	70
3.3.2	Selbstständigkeit – ein grundlegendes Prinzip beim Konstruieren	72
3.3.3	Handlungs- und gestaltungsorientiertes Lernen beim Konstruieren ..	82
3.3.4	Problemlösen als berufsdidaktisches Grundprinzip	92
3.4	Entscheidungsfelder eines konstruktionsorientierten berufs- und fachdidaktischen Ansatzes	102
3.4.1	Intentionen für das Themen- bzw. Lerngebiet „Konstruieren“	102
3.4.2	Konstruktionsspezifische Ziele und Kompetenzen.....	104
3.4.3	Konstruktionsspezifische Themen bzw. Inhalte	109
3.4.4	Medien und konstruktionsorientiertes Lernen	120
3.5	Ganzheitliche Konzepte	122
3.5.1	Ganzheitlichkeit als Qualifizierungsanforderung an Konstruierende	122
3.5.2	Lern- und Arbeitsaufgaben in Lern- und Arbeitsumgebungen – berufsdidaktische Ansatzpunkte zum ganzheitlichen Lernen	124
4	Ausbildungs- und Unterrichtskonzepte	131
4.1	Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren als Makromethoden	131
4.1.1	Konstruieren in der beruflichen Ausbildung	131
4.1.2	Konstruktionsaufgabe	135
4.1.3	Konstruktionsanalyse	147
4.1.4	Konstruktionsvergleich	158
4.1.5	Nacherfindungsaufgabe	171
4.1.6	Technisches Projekt	185
4.1.7	Ideen- und Konstruktionskonferenz	200
4.1.8	Planspiel „Konstruktion“	211

4.2	Ausbildungs- und Unterrichtskonzepte zum Lernbereich „Konstruieren“ – Ausgewählte Beispiele zu den konstruktions- spezifischen Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren	223
4.2.1	Ausbildungs- und unterrichtsrelevante Bedingungsfelder	223
4.2.2	Konstruktionsaufgabe: Beispiele „Brücke“ und „Treppe“	226
4.2.3	Konstruktionsanalyse einer selbsttragenden Kraftfahrzeugkarosserie	256
4.2.4	Konstruktionsvergleich von Spannvorrichtungen an Drehmaschinen	277
4.2.5	Nacherfinden eines Bohrwerkzeuges	290
4.2.6	Planen einer Sanitärzelle – Ein Technisches Projekt	303
4.2.7	Konferenz zur Produktideenfindung	319
4.2.8	Planspiel „Konstruktionsabstimmung“	328
4.3	Einschätzung und Bewertung der konstruktions- spezifischen Ausbildungs- und Unterrichtsbeispiele	342
5	Schlussbetrachtungen	349
5.1	Konstruieren in der Zukunft – Zu den Grenzen und Möglichkeiten beim beruflichen Lernen	349
5.2	Ausblick	351
6	Literatur und Quellenverzeichnis	353
7	Stichwortverzeichnis	371
8	Abbildungsverzeichnis	379
9	Bildnachweis	385

VORWORT

Konstruieren spielt bei der Ausbildung für den Beruf „Technischer Zeichner/Technische Zeichnerin“ sowie für die Studierenden zum Techniker bzw. zur Technikerin an den Fachschulen für Technik eine herausragende Rolle. Aber auch im gewerblich-technischen Bereich beruflichen Lernens ist das Konstruieren ein immer wiederkehrendes Thema, das während der Erstausbildung, Weiterbildung und bei der Erwachsenenbildung für viele handwerkliche und industrielle Berufe sehr bedeutsam ist. Für entsprechende Vermittlungskonzeptionen behalten dabei grundlegende Prinzipien der Konstruktionslehre weiterhin ihre Gültigkeit, auch wenn an Stelle des klassischen Konstruierens am Reißbrett oder an der Zeichenmaschine in den letzten Jahren zunehmend das rechnergestützte Entwerfen getreten ist. Konstruieren kann an Computern unter zur Hilfenahme entsprechender Software erfolgen. Mit dem Computer-aided design (CAD) kann die Kreation, Modifikation sowie die Analyse oder Optimierung der Konstruktion erfolgen. Darüber hinaus lassen sich die Konstruktionsergebnisse durch das Rapid prototyping mit einem 3D-Drucker realisieren und überprüfen. Aber selbst bei allen vorhandenen technischen Hilfen erfordert das Entwerfen und Konstruieren ein systematisches Vorgehen, das es ermöglicht, aus den an das zukünftige Produkt gestellten meist mehrdimensionalen – und sich teilweise widersprechenden – Anforderungen eine optimale Lösung zu entwickeln.

Neben den konstruktions- und lerntheoretischen Betrachtungen werden mit dem Hauptteil des Buches berufs- und fachdidaktische sowie vor allem methodische Aspekte vertieft betrachtet und dargestellt. Besonders interessant sind für Lehrkräfte aus Theorie und Praxis die konstruktionsspezifischen Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren, die anhand sehr konkret ausgearbeiteter Beispiele dargestellt werden. Die Lehrenden erhalten durch die unterrichtspraktischen Beispiele Anregungen für Ausbildungs- und Unterrichtsvorhaben zu konstruktionsspezifischen Themen. In diesem Teil des Buches finden sie auch detaillierte Ausbildungs- und Unterrichtsmaterialien, die als Kopiervorlagen genutzt werden können.

Insgesamt stellt das Buch für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf dem Gebiet der berufspädagogischen sowie technik- und arbeitswissenschaftlichen Lehre und Forschung für Lehrkräfte aus Theorie und Praxis der beruflichen Fachrichtungen der Technikbereiche, für Studentinnen und Studenten sowie für Referendare des Lehramtes an berufsbildenden Schulen eine Informationsquelle, Arbeitsunterlage und Handreichung dar. Mit der vorliegenden dritten erweiterten und aktualisierten Auflage des Buches ist die Hoffnung verbunden, die Diskussion zum Thema „Konstruieren und berufliches Lernen“ unter den Bedingungen und Entwicklungen in den hochtechnologienahen Arbeitsbereichen zu beleben und die Arbeit an den Lernorten beruflicher Bildung zu unterstützen.

Dresden im Juni 2015

Jörg-Peter Pahl

1 EINLEITUNG

Obwohl das Buch „Das Zeichnen der konstruierenden Berufe in gemischtberuflichen Klassen“ von Hecker und Gagel bereits im Jahre 1925 erschien, wird der Begriff „konstruierende Berufe“ teilweise noch heute verwendet. Diese Bezeichnung umfasst Berufe, in denen Facharbeiter der Berufsfelder Metall- und Maschinentechnik, Elektrotechnik sowie Bautechnik unter anderem auch „konstruierende“ Tätigkeiten ausführen.

In den neugeordneten Ausbildungsberufen ist das Merkmal „Konstruieren“ beispielsweise noch bei den Berufsbildern Konstruktionsmechaniker/-in, Werkzeugmechaniker/-in und Karosseriemechaniker/-in vorzufinden. Doch nicht nur für diese Berufe stellt das Konstruieren inhaltliche und prozessuale Möglichkeiten für eine handlungs- und lernerorientierte Ausbildung und den darin integrierten theoretischen Unterricht bereit, sondern beispielsweise auch bei Tischlern, Zimmerleuten und Elektroinstallateuren.

Konstruieren beim beruflichen Lehren und Lernen sollte darauf ausgerichtet sein, sowohl die Aufbereitung eines Problems während des Lernprozesses als auch die konstruktionsspezifische Gestaltung der Lernvorgänge genau zu betrachten.

Für die Klärung von didaktischen Fragen ist es unter lernpsychologischen Gesichtspunkten interessant, dass die Tätigkeit des Konstruierens nicht nur für die Theorie und Praxis von Ingenieur- und Facharbeit von Bedeutung ist. In einem weit gespannten Zusammenhang könnten zur Berücksichtigung der Aufbereitungs- und Aneignungsvorgänge auch die Theorien des Konstruktivismus einbezogen werden.¹ Lassen sich dessen Konzeptionen mit einem berufspädagogischen Ansatz beim Konstruieren in Verbindung bringen?

Konstruktivistische Überlegungen², die auf die Berufsbildung bezogen werden, können Fragen nach der Objektivität des Wissens, der theoretischen Struktur des Wissens unter

¹ Beim Konstruktivismus wird davon ausgegangen, dass es Wahrheit im Sinne der Abbildung der Umwelt oder als Korrespondenz im Wissen nicht geben kann. Wahrheit ist somit eine Konstruktion unseres Gehirns, und das Gehirn ist der Konstrukteur der Wirklichkeit. Damit sind sowohl die philosophischen Theorien als auch die weiterführenden Konzeptionen dieser Theorien in Architektur, Kunst und Technik gemeint. Die wesentlichen Ansichten des konstruktivistischen Weltverstehens sind:

- der subjektbezogene Charakter der menschlichen Wahrnehmung. Das bedeutet, dass es keine Wirklichkeit ohne einen Beobachter gibt.
- die informationelle Geschlossenheit menschlicher Organismen und deren Fähigkeit zur Selbstorganisation. Das heißt, es gibt keine objektive Umwelt, sondern nur eine subjektive, weil im menschlichen Gehirn projizierte und dort interpretierte.
- die Begrenztheit der Möglichkeiten, die Wahrnehmung steuernd von außen zu beeinflussen (vgl. von Glasersfeld 1998, S. 29 f.).

Eine Folgerung aus diesen Leitlinien ist, dass es eine Geschichte der geistigen Konstruktion gibt, die das zukünftig Konstruierte einschränkt. Es wird nach und nach eine Ordnung der Wirklichkeit – als eine Folge der Wahrnehmung und des Erkennens der Umwelt – aufgebaut, die sich immer auf Vorangegangenes bezieht. Somit gelingt es, bis an unsere erkenntnistheoretischen und biologischen Grenzen zu gelangen, aber nicht darüber hinaus.

„Konstruktivistische Überlegungen“ gehen in diesem Fall vorwiegend von dem philosophisch begründeten, erkenntnistheoretischen Gebrauch des Begriffs ‚Konstruktivismus‘ aus, der auch schon im Zusammenhang

Berücksichtigung des jeweiligen situativen und kulturellen Kontextes sowie nach der Art und Weise des Wissenserwerbs anders ausleuchten.³

Außerdem weisen die konstruktivistische Sichtweise und das technische Konstruieren einige Gemeinsamkeiten auf. So wie – nach Ansicht der Konstruktivisten – die geistige Konstruktion der Welt immer von dem vorhergehenden Schritt bestimmt ist und auf dem bisherigen geistigen Konstrukt aufbaut, ist auch beim Konstruieren technischer Produkte eine Struktur zu erkennen, die auf dem Vorhergehenden beruht.

Als weitere Gemeinsamkeit ist die Subjektbezogenheit aufzuführen. Auch der technische Konstruktionsprozess wird von individuellen Einflussfaktoren bestimmt. Dazu zählen z. B. Faktenwissen, Operationswissen, Denk- und Handlungsstile, Wertesysteme, Emotionen, Motivation und Leistungsfähigkeit. Aber auch äußere Einflussgrößen sind an dieser Stelle zu nennen. Das sind beispielsweise die Aufgabenstellung, verfügbare Informationen, einsetzbare Arbeitsmittel, Arbeitsumgebungen, zur Verfügung stehende Zeit, soziale und organisatorische Einbindung sowie externe Entscheidungen.

Konstruieren ist zu einem wesentlichen Teil Denkarbeit. Diese vollzieht sich im Gehirn. Dennoch sind beim technischen Konstruieren immer auch die äußeren Einflussfaktoren als „objektive Komponenten“ zu bedenken, was einen relativen Unterschied zum konstruktivistischen Ansatz ausmacht.⁴ Daraus ergibt sich die Möglichkeit, dass die Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren, die beim technischen Konstruieren zum Einsatz gelangen sollen, unter Berücksichtigung konstruktionssystematischer Grundlegungen zu konzipieren sind, um somit die Lernvorgänge in eine wirklichkeitsnahe und anwendungsorientierte Richtung zu lenken.

mit dem Gestalten konstruktiver Verbindungen verwendet wurde. So benutzte Tschernichow (1991) den Begriff ‚Konstruktivismus‘ für alle konstruktiven Grundsätze, Regeln und Abhängigkeiten, die bei der „Verbindung eines Körpers mit dem anderen“ (ebd., S. 38) Relevanz besitzen.

Die Objektivitätsfrage versucht zu klären, ob sich das Erkennen auf Tatsachen und Objekte bezieht oder ob sich die Wahrnehmung und Erkenntnisbildung nicht vielmehr als Ergebnis intersubjektiver Verständigung bzw. als Verknüpfung von Handlung, Erfahrung und Erkenntnis in einem konstruktivistischen Prozess des Individuums darstellt. Dieses ist eine Problematik, mit der sich unter psychologischen Aspekten auch Piaget auseinandersetzt (vgl. Kesseling 1988, S. 88).

Die Frage nach dem situativen und kulturellen Kontext von Wissensstrukturen thematisiert die Transferproblematik. Gefragt werden kann, ob es möglich ist, durch konstruktivistische Lehr- und Lernumgebungen flexibles Handeln in beruflichen und außerberuflichen Situationen zu fördern? (vgl. Reetz 1996, S. 178 f.)

Auch den Konstruktivisten geht es um die Frage: Gibt es eine „wirkliche Wirklichkeit“, eine die wir erkennen können, oder der wir uns durch unsere Erkenntnisse unaufhaltsam annähern, oder eine, die immer nur in Bezug auf den Beobachter zu definieren ist? Um diese Frage nach der Gültigkeit, nach dem Objektivitätsstatus von Erkenntnis zu beantworten, führt von Glasersfeld den Begriff „Viabilität“ ein: „Im Gegensatz zu der ‘ikonischen’ Relation der Übereinstimmung, die – auch wenn nur eine ungefähre Annäherung postuliert wird – begrifflich auf Isomorphie beruht, ist die Relation der Viabilität auf den Begriff des Passens im Sinne des Funktionierens begründet. Das heißt, etwas wird als ‘viabel’ bezeichnet, solange es nicht mit etwaigen Beschränkungen oder Hindernissen in Konflikt gerät.“ (von Glasersfeld 1998, S. 18) Der Begriff der Viabilität ist jedoch auch im Sinne des technischen Konstruierens interpretierbar, denn ob das Konstruierte in der Wirklichkeit zu einer sinnvollen Lösung führt, hängt davon ab, ob es „passt“ (im Sinne von Funktionalität) oder „brauchbar“ ist. Die Wirklichkeit, nämlich die uns umgebende Wirklichkeit, ist das Resultat unserer Konstruktion. In diesem Sinne wäre die Viabilität ein Kriterium, ob sich das Konstruierte in der Umwelt bewährt, ob es funktioniert, ob es unseren Zwecken dienlich ist.

Ein weiterer wichtiger Begriff, der mit dem Konstruieren in Beziehung steht, ist die Heuristik. Er stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet soviel wie Erfindungskunst bzw. methodische Anleitung zur Erfindung von etwas Neuem. Die Heuristik versucht, auf empirischem Wege Problemlösungsprozesse zu erforschen, um Theorien bereitzustellen, mit denen schöpferische Denkprozesse gestaltet werden können. Es gilt zu untersuchen, inwieweit die Heuristik für konstruktionsbezogene Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren bedeutsam ist. Sowohl für die berufs- und fachdidaktische als auch die fachmethodische Behandlung der Thematik gilt es festzustellen, wie Konstruktionsprozesse und Heuristiken in berufliches Lernen eingebracht werden können, welche Möglichkeiten das Konstruieren für berufliches Lernen eröffnet, ob es Relevanz für die berufliche Aus- und Weiterbildung besitzt, und wie Umsetzungskonzepte entwickelt werden können.

Dazu sollten diejenigen Facharbeiter betrachtet werden, die mit der Problematik der Konstruktion neuer oder der Verbesserung alter Produkte in Berührung kommen. Zu nennen wären hier Metallbauer/-in, Werkzeugmechaniker/-in, Konstruktionsmechaniker/-in und Karosseriemechaniker/-in. In elaborierter Form ist das Konstruieren aber die Arbeitsaufgabe von Ingenieuren. Dennoch bietet die Thematik interessante Anregungen für die Gestaltung beruflicher Bildung im Allgemeinen. Im Blickpunkt steht dabei das Bemühen, für den Themenbereich „Konstruktion“ neue berufs- und fachdidaktische sowie fachmethodische Ansätze in Ausbildung und Unterricht einzubringen, um die gezielte Vermittlung sowohl von Fach- und Arbeitswissen als auch von Qualifikationen und Kompetenzen in den Vordergrund zu stellen.

Die Systematik, der das Konstruieren unterliegt, bietet einige Ansatzpunkte für eine berufsfeldwissenschaftliche Betrachtung. Um das Thema didaktisch aufzuarbeiten, ist es notwendig, das ingenieurwissenschaftliche Wissen dieses Fachgebietes zu untersuchen und die Schnittstellen zum Facharbeiterwissen aufzudecken. Als Beispiel sei an dieser Stelle das ‚Technische Zeichnen‘ genannt. Es stellt das kommunikative Verbindungselement zwischen Ingenieur und Facharbeiter dar. Ideen, die ein Konstrukteur in seine Arbeit einbringt, müssen so festgehalten werden, dass jeder, der mit der Umsetzung der Konstruktion in Berührung kommt, eindeutige Informationen erhält. Die Technische Zeichnung dient somit als „Medium“, das die zeitlich und örtlich ungebundene Fachkommunikation zwischen Ingenieuren und Facharbeitern ermöglicht. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dass sowohl der Ingenieur, als auch der Facharbeiter mit dem „Technischen Zeichnen“ vertraut sein müssen.

Welche Strukturelemente des Konstruktionsprozesses sind für die berufliche Ausbildung von Bedeutung? Eine Grundlage liefern hierfür die VDI-Richtlinien 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ (VDI 2221, 1993) sowie 2222 Blatt 1 „Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien“ (VDI 2222, 1997). In ihnen werden Hinweise zum prinzipiellen Vorgehen beim Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten technischer Produkte gegeben sowie Methoden der Lösungsfindung an Beispielen aufgezeigt.

Aber lassen sich konstruktionsbezogene Ausbildungsbereiche, bei denen technisches Konstruieren die Ausgangsbasis darstellt, berufspädagogisch so einfach begründen?

Bekannt ist: In den letzten Neuordnungen der industriellen Elektro- und Metallberufe ((Erprobungs-)Verordnung 2003/2004, Verordnung 2007) ist ausdrücklich die Forderung nach der Fähigkeit zum selbstständigen Planen von Arbeitshandlungen erhoben worden. Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren, die auf der Grundlage der Prinzipien von technischen Konstruktionen gestaltet sind, besitzen das Potential, um diese Forderung mit Leben zu füllen.

In diesem Zusammenhang sind z. B. folgende Fragen zu klären: Welche Denk- und Handlungsabläufe liegen Konstruktionsprozessen zu Grunde? Welche Bedeutung haben das Konstruktionswissen und eine spezifische konstruktive Tätigkeit für Facharbeit? Wie muss das Fachwissen der Konstruktionstheorie strukturiert, transformiert oder reduziert bzw. vereinfacht sowie methodisch aufbereitet werden, um in der Praxis der Berufsausbildung umgesetzt werden zu können?

Hauptanliegen dieses Buches ist es, die berufsfeldwissenschaftliche sowie berufspädagogische Bedeutung der Konstruktionssystematik für den Bereich von Arbeit und Technik aufzuzeigen und das Konstruieren für berufliches Lernen berufs- und fachdidaktisch sowie fachmethodisch aufzuarbeiten. Auf diese Weise lässt sich ein Beitrag dazu leisten, das Konstruieren als einen inhaltlichen Aspekt beruflichen Lernens zu thematisieren, die Lernorganisation offener zu gestalten und selbstbestimmtes Lernen zu fördern. In diesem Zusammenhang stellen konstruktionsbezogene Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren eine Möglichkeit dar, Theorie und Praxis des beruflichen Lernens in sinnvoller Weise zu verbinden.

2 BERUFSFELDWISSENSCHAFTLICHE AUSSAGEN ZUM KONSTRUIEREN

2.1 Zum berufsfeldwissenschaftlichen Ansatz für den Themenbereich „Konstruieren“

Konstruieren wird durch kognitive antizipative Leistungen sowie durch instrumentelle, strategische und kommunikative Handlungen bestimmt und durch affektive und motivationale Aspekte beeinflusst (vgl. auch Hacker/Sachse 1995). Zum Konstruieren zählt man all „jene Synthese-, Analyse-, Bewertungs- und Selektionstätigkeiten, die notwendig sind, um für eine bestimmte technische Aufgabe eine zu einem bestimmten Zeitpunkt bestmögliche Lösung anzugeben. Unter ‘bestmögliche’ Lösung ist hierbei eine genügend zuverlässige, wirtschaftlich realisierbare und sonstigen Bedingungen genügende Lösung zu verstehen.“ (Koller 1994, S. XVIII) Oder einfacher ausgedrückt: Konstruieren ist „das bildhafte Vorausdenken“ eines technischen Artefakts, „das in der objektiven Realität noch nicht existiert.“ (Schlottmann 1977, S. 13)

Die VDI-Richtlinie 2222 bietet eine umfassende und weitgehend akzeptierte Definition zu diesem beruflichen Tätigkeitsfeld: „Konstruieren ist das vorwiegend schöpferische, auf Wissen und Erfahrung gegründete und optimale Lösungen anstrebende Vorausdenken technischer Erzeugnisse, Ermitteln ihres funktionellen und strukturellen Aufbaus und Schaffung fertigungsreifer Unterlagen. Als Teil des Entwickelns umfasst es das gedankliche und darstellende Gestalten, die Wahl der Werkstoffe sowie Fertigungsverfahren und ermöglicht eine technisch und wirtschaftlich vertretbare stoffliche Verwirklichung. Konstruieren vollzieht sich in den zwei wohl zu kennzeichnenden, aber nicht streng zu trennenden Phasen Entwerfen und Ausarbeiten.“ (VDI 2222, 1996)

Eine klare Abgrenzung des Begriffs „Konstruieren“ zu bedeutungsähnlichen Begriffen, die im Zusammenhang mit Konstruktionstätigkeiten verwendet werden – wie z. B. Planen, Projektieren, Entwickeln –, ist allerdings problematisch (Fletcher 2006, S. 173). Beim Konstruieren lassen sich wesentliche Arten von Tätigkeiten bzw. Vorgängen unterscheiden und zwar:

- „– Synthesevorgänge, deren Ergebnisse alternative Lösungen sind,
- Analyse- oder Prüfvorgänge, welche die gefundenen Lösungsalternativen bezüglich gestellter Forderungen auf Brauchbarkeit prüfen,
- Bewerten und Selektieren (Ausscheiden) von weniger geeigneten Lösungen oder Details und
- Verbessern nicht genügend tauglicher Lösungen oder Details durch erneute bzw. wiederholte Syntheseprozesse.“ (Koller 1994, S. 68 f.)

Grundsätzlich ist zwischen der Konstruktion völlig neuer Produkte – hierbei sind alle Phasen der Konstruktionssystematik zu durchlaufen – und der Konstruktion von Produkten, bei denen schon diverse Ausführungen existieren und Teillösungen bekannt sind, zu unterscheiden. Das heißt, Konstruieren kann sowohl die Konzipierung neuer als auch die konstruktive Veränderung oder das „Nachkonstruieren“ bereits bestehender Produkte bedeuten. Neben der Konstruktion von gegenständlichen Dingen, also von Produkten, Geräten, Werkzeugen, Vorrichtungen, Maschinen usw. ist unter dem Überbegriff „Konstruktion“ auch das Entwickeln neuer bzw. Verändern vorhandener technologischer Prozesse, Abläufe und Fertigungsverfahren zu verstehen. Unter diesem Blickwinkel betrachtet, steht „der konstruktive Entwicklungsprozeß in enger Wechselbeziehung mit dem Verfahrensentwicklungsprozeß (VEP) und dem technologischen Entwicklungsprozeß (TEP). Gegenstand des Verfahrensentwicklungsprozesses ist das technische Verfahren, das innerhalb oder mit Hilfe des zu entwickelnden technischen Gebildes realisiert werden soll. Die Funktion des technischen Gebildes ist also zu bestimmen, bevor dessen Struktur bekannt ist. Zweckmäßig werden Verfahrensentwicklung und konstruktive Bearbeitung nach dem Finden des Verfahrensprinzips parallel verlaufen und ebenso der später einsetzende technologische Entwicklungsprozeß.“ (Schlottmann 1977, S. 15; vgl. auch die Ausführungen von Füßel 1977, S. 220 f.)

In berufspädagogischer Betrachtung wird Konstruieren auch mit dem Experiment in Verbindung gebracht. Rauner und Eicker (1996) zeigen dabei einen Weg vom Gedankenexperiment über ausprobierendes und übendes Experimentieren bis hin zum experimentierenden Problemlösen und Konstruieren. In ihrer begrifflichen Auseinandersetzung zum Experimentieren wird der Eindruck erweckt, dass der Ausgangspunkt des Konstruierens immer das Experimentieren sei (Rauner/Eicker 1996, S. 201). Bei einer umfassenderen Betrachtung zeigt sich aber, dass dieses nur ein denkbarer Ausgangspunkt neben vielen anderen Möglichkeiten ist.

Bei der Ausgestaltung der Ausbildung in Bereichen der Metall- und Maschinentechnik sind – wie beispielsweise auch in der Bau- oder Elektrotechnik – Ergebnisse und Aussagen sowohl aus den Gebieten der Didaktik und der Methodik als auch der zugehörigen Fachwissenschaften zu berücksichtigen. Untersucht man, welchen Beitrag dazu eine gewerblich-technische Fachwissenschaft bzw. Berufsfeldwissenschaft einer Beruflichen Fachrichtung leisten kann, dann ist zunächst der gegenwärtige Zustand der Bezugswissenschaften zu analysieren, d. h. jener Wissenschaften, die bisher für die Ausbildungs- und Unterrichtsplanung in der beruflichen Bildung die entsprechenden Inhalte liefern.

Auf eine in sich geschlossene Berufsfeldwissenschaft kann in diesem Zusammenhang derzeit noch nicht rekurriert werden, aber der bereits vorhandene berufsfeldwissenschaftliche Ansatz entwickelt sich und zwar hauptsächlich durch die Entfaltung konkreter Forschungsziele, -gegenstände und -methoden sowie die Sammlung von Forschungsergebnissen (siehe Pahl/Rauner 1998, Pahl 2008, S. 15 ff.). Auch für den Lernbereich „Konstruieren“ gilt es, diesen Ansatz voranzutreiben.

An dieser Stelle sei auf die Eigenheiten des Konstruierens unter Berücksichtigung des beruflichen Lernens hingewiesen, denn

- Konstruieren ist vor allem eine intellektuelle, anspruchsvolle Tätigkeit (deshalb wird sie in der Regel den Ingenieuren zugewiesen) und
- die Bedeutung von Konstruktionen ist berufsübergreifend, d. h., im gesamten Berufsfeld „Metall“, aber auch in den Berufsfeldern der Bautechnik und der Elektrotechnik ist Konstruieren relevant.

Ein Ziel der berufsfeld- und berufswissenschaftlichen Diskussionen – auch für den Lernbereich des Konstruierens – besteht darin, auch das Facharbeiterwissen in die berufliche Ausbildung einzubeziehen. Eine von der konkreten Arbeitssituation abgekoppelte Theorie dagegen hat als Bezugswissenschaft „*inhaltlich und situational*“ das Problem, dass (...) in der ‚Theorie‘ die Inhalte entweder sehr komplex und weniger handhabbar oder sehr reduziert und ‚falsch‘ werden.“ (Hartmann 2005, S. 537, Hervorhebungen im Original) Aufgrund der Besonderheit, dass Konstruktionstätigkeiten fast ausschließlich von Ingenieuren ausgeführt werden, erweist sich jedoch diese Zielstellung insbesondere für das Gebiet der Konstruktion als problematisch. Dennoch gibt es Überschneidungen zwischen Facharbeiter- und Ingenieurwissen. Schon Grüner (1967a) hatte deutlich gemacht:

- „ 1. Es gibt ein Berufswissen, das nur für Ingenieure typisch ist.
2. Es gibt ein Berufswissen, das nur für Facharbeiter typisch ist.
3. Es gibt ein Berufswissen, das beiden gemeinsam ist.“

Weiterhin stellte er fest: „Jedermann wird einsehen, daß Ingenieure während des Studiums in Bereiche eindringen, die dem Facharbeiter verschlossen bleiben; andererseits erwirbt der Facharbeiter während der Berufsarbeit ein Berufswissen, (...), das der Ingenieur kaum kennt.“ (Grüner 1967a, S. 416).

Sucht man für den Themenbereich „Konstruieren“ nach den Bezugswissenschaften, so ist die Konstruktionstheorie als korrespondierende Ingenieurwissenschaft zu nennen. Doch diese ingenieurwissenschaftliche Disziplin allein ist einerseits teilweise zu speziell, andererseits reicht dieser Ansatz für qualifizierte Facharbeit nicht aus.

Aufgrund dieser Defizite, die sich aus der ausschließlichen Verwendung von namensgleichen Ingenieurwissenschaften als Bezugswissenschaft ergeben – also z. B. die fast völlige Fixierung auf das engere Technische und die ungenügende Berücksichtigung spezifischer Aspekte der Facharbeitertätigkeit –, wurde versucht, den engen Ansatz einer korrespondierenden Ingenieurwissenschaft durch einen konkreten Bezug zur Facharbeit zu erweitern.

Bei diesem Ansatz werden die themenrelevanten Wissenschaften sowie diejenige Ingenieurwissenschaft berücksichtigt, die den zu behandelnden Gegenständen oder Themen aus dem Bereich „Konstruktion“ am nächsten stehen. So wird es möglich – im Gegensatz zu dem Hilfskonstrukt einer namensähnlichen oder korrespondierenden Ingenieurwissenschaft – eine Vielzahl von bedeutsamen Inhalten, die für die Facharbeit relevant sind, facettenreich und differenziert zu behandeln. Um die Inhalte besser abdecken zu können,

werden dazu bei der Sachanalyse verschiedene Wissenschaften – und nicht nur allein die Ingenieurwissenschaften – herangezogen. Dadurch kann eine mehrperspektivische, über das engere Technische hinausgehende Betrachtungsweise gewährleistet werden. Gleichzeitig eröffnet sich dadurch die Möglichkeit, die ungenügende Übereinstimmung zwischen den Inhalten des Facharbeiterberufes und der Wissenschaften zu verringern. „Es ergeben sich dann auch die wesentlichen Bezugswissenschaften: Vorrangig orientiert sich technologische Bildung an denjenigen Kapiteln der Humanwissenschaft, der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften und der Technikwissenschaften, die sich dem Zusammenhang von Bedürfnis und Arbeit widmen.“ (Ropohl 1991, S. 225) Auch die Arbeitswissenschaften sind in diesem Ensemble bedeutsam (Dederling 1974, S. 180 ff.).

Doch auch die Konzepte, die aus verschiedenen themenrelevanten Wissenschaften die jeweiligen Bezugswissenschaften konstituieren, weisen Probleme auf. Die bislang für den Themenbereich „Konstruktion“ in der Beruflichen Fachrichtung „Metall- und Maschinentechnik“ herangezogenen verschiedenen Fachwissenschaften des so genannten Erweiterungsansatzes liefern nur partiell Hilfen für die Ausbildung im Facharbeiterberuf. Sie sind deshalb auch in ihrer Bündelung als Bezugswissenschaft für berufs- didaktische Konzepte des Lernbereiches „Konstruktion“, der für das ganze Berufsfeld Bedeutung hat, nur bedingt geeignet, denn das nichtwissenschaftliche Berufswissen und die Arbeitserfahrungen des Facharbeiters werden kaum berücksichtigt. Es zeigen sich hierbei die „Grenzen des Reduktionismus“ (Hedrich 1990, S. 223 f.), Strukturen und Denkweisen einer Wissenschaft auf eine andere zu übertragen.

Um die Defizite der bestehenden, reduktionistisch ausgerichteten Bezugswissenschaftsansätze für die Ausbildung im Bereich „Konstruktion“ zu verringern, muss entweder versucht werden, die durch mangelhafte Abdeckung zwischen namensähnlichen oder so genannten korrespondierenden Ingenieurwissenschaften entstehenden Lücken zwischen dem Berufswissen des Ingenieurs und dem des Facharbeiters zu füllen oder andere wissenschaftliche Ansätze zu wagen.

Solche Ansätze könnten z. B. sein:

- die Anreicherung des ingenieur- bzw. fachwissenschaftlichen Ansatzes durch zusätzliche Aspekte aus anderen Wissenschaften,
- der Bezug zu einer lehrerorientierten Fachwissenschaft,
- der Bezug zu Beruflichen Fachrichtungen als arbeitsorientierte Wissenschaften,
- der Bezug zu Berufswissenschaften.
- der Bezug zu Berufsfeldwissenschaften (s. dazu Pahl 2008, S. 19 ff.).

Der Ansatz über einen Beruf bzw. eine Berufswissenschaft stellt jedoch zurzeit noch eine eher idealisierte Variante dar, denn aufgrund der Vielzahl von Berufen ist es unrealistisch, für jeden einzelnen Beruf eine eigenständige Berufswissenschaft zu entwickeln. Am sinnvollsten erscheint derzeit, dass an die Stelle der Bezugswissenschaft die hier schon benannte Berufsfeldwissenschaft oder gewerblich-technische

Fachwissenschaft der Beruflichen Fachrichtung treten kann (Rauner 1993, S. 19, Pahl 2008, S. 26 ff.). Die Aufmerksamkeit der Berufsfeldwissenschaft der Beruflichen Fachrichtung muss sich dabei auf die Theorie und Praxis der Gesamtheit des erforderlichen Berufswissens von Facharbeitern und Gesellen im Berufsfeld unter deren Bildungsgesichtspunkten richten. Keinesfalls sollte – auch beim Konstruieren – vom Ingenieurwissen zum Facharbeiterwissen eine Vereinfachung im Sinne des Reduktionismus – ohne die Möglichkeit einer umfassenden Betrachtung oder Erweiterung des Horizontes – erfolgen.

Vor diesem Hintergrund ist zunächst danach zu fragen, welche Gemeinsamkeiten sich in der Ingenieur- und Facharbeitertätigkeit finden lassen. Betrachtet man erst einmal den Ingenieur als Konstrukteur und den Facharbeiter als den Ausführenden der Konstruktionsarbeit, so ist es einleuchtend, dass beide eine „gemeinsame Sprache“ haben müssen. Sie ermöglicht bei der Umsetzung der Konstruktion eine zweifelsfreie Verständigung zwischen Ingenieur und Facharbeiter und dokumentiert sich in technischen Zeichnungen, Skizzen, Plänen, Vorschriften und Bildern. Diese kommunikativen Hilfsmittel dienen bei der Konstruktion als wichtigste Vermittler zwischen dem Konstrukteur und dem ausführenden Facharbeiter. Daneben werden Facharbeiter, wenn auch zumeist in bescheidenem Maße, Konstruktionen oder Detailkonstruktionen vornehmen.

In welcher Form findet man nun Tätigkeitsformen des Konstruierens in Werkstätten oder auf Baustellen? Werden Gesellen oder Facharbeiter überhaupt mit dem Konstruieren konfrontiert?

Auszubildende und Gesellen aber auch Facharbeiter „sind in der Regel an Vorgaben aus Entwürfen, Zeichnungen oder Produktbeschreibungen gebunden. Ihre Kenntnisse auf konstruktivem Gebiet stützen die Motivation zur Arbeit und Akzeptanz der Vorgabe.“ (Bloy 1994, S. 28)

Die Technikgeschichte zeigt, dass nicht nur von Ingenieuren konstruktive Lösungen gefunden wurden. So war beispielsweise – wie Smith (1978, S. 13) ausführt – „bei den ersten Dampfmaschinen ein Junge dauernd damit beschäftigt, den Durchlaß vom Kessel zum Zylinder abwechselnd zu öffnen und zu schließen, wenn der Kolben herauf- oder herunterging. Einer dieser Jungen, der lieber mit den anderen spielen wollte, beobachtete dabei folgendes: Verbindet er den Griff des Ventils, das die Verbindung öffnet, durch eine Schnur mit einem anderen Teil der Maschine, so öffnet und schließt sich das Ventil von selbst, und es bleibt ihm dadurch Zeit, mit seinen Freunden zu spielen.“

In der heutigen Zeit ist für die Fachkraft im Handwerksbereich häufig situatives Konstruieren bedeutsam. Eine entsprechende Tätigkeit kann für die Ausbildungs- und Unterrichtspraxis zum Beispiel bei der Konstruktion einer Treppe (siehe Kap. 4.2.2) aufgegriffen werden. Die Konstruktion lebt dabei von der Diskussion mit dem Meister oder beispielsweise von Handskizzen sowie vom einfachen „Entwerfen im Kopf“.

In ähnlicher Weise situativ bestimmt sind Vorgänge des Improvisierens. So können beispielsweise auch mit einem Ausbildungsvorhaben, bei dem ein Bohrwerkzeug „nacherfunden“ werden soll (siehe Kapitel 4.2.5), konstruktive Fertigkeiten für die Facharbeit erworben werden.

Gerade handwerkliche Konstruktionsarbeit erfolgt nicht immer dokumentarisch im Sinne einer vorangehenden Konstruktion auf dem Papier. Der situative Baufortschritt bestimmt nicht selten Ablauf und Durchführung. Betrachtet man z. B. einen Installateur, der die Aufgabe hat, in einem Einfamilienhaus Warm- und Kaltwasserleitungen zu legen oder eine Sanitärzelle zu planen (siehe Kap. 4.2.6), so wird deutlich, dass er oft auch improvisieren muss. Von einem Planungs- bzw. Konstruktionsbüro erhält er Verlegungspläne und Zeichnungen, nach denen er arbeitet. Doch vor Ort sind meist spezifische Details zu berücksichtigen oder Änderungen vorzunehmen, die auf Kundenwünschen oder Bauveränderungen basieren. Dazu ist es notwendig, dass der Installateur sich in den Vorschriften und Normen auskennt, die für seine Problemlösung wichtig sind. Übersteigt das Problem seine fachlichen und zeitlichen Möglichkeiten, so muss das Konstruktionsbüro hinzugezogen werden. Dagegen entwerfen und gestalten nicht selten kleinere Betriebe zum Beispiel eine Badezimmerinstallation, indem sie sowohl vor dem Einbau Freihandskizzieren anfertigen als auch vor Ort konstruktive Entscheidungen treffen.

Das Einordnen konstruktiver Detailentscheidungen in größere Zusammenhänge kann insbesondere Gegenstand eines Planspiels sein. Exemplarisch lässt sich das am Ausbildungs- und Unterrichtsbeispiel der Konstruktionsabstimmung bei der Ausschreibung einer Brücke (siehe Kapitel 4.2.8) zeigen.

Ein weiteres Beispiel für ein solches Bauen und Konstruieren ist auch bei Karosseriebauern zu beobachten, die einen speziellen Fahrzeugaufbau als Unikat herstellen sollen. Sie haben vielleicht zwar technische Zeichnungen und Angaben zum konkreten Aufbau, müssen aber nötige Halterungen bzw. Befestigungsmöglichkeiten einplanen und konstruieren, um den Fahrzeugaufbau zusammenzuschweißen. Dabei ist ihre Vorgehensweise vom jeweiligen Baufortschritt abhängig.

Sucht man nach Situationen, in denen Gesellen im Handwerk oder Facharbeiter in der Industrie mit dem Thema „Konstruieren“ konfrontiert werden, so sind es eher Detail- oder Hilfskonstruktionen, die sie zur Durchführung einer Arbeit benötigen oder entwickeln. Neu- oder Weiterentwicklungen von Produkten im größeren Rahmen werden im Handwerksbereich hingegen seltener gefordert.

Bestandteil der Facharbeit können die Detailkonstruktion oder die Gesamtkonstruktion eines Objekts während der handwerklichen Tätigkeit sein. Die Fragen und Probleme, die sich dem Facharbeiter beispielsweise bei der Konstruktion eines Gartentores stellen, sind u. a.:

- a) Auswahl der Werkstoffe für Tore und Bauteile;
- b) Bestimmung der Abmessungen;
- c) Funktionsfähigkeit des Gegenstandes (z. B. selbstständiges Schließen durch Schwerkraft bei entsprechender Scharnierstellung);
- d) Design der Konstruktion;
- e) Sicherheitsfragen;
- f) Realisierbarkeit mit den handwerklichen Mitteln, Fertigkeiten und Können;

- g) Anforderungen, Vorstellungen und Wünsche der Kunden
(vgl. auch Wombacher 1988, S. 159).

In der beruflichen Ausbildung wurde auch nach der Neuordnung der industriellen Metall- und Elektroberufe im Jahre 1987 (Verordnung 1987) der Schwerpunkt der Ausbildung allein nur auf den einzelnen Lehrberuf gelegt. Berufsübergreifende Kenntnisse im Berufsfeld sind aber ebenfalls wichtig und anzustreben. Auszubildende, bzw. Schülerinnen und Schüler, die bisher beim Umgang mit Maschinen primär das Handeln an und mit Technik im Produktionsprozess erlernten, sollten auch die allgemeinen Konstruktionsprinzipien der Maschine erfassen. Die Kenntnisse allgemeiner Konstruktionsgrundlagen einer Maschine sind Voraussetzung für die flexible Umstellung auf modifizierte Technologien (vgl. Bund-Länderkommission 1988, S. 57). Sie werden deshalb indirekt auch im Rahmen der letzten Neuordnung der industriellen Metall- und Elektroberufe ((Erprobungs-)Verordnung 2003/2004, Verordnung Juli 2007) gefordert.

Die Tätigkeit des Konstruierens ist im Grunde selbst „nur“ eine Art des Handwerks. Die „Kunst“, d. h. die eigentliche Schwierigkeit liegt häufig vielmehr im genauen Analysieren und Verstehen der Aufgabe (vgl. Bremer 1992, S. 284). Entsprechend kommt es beim beruflichen Lernen nicht nur darauf an, das Konstruieren als vorwiegend instrumentellen Vorgang zu üben bzw. zu erlernen, sondern auch, die Schülerinnen und Schüler sowohl zur Analyse von Aufgabenstellungen als auch von bereits vorliegenden Konstruktionen – zum Beispiel von selbsttragenden Kraftfahrzeugkarosserien (siehe Kap. 4.2.3) – zu befähigen. Solche Fähigkeiten sind für die Facharbeit ebenso bedeutsam. So ist in der Fertigungstechnik beispielsweise ein Vergleich von Spannvorrichtungen an Drehmaschinen unter konstruktivem Aspekt (siehe Kap. 4.2.4) für die dominante Kernleistung, d. h. die Fertigungstätigkeit eines Zerspanungsmechanikers, relevant. Zudem können analysierende Fähigkeiten über Konstruktionen für nachfolgende synthetisierende Arbeiten, d. h. das Lösen von Konstruktionsaufgaben, förderlich sein, weil dann ein tieferes Verständnis zum Konstruktionsprozess vorliegen kann.

Für die Entwicklung von Konzepten zum beruflichen Lernen beim Konstruieren sind neben der berufsfeldwissenschaftlichen Aufbereitung auch berufsfelddidaktische Überlegungen vorzunehmen. Durch das Zusammenwirken von ‚Allgemeiner Didaktik‘, der zu entwickelnden Berufsfeldwissenschaft und der entsprechenden Berufsfelddidaktik wird erwartet, dass Defizite – wie sie bislang bei Ausbildung und Unterricht auch im Bereich der Konstruktion auftreten – verringert werden und angemessene Konzeptionen für die tägliche Planung und Realisierung von Lernprozessen entstehen, die den beruflichen Anforderungen an Gesellen und Facharbeiter besser entsprechen und eher das Interesse der Schülerinnen bzw. der Schüler an beruflichen Schulen finden.

Der bisherige berufsfeldwissenschaftliche Ansatz kann mit der besonderen Berücksichtigung der Tätigkeiten und des Berufswissens der Facharbeiter eine gute Basis für die Berufsausbildung, also auch für das Konstruieren beim beruflichen Lernen und Arbeiten darstellen. Darüber hinaus sollte der Lernende auch seine lebensweltli-

chen Perspektiven erweitern. Daher ist außerdem anzustreben, dass Schülerinnen und Schüler erfahren können, wie Ingenieure bzw. Techniker denken und arbeiten. Dazu können insbesondere die Ausblicke dienen, die am Ende mehrerer Ausbildungs- und Unterrichtsbeispiele mit einer Reflexion ingenieurwissenschaftlicher Konstruktionsschemata als didaktische Reserve abschließen. Einen solchen Ansatz verfolgt außerdem u. a. ein Ausbildungs- und Unterrichtsvorhaben „Konferenz zur Produktideenfindung“, z. B. zur Konstruktion eines Kamins (vgl. Kap. 4.2.7).

Die Erwartungen, die mit dem berufsfeldwissenschaftlichen Ansatz verbunden sind, werden sich vermutlich bei seiner weiteren Entwicklung konkreter formulieren lassen. Erfüllen sie sich, so kann ein solcher Ansatz dazu beitragen die Berufsausbildung insgesamt besser didaktisch zu fundieren. Allerdings besitzt der berufsfeldwissenschaftliche Ansatz – wie jede neue Konzeption – nur eine relative Gültigkeit, da er auch ständig weiter zu entwickeln ist.

2.2 Entwerfen

• Arten und Formen des Entwerfens

Das Entwerfen kann als ein Prozess angesehen werden, durch den neues Wissen oder Produkt erzeugt wird. Entwerfen geschieht unter sehr unterschiedlichen, Komplexitäten, Schwierigkeitsgraden und Anspruchsniveaus. Bei den Tätigkeiten und der Art der Ausführung des Entwerfens lassen sich mehrere Niveaustufen unterscheiden. So erfolgt Entwerfen, indem

- vorhandene Entwurfsergebnisse und -lösungen lediglich in Größe und Anordnung variiert werden,
- ein Anpassen eines gelungenen Entwurfes an veränderte Anforderungen erfolgt. Die Entwurfsidee bleibt im Wesentlichen erhalten. Nur Teilbereiche werden verändert
- eine neue Entwurfsidee bei konventioneller oder innovativer Aufgabenstellung kreiert wird. Es sind dazu keine Vorbilder oder Lösungen bekannt

Betrachtet man das Thema „Entwerfen“ interdisziplinär, so stellt man sogleich fest, dass es sich nicht nur auf technische Artefakte bezieht. Entwürfe können auch auf neue Gedanken, Projekte, Ideen und darüber hinaus auf das Leben (Lebensentwürfe) angelegt sein.. Aus erkenntnistheoretischer Sicht richtet sich darüber hinaus das Entwerfen „auf einen Problemtyp, der als ein sehr eigentümliches Objekt verstanden werden kann: Genau genommen handelt es sich ja um ein Objekt, das nicht existiert. Das Projekt oder der Entwurf ist noch kein Objekt, und es ist unklar, ob und welches es werden wird. Das „projicere“, projizieren, Projektil, Projekt sind auf die Zukunft orientiert.“(Schäffner 2013, S. 56)

Die zum Entwerfen notwendige zukunftsorientierte Kreativität ist aus ganzheitlicher Sicht nur wenig erforscht. Inzwischen werden deshalb einige Aspekte unter anderem

auch aus dem Blickwinkel der Hirnforschung, der Philosophie und der Wissenschaftsgeschichte beleuchtet.

- **Entwerfen als Teil des Konstruierens**

Entwerfen ist ein umfassender Arbeitsprozess, dem eine ganzheitliche Vorstellung zugrunde liegt. Schon von daher sind Entwurf und Konstruktion miteinander verbunden. Entwerfen und Konstruieren müssen einerseits als Einheit als Ganzes betrachtet werden. Aus analytischen Gründen sollten sie aber andererseits voneinander unterschieden werden. Entwerfen lässt sich vom Konstruieren unter der Voraussetzung abheben, dass unter Entwerfen „der Teil des Konstruierens verstanden wird, der für ein technisches Gebilde von der Wirkstruktur bzw. prinzipiellen Lösung ausgehend die Baustruktur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eindeutig und vollständig erarbeitet.“ (Feldhusen u.a. 2007, S. F 12)

In der Lehre werden Entwerfen und Konstruieren meist sogar als separate Disziplinen gesehen. Diese Unterscheidung, kann unter didaktischen Aspekten für die Wissensaneignung zielführend sein.

Mit einem ganzheitlichen Anspruch können Entwerfen und Konstruieren als untrennbare Einheit der Produktentwicklung verstanden werden. Die Entwicklungsabläufe der Produktentwicklung lassen sich in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2222 in die Schritte: Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten gliedern.

Die klassischen und etablierten Vorgehensweisen beruhen auf einem Modell, das „aus vier Hauptphasen besteht.

- Anforderungs-/Aufgabenklärung, Planen
- Konzipieren
- Entwerfen
- Ausarbeiten, Detaillieren“ (Eigner 2014, S. 14)

Expressis verbis verweist auch Klaus Conrad im Kapitel „Konstruktionsphase Entwerfen“ seines Buches „Grundlagen der Konstruktionslehre“ darauf, dass das Entwerfen eine Phase des Konstruierens ist. Das Konstruieren wird dabei als eine umfassende Tätigkeit angesehen und kann als Konstruieren im weiteren Sinne bezeichnet werden. „In dieser Phase erfolgt die grafische Darstellung der technischen Gebilde, die als Lösungsprinzipien unter Beachtung der Anforderungen der Aufgabe gedanklich entwickelt wurden. Ideenskizzen sowie erste Auslegungsberechnungen.“ (Conrad 2013 S. 250) werden gestaltet und dargestellt. Entwerfen: kann also als eigenständiger Teil im Gesamtprozess des Konstruierens angesehen werden. (Abb. 1)

Was macht nun das Besondere der Tätigkeit des Entwerfens und des daraus folgenden Ergebnisses des Entwurfs aus?

Das Entwerfen als Teils des Konstruierens im weiteren Sinne lässt sich unter übergeordneter Sicht interpretieren „als kreativer Prozess, der nicht formalisiert oder nicht formalisierbar ein bestimmtes Problem löst. Dieser Prozess richtet sich auf etwas, das

zunächst nicht existiert, dessen Möglichkeitsraum erst eröffnet wird, um dann die unterschiedlichen Möglichkeiten durch Entscheidungen und Konkretionen immer mehr einzuschränken." (Schäffner 2013, S.60)

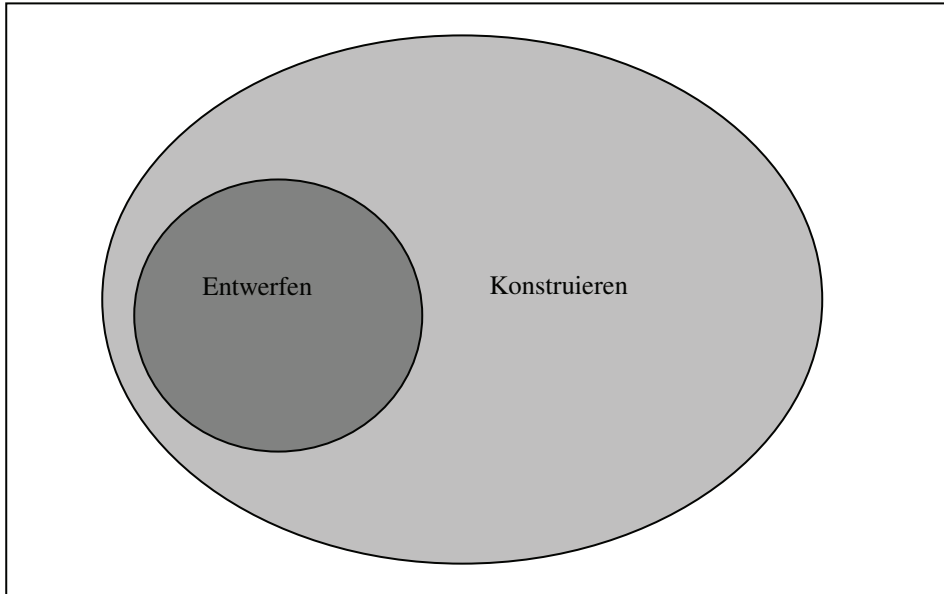


Abb. 1: Entwerfen als Teilbereich des Konstruierens

- **Entwerfen als Gedanken- und Arbeitsprozess**

Bereits mit den ersten Überlegungen zu den Anforderungen an das technische Artefakt beginnt die Entwurfsarbeit. Das Entwerfen steht – wenn man der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI, 2013) folgt – am Anfang des Gestaltungsprozesses mit der „Grundlagenermittlung“, d. h. insbesondere dem „Klären der Aufgabenstellung auf Grund der Vorgaben oder der Bedarfsplanung des Auftraggebers, der „Vorplanung (Projekt- und Planungsvorbereitung, d. h. vor allem das „Analysieren der Grundlagen“ und das „Erarbeiten eines Planungskonzepts“.

Erst dann erfolgt die „Entwurfsplanung (System- und Integrationsplanung“ (HOAI 2013, S. 111) bei der für ein technisches Gebilde die Entwurfsidee entsteht. Schon dabei sind Kriterien wie Funktionserfüllung, Leistungsgewährleistung, Nutzen, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Kosten, Preis, Gestaltungsrichtlinien, „Gestaltungsgrundregeln in die Überlegungen zum Entwurf einzubeziehen; die außerordentlich umfangreich sein können. Entsprechendes ist in den „Grundleistungen“ und „Besondere Leistungen“ im Leistungsbild Technische Ausrüstung“ nachzulesen. Im Gegensatz zur häufig vorgenommenen Annahme allerdings wird im Gestaltungs- und Ausführungsprozess für ein technisches Objekt in einigen Branchen „mit einem Blick in die HOAI deutlich, dass

dieser nur mit 18 Prozent der Gesamtleistung bewertet wird“(Pahl/Völlmer 2013, S. 79).

Entwurfsplanung (System- und Integrationsplanung)	
Grundleistungen	Besondere Leistungen
a) Durcharbeiten des Planungskonzepts (stufenweise Erarbeitung einer Lösung) unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen sowie unter Beachtung der durch die Objektplanung integrierten Fachplanungen, bis zum vollständigen Entwurf b) Festlegen aller Systeme und Anlagenteile c) Berechnen und Bemessen der technischen Anlagen und Anlagenteile, Abschätzen von jährlichen Bedarfswerten (z. B. Nutz-, End- und Primärenergiebedarf) und Betriebskosten; Abstimmen des Platzbedarfs für technische Anlagen und Anlagenteile; Zeichnerische Darstellung des Entwurfs in einem mit dem Objektplaner abgestimmten Ausgabemaßstab mit Angabe maßbestimmender Dimensionen Fortschreiben und Detaillieren der Funktions- und Strangschemata der Anlagen Auflisten aller Anlagen mit technischen Daten und Angaben zum Beispiel für Energiebilanzierungen Anlagenbeschreibungen mit Angabe der Nutzungsbedingungen d) Übergeben der Berechnungsergebnisse an andere Planungsbeteiligte zum Aufstellen vorgeschriebener Nachweise; Angabe und Abstimmung der für die Tragwerksplanung notwendigen Angaben über Durchführungen und Lastangaben (ohne Anfertigen von Schlitz- und Durchführungsplänen) e) Verhandlungen mit Behörden und mit anderen zu beteiligenden Stellen über die Genehmigungsfähigkeit f) Kostenberechnung nach DIN 276 (3. Ebene) und Terminplanung g) Kostenkontrolle durch Vergleich der Kostenberechnung mit der Kostenschätzung h) Zusammenfassen, Erläutern und Dokumentieren der Ergebnisse.	– Erarbeiten von besonderen Daten für die Planung Dritter, zum Beispiel für Stoffbilanzen, etc. – Detaillierte Betriebskostenberechnung für die ausgewählte Anlage – Detaillierter Wirtschaftlichkeitsnachweis – Berechnung von Lebenszykluskosten – Detaillierte Schadstoffemissionsberechnung für die ausgewählte Anlage – Detaillierter Nachweis von Schadstoffemissionen – Aufstellen einer gewerkeübergreifenden Brandschutzmatrix – Fortschreiben des technischen Teils des Raumbuches – Auslegung der technischen Systeme bei Ingenieurbauwerken nach Maschinenrichtlinie – Anfertigen von Ausschreibungszeichnungen bei Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm – Mitwirken bei einer vertieften Kostenberechnung – Simulationen zur Prognose des Verhaltens von Gebäuden, Bauteilen, Räumen und Freiräumen.

Abb. 2: Leistungsphase 3 - Grundleistungen und besondere Leistungen im Leistungsbild Technische Ausrüstung (HOAI 2013, S. 111 f.)

Der Entwurf kann sich ständig wandeln, denn ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeitsphase sind die spezifischen und sich eventuell häufiger ändernden Wünsche des Kunden aufzunehmen. Diese sind gegebenenfalls wiederholt zu Papier zu bringen und in Form von Entwurfsskizzen oder -zeichnungen zu verwandeln. Eventuell ist zu entscheiden, ob vor dem „eigentlichen Entwurf noch ein Grobentwurf zwischenschalten ist oder ob nach dem Entwurf ein weiterer verbesserter oder Alternativentwürfe anzufertigen ist bzw. sind“ (Geupel 1996, S.125).

Zur schnellen Verständigung vor Ort wird dabei teilweise noch immer ein Ergänzungsentwurf konventionell mit Bleistift und Radiergummi erarbeitet. Inzwischen ist aber fast durchgängig festzustellen: „Das rechnerunterstützte Entwerfen mit 2D-CAD-Systemen hat in vielen Arbeitsbereichen das Zeichenbrett ersetzt. Der Einsatz von 3D-CAD/CAM-Systemen ermöglicht die dreidimensionale Modellierung der Entwurfsarbeiten mit neuen Möglichkeiten und Methoden.“ (Conrad 2013, S. 250)

Mit dem Entwerfen wird die gestalterische Rahmengoßung für die technische Lösung gedanklich festgelegt. Ein Entwurf stellt dann die Fixierung durch mehr oder weniger ausgeformte Skizzen oder Zeichnungen dar. Dazu müssen häufig mehrere Vorentwürfe erstellt werden, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten besser beurteilen zu können. Meist ergibt sich aus dem Variantenvergleich einen überzeugenden und herausragenden Entwurf. Der nun entstandene Entwurf aber „verbirgt in seinem Ergebnis das Entwerfen, seine Art, wie er gemacht wurde. Seine Gemachtheit ist implizites Wissen, das selbst nicht artikuliert wird, sondern in einer Art *black box* des Gestaltens belassen wird.“ (Schäffner 2013, S. 60; Hervorhebungen im Original) Der sich aus dem Variantenvergleich entwickelnde Gesamtentwurf stellt die Basis für die konstruktive Gestaltung dar. Dabei gewinnt die Vielzahl der Forderungen an das technische Produkt eine immer größere Präzisierung und die erforderliche Wissensbasis wird immer breiter (Abb. 3)

Zur Ausgestaltung des Gesamtentwurfs sind vielfältige gestalterische Überlegungen unter besonderer Beachtung technischer und wirtschaftlicher Kriterien zu leisten. Dazu gehören u. a. Festlegung der Hauptabmessungen, Untersuchung der räumlichen Verhältnisse, Ergänzung des Lösungsprinzips, Suche nach Optimierungsmöglichkeiten. „Die Tätigkeit des Entwerfens erfordert neben kreativen auch sehr viele korrektive Arbeitsschritte, wobei Vorgänge der Analyse und Synthese einander abwechseln, Auch hier geht man vom Qualitativen zum Quantitativen, d. h. von der Grobgestaltung zur Feingestaltung.“ (Feldhusen u. a. 2007, S. F12)

Durch die verschiedenen Arbeitsschritte entstehen erst einmal „Grobentwürfe mit den wichtigsten Angaben und Darstellungen oder Feinentwürfe, die bereits alle konstruktiven Einzelheiten enthalten. Die Entwürfe müssen unter Beachtung der geforderten Funktionen insbesondere eine wirtschaftliche Lösung ergeben, die die neuesten Technologien berücksichtigt. Die Entwurfsarbeit wird immer durch regelmäßig durchgeführte Fortschrittsgespräche und Beratungsgespräche begleitet. (Conrad 2013, S. 252)

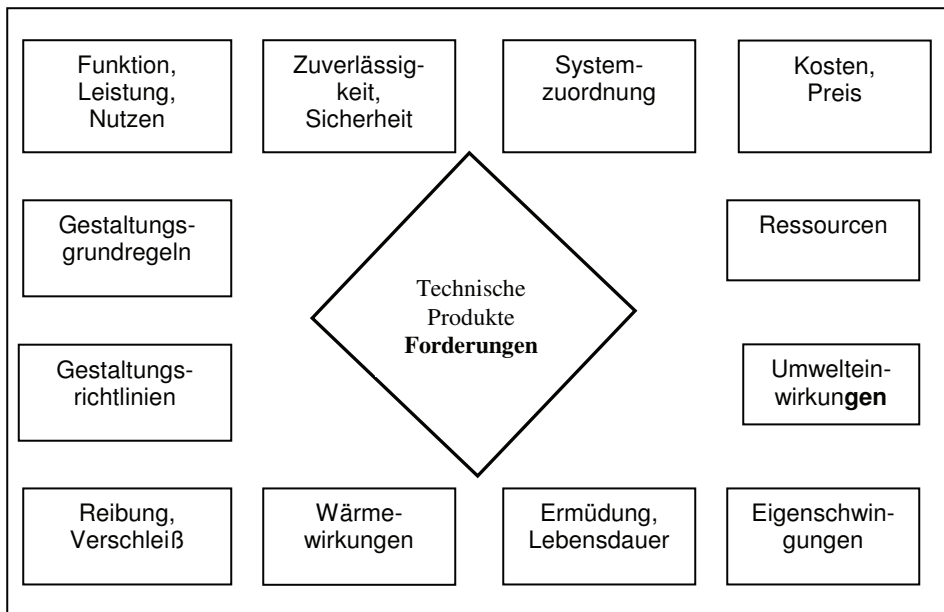


Abb. 3: Wissensbasis für Forderungen an technische Produkte
(Conrad 2013, S. 250)

Nach der Entwurfsplanung kann bei größeren und komplexeren Projekten eine Genehmigungsplanung (Abb. 4) erforderlich sein. Diese kann Rückwirkungen auf die Entwurfsplanung zur Folge haben.

Genehmigungsplanung	
Grundleistungen	Besondere Leistungen
a) Erarbeiten und Zusammenstellen der Vorlagen und Nachweise für öffentlich-rechtliche Genehmigungen oder Zustimmungen einschließlich der Anträge auf Ausnahmen oder Befreiungen sowie Mitwirken bei Verhandlungen mit Behörden b) Vervollständigen und Anpassen der Planungsunterlagen, Beschreibungen und Berechnungen	

Abb. 4: Leistungsphase 4 - Grundleistungen und besondere Leistungen im Leistungsbild Technische Ausrüstung- Auszug (HOAI 2013, S. 112.)

Für das Arbeiten am Entwurf mit seinen vielfältigen Ansprüchen sind Kooperations- und Kommunikationsfähigkeiten sowie Entwurfswissen erforderlich. Dieses „Entwurfswissen beinhaltet Wissen über das Entwerfen selbst in Bezug auf Entwurfsmethoden und Entwurfswerkzeuge, umfasst aber auch neues Wissen in Teildisziplinen des

Entwerfens, wie z.B. Ökonomie, Technik, Management oder Ästhetik." (Weidinger 2013, S.14).

Auch bei sehr guter Überwachung des Entwurfsprozesses und intensiver Beratungsgespräche „können bei den Entwurfsarbeiten Schwierigkeiten auftreten, die auch durch sehr sorgfältiges Gestalten nicht zu beseitigen sind. Dann ist es günstiger, mit dem verbesserten Erkenntnisstand das Vorgehen in der Konzeptphase zu überprüfen und dort neue, bessere Lösungen zu suchen.“(Conrad 2013, S. 253)

In solchen Fällen können die beim Erstentwurf gewonnenen Erfahrungen und das erworbenen spezielle Wissen über die bisherige Entwurfsarbeit genutzt werden. Es handelt sich dabei um ein durch die Arbeiten an dem jeweiligen technischen Gegenstand entwickeltes spezifisches Entwurfswissen.

Generell entsteht darüber hinaus durch das Entwerfen von verschiedenen Artefakten im Laufe der Zeit ein umfassendes allgemeines Entwurfswissen. Dieses Wissen ist auf der „Basis von Entwurfsprozessen und durch die geschaffenen Entwurfsergebnisse entstanden " (Weidinger 2013, S. 14)

- **Entwurfsarbeiten am Übergang zum Konstruieren im engeren Sinne**

Nach Abschluss der Entwurfsarbeiten erfolgt im Regelfall eine letzte Überprüfung des Konzeptes. Bei positiver Einschätzung des Entwurfs können die nachfolgenden Arbeiten, d. h. die Ausführungsplanung (Abb. 5), ausgelöst werden.

Ausführungsplanung	
Grundleistungen	Besondere Leistungen
a) Erarbeiten der Ausführungsplanung auf Grundlage der Ergebnisse der Leistungsphasen 3 und 4	– Anfertigen von Plänen für Anschlüsse von beigestellten Betriebsmitteln und Maschinen.
...	...

Abb. 5: Leistungsphase 5 - Grundleistungen und besondere Leistungen im Leistungsbild Technische Ausrüstung – Auszug (HOAI 2013, S. 112.)

Unter diesen Arbeiten „wird der Teil des Konstruierens verstanden, der den Entwurf eines technischen Gebildes durch endgültige Vorschriften für Anordnung, Form, Bemessung und Oberflächenbeschaffenheit aller Einzelteile, Festlegen aller Werkstoffe, Überprüfung der Herstellungsmöglichkeiten sowie der Kosten ergänzt und die verbindlichen zeichnerischen und sonstigen Unterlagen für seine stoffliche Verwirklichung und Nutzung schafft.“(Feldhusen u. a. 2007, S. F12) „Es beginnen in der Folge die Konstruktionsarbeiten bis hin zu Detailkonstruktionen.

2.3 „Empirisches Konstruieren“ – „Erfinden“

Konstruieren erfolgt bei der Facharbeit, aber auch bei Ingenieurtätigkeiten, nicht immer systematisch. Häufig findet sich eine Lösung aufgrund von Erfahrungen. Dann ist die Lösung eigentlich bereits gefunden oder erfunden; und sie müsste lediglich noch „nachkonstruiert“ werden.

Eine Trennung von Konstruieren und Erfinden ist nicht problemlos durchzuführen. Auch dem „empirischen Konstruieren“ – dem Erfinden, der Änderung der Konstruktion vor Ort, z. B. wegen der Einsatzbedingungen – kommt Bedeutung zu, die sicherlich größer wäre, wenn Phantasie und eigenständiges Denken und Handeln im Kindes- und Jugendalter mehr geschult würden sowie Anreize deutlicher, Verfahrenswege kürzer, innerbetriebliche Widerstände geringer wären.

Neben spontanen „Erfindungen“ durch kleinere Verbesserungen an Produktionsabläufen, Werkzeugen, Vorrichtungen usw. und an Produkten, meist nach einer häufig wiederholt ausgeführten Arbeit mit und an eben solchen, ist das „planmäßige Erfinden“ bedeutsam. Schließlich erfolgt Erfinden in professioneller Form in den letzten Jahrzehnten nicht mehr allein nach der Versuch-und-Irrtum-Methode unter hohem Zeitverbrauch und großer Unsicherheit bezüglich des Ergebnisses, sondern durch systematisch organisierte und zielgerichtete Prozesse (vgl. Altschuller 1973, S. 55).

Die Erfinder prüfen dabei zunächst die Aufgabenstellung, müssen diese, falls sie unlösbar oder nur unter unverhältnismäßigem Aufwand lösbar ist, gegebenenfalls umformulieren. Sie umreißen ein Lösungsfeld, das von den äußeren Bedingungen und Anforderungen begrenzt ist, gewichten zwischen diesen und tasten sich so zielstrebig zu den Parametern einer Lösung vor. Hierfür hat man Algorithmen entwickelt, die natürlich nur Empfehlungen darstellen, d. h., nicht streng mathematisch zu verstehen sind. Sie sind zwar einerseits „elastisch“ in ihrer Anwendung, andererseits aber auch an konkreten Beispielen bereits erfolgreich erprobt, wie z. B. der „Algorithmus zur Lösung von Erfindungsaufgaben (ARIS)“. Verschiedene Modifikationen dieses Algorithmus existieren schon seit Ende der 1950er Jahre. Sie sind prinzipiell aber auch auf heutige Problemstellungen anwendbar. Im Folgenden wird das Beispiel des ARIS-61 skizziert.

„1. Analytisches Stadium

Erster Schritt:

Stellen der Aufgabe.

Zweiter Schritt:

Vorstellen einer idealen Endlösung.

Dritter Schritt:

Feststellen, was das Erreichen dieses Zieles hindert, das heißt, Suchen des Widerspruchs.

Vierter Schritt:

Feststellen, was das Hindernis stört, das heißt, die Ursache des Widerspruchs finden.

Fünfter Schritt:

Feststellen, unter welchen Bedingungen das Hindernis nicht stören würde, das heißt, die Bedingungen finden, unter denen der Widerspruch aufgehoben wird.

*2. Operatives Stadium**Erster Schritt:*

Überprüfen der möglichen Veränderungen am Objekt selbst, das heißt an der jeweiligen Maschine oder im jeweiligen technologischen Prozess:

- a) Verändern der Abmessungen,
- b) Verändern der Form,
- c) Verändern des Materials,
- d) Verändern der Temperatur,
- e) Verändern des Druckes,
- f) Verändern der Geschwindigkeit,
- g) Verändern der Farbe,
- h) Verändern der Anordnung der Teile zueinander,
- i) Verändern der Arbeitsweise der Teile mit dem Ziel ihrer maximalen Auslastung.

Zweiter Schritt:

Prüfen, in welche selbstständigen Teile das Objekt zerlegt werden kann:

- a) Herausfinden des ‚schwachen‘ Teiles,
- b) Herausfinden des ‚erforderlichen und hinreichenden‘ Teiles,
- c) Teilen des Objekts in gleichartige Teile,
- d) Teilen des Objekts in Teile mit unterschiedlicher Funktion.

Dritter Schritt:

Prüfen, welche Veränderungen im (für das Objekt) äußeren Medium möglich sind:

- a) Verändern von Parametern des Mediums,
- b) Austausch des Mediums,
- c) Teilen des Mediums in Teilmedien,
- d) Ausnutzen des Mediums für nützliche Funktionen.

Vierter Schritt:

Prüfen, welche Veränderungen an benachbarten Objekten möglich sind, das heißt an gemeinsam mit dem betreffenden Objekt arbeitenden Objekten:

- a) Feststellen der Verbindung zwischen früher unabhängigen Objekten, die an der Durchführung einer Arbeit beteiligt sind,
- b) Beseitigen eines Objektes durch die Übergabe seiner Funktion an ein anderes Objekt,
- c) Erhöhen der Anzahl der Objekte, die gleichzeitig auf einer begrenzten Fläche arbeiten, durch Ausnutzung der freien *Rückseite* dieser Fläche.

Fünfter Schritt:

Studium von Vorbildern aus anderen Zweigen der Technik (die Frage stellen: Wie wird der gleiche Widerspruch in anderen Zweigen der Technik beseitigt?).

Sechster Schritt:

Rückkehr (im Falle der Untauglichkeit aller beschrittenen Wege) zur ursprünglichen Aufgabe und Erweiterung ihrer Bedingungen, das heißt Übergang zu einer allgemeineren Aufgabe.

*3. Synthetisches Stadium**Erster Schritt:*

Verändern der Form des jeweiligen Objektes (dem neuen Inhalt muss eine neue Form entsprechen).

Zweiter Schritt:

Verändern an anderen Objekten, die mit dem betreffenden zusammenhängen.

Dritter Schritt:

Verändern der Methoden der Nutzung des Objekts.

Vierter Schritt:

Prüfen, ob das gefundene Prinzip der Erfindung bei der Lösung weiterer technischer Aufgaben anwendbar ist.“ (Altschuller 1973, S. 96 f.)

Dieser Vorgehensweise zur Findung (Erfindung) neuer Produkte und Lösungsmöglichkeiten, wie sie Altschuller darstellt, ist eine innere Logik bzw. eine Methodik immanent. Ein Übergang, oder besser eine Grenzlinie zum Konstruieren ist allerdings nicht deutlich erkennbar. Fraglich ist, ob Erfinden und Konstruieren überhaupt voneinander zu trennen sind. Ist es nicht vielmehr so, dass das Erfinden dem Konstruieren zumeist vorausgeht oder anders gesagt, dass für eine Konstruktion immer eine Idee, die einem gewissen „Erfindergeist“ entspringt, notwendig ist? Zudem kann Konstruieren häufig auch als eine Modifikation einer bereits bekannten Erfindung angesehen werden. Andererseits kann sich aber auch während eines Konstruktionsprozesses eine weitergehende Erfindungsidee generieren.

Ein Ansatzpunkt, um Erfinden und Konstruieren terminologisch zu trennen, kann in der Unterscheidung von Intuition und Logik gesehen werden (vgl. Hansen 1968, S. 21 f.). So wird das Erfinden mit dem genialen Gedanken, der zündenden Idee, Konstruieren eher mit einer logischen Vorgehensweise in Verbindung gebracht. Aber auch diese Gesichtspunkte gehören teilweise ebenso zum Erfinden, wie auch zum Konstruieren. „Auf Intuition kann und soll man nicht verzichten, aber sie muss kontrolliert angewandt werden. Der gute Konstrukteur, auch der mit ausgeprägtem Erfindergeist, wird und soll stets seine Ergebnisse bewußt systematisch überprüfen, wobei er bisweilen feststellen wird, daß er an der Bestlösung vorbeigegangen ist.“ (Hansen 1968, S. 22) Nach Hansen gehören Intuition und Logik zusammen. Die Intuition stellt die Ideen sowie Lösungsansätze bereit, und mit der Logik werden diese systematisch aufgearbeitet.

So ist es letztendlich nachvollziehbar, dass auf dem Gebiet der Konstruktionslehre eine Abgrenzung und Unterscheidung von Erfindung bzw. Konstruktion kaum eindeutig durchgeführt wird. Teilweise wird methodisches Konstruieren und Erfinden in einem

Atemzug genannt, ohne überhaupt an eine Trennung der beiden Bereiche zu denken (vgl. Koller 1994, S. 450).

Welche Bedeutung hat das „empirische Konstruieren“ bzw. das Erfinden für den Facharbeiter? Die Produktionsformen, die heute die Industrie prägen, sind u. a. durch Enthierarchisierung, Verantwortungsverlagerung in untere Ebenen und Teamarbeit gekennzeichnet. „Lean production“ und „Kaizen“ sind die Schlagworte, die momentan die „Industrie- und Betriebsphilosophien“ prägen. Betrachtet man die Inhalte und Intentionen solcher Ansätze, so ist festzustellen, dass jeder Facharbeiter in die Pflicht genommen wird, Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten. Diese Vorschläge können sowohl den Produktionsprozess als auch das Produkt an sich betreffen. Hierbei macht man sich zunutze, dass der Facharbeiter mitten im Produktionsprozess steht und durch seine Erfahrung sowie die ständige Konfrontation mit Produkt und Produktionsprozess praxisnahe Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen kann. Auf dieser Ebene kommt der Idee bzw. der Intuition besondere Bedeutung zu. Der Facharbeiter leistet mit seinem Verbesserungsvorschlag somit „empirische Konstruktionsarbeit“. Anders ist es bei der handwerklichen Arbeit im metall- und maschinentechnischen Bereich. Hier gilt immer noch, dass in großen Bereichen ganzheitliche Aufgabenstellungen vorliegen. Vor der Herstellung eines technischen Gegenstandes oder dem Zusammenbau einer Anlage steht nicht selten die Konstruktion als Skizze oder Zeichnung. Deshalb hat das Konstruieren nach systematischer bzw. methodischer Vorgehensweise hier einen ganz anderen Stellenwert.

2.4 Methodisches Konstruieren

2.4.1 Zur Bedeutung des methodischen Konstruierens

Besondere Bedeutung kommt dem methodischen bzw. systematischen Konstruieren in den ‚Technischen Büros‘ zu. Analogien zum „empirischen Konstruieren“ sind jedoch sicher nicht zufällig.

Methodisches Konstruieren basiert auf entsprechenden Analysen der Fachwissenschaft „Konstruktionstechnik“ (s. dazu z. B. Schröder 2001, S. 146 ff.). Ein auf diese Weise wissenschaftlich begründetes Vorgehen selbst erfolgt durch Konstruktionsprinzipien. Methodisches Konstruieren zeichnet sich im Gegensatz zum empirischen Konstruieren durch eine streng systematische Vorgehensweise aus. „Methodisches Vorgehen schließt aber Intuition nicht gänzlich aus, sondern kanalisiert sie teilweise nur auf einer niedrigeren Komplexionsstufe. Zielsetzung solcher Methoden ist es, die Konstruktionsarbeit zu einer schrittweisen, folgerichtig in allen Einzelheiten nachvollziehbaren Tätigkeit zu machen. Typische Arbeitsmethoden sind die Verwendung von Ablaufplänen, der Einsatz von Konstruktionskatalogen und die Morphologie.“ (Fletcher 2006, S. 102)

Trotz aller Konstruktionssystematiken gibt es beim Konstruieren kein starres Handeln und keine rigiden Handlungsschemata. Das zeigt sich schon darin, dass es „erfolgreichere“ und „weniger erfolgreichere“ Konstrukteure gibt. Bei einer Untersu-

chung des Instituts für Allgemeine Psychologie und Methoden der Psychologie der Technischen Universität Dresden stellten sich dabei folgende Merkmale erfolgreicher gegenüber weniger erfolgreichen Konstrukteuren heraus:

- „a) Bei der Aufgabenklärung, d. h. der *Analyse und Formulierung* von Anforderungen (Zielanalyse), sind sie genauer und wenden relativ mehr Zeit dafür auf (ca. 10 % der Bearbeitungszeit).
- b) Bei der Lösungssuche ist ihr Anteil an *suchraumerweiternden Denkprozessen* höher (Umstrukturieren und Zusammenfassen von Informationen).
- c) Sie legen die *Schwerpunkte* ihres Vorgehens auf technisch-konstruktiv notwendige, d. h. auf die wesentlichen Hauptarbeitsschritte.
- d) Sie erstellen *Varianten* und geben sich in wichtigen Problembereichen nicht mit der ersten und einzigen Teillösung zufrieden.
- e) Bei der *Analyse von Lösungen* sind sie genauer und wenden dafür relativ viel Zeit auf. Gestützt auf die adäquate graphische Darstellung nutzen sie dafür ihr räumliches Vorstellungsvermögen und ihre Erfahrung.
- f) Sie berücksichtigen die *wichtigen Funktionen* (Hauptfunktionen) ausgeglichen und bearbeiten die Probleme vor allem in der Lösungssuche gegliedert nach den Hauptfunktionen.
- g) Sie haben ein besseres *räumliches Vorstellungsvermögen*.
- h) Sie nutzen adäquate, inhaltlich begründete Strategien zur *Ablaufsteuerung* des Konstruktionsprozesses.“ (Sachse/Hacker 1995, S. 21 f.)

Sicherlich treffen einige Punkte – wenngleich in modifizierter Form – auch auf Facharbeiter zu. So ist der erste Punkt für alle technischen Aufgabenbereiche gültig. Je besser man das Ziel kennt, desto genauer und sicherer kann man es erreichen. Suchraumerweiternde Denkprozesse (Umstrukturierung der Lösungssuche) eröffnen neue Möglichkeiten, sind aber aufgrund vorgeprägter Denkstrukturen, die in der Facharbeit vorherrschend sind, nur schwer einzubringen. Das Unterteilen in Hauptarbeitsschritte ist wiederum für die Facharbeit genauso typisch. Dagegen bestehen für den Facharbeiter aus Zeit- und Kostengründen kaum Möglichkeiten, verschiedene Lösungsvarianten zu erstellen, auch wenn dadurch bessere Lösungen erreicht werden könnten. Räumliches Vorstellungsvermögen auf der Grundlage technischer Darstellungen sowie Erfahrung sind für jeden Facharbeiter, der mit dem Konstruieren in Berührung kommt, von wesentlicher Bedeutung.

Es ist deshalb notwendig, die relevanten Bestandteile der aufgeführten Merkmale für die berufliche Bildung aufzuarbeiten und in den Lern- und Lehrprozess einfließen zu lassen. Darüber hinaus gilt es, die Schülerinnen und Schüler dahingehend zu sensibilisieren, dass sie im Arbeitsprozess solche Gesichtspunkte berücksichtigen, die für methodisches Konstruieren bedeutsam sind.

2.4.2 Grundlagen und Voraussetzungen des methodischen Konstruierens

Ziel des methodischen Konstruierens ist die Optimierung von Konstruktionslösungen durch ein planvolles und zweckmäßiges Vorgehen. Aufgrund der Vielseitigkeit der konstruktiven Arbeiten bei der Entwicklung neuer technischer Produkte oder Systeme ist jedoch keine vollkommene Schablonisierung möglich und auch nicht sinnvoll.

Methodisches Konstruieren impliziert – nicht nur als Gegenstand beruflichen Lernens – eine umfassende Reflexion über die Vorgehensweise und die anzuwendenden Prinzipien dieses Vorganges.

Eine Voraussetzung des methodischen Konstruierens ist ein bewusst ablaufender Denkprozess. Dieser geht einer Konstruktion voraus und beeinflusst wesentlich das Ergebnis. Denkprozesse können bewusst, vorbewusst oder unbewusst ablaufen. Für das Konstruieren ist das bewusste Denken entscheidend. Dabei kann zwischen dem intuitiven (einfallsbetonten) und dem diskursiven (bewusst schrittweisen) Denken unterschieden werden.

„Intuitives Denken liegt vor, wenn eine Erkenntnis schlagartig in das Bewusstsein einfällt und keine Rechenschaft darüber abgelegt werden kann, wie sie zustande gekommen ist.“ (VDI-Richtlinie 2222, 1977, S. 14) Ob allerdings eine „Erkenntnis schlagartig“ im Sinne eines genialen schöpferischen Denkens quasi von selbst auftreten kann, wird sehr kritisch diskutiert (vgl. Köster 1994; Galperin 1967; Klix 1968).

„Diskursives Denken liegt vor, wenn bewußt verschiedene Ideen analysiert und kombiniert werden und so eine Gedankenkette oder ein Gedankennetz bewußt durchlaufen wird. Das Zustandekommen solcher Gedanken ist daher mitteilbar.“ (VDI-Richtlinie 2222, 1977, S. 14)

Aber auch beim diskursiven Denken entstehen die einzelnen Ideen durch intuitives Denken. Für das Konstruieren ist es wichtig, dass der bewusste Denkprozess auf ein Ziel ausgerichtet wird. Dieses Ziel mit Teilzielen kann in einem Pflichtenheft – wie in der Konstruktionspraxis – festgehalten werden. Das klar und deutlich formulierte Ziel schafft die Ausgangsbasis einer Konstruktion. Die Ausrichtung auf das Ziel erfolgt durch den Einsatz von unterschiedlichen (heuristischen) Methoden. Dabei sind heuristische Methoden – ganz allgemein gesehen – Verfahren der Informationssuche bzw. des Informationsgewinns, die in strukturell verschiedenartigen Problemsituationen Lösungen oder Lösungsvorteile ermöglichen (vgl. Köster 1994, S. 24). Diese Methoden zum Suchen und Finden von Problemlösungen führen zwar nicht sicher zum Ziel, vergrößern aber die Erfolgchancen wesentlich (vgl. Gerhard 1998, S. 3).

Das Konstruktionsergebnis ist meistens ein technisches System oder Subsystem, wobei hier die Unterscheidung zwischen hypothetisch-wissenschaftlichem Konstruieren (das als Ergebnis eine wissenschaftliche Aussage hervorbringt) und technisch-materiellem Konstruieren (hier ist das Ergebnis ein ‚Technisches System‘) berücksichtigt werden sollte (siehe dazu auch Füßel 1977, S. 218). „Unter ‚Technischen Systemen‘ versteht man üblicherweise jene von Menschen geschaffenen, technischen Gebilde, wie z. B. Werkzeuge, Verkehrssysteme, Fernsprechsyste, Anlagen, Maschinen, Geräte, Apparate, Bauwerke, Einrichtungen, Vorrichtungen und

andere Gebilde. Abstrakt kann man unter ‘Technischen Systemen’ eine Menge von ‘Elementen und deren Beziehungen’ zueinander verstehen.“ (Koller 1994, S. 20)

Ein System ist von seiner Umgebung zwar abgegrenzt, aber durch Eingangs- und Ausgangsgrößen mit ihr verbunden. Bei technischen Systemen lassen sich diese Größen in Form von Energien, Stoffen und/oder Informationen (Signalen/Daten) identifizieren (Abb. 6). Die aus analytischen Gründen vorgenommene Aufteilung in Energie-, Stoff- und Informationsfluss darf nicht davon ablenken, dass zwischen ihnen funktionale, physikalische und gestalterische Zusammenhänge bestehen. Diese Zusammenhänge sind beim methodischen Konstruieren zu berücksichtigen (vgl. Pahl/Beelich 1981, S. 773).

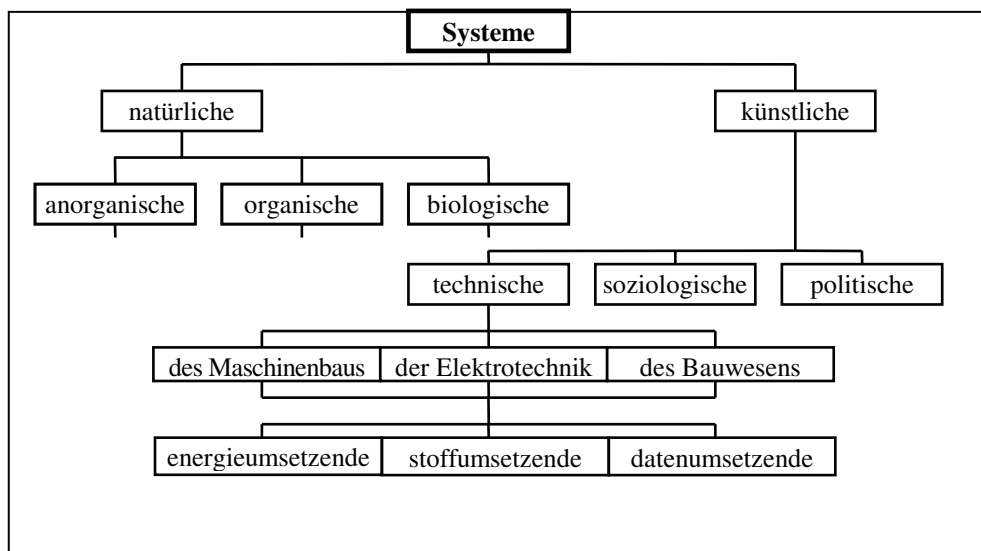


Abb. 6: Einordnung der Technischen Systeme (vgl. Koller 1994, S. 20 f.)

Betrachtet man das Technische System als eine „Blackbox“ (vgl. auch VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1, S. 9), so können Ein- bzw. Ausgangsschnittstellen sowie Ein- und Ausgangsströme von Energie, Stoff und Information dargestellt werden. Energie, Stoffe und Informationen werden in technischen Systemen umgesetzt. Das bedeutet, die Energie-, Stoff- und Informationsströme gehen als Input in das System, werden darin verändert, gespeichert oder weitergeleitet und verlassen das betreffende System verändert oder unverändert als Output wieder. In technischen Gebilden sind oft alle drei Stoffströme vorhanden. Deshalb sind technische Systeme nur schwierig nach ihren Flusswerten zu unterscheiden. Sinnvoll ist es, die vorherrschende Flussgröße als Hauptfluss zu betrachten (vgl. Pahl 1987, S. F1). Schlottmann bringt an dieser Stelle eine Einteilung in systemtheoretische Änderungsklassen. Unterschieden wird dabei, ob Stoffströme gewandelt, geleitet, gespeichert, nicht geleitet, verzweigt, vereinigt und/oder gekoppelt werden (vgl. Schlottmann 1977, S. 20 f.).

Da beim Konstruieren technische Systeme entstehen, liefert der Energie-, Stoff- und Informationsfluss den Ausgangspunkt für das entstehende technische Gebilde (Abb. 7). Die Zusammenhänge, welche zwischen Ein- und Ausgang technischer Systeme bestehen, werden als die Funktion der jeweiligen Konstruktion bezeichnet (vgl. Pahl 1987, S. F2).

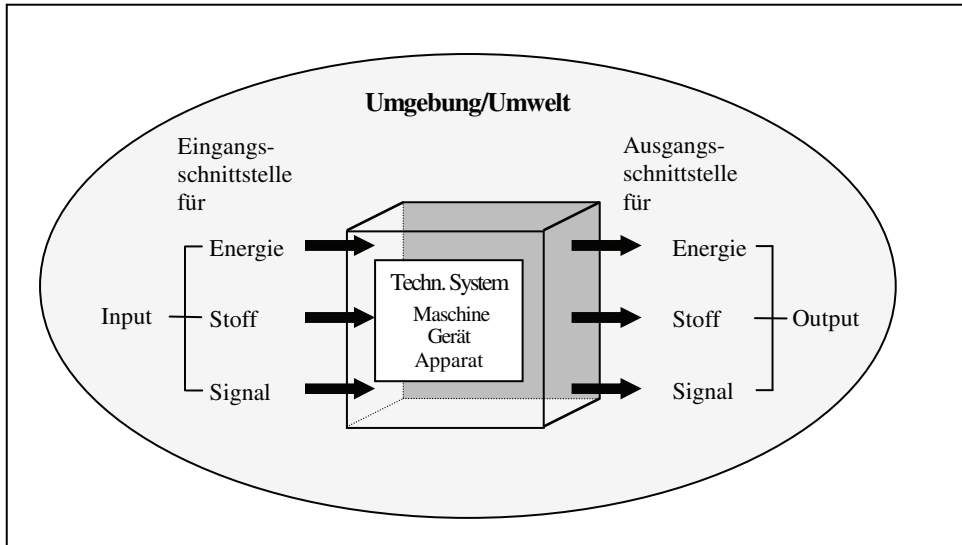


Abb. 7: Symbolische Darstellung der Energie-, Stoff- und Informationsflüsse in einem technischen System

Etwas anders erfolgt die Darstellung bei Wolffgramm (1978). Er arbeitet mit dem Begriff „technologisches System“, wobei er dieses System innerhalb des Produktionsprozesses betrachtet. Der Produktionsprozess ist durch die drei Hauptfaktoren:

- menschliche Arbeitskraft,
- Arbeitsgegenstand und
- Arbeitsmittel

gekennzeichnet. Aus der Wechselwirkung dieser Hauptfaktoren ergeben sich die Komponenten der Bearbeitungsvorgänge. „Die Bearbeitungsvorgänge bilden das technologische System des Produktionsprozesses. Es ist mit dem Gegenstand der Wissenschaft Technologie identisch.“ (Wolffgramm 1978, S. 26) Der Ansatz Wolffgramms erweitert das technische System im Sinne Kollers, da der Faktor „Mensch“ berücksichtigt wird. Entsprechende Überlegungen finden sich auch bei Ropohl (1991), der von einem als „soziotechnischen System“ spricht.

Die Vorgehensweise für einen allgemeinen Lösungsprozess ergibt sich nach Pahl und Beelich (1981) aus einer Aufgabe, die über die Stationen Konfrontation, Information, Definition, Kreation, Kontrolle/Beurteilung und Entscheidung der Lösung zugeführt wird. Sind allerdings die Zwischenergebnisse oder Entscheidungen unbefriedigend, erfolgt eine Rückführung zur jeweils betroffenen Station (vgl. Abb. 8).

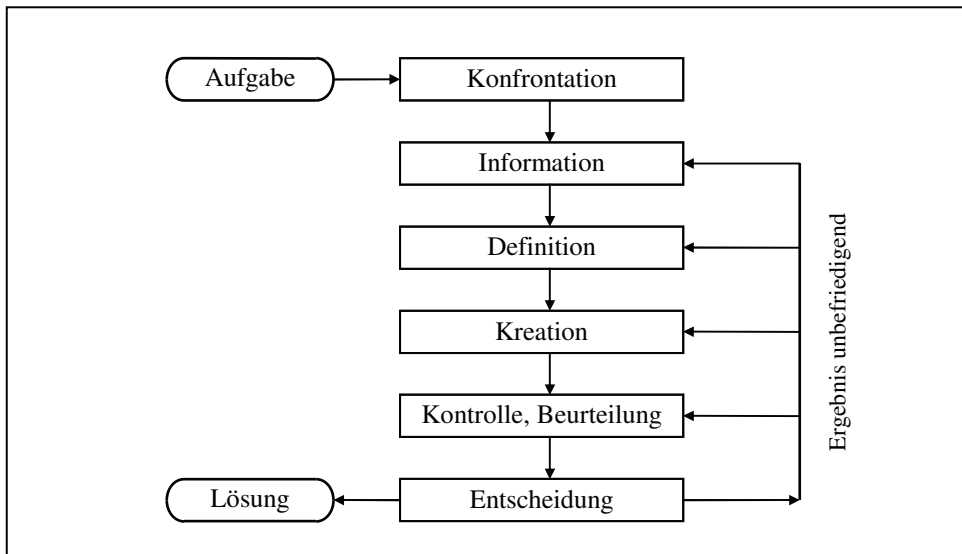


Abb. 8: Allgemeiner Lösungsprozess (Pahl/Beelich 1981, S. 773)

Im Zusammenhang mit dem Lösungsprozess spielen die möglichen Methoden der Lösungsfindung eine wichtige Rolle. Grundsätzlich kann die Effektivität in der Phase der Lösungsfindung insbesondere dadurch verbessert werden, dass die Kreativität aller beteiligten Mitarbeiter für das Projekt nutzbar gemacht wird. Zur Lösung von Aufgaben im Bereich der Konstruktion bieten sich z. B. folgende Methoden an (siehe dazu Kurz u. a. 2004, S. 12 ff.):

- das Brainstorming,
- die Synektik,
- der morphologische Kasten,
- die Verwendung von Katalogen,
- die technische Bewertung,
- die wirtschaftliche Bewertung.

Über das Brainstorming kann das kreative Potenzial der Mitarbeiter besonders effektiv aktiviert werden. „Der Grundgedanke besteht darin, dass eine Gruppe aufgeschlossener Fachleute aus möglichst verschiedenen Erfahrungsbereichen vorurteilsfrei Ideen produziert und sich von den geäußerten Gedanken zu weiteren Vorschlägen anregen lässt. Erreicht werden soll damit, dass unbefangenen Einfälle und Assoziationen, die bisher noch nicht in dem vorliegenden Zusammenhang gesehen worden sind zur Lösungsfindung mit herangezogen werden.“ (Kurz u. a. 2004, S. 13)

Dabei sind folgende Arbeitsschritte einzuhalten:

„Einführung	Einführung in die Regeln des Brainstorming Einführung in das Funktionsdenken Aufgabenstellung
Aufgabengliederung	Ermittlung der Produktinformationen Aufstellung der Suchbereiche Gruppeneinteilung
Ideenfindung	Ideensuche Verlesung und Korrektur des Protokolls
Bewertung	Vorbewertung Informationsaustausch der Gruppen Schlussbewertung.“ (Kurz u. a. 2004, S. 14)

Versucht man den Begriff „Konstruktion“ weiter auszudifferenzieren, so stößt man in der Praxis auf Begriffe wie „Anpassungskonstruktion“, „Variantenkonstruktion“, „Neukonstruktion“, „top-down-Konstruktion“, „Grob-Fein-Gestaltung“ u. a. (vgl. Koller 1994, S. 79), aber auch auf Schweißkonstruktion, Maschinenkonstruktion, Brückenkonstruktion und vieles mehr. Diese Bezeichnungen lassen sich – wie Koller ausführt – nach ihren Tätigkeiten nicht voneinander abgrenzen. So wird eine Aufgliederung in Konstruktionsarten in der einschlägigen Fachliteratur nicht vorgenommen. Wird mit den genannten Begriffen gearbeitet, sieht dies eher zufällig aus (vgl. z. B. Schlottmann 1977, S. 29). Die einzige sinnvolle Unterteilung in Konstruktionsarten ist nach Koller die Unterscheidung der Konstruktionsprozesse und deren Gestaltung dahingehend, ob sie nur für eine bestimmte Art von Produkten oder zur Konstruktion beliebiger Produkte geeignet sind. Daraus ergeben sich produktneutrale sowie produktabhängige Konstruktionsalgorithmen. Somit werden auch Konstruktionsmethoden danach unterschieden, ob sie zur Entwicklung jeder Art oder nur für eine bestimmte Art von Produkten geeignet sind (vgl. Koller 1994, S. 80).

Es ist jedoch fraglich, ob die von Koller praktizierte Einteilung – eine Unterscheidung einzig nach den Konstruktionsprozessen – auf die berufliche Bildung zu projizieren ist. So ist unklar, ob durch die Beschreibung der Konstruktionsart – auch wenn die Prozesse ähnlich oder gleich sind – bei den Schülerinnen und Schülern durch deren Vorstellungsvermögen eine Einordnung der jeweiligen Konstruktion zu erreichen ist und welchen Nutzen diese hätte. Daher erscheint es sinnvoll, eine Unterscheidung zwischen Ingenieur- und Facharbeiterkonstruktion vorzunehmen. Dieser Vorschlag lässt sich mit den unterschiedlichen Voraussetzungen und Erfahrungen von Ingenieuren und Facharbeitern begründen. Vor allem, aber keineswegs nur durch das tendenziell eher theoretische Konstruieren der Ingenieure, werden Differenzen feststellbar sein.