

*Modellierung des
Konstruktionsprozesses
von Gießerei-
Modelleinrichtungen*

Eine Entwicklung von
Modellvorstellungen und
Handlungsanweisungen in der
beruflichen Ausbildung

Uwe Neumann

*Modellierung des
Konstruktionsprozesses
von Gießerei-
Modelleinrichtungen*

**Eine Entwicklung von
Modellvorstellungen und
Handlungsanweisungen in der
beruflichen Ausbildung**



Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Reihe Berufsbildung, Arbeit und Innovation –
Dissertationen/Habilitationen, Band 24

Geschäftsführende Herausgeber

Klaus Jenewein, Magdeburg
Marianne Friese, Gießen
Georg Spöttl, Bremen

Wissenschaftlicher Beirat

Rolf Arnold, Kaiserslautern
Arnulf Bojanowski, Hannover
Friedhelm Eicker, Rostock
Uwe Faßhauer, Schwäbisch-Gmünd
Martin Fischer, Karlsruhe
Philipp Gonon, Zürich
Richard Huisinga, Siegen
Manuela Niethammer, Dresden
Jörg-Peter Pahl, Dresden
Günther Pätzold, Dortmund
Karin Rebmann, Oldenburg
Tade Tramm, Hamburg
Thomas Vollmer, Hamburg

Diese Publikation ist frei verfügbar zum Download unter wbv-open-access.de

Diese Publikation ist unter folgender Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht:
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Universität: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Fakultät: Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften
Einreichung der Dissertation: 31.01.2011
Eröffnung des Promotionsverfahrens durch die Fakultät: 02.03.2011
Gutachter: Prof. Dr. paed. habil. Franz Bernard, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Rüdiger Bähr
Das Kolloquium fand am 16.06.2011 statt.

W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG, Bielefeld, 2013
Gesamtherstellung: W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld
Umschlaggestaltung: FaktorZwo, Günter Pawlak, Bielefeld

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages 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.

ISBN 978-3-7639-5160-4

Bestell-Nr. 6004336

Dieses Buch ist auch als E-Book unter der DOI 103278/6004336w erhältlich.

Inhalt

1	Problemstellung und Lösungswege	5
1.1	Darstellung des Problemfeldes und Forschungsansatzes	5
1.2	Zielsetzung und forschungsmethodisches Vorgehen	10
2	Handlungsfelder im Technischen Modellbau des Urformwerkzeugbaus	15
2.1	Das Lernfeldkonzept – eine kritische Auswertung	15
2.2	Anforderungen an die Handlungsfelder der Fachrichtung Gießerei	18
2.3	Zur Spezifik des Konstruktionsprozesses von Gießerei- Modelleinrichtungen	26
2.4	Allgemeines zum arbeitsprozessorientierten Wissen	28
2.5	Das Konstruktionswissen über Gießerei-Modelleinrichtungen	32
2.5.1	Inhaltliche Strukturierung des Konstruktionsprozesses hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken – das Sachwissen	32
2.5.2	Ablaufstrukturen konstruktiver Problemlösungen hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken – das Prozesswissen	33
3	Auswertung methodologischer Untersuchungen zur Konstruktionswissenschaft	37
3.1	Zum Wesen methodologischer Untersuchungen	37
3.2	Charakteristische Merkmale der Technikwissenschaften	41
3.3	Methodologische Erkenntnisse der Fachwissenschaft Konstruktionstechnik	45
3.3.1	Die Fachwissenschaft Konstruktionstechnik – Einordnung in die Technikwissenschaften und Begriffserklärung	45
3.3.2	Systemmodelle der Technik	51
3.3.3	Modellvorstellungen zur Darstellung des Konstruktionsprozesses	57
3.3.4	Das konstruktionswissenschaftliche Wissen	76
4	Modellvorstellungen für die Konstruktion von Gießerei- Modelleinrichtungen	87
4.1	Eine „Minimal-Methodik“ für die Makroebene – eine Minimalwissensstruktur	87
4.2	Modellierung eines Rahmenmodells – eine Optimalwissensstruktur	89

4.2.1	Lösungsansätze für die deklarative Encodierung des Konstruktionsprozesses und insbesondere zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen	89
4.2.2	Lösungsansätze für das Prozesswissen zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen – eine Wissenskompilierung	101
4.2.3	Ein Rahmenmodell zur Bewältigung von Konstruktionsproblemen bei Gießerei-Modelleinrichtungen	112
5	Untersuchung „realer“ Konstruktionsprozesse von Gießerei-Modelleinrichtungen	117
5.1	Untersuchungsdesign der experimentellen Felduntersuchung.	117
5.1.1	Anforderungen an das Untersuchungsdesign	118
5.1.2	Aufbau und Ablauf der empirischen Untersuchung	120
5.1.3	Auswahl der Versuchspersonen	122
5.1.4	Auswahl der Konstruktionsaufgaben hinsichtlich der Entformbarkeit	124
5.2	Vorgehensbeobachtung und Datengewinnung	125
5.3	Datenauswertung und deren Dokumentation.	127
5.3.1	Auswertung der produktorientierten Lösungsgüte	127
5.3.2	Auswertung des Konstruktionsprozesses – der prozeduralen Lösungsgüte	129
5.4	Ergebnisse der experimentellen Felduntersuchung zur Entformbarkeit	138
5.4.1	Beurteilung der produktorientierten Lösungsgüte.	138
5.4.2	Beurteilung der Lösungsgüte des Konstruktionsprozesses.	138
6	Schlussbetrachtung und Ausblick	141
7	Literaturverzeichnis.	145
8	Anlagen	169

1 Problemstellung und Lösungswege

1.1 Darstellung des Problemfeldes und Forschungsansatzes

Der Schwerpunkt der vorliegenden Dissertation liegt nicht in der Untersuchung des beruflichen Konstruierens und beruflichen Lernens im Allgemeinen (Pahl 2000) und nicht bei den allgemein typischen Verlaufsprozessen beim Konstruieren (Schröder 1992) sowie nicht in der allgemeinen Förderung der Problemlösefähigkeit beim Konstruieren (Fletcher 2005), sondern im Analysieren von typischen Handlungsprozessen des Technischen Modellbauers¹ der Fachrichtung Gießerei. Aus diesem Grund geht es in dieser Arbeit nicht um Probleme der allgemeinen systematischen Heuristik von Konstruktionsprozessen, sondern um Untersuchungen zu dem Handlungsfeld „Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“ und der damit verbundenen Förderung der beruflichen Handlungskompetenz.

Eine Hauptaufgabe bzw. Kernkompetenz des Technischen Modellbauers der Fachrichtung Gießerei ist die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen, wobei dies überwiegend von den Facharbeitern in der Werkstatt durchgeführt wird. Umfragen haben ergeben, dass die wenigsten Betriebe im Technischen Modellbau eigenständige Konstruktionsabteilungen haben. Ist eine Konstruktionsabteilung vorhanden, sind wiederum mehr als die Hälfte der Konstrukteure Technische Modellbaufacharbeiter, d.h. von dem Technischen Modellbauer der Fachrichtung Gießerei sind „schwierigste Konstruktionsarbeiten bei der Gestaltung der Modelleinrichtungen auszuführen“ (Bouffee 1984, S. 22).

Die berufliche Erstausbildung zum Technischen Modellbauer der Fachrichtung Gießerei ist durch folgende besondere Bedingungen gekennzeichnet:

- Das berufliche Handlungsfeld „Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“ ist in dem Rahmenlehrplan mit 160 Stunden – verteilt auf vier Lernfelder (siehe Anlage 1.1) – ausgewiesen. Dieser Stundenanteil ist identisch mit den alten Rahmenlehrplänen (vgl. RLP 1989, S. 25 und RLP 1996, S. 5–7). Im Ausbildungsrahmenplan ist der zeitliche Richtwert mit 26 Wochen angegeben (siehe Anlage 1.2).
- Die Industrie und das Handwerk haben eine gemeinsame Verordnung über die Berufsausbildung zum Technischen Modellbauer.

1 Im weiteren Verlauf der Dissertation wird ausschließlich die männliche Anrede aus Gründen der besseren Lesbarkeit und aus Platzgründen verwendet. Sie schließt die weibliche Anrede ausdrücklich mit ein!

- Die Ausbildungsdauer beträgt 3½ Jahre.
- Die Beschulung der Auszubildenden erfolgt in überregionalen Fachklassen.

Um den Lesern der Dissertation, die keine Kenntnisse vom Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei besitzen, ein gewisses Grundverständnis zu vermitteln, werden nachfolgend einige grundsätzliche Sachverhalte erläutert.

Mithilfe der Gießerei-Modelleinrichtung wird ein Hohlraum in einer Form aus Formsand erzeugt. Dieser Hohlraum in der Form ist das „Negativ“ für das Gussstück und wird mit flüssigem Metall vollgegossen. Nach dem Erstarrungsvorgang wird die Form zerstört, um das Gussstück herausnehmen zu können. Mit anderen Worten: Die Gießerei-Modelleinrichtung dient als Werkzeug für die Herstellung einer (Guss-)Form und somit indirekt zur Herstellung eines Gussstückes und besteht aus einem Modell und gegebenenfalls einem oder mehreren Kernkästen und/oder Hilfsmitteln wie beispielsweise Aufstampfklotz/-boden, Kernmontagevorrichtung usw.

Die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen hinsichtlich der nachgelagerten „Fertigungsprozessstufen“ (Ambos/Hartmann/Lichtenberg 1992, S. 1-1) – dies ist der Schwerpunkt dieser Dissertation – wird exemplarisch an der Konstruktionsaufgabe „Druckdeckel“ (Abb. 1-1) dargestellt.

Schwerpunktmäßig werden in der beruflichen Ausbildung Modellplanungszeichnungen erstellt, da sie „die wichtigste Zeichnung der Arbeitsvorbereitung des Technischen Modellbaus darstellt; sie ist Grundlage für die Kalkulation und Fertigung der Modelleinrichtung und häufig auch der Gussteile“ (VDG-Merkblatt M150 1994, S. 5; vgl. Roller 2006, S. 248 und Dellwig 1943, S. 14).

In der Modellplanungszeichnung (Abb. 1-2) erfolgt – durch den Technischen Modellbauer – die Überarbeitung der Gussstückgeometrie (Abb. 1-1) für das Fertigungsverfahren „Gießen“. Realisiert wird die urformtechnische Modifizierung der Gussstückgeometrie durch folgende Maßnahmen:

- Die Teilung des Modells bzw. des Kernkastens, um das Modell aus der Form und den Kern aus dem Kernkasten entformen zu können.
- Das Anbringen von Modellzugaben, dies erfolgt für die fertigungsspezifischen Belange des Urformens durch das Gießen mittels Formschrägen, Schwindmaß, Bearbeitungszugaben, Radien/Hohlen usw.

Anhand der Konstruktionsaufgabe „Druckdeckel“ wird exemplarisch der Nachweis erbracht, dass die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen eine „grundlegende (regelmäßig vorkommende) Tätigkeit“ (Bader 2004a, S. 31) in

einem Handlungsfeld des Technischen Modellbauers der Fachrichtung Gießerei ist und somit zum Berufsbild gehört (vgl. Neumann 2008a und 2008b).

Die für diesen Tätigkeitsbereich zu generierenden Ausbildungs- und Unterrichtskonzeptionen folgen dem „Prinzip der didaktischen Entsprechung“ (Ott/Reip/Isberner 1995, S. 204). Dies ergibt sich daraus, dass zwischen den Anforderungen in Berufssituationen, auf die die Lernenden vorbereitet werden sollen, und den daraus abgeleiteten Aufgabenstellungen weitgehende Übereinstimmungen festgestellt werden können.

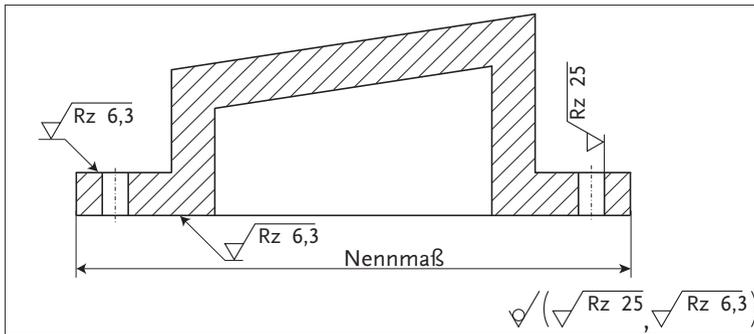


Abb. 1-1: Fertigteilzeichnung des Druckdeckels (Neumann 2006, S. 21).

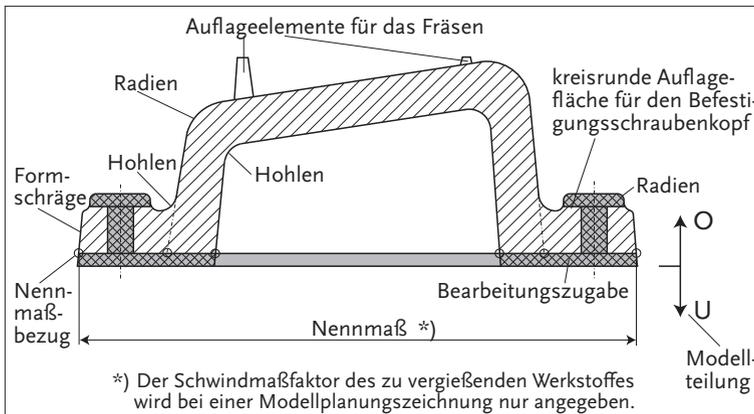


Abb. 1-2: Modellplanungszeichnung des Druckdeckels – die für das Fertigungsverfahren „Gießen“ modifizierte Gussstückgeometrie (Neumann 2006, S. 22).

In der unterrichtlichen Umsetzung bezüglich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen wird sich derzeit mehr oder weniger „durchgewurstelt“,

und ist ausschließlich von dem Können des Fachlehrers abhängig – dies betrifft sowohl die fachliche als auch die didaktische und methodische Seite.

In der Fachliteratur und den Lehrbüchern des Technischen Modellbaus und der Gießereitechnik gibt es derzeit keine didaktisch-methodisch aufbereiteten Konstruktionsaufgaben. Moser geht sogar soweit, dass „das Hauptthema ‚Modellplanung‘ nicht angegangen“ (Moser 2004, S. 6) wird. Mit dieser Aussage ist aus meiner Sicht nicht gemeint, dass es keine zu lösenden Konstruktionsaufgaben gibt, sondern, dass deren Lösungen scheinbar „wie von selbst vom Himmel fallen“. Ist eine Lösung vom Himmel gefallen, ist nirgendwo nachzuvollziehen, wie man auf sie kommt und warum gerade diese die geeignetste ist. Exemplarisch verdeutlicht werden kann dies bei der Teilungsrealisierung der Konstruktionsaufgabe „Haube“ (siehe Anlage 16.1), da werden in dem derzeit einzigen Fachbuch des Technischen Modellbaus nur zwei mögliche Lösungsmöglichkeiten (siehe Roller 2006, S. 291 bzw. Anlage 16.2, Referenzlösung 1a und 4b) dargestellt – die anderen Lösungsvarianten bzw. -prinzipien werden in keiner Weise erwähnt.

Hinderlich war bisher,

- dass die Konstruktionstätigkeit als Kunst und nicht als Tätigkeit wie jede andere im technischen Bereich begriffen wurde, und
- das Fehlen geeigneter Modellvorstellungen (vgl. Ambos/Soethe 1995, S. 13).

Das Fehlen geeigneter Modellvorstellungen für den Konstruktionsprozess von Gießerei-Modelleinrichtungen – auch für den nicht akademischen Bereich – erschwert erheblich die Entwicklung technikedidaktischer Konzeptionen zur Herausbildung von beruflichen Kompetenzen zur Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen.

Erste fundierte Lösungsansätze zur Überwindung dieses Defizits sind von mir entwickelt und veröffentlicht worden (Neumann 2006, 2007a, 2007b und 2007c).

Die Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für den Konstruktionsprozess von Gießerei-Modelleinrichtungen können durch unterschiedliche Forschungsansätze entwickelt werden, von denen einer auszuwählen ist.

Bei empirischen Untersuchungen des Konstruktionsprozesses gibt es grundsätzlich zwei unterschiedliche Forschungsansätze für die Vorgehensweise:

- Ein durch Hypothesen geleitetes Vorgehen, bei dem aufbauend auf theoretischen Überlegungen Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen vorab hypothetisch definiert werden, sodass die beobachteten Eigen-

schaften und Merkmale des Konstruktionsprozesses diesen zugeordnet und überprüft werden können.

- Ein durch Phänomene bzw. Daten geleitetes Vorgehen, bei dem die beobachteten Phänomene durch geeignete Modellvorstellungen abgebildet werden, d. h. diese durch die Beobachtung entstandenen Modellvorstellungen sollen dann über die Eigenschaften und Merkmale des Konstruktionsprozesses Auskunft geben (vgl. Dylla 1990, S. 45 und Bender 2004, S. 107).

Empirische Befunde hinsichtlich der Phänomene bzw. der Daten geleiteten Vorgehensweise legen nahe, dass gerade Expertenkompetenzen für das schöpferische Entwickeln und Konstruieren vielfach implizit und somit unbewusst und nicht aussagbar erworben werden sowie retrospektiv explizit Regeln oft nicht angegeben werden können (vgl. Hacker 1992 und Bender 2004), d. h. durch Beobachtungen bzw. Analysen des Konstruktionsprozesses kann nicht oder nur bedingt bestimmt werden, welche sachlogischen und genetischen Zusammenhänge diesen Handlungsablauf begründen (vgl. Bernard 2004b, S. 84).

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird der hypothesengeleitete Forschungsansatz für dieses Vorhaben ausgewählt. Anzumerken ist, dass der hypothesengeleitete Ansatz in der empirischen Konstruktionsforschung fast ausschließlich zum Einsatz kommt, wie beispielsweise bei Dylla (1990), Fricke (1993), Günther (1998), Bender (2004).

Aus diesem Forschungsansatz und dem eingangs aufgeführten konkreten Defizit hinsichtlich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen ergeben sich folgende Problemfelder für dieses Forschungsvorhaben:

- Analysen zu den entwicklungsbedingten Anforderungen an die Handlungsfelder hinsichtlich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Kapitel 2).
- Auswertung methodologischer Untersuchungen zu modernen Technikwissenschaften und insbesondere zur Fachwissenschaft Konstruktions-technik (Kapitel 3).
- Entwicklung von Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Kapitel 4).
- Empirische Untersuchung zur Erfassung der „realen“ Konstruktionsprozesse hinsichtlich der Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen, um die in Kapitel 4 entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen zu überprüfen (Kapitel 5).

1.2 Zielsetzung und forschungsmethodisches Vorgehen

Die berufliche Handlungskompetenz hinsichtlich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen kann nur durch selbstständiges Lösen geeigneter Konstruktionsaufgaben und ein langwieriges selbstständiges Üben erlangt werden. Da es aber keine geeigneten Hilfsmittel weder von fachpraktischer noch von fachwissenschaftlicher sowie fachdidaktischer und berufspädagogischer Seite gibt, ist das Leitziel dieser Dissertation: Die Entwicklung von Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen und deren empirische Überprüfung sowie deren Einbindung in ein Rahmenmodell zur Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen.

Zur Erreichung dieses Leitziels werden folgende Teilziele angestrebt:

- Nutzung
 - der Ergebnisse der ermittelten entwicklungsbedingten Anforderungen der praxisorientierten konstruktiven Facharbeit hinsichtlich der Förderung der beruflichen Handlungskompetenz,
 - der Ergebnisse der methodologischen Untersuchungen zu der Fachwissenschaft Konstruktionstechnik und zu den angrenzenden Wissenschaftsdisziplinen sowie
 - der jahrzehntelangen Konstruktionserfahrung des Verfassers für die
- Entwicklung von Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen zur Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen und insbesondere zu deren Entformbarkeit.
- Empirische Überprüfung der entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen bezüglich der Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen.

Um diese Teilziele zu erreichen, wird das in Abb. 1-3 dargestellte forschungsmethodische Vorgehen durchlaufen, welches im Wesentlichen gekennzeichnet ist

- durch Untersuchungen in dem beruflichen Handlungsfeld „Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“, bei dem das praxisorientierte Konstruktionswissen im Vordergrund steht,
- durch die wissenschaftliche Grundlegung, die auf der Basis umfangreicher fachspezifischer methodologischer Untersuchungen in dem Technischen Modellbau/der Gießereitechnik, der Konstruktionstechnik, der Systemtechnik und der Arbeits-/Kognitionspsychologie erfolgt. Dies ist erforderlich, um ausgewählte Theorieelemente wie nachgelagerte Fertigungsprozess-

stufen von Gießerei-Modelleinrichtungen, fertigungsgerechte Gestaltung von Gusstücken, Konstruktionswissen, soziotechnische (Handlungs-)Systeme sowie psychische und wissensbasierte Regulation von Arbeitstätigkeiten detailliert analysieren zu können, um diese dann anschließend für den Syntheseprozess der Modellbildung nutzen zu können,

- durch die Modellbildung unter dem Aspekt einer Konzeption von Optimal- und Minimalwissensstruktur.
 - Ausgangspunkt der Theoriebildung für die Optimalwissensstruktur sind die Erkenntnisse aus den fachspezifischen methodologischen Untersuchungen der unterschiedlichsten Wissenschaftsdisziplinen mit entsprechend ausgewählten Theorieelementen. Implizit fließen mein über Jahrzehnte angesammeltes Erfahrungswissen und die entwicklungsbedingten Anforderungen an das Handlungsfeld mit in den Modellbildungsprozess ein. Entwickelt werden ein Rahmenmodell und mehrere Partialmodelle, wobei die Partialmodelle aus erkenntnistheoretischen Gründen in deklaratives und prozedurales Wissen unterteilt werden.
 - Ausgangspunkt der Theoriebildung für die Minimalwissensstruktur sind die entwicklungsbedingten Anforderungen an das Handlungsfeld und mein umfangreiches Erfahrungswissen. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die von mir entwickelte Vorgehensweise hinsichtlich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Neumann 2006) und konstruktionswissenschaftliche Erkenntnisse, insbesondere die Leitlinie zur Konstruktionsunterstützung für Praxis-Konstrukteure.

Anzumerken ist, dass die Ergebnisse der Modellbildungsphase im Sinne der Abduktionslogik vorläufige Hypothesen darstellen.

- durch die Falsifizierung der entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen kann nach Popper (1994) prinzipiell unterteilt werden in
 - Auffinden von logischen Widersprüchen, d. h. während der gesamten Dauer der Modellbildung wird ein ständig wiederkehrender iterativer Prozess hinsichtlich des Auffindens von logischen Widersprüchen durchlaufen und
 - empirische Überprüfung, wobei dies aus Komplexitätsgründen ausschließlich für die Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen zur Entformbarkeit der Gießerei-Modelleinrichtungen durchgeführt wird.

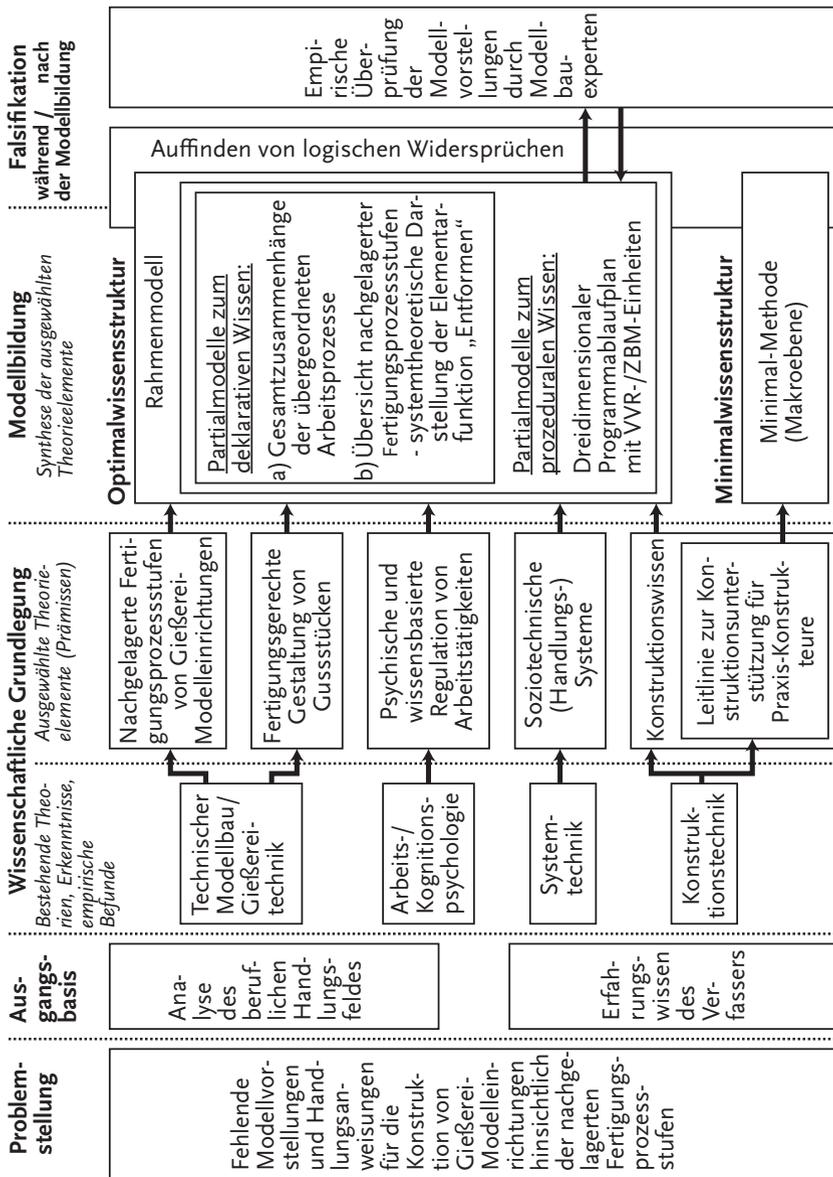


Abb. 1-3: Überblick des abduktiven forschungsmethodischen Vorgehens.

Zusammenfassend ist das forschungsmethodische Vorgehen ein abduktiver Erkenntnisweg, bei dem ein erklärungsbedürftiges Faktum (Problemstellung) durch Hintergrundwissen (wissenschaftliche Grundlegung) abgebildet wird, welches impliziert, dass die Erklärung (Modellbildung) die Beste unter allen möglichen bzw. verfügbaren Erklärungen (Modellbildungsmöglichkeiten) für das Faktum (Problemstellung) ist (vgl. Fletcher 2005, S. 27) und konkret in dieser Dissertation gekennzeichnet ist durch

- die Auswertung meiner jahrzehntelangen Konstruktionserfahrung im Technischen Modellbau – sei es als Facharbeiter, Ingenieur und Fachlehrer,
- das Aufzeigen der Anforderungen in dem Handlungsfeld und das damit verbundene praxisorientierte Konstruktionswissen,
- die systematische Auswertung von fachspezifisch-methodologischen Erkenntnissen aus den unterschiedlichsten Wissenschaftsdisziplinen unter dem besonderen Aspekt des Konstruktionswissens bezüglich der nachgelagerten Fertigungsprozessstufen von Gießerei-Modelleinrichtungen sowie
- das Herausfinden von Konsequenzen für die Gestaltung des Konstruktionsprozesses für Gießerei-Modelleinrichtungen und deren empirische Überprüfung.

2 Handlungsfelder im Technischen Modellbau des Urformwerkzeugbaus

Urformwerkzeuge sind Fertigungsmittel, mit deren Hilfe aus formlosem Stoff ein Werkstück erzeugt wird. Sie können nach Ihren Aufgaben wie folgt eingeteilt werden (vgl. Ambos 1982, S. 60–61):

- Bildet den Formhohlraum selbst ab, d. h. die Kokillen, Druckgießwerkzeuge, Spritzgießwerkzeuge, Blasformwerkzeuge usw. sind die „Negative“ des zu erzeugenden Werkstückes.
- Dient zur Abbildung des Formhohlraums, d. h. die Gießerei-Modelleinrichtung ist das „Positiv“ des zu erzeugenden Werkstückes, mit dessen Hilfe das „Negativ“ – also der Formhohlraum – hergestellt wird. Trotzdem hat der Technische Modellbauer sehr häufig mit dem „Negativ“ zu tun, beispielsweise bei der Analyse des Einformvorganges bzw. Entformbarkeit, bei der Herstellung von Kunstharz-Kernkästen mithilfe von Kernseelen, bei der Vervielfältigung von Kunstharz-Modellen mithilfe von Negativen. Mit anderen Worten: Während des gesamten Planungs- und Herstellungsprozesses der Gießerei-Modelleinrichtung ist ein stetiger Wechsel vom „Positiv“ zum „Negativ“ und umgekehrt zu durchlaufen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse kann unter anderem für die Produktpalette der Urformwerkzeuge die Gießerei-Modelleinrichtung als didaktischer Repräsentant angesehen werden (vgl. Neumann 2008a und 2008b).

2.1 Das Lernfeldkonzept – eine kritische Auswertung

Die zugrunde liegende Idee des Lernfeldkonzeptes – dies ist das derzeit vorherrschende Paradigma in der beruflichen Erstausbildung – ist es, „bei der Planung von Lehr-Lern-Arrangements nicht von fachsystematischen Inhaltskatalogen auszugehen, sondern von beruflichen Handlungsfeldern und diese theoretisch aufzuklären. Hierbei sind Lernfelder nicht einfach in den Unterricht ‚abgebildete‘ berufliche Handlungsfelder, sondern didaktisch-methodische Konstrukte, die durch Reflexion und Rekonstruktion beruflichen Handelns gewonnen werden. Lernfelder sind didaktisch begründete und für den Unterricht aufbereitete Handlungsfelder“ (Bader 1998b, S. 211). Das Ziel des Lernfeldkonzeptes soll nicht sein, die betriebliche Ausbildung und die Berufsschule zu „vermischen“, also die „Praxis in die Schule zu holen“, sondern die Strukturierung der Lerninhalte an beruflichen Handlungsfeldern und den entsprechenden Handlungsstrukturen auszurichten (vgl. Bader 1999a, S. 3). Die Zusammen-

hänge zwischen Handlungsfeldern, Lernfeldern und Lernsituationen sind in Abb. 2-1 abgebildet.

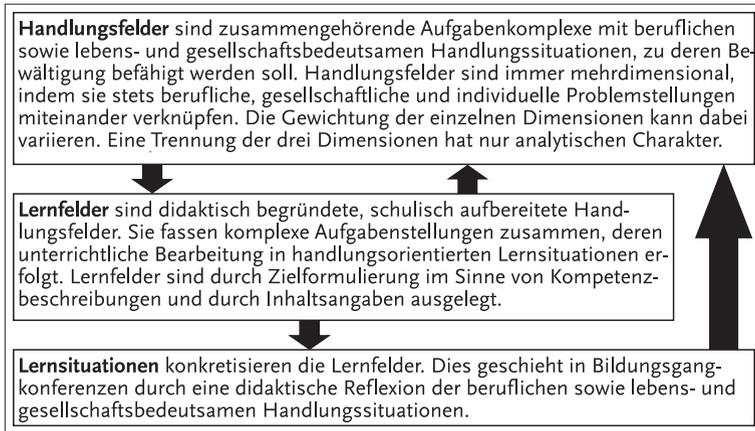


Abb. 2-1: Zusammenhang zwischen Handlungsfeldern, Lernfeldern und Lernsituationen (Bader 2004a, S. 28).

Der Hintergrund für die Einführung des Lernfeldkonzeptes ist die Skepsis, ob es den Schülern ohne Weiteres gelingt, nach Fachsystematiken erlerntes Wissen auch auf die konkrete Berufsanforderung anzuwenden. Hinzu kommt die Beobachtung, dass Unterrichtsfächer dazu neigen, ein „inhaltliches Eigenleben“ zu führen und hierbei Stofffülle mit teilweise zweifelhaftem Berufsbezug zu erzeugen. Deshalb liegt es nahe, nach praxisgerechteren Inhaltsstrukturen als denen der herkömmlichen Unterrichtsfächer zu suchen. Unter welchen Bedingungen und in welchen Ausprägungen dies in der schulischen Praxis gelingen kann, wird sich erst aus Erfahrungen erweisen (vgl. Bader/Schäfer 1998, S. 233).

Dieser in der beruflichen Erstausbildung vollzogene Paradigmenwechsel ist derzeit in den Technikwissenschaften insbesondere durch die Aussage von Gorochow zu erkennen, die besagt, dass moderne technologische Wissenschaften sich mit der „Koordination und Steuerung der verschiedenen Tätigkeiten zur Lösung des jeweiligen komplexen Problems beschäftigen. Deshalb ist das Objekt der komplexen Forschung in den modernen technikwissenschaftlichen Disziplinen kein ingenieurtechnisches Objekt traditioneller Art und auch nicht schlechthin ein sehr kompliziertes, sondern ein qualitativ neuartiges ‚tätigkeitsbezogenes‘ Objekt“ (Gorochow 1981, S. 857).

Es gibt aber auch kritische Stimmen zum Lernfeldkonzept. Nachfolgend sind exemplarisch einige aufgeführt:

- „Neben der Einheit von Lehrgebiet und Wissenschaftsdisziplin kann im anderen Fall die Einheit von Berufsfeld und Lehrgebiet für die fachdidaktische Arbeit dominierend sein“ (Krause 2001, S. 139–140). Doch kann niemand mit Sicherheit vorhersagen, welche der beiden Einheiten für ein konkret umzusetzendes Lernfeld dominiert oder ob eventuell auch beide gleichermaßen zutreffen (vgl. Bernard 2001b). Daher wird es in den KMK-Handreichungen als „unverzichtbar angesehen, die jeweiligen Arbeits- und Geschäftsprozesse in den Erklärungszusammenhang zugehöriger Fachwissenschaften zu stellen. [...] In besonderen Fällen können innerhalb von Lernfeldern thematische Einheiten unter fachwissenschaftlichen Gesichtspunkten vorgesehen werden. In jedem Fall ist auch für solche Einheiten der Zusammenhang mit dem Arbeitsprozess deutlich zu machen“ (KMK-Handreichungen 2000, S. 14 bzw. KMK-Handreichungen 2007, S. 17).

Bader konstatiert in diesem Zusammenhang, dass die Leitorientierung hinsichtlich der Entwicklung von beruflicher Handlungskompetenz in technischen Berufsfeldern allgemein-technologisch und somit im Kern fachwissenschaftlich geprägt ist (vgl. Bader 2004a, S. 19).

- Es besteht grundsätzlich die Gefahr, dass, wenn ausschließlich von Beobachtungen bzw. Analysen konkreter betrieblicher Handlungsabläufe ausgegangen wird, einerseits nicht immer verallgemeinerungswürdig festgestellt werden kann, ob dieser Handlungsablauf den neuesten Entwicklungen entspricht und andererseits nicht oder nur bedingt bestimmt werden kann, welche sachlogischen und genetischen Zusammenhänge diesen Handlungsablauf begründen (vgl. Bernard 2004b, S. 84).
- Das beim Explizieren der Expertenkompetenzen große Schwierigkeiten auftreten. Für dieses konkrete Forschungsvorhaben legen empirische Befunde nahe, dass gerade Expertenkompetenzen für das schöpferische Entwickeln und Konstruieren vielfach implizit, d. h. unbewusst und nicht aussagbar, erworben werden und auch retrospektiv Regeln oft nicht angegeben werden können (vgl. Hacker 1992 und Bender 2004).

Aufgrund dieser Erkenntnisse gilt es die vielgestaltige Realtechnik bezüglich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen angemessen und praktika-

bel darzustellen. Die weiteren Ausführungen in diesem Kapitel konzentrieren sich daher

- auf entwicklungsbedingte Anforderungen an die Handlungsfelder des Technischen Modellbaus der Fachrichtung Gießerei,
- auf allgemeine Erkenntnisse zum arbeitsprozessorientierten Wissen,
- auf die Spezifik des Konstruktionsprozesses von Gießerei-Modelleinrichtungen,
- auf das Konstruktionswissen von Gießerei-Modelleinrichtungen hinsichtlich der nachgelagerten Fertigungsprozessstufen.

2.2 Anforderungen an die Handlungsfelder der Fachrichtung Gießerei

Der Technische Modellbau der Fachrichtung Gießerei entwickelte sich in den letzten Jahrtausenden – bis heute – gemeinsam mit der Gießereitechnik (vgl. Wübbenhorst/Engels 1989), d. h. „die Arbeitsvorbereitung und die Fertigung der Gießerei und des Technischen Modell- und Formenbaus sind unmittelbar miteinander verbunden. Die wissenschaftliche Durchdringung des einen beeinflusst entscheidend den anderen“ (Ambos/Richter 1995, S. 1).

Die Tätigkeitsfelder des Technischen Modellbaufacharbeiters der Fachrichtung Gießerei bestehen unter anderem aus der Konstruktion und der Fertigung von Gießerei-Modelleinrichtungen (vgl. RLP 2009 und ARP 2009). Der Umfang der auszuführenden Arbeiten in den Tätigkeitsfeldern und die daraus resultierenden Qualifikationsanforderungen an die Facharbeit sind sehr differenziert zu betrachten, da führen einerseits die Facharbeiter von den ersten Planungs- und Konstruktionsschritten bis hin zur Kontrolle und Bewertung der fertigen Gießerei-Modelleinrichtung alle Arbeitsschritte selbstständig durch und andererseits führen sie in arbeitsteiligen Arbeitsprozessen nur einige wenige Arbeitsschritte im Fertigungsprozess – teilweise unter Anweisung – durch. Dieses arbeitsteilige Handeln ist als Strukturelement eines Ganzen zu verstehen und liegt im Interesse effektiver Handlungsfähigkeit, die das Mitdenken der Rahmenbedingungen und Folgen des Handelns mit einschließt (vgl. Bader 1991, S. 451).

Vom Technischen Modellbauer der Fachrichtung Gießerei wird ein umfangreiches Wissen auf dem Sektor der Gießereitechnik verlangt, wodurch er zu einem Spezialisten des Urformens durch das „Gießen“ wird (vgl. Bouffee 1984,

S.22), d. h. für den Technischen Modellbauer ist es unerlässlich – über seinen ureigenen Fachbereich hinaus –

- die typischen Merkmale der verschiedenen Formmaschinen, Form- und Gießverfahren

zu kennen und grundsätzlich über

- die Eigenschaften der Gusswerkstoffe sowie über
- ihr Gieß- und Erstarrungsverhalten (vgl. Menden 1991, S. VII)

informiert zu sein – doch reichen diese Betrachtungen heute allein nicht mehr aus!

Aus diesem Grund ist der gesamte Lebenszyklus von Gussstücken zu betrachten, der nach den heute üblichen Arbeitsschritten wie folgt unterteilt wird:

- „1. Entwicklung (Bedarfserkundung, Idee, Entwurf, Konstruktion, Werkstoff- und Verfahrensauswahl, Berechnung, Fertigung verschiedener Arten von Prototypen, Erzeugung seriennaher Prototypen)
2. Fertigung (Fertigungsvorbereitung, Gussstückfertigung, Gussstückbearbeitung, Montage)
3. Nutzung (Betrieb, Wartung und Instandhaltung)
4. Recycling (Demontage, Erfassung, Sortierung, Verwendung, Verwertung, Entsorgung)“ (Ambos/Behm 1999, S. 35).

Dies ist erforderlich, um die ständig steigenden Anforderungen an die Gussstücke und somit an die Gießerei-Modelleinrichtungen zu erfüllen. Diese steigenden Anforderungen können nur durch eine Entwicklungspartnerschaft aller am Gussstück Beteiligten erfolgen, wobei Konstrukteure aus dem Maschinenbau „üblicherweise nicht in Roh- oder Fertigteilen denken, sondern in Funktionen einbaufertiger Teile oder Komponenten. Entwicklungspartner müssen diese Denkweise verstehen und bei der ganzheitlichen Optimierung hilfreich sein. Das setzt ausgeprägte Kundenorientierung und umfassendes Funktionsverständnis voraus“ (Maire 2001, S. 24) (Abb. 2-2).

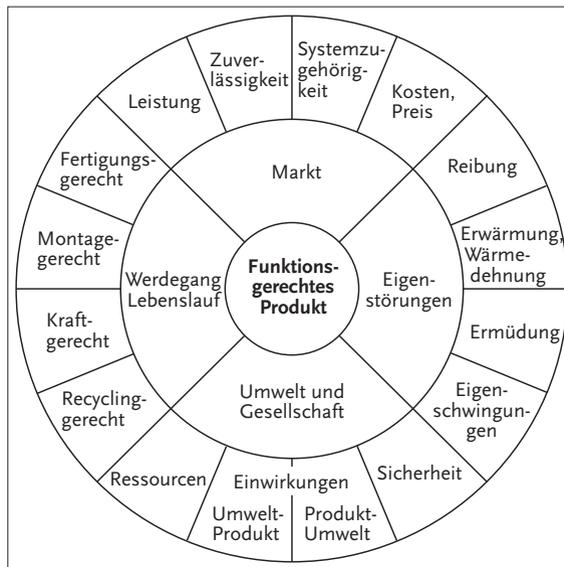


Abb. 2-2: Gliederung der Forderungen an ein funktionsgerechtes Produkt (Koller 1998, S. 191).

Für die Technischen Modellbau- und die Gießereibetriebe hat die Entwicklungspartnerschaft nicht das Ziel, ein möglichst einfaches, billiges Gussstück zu entwickeln, sondern

- eine ideale Funktionserfüllung mit dem höchstmöglichen Funktionsnutzen
- unter Ausschöpfung aller form- und gießtechnischen Möglichkeiten

zu erreichen (vgl. Maire 2001, S. 24).

Unter einer form- und gießgerechten Konstruktion eines Bauteils wird verstanden die modellbau-, form-, stückzahl-, gieß-, abkühl-, putz-, bearbeitungs-, prüf-, wärmebehandlungs-, beschichtungs- und montagegerechte Gestaltung des Gussstückes (vgl. Ambos/Hartmann/Lichtenberg 1992, S. 0-1 bis 0-8), und beinhaltet somit die systematische Durchdringung der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken als ganzheitliche Prozessbetrachtung von der Schmelze über das fertigbearbeitete und -behandelte sowie montierte Gussstück. Die Informationen für die fertigungsgerechte Gestaltung von Gussstücken stammen aus dem Fertigungsprozess „Gussstück“ – also der Lebensphase „Fertigung“ des Gussstückes (Abb. 2-3).

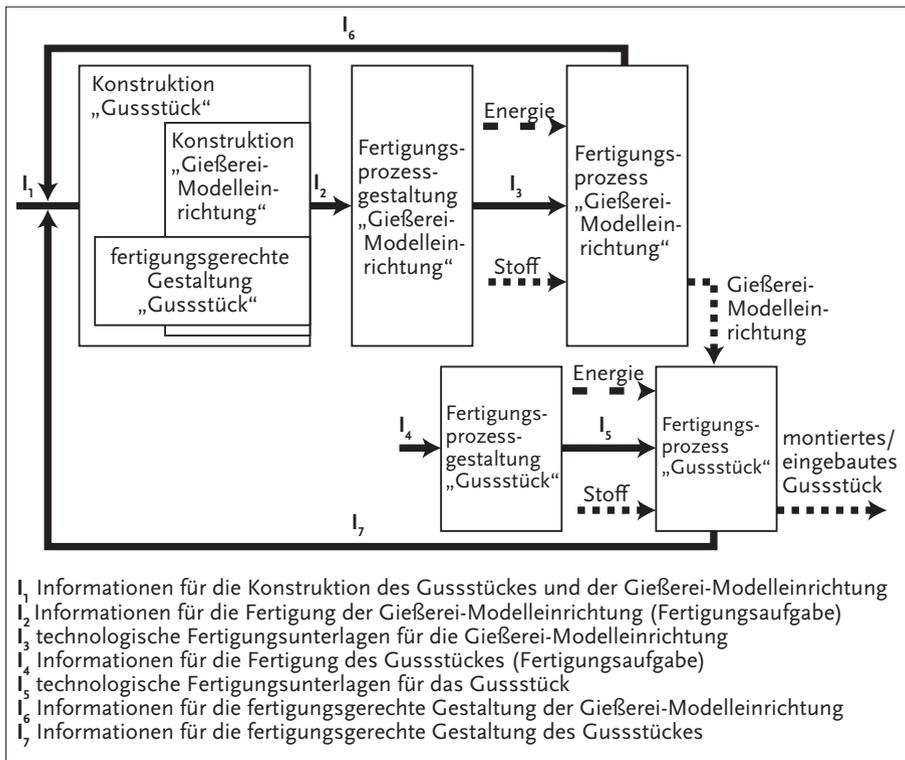


Abb. 2-3: Informationsfluss der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken.

Die Fertigungsprozessgestaltung – sei es für die Gießerei-Modelleinrichtungen oder die Gussstücke – vollzieht sich im Produktionsbereich „Arbeitsvorbereitung“ und hat folgende zwei Aufgabenbereiche (vgl. Bernard 1993, S. 87):

- Die Arbeitsplanung legt fest, was, wie und womit hergestellt werden soll.
- Die Arbeitssteuerung gibt vor, wie viel, wann, wo und durch wen herzustellen ist.

Der Fertigungsprozess dient der Fertigungsvorbereitung, der Fertigung, der (spanenden) Bearbeitung und der Montage von Gießerei-Modelleinrichtungen und Gussstücken.

Die Anforderungen an die fertigungsgerechte Gestaltung von Gussstücken – resultierend aus den unterschiedlichen Fertigungsprozessstufen (siehe Anlage 2) – widersprechen sich häufig. Es gilt, den verschiedenen, zum Teil widersprechenden Anforderungen in solcher Weise gerecht zu werden, dass die

funktionsbedingten Anforderungen erfüllt werden und die Gesamtaufwendungen einem Minimum zustreben. Dies erfordert die Kenntnis und Betrachtung der aus dem gesamten Fertigungsprozess resultierenden Gestaltungsanforderungen (Prozessbetrachtung). Fertigungsgerecht gestaltete gegossene Bauteile repräsentieren demnach stets einen Kompromiss zwischen allen Anforderungen (vgl. Ambos/Hartmann/Lichtenberg 1992, S. 1-1 bis 1-2), d. h. diese vielschichtige und komplexe Gusskonstruktion kann nur in einer gemeinsamen und gleichberechtigten Entwicklungspartnerschaft zwischen dem maschinenbautechnischen Konstrukteur (Kunde), dem Gießer und dem Technischen Modellbauer entstehen, welches bei einer parallelen Abwicklung als Simultaneous Engineering (Abb. 2-4) bezeichnet wird und bereits in den frühen Konstruktionsphasen des Gussstückes (Abb. 2-5) erfolgen sollte. Daraus ergibt sich für den Technischen Modellbauer eine deutliche Produktwissenserweiterung – insbesondere im Bereich des Ingenieurwissens.

Simultaneous Engineering „ist als Leitkonzept zur Gestaltung des Produktentwicklungsprozesses zu deuten. Die Zielsetzung dieses Leitbildes besteht darin, Entscheidungen zur Produktdefinition nicht erst in den der Produktentwicklung folgenden Phasen der Produktherstellung und der Produktnutzung als richtig oder falsch zu erkennen, sondern zum frühestmöglichen Zeitpunkt. Hierdurch können Fehler ohne Ressourcenverlust korrigiert werden“ (Spur/Krause 1997, S. 581).

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die in der Abb. 2-4 dargestellte „Konstruktion“ sich auf das gesamte technische System bezieht, bei dem das Gussstück ein Teilsystem bzw. ein Systemelement darstellt. Das Handlungsfeld „Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“ ist in dem Bereich „Technischer Modellbau“ integriert.

Die serielle Abwicklung der Gussstückentwicklung hat folgende Nachteile:

- „Sehr später Kontakt zwischen den Partnern,
- Bauteile sind oft in der vorkonstruierten Form gießtechnisch nicht herstellbar,
- Zeitverlust durch meist mehrere konstruktive Änderungsschleifen,
- Einbringen von Änderungen nach Abschluss der Konstruktion, [...] dies ist sehr schwierig und zeitaufwendig sowie
- Gewichtszunahme infolge der erforderlichen konstruktiven Änderungen“ (Ungerbühler 2005, S. 24).

Letztendlich waren die nachträglichen Änderungen bzw. Aufbereitungen der Gussstückgeometrie immer ein Kompromiss für alle Beteiligten.

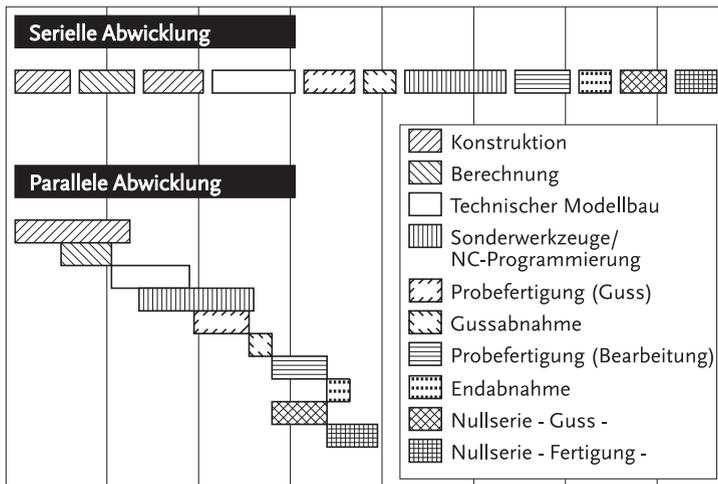


Abb. 2-4: Zeitgewinn bei der Prototypen-Herstellung durch Simultaneous Engineering (Maire/Schmidt 2004, S. 130). Ein allgemeiner Vergleich von Projektplänen bei serieller (konventioneller) und paralleler (SE-typischer, zeitlich überlappter) Abwicklung.

Bei der parallelen Abwicklung arbeiten der Kunde, der Gießer und der Technische Modellbauer in einer Dreierbeziehung sehr eng zusammen. In die Gestaltung bzw. das Design des Gussstückes fließen so bereits die folgenden Einflussfaktoren mit ein:

- „Das Kern- und Modellkonzept,
- die Gießlage,
- die Wandstärken,
- die Trennungsverläufe (bzw. Teilungsverläufe),
- die Formschrägen,
- die Bearbeitungszugaben sowie
- die Toleranzen“ (Ungerbühler 2005, S. 24).

Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, welch enormes Potenzial – Einsparungs- und Qualitätseffekte – in einer frühzeitigen parallelen Zusammenarbeit liegt (vgl. Bähr/Mnich/Saewert/Fiedler 2005, S. 2). Erreicht wird dies durch die zeitliche Überlappung der Bereiche „Konstruktion“ und „Berechnung“ sowie „Technischer Modellbau“ (Abb. 2-4). Es sind oftmals „nur kleine Details im Design, die sich unter wertanalytischen Aspekten drastisch bemerkbar machen“ (Huppertz/Schulze/Gündisch 2003, S. 61).

Es reicht nicht aus, unter dem Titel „Simultaneous Engineering“ Prozesse einzelner Abteilungen mit ihren spezifischen Abläufen nur zu parallelisieren, sondern es müssen die Verknüpfungen detailliert bestimmt und allen Beteiligten bewusst gemacht werden. Nur eine sorgfältige Klärung der gegenseitigen Abhängigkeiten ermöglicht eine realistische Klarheit über die zu den Meilensteinen benötigten Arbeitsergebnisse. Praktische Erfahrung und empirische Forschung zeigen, dass derartige Produktentstehungsprozess-Beschreibungen kaum wirksam werden, wenn sie nicht gemeinsam mit den Personen ausgearbeitet wurden, die tatsächlich damit arbeiten müssen. Dieses gemeinsame Verständnis ist eine entscheidende Voraussetzung dafür, die gesamte Kompetenz eines SE-Teams nutzen zu können (vgl. Longmuß 2003, S. 65–66).

Simultaneous Engineering ist ein Teilprozess bzw. Methode der virtuellen Produktentstehung (vgl. Bähr/Mnich/Saewert/Fiedler 2005, S. 2), wobei das Ziel dieser virtuellen Produktentwicklung darin besteht, alle Eigenschaften eines Produkts im Rechner so genau wie möglich abzubilden.

In den Technischen Modellbau- und den Gießereibetrieben wird dies durch einen massiven Einsatz von Modellierungs-, Optimierungs- und Simulationstechniken – auf der Basis durchgängiger 3D-CAD-Daten – unterstützt, welche die späteren Funktions- und Produktionsrisiken weitestgehend ausschließen und damit unnötige Fehlerschleifen auf dem Wege zum marktfähigen Produkt vermeiden werden. Mit anderen Worten: Die wesentlichen Charakteristika des Gussstückes – aber auch der Gießerei-Modellereinrichtung – können heute mit entsprechenden CAE-Technologien ausreichend genau im Rechner abgebildet werden. Wobei anzumerken ist, dass der Konstruktionsprozess von Gießerei-Modellereinrichtungen durch eine „Mischform“ von konventionellen bzw. manuellen sowie rechnerunterstützten Phasen gekennzeichnet ist.

Simultaneous Engineering ist für die gesamte Zulieferindustrie – und im Speziellen auch für die Technischen Modellbau- und die Gießereibetriebe – eine große Herausforderung. Sie bedingt eine neue Dimension des Wissens um die verschiedenartigsten Bauteile und die unterschiedlichsten Betriebsanforderungen. Offenkundig ergeben sich daraus „völlig neue Arbeitsansätze und Arbeitsmethoden“ (Maire/Schmidt 2004, S. 127) und eine deutliche Erweiterung des Produktwissens insbesondere in den frühen produktbestimmenden Phasen (Abb. 2-5). Aufgrund dieses starken Wissenszuwachses gewinnen das ganzheitliche Denken hinsichtlich des funktionsgerechten Produktwissens des Gussstückes sowie der Gebrauch heuristischer Problemlösemethoden an Bedeutung.

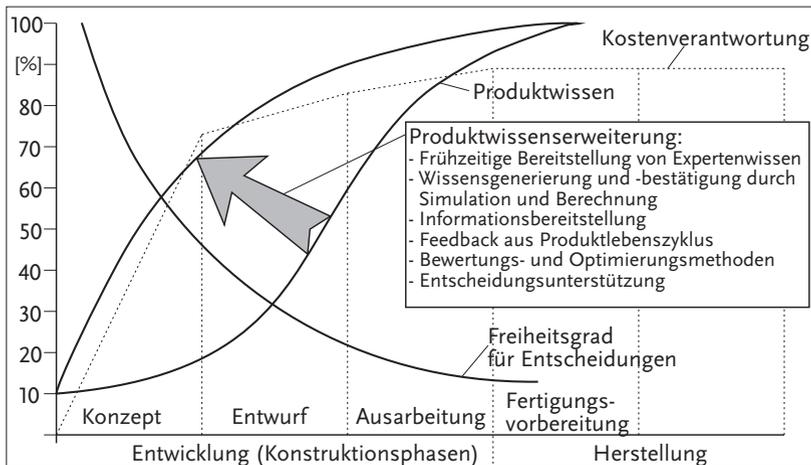


Abb. 2-5: Produktwissen und Kostenverantwortung in der Produktentwicklung (Spur/Krause 1997, S. 427).

„Gerade in den frühen Phasen der Produktentwicklung, wo die wesentlichen Entscheidungen für den späteren Erfolg des Produkts getroffen werden, herrscht bezüglich der Wissensverarbeitung starker Mangel“ (Feldhusen 2005, S. 3). Aufgrund dessen haben Scheel, Ambos, Bähr, Behm und Brahmann (1996, S. 23) die Arbeitsschritte der frühen Produktentwicklungsphasen, bei der der maschinenbautechnische Konstrukteur gießereitechnologisches Wissen benötigt, gekennzeichnet (siehe Anlage 3).

Die systematische Erweiterung der Wertschöpfungskette hinsichtlich des methodischen Einbringens in die Produktentwicklungsphasen bedeutet für die Gießerei- und die Technischen Modellbaubetriebe ein jahrelanger Prozess, der erhebliche Anstrengungen und Aufwand erfordert. „Die Schwierigkeit hierbei besteht unter anderem darin, dass für eine wirkliche Entwicklungskompetenz und Entwicklungspartnerschaft mit dem Kunden auch dessen Technologiekompetenz – neben der eigenen Prozesstechnik – aufgebaut, verstanden und in die Produktentwicklung mit eingebracht werden muss. [...] Es zeigt sich auch deutlich, dass durch die Erweiterung der Prozesskette nicht nur eine Addition von Arbeitsgängen und damit Wertschöpfung erfolgt, sondern sich zusätzlich erhebliche Möglichkeiten zur Optimierung des Gesamtprozesses ergeben“ (Honsel 2006, S. 21), d.h. „zunehmend ist es nicht mehr nur die Aufgabe des Technischen Modellbaus, Lieferant vorkonstruierter Bauteile, sondern immer mehr Konstrukteur der Bauteile zu sein“ (Honsel/Gundlach/Weiß 1995, S. 22).

Zusammenfassung:

Mit den hier durchgeführten Analysen wurden die neuen Anforderungen an den Konstruktionsprozess sichtbar, die von den Technischen Modellbauern der Fachrichtung Gießerei beherrscht werden sollen. Daher sind in der Berufsausbildung diese neuen Qualifikationsanforderungen – die ein neues Niveau in der Facharbeitertätigkeit darstellen – zu berücksichtigen. In dieser Dissertation geht es schwerpunktmäßig um die Konsequenzen für die Gestaltung des Konstruktionsprozesses in dem Berufsschulunterricht.

Für die weiteren Betrachtungen zur Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen ist es unerlässlich, den Konstruktionsprozess zu spezifizieren, um die charakteristischen Merkmale herausstellen zu können.

2.3 Zur Spezifik des Konstruktionsprozesses von Gießerei-Modelleinrichtungen

Grundsätzlich sind bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen folgende drei Konstruktionsbereiche zu unterscheiden (vgl. Neumann 2006, S. 24), wobei im Sinne von Bader (2004a, S. 30–31) der erste eine „exemplarische“ und der zweite und dritte eine „grundlegende Bedeutung“ für den Technischen Modellbauer hat:

- **Konstruktionsbereich 1**
Die Gestaltung des Gussstückes bzw. der Gussstückgeometrie im Hinblick auf eine ideale Funktionserfüllung mit höchstmöglichem Funktionsnutzen (Abb. 2-2) und der damit verbundenen gleichberechtigten Zusammenarbeit aller am Gussstück Beteiligten (Abb. 2-4).
- **Konstruktionsbereich 2**
Die Integration der Lebensphase „Fertigung“ des Gussstückes – also der nachgelagerten Fertigungsprozessstufen von Gießerei-Modelleinrichtungen – mithilfe von Teilung(en) und von Modellzugaben, die eine fertigungsgerechte Modifizierung der Gussstückgeometrie für das „Gießen“ beinhaltet. Dabei muss der Technische Modellbaufacharbeiter das Design bzw. die geometrische Gestalt des Gussstückes fast immer verändern (Abb. 1-1 und Abb. 1-2). Es sei noch erwähnt, dass diese fertigungsgerechte Modifizierung der Gussstückgeometrie nicht explizit im Pflichtenheft vermerkt wird, da dies fertigungstechnische Merkmale des Urformens durch das „Gießen“ sind.

- Konstruktionsbereich 3
Der ureigene Fachbereich, in dem die Funktion, der Aufbau, die Werkstoffauswahl usw. der Gießerei-Modelleinrichtung festgelegt werden.

In dieser Dissertation konzentrieren sich die Analysen ausschließlich auf den zweiten Konstruktionsbereich, dem die Konstruktionsaufgabe „Druckdeckel“ (Abb. 1-1) zuzuordnen ist und an der auch besonders eindrucksvoll aufgezeigt werden kann, welche innovative und kreative Mitwirkung bei der Gestaltung von Arbeit und Technik durch den Technischen Modellbauer ausgeführt wird.

Das Charakteristische des zweiten Konstruktionsbereichs ist, dass einerseits prinzipiell alle Einflussgrößen bzw. Merkmale, die die Gießerei-Modelleinrichtung betreffen, bekannt und andererseits wesentliche Ergebnismerkmale unbekannt sind, die durch Eingrenzen der offenen oder unscharfen Anforderungen zu finden sowie mittels Entscheidungen festzulegen sind. „Die dabei zu vollziehenden Prozesse sind unsicher und belasten – infolge der Komplexität und der Intransparenz der Probleme – die intellektuelle Kapazität außerordentlich stark“ (Müller 1990, S. 16). Dies sind Kennzeichen für „komplexe Konstruktivität bei unscharfen Problemen“ (Hacker 1992, S. 59).

Die Darstellungsformen des zweiten Konstruktionsbereichs (vgl. VDG-Merkblatt M150) sind

- Modellplanungsskizzen, dies sind Zeichnungen, die meistens Kopien der Fertigteildezeichnung sind und in die die erforderliche Teilung(en) sowie die Modellzugaben mit Bleistift, Lineal usw. eingetragen werden,
- Modellrisse, diese werden auf Holz- oder Metallplatten im Maßstab 1:1 mithilfe von Messmitteln mit integrierten Schwindmaßfaktor, Reißnadel, Anschlagwinkel, Gradmesser usw. aufgerissen,
- Modellplanungszeichnungen (Abb. 1-2), diese unterscheiden sich vom Modellriss nur dahin gehend, dass sie auf Papier und ohne Schwindmaßfaktor manuell gezeichnet oder mithilfe von CAD-Systemen erstellt und ausgedruckt werden.

In der Berufsschule kommen fast ausschließlich die erste und die dritte Darstellungsform zum Einsatz.

Bevor auf das konkrete Konstruktionswissen von Gießerei-Modelleinrichtungen eingegangen werden kann, ist es notwendig, das allgemeine arbeitsprozessorientierte Wissen und deren Strukturierungsmöglichkeiten darzustellen.

2.4 Allgemeines zum arbeitsprozessorientierten Wissen

Die Arbeitsprozessorientierung – Zusammenhang von Lernen und Arbeiten – ist als Innovationsziel der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung ausgewiesen (vgl. BLK-Programm 1998, S. 14).

Arbeitstätigkeiten können häufig gleiche Aufträge auf unterschiedliche Weise erfüllen. In diesem Kontext haben zwei Vorgehensweisen überragende Bedeutung, das situative und momentane sowie das situationsübergreifende und planende Vorgehen. Das momentane Vorgehen kommt mit einer Minimalwissensstruktur aus, das planende Vorgehen benötigt eine Optimalwissensstruktur. Beide unterscheiden sich nicht in erster Linie durch den Wissensumfang, sondern durch verschiedene Inhalte (Abb. 2-6).

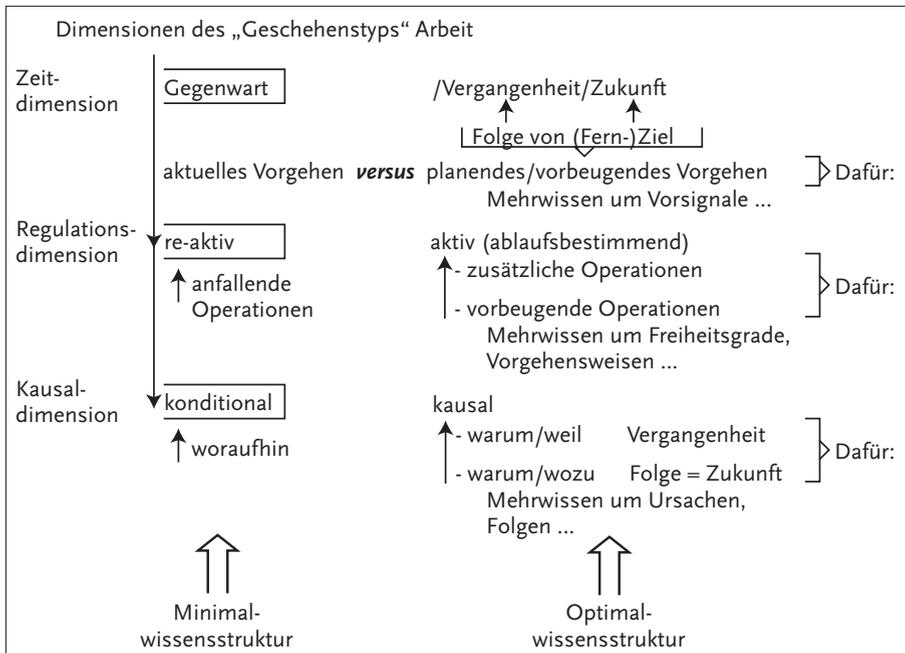


Abb. 2-6: Unterscheidung des Handlungswissens in Minimal- und Optimalwissensstruktur (Hacker 1992, S. 54).

Mit dem Einführen der Unterscheidung einer momentan orientierten Minimalwissensstruktur und einer planend orientierten Optimalwissensstruktur wird das Tätigkeitsmuster – dies sind Relationsnetze, die sich aus dem Arbeitsprozess identifizieren lassen (vgl. Hacker 1992, S. 51) – bezüglich der Leerstellen

weiter spezifiziert. Das ist möglich anhand der drei zusammenhängenden Dimensionen Zeitbezug, Regulationsschwerpunkt und Kausalität.

Das momentane Vorgehen ist auf die jeweils gegenwärtig abzuwickelnden Verrichtungen konzentriert oder sogar beschränkt. Handlungserfordernisse werden im Maße ihres Anfalls reaktiv erfüllt. Dazu genügt das Erfassen der handlungsveranlassenden Bedingungen oder Signale.

Das planende Vorgehen dagegen verfolgt künftige Fernziele auf der Grundlage des Auswertens von Folgen vergangener Handlungen. Der Tätigkeitsablauf wird aktiv bestimmt durch zusätzliche, vorbeugende Handlungen. Sie modifizieren, erzeugen oder beseitigen spätere Handlungserfordernisse bzw. Handlungsmöglichkeiten. Dafür genügt nicht das Erfassen von Signalen allein, sondern die Ursachenanalyse und das Folgenkalkül werden erforderlich. „Dieses planende Vorgehen baut mithin auf einem Mehrwissen hauptsächlich um

- Vorsignale für künftig entstehende Handlungserfordernisse,
- Freiheitsgrade für Vorgehensvarianten,
- Vorgehensvarianten und deren Voraussetzungen,
- Ursachen für Zustände bzw. für Vorgänge und
- Folgen von Handlungsmöglichkeiten“ (Hacker 1992, S. 55).

Da es in diesem Kapitel um Untersuchungen zu dem Handlungsfeld „Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“ gemäß der Ablaufstruktur zum Konstruieren von Lernfeldern nach Bader (2004a) geht, wird an dieser Stelle den Fragen nachgegangen, auf welcher Ebene der theoretischen Fundierung (Abb. 2-7) die Konstruktionstätigkeiten einzuordnen sind und welche Wissensstruktur (Abb. 2-6) der jeweiligen Darstellung des Konstruktionsprozesses zugrunde liegt.

An dieser Stelle wird kurz auf die Entwicklung der beruflichen Handlungskompetenz hinsichtlich der Arten bzw. der Strukturformen von Wissen eingegangen, wobei sie zu deuten bzw. zu konzipieren sind „als Prozess der Aneignung von Kenntnissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten bis zum Niveau theoriegeleiteten, selbstständigen und verantwortlichen Verstehens und Gestaltens von Technik einschließlich deren ökologischer und gesellschaftlicher Implikationen. Unter Zuhilfenahme des Konzeptes einer gedanklichen Rekonstruktion der Genese technischer Systeme (Apparate, Maschinen, Geräte) und des sie hervorbringenden Denkens und Handelns von Menschen“ (Bader 2004a, S. 19).

Die berufliche Handlungskompetenz lässt sich in die Dimensionen von Fach-, Human(Selbst)- und Sozialkompetenz einteilen (vgl. Bader/Müller 2002b,

S. 177). Die „Entwicklung fachlicher Kompetenz meint keinesfalls einen nach Wissenschaftsgebieten oder Schulfächern isolierten und gegenüber abgrenzenden Betrachtungsweisen abgeschotteten Zugang zum Wissen über eine anstehende Sachlage“ (Bader 1991, S. 443), sondern die Prozessorientierung, bei denen die Aufgaben und Abläufe in den Unternehmen durch Denken und Arbeiten in Prozessen zu lösen sind.

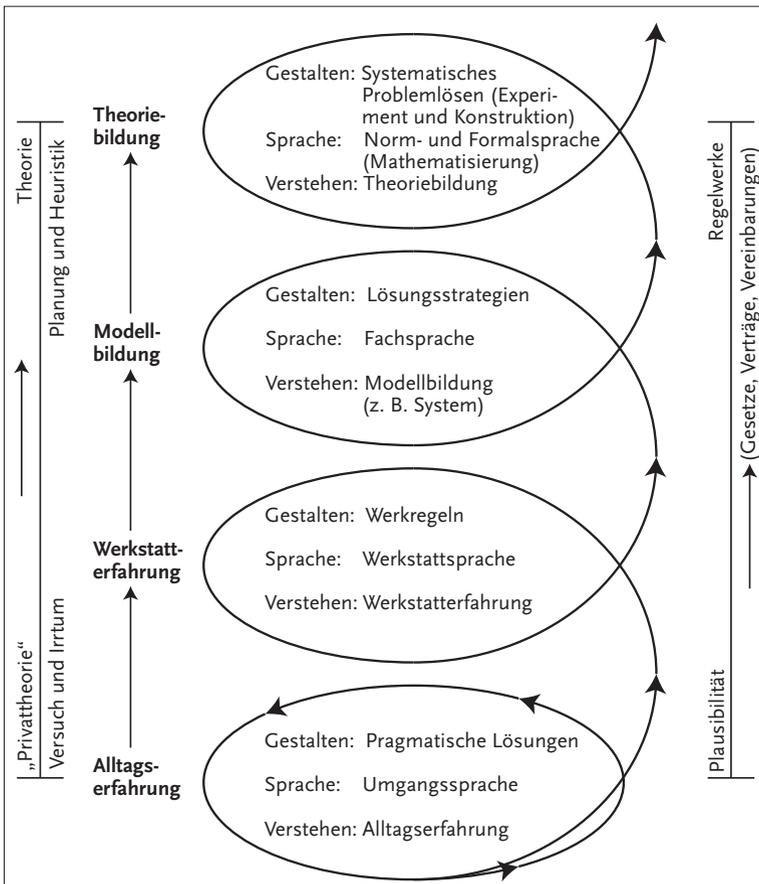


Abb. 2-7: Modellvorstellung zur Kompetenzentwicklung mit aufsteigendem Theoriebezug (Bader 2004a, S. 18).

Beim Wissenserwerb unterscheidet Gerdsmeyer (2006, S. 8–9) folgende Arten bzw. Strukturformen von Wissen:

- Alltagswissen mit seinen Präkonzepten, diese beruhen auf subjektiven Theorien, Alltagsbegriffen, (Vor-)Urteilen, Gewissheitsdenken u. Ä., die sich alltagssprachlich formulieren lassen und meistens singuläre Aussagen und mäßig präzisierte Allaussagen sind – sie werden auch als pragmatische Begründungsmuster bzw. pragmatisches Verstehen bezeichnet.
- Besonders reflektiertes Berufswissen – also das Expertenwissen – hier scheint die Differenz zu dem Wissenschaftswissen etwas kleiner zu sein, da es einige Bestände aus dem Wissenschaftswissen enthält und auf einer Fülle von Generalisierungen und Werkzeugen beruht, die zwar häufig reflexiv gebildet wurden, bei denen aber die zugrunde liegende Reflexion weder systematisch angeleitet noch methodisch kontrolliert sind.
- Wissenschaftswissen, das durch Fragestellungen geleitet und methodisch besonders kontrolliert erzeugt wurde, d. h. es verwendet künstliche Begriffe und bemüht sich um ursächliche Aussagen, also um Behauptungen, die für spezifische Anwendungsbedingungen die Gültigkeit als Wenn-Dann-Bedingungen annehmen.

Das Bemerkenswerte ist, dass die Präkonzepte auf systematisch anderen Konstruktionen und Erkenntnissen beruhen als das besonders reflektierte Berufswissen und das Wissenschaftswissen (Abb. 2-6). Aus diesem Grund kann das Alltagswissen mit seinen Präkonzepten auch nicht einfach durch wissenschaftsbestimmtes Wissen in der Berufsschule ersetzt werden. Die pragmatischen Begründungsmuster sind sehr leicht handhabbar und begründen zugleich Routinen, die aus subjektiver Sicht zu hinlänglich guten Ergebnissen führen (vgl. Gerdsmeyer 2006, S. 9). Auch Müller (1990, S. 30–31) stellt fest, dass es deutliche Unterschiede zwischen Alltagswissen und Wissenschaftswissen gibt (siehe Anlage 4) und dass sich beide Wissensarten beeinflussen, bedingen, durchdringen und in der intelligenten Tätigkeit ständig oszillierend integriert werden (vgl. Müller 1990, S. 32). Daraus folgt, dass nach Müller die Pfeile in Abb. 2-7 auch eine Abwärtsbewegung haben müssten.

Die Lehrpläne – auch der RLP (2009) für den Technischen Modellbauer – „suggerieren, dass alles für Schüler Wissenswerte aus letztlich einer Perspektive, der Betrachtung von Geschäftsprozessen, herleitbar ist. Dass ein umfassenderes Verständnis des persönlichen Handlungsfeldes im Betrieb, das für den Aufbau der in den Lehrplänen geforderten Kompetenzen unverzichtbar ist, nur möglich wird, wenn dieses Handlungsfeld auch mithilfe von Begriffen und Gesetzmäßigkeiten beschrieben wird, die eher in Distanz zur betrieblichen Handlung gewonnen werden, ist eine Auffassung, die man in den Lehrplänen heute so

nicht nachlesen kann. Die Idee, dass es Strukturdifferenzen geben könnte, ist den Lehrplänen fremd“ (Gerdsmeyer 2006, S. 11).

Gerdsmeyer sieht den didaktisch sinnvollen Umgang mit den Arten bzw. den Strukturformen von Wissen darin, dass

- die Differenzen zwischen den Strukturformen didaktisch einfach zu akzeptieren sind und
- die beiden Strukturformen unterrichtlich einen angemessenen Raum bekommen, so werden neben den pragmatischen Erklärungen, die sich aus der Logik des Alltagswissens ergeben, auch kausale Erklärungen verfügbar, die in den wissenschaftsbestimmten Ansätzen enthalten sind, d. h. sie sind möglichst in kultivierter Absicht in Beziehung zusetzen, um für Alltagsroutinen mehr Vernünftigkeit, Verfeinerung und ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge im „Hintergrund“ zu gewinnen sowie die Fähigkeit der Lernenden zu erzeugen, die wissenschaftlichen Begriffe auf subjektive, neuartige und alltägliche Kontexte sinnvoll anzuwenden (vgl. Gerdsmeyer 2006, S. 10).

Schon Grüner hat 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“ (Grüner 1978, S. 79).

Für die Bestimmung der Genese und Sachlogik bezüglich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen und der damit verbundenen Integration der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken wird das entsprechende Konstruktionswissen – getrennt nach Sachwissen und Prozesswissen – nachfolgend erfasst.

2.5 Das Konstruktionswissen über Gießerei-Modelleinrichtungen

2.5.1 Inhaltliche Strukturierung des Konstruktionsprozesses hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken – das Sachwissen

Eine, wenn auch unvollständige und nicht an den heute üblichen Lebensphasen des Gussstückes orientierte Übersicht der Modellzugaben ist in Abb. 2-8 dargestellt. Diese ist das einzige in der Fachliteratur zu findende semantische

Netzwerk. Ansonsten sind spiegelstrichartige – mehr oder weniger vollständige – Auflistungen zu finden, welche unter den unterschiedlichsten Überschriften zusammengefasst sind.

Befragungen sowie Gespräche mit Fachleuten aus der betrieblichen Praxis haben ergeben, dass die Modellzugaben weitestgehend bekannt sind und auch mit Erfolg zur Anwendung kommen, die Implikationszusammenhänge der Modellzugaben untereinander sowie der Teilung – wie beispielsweise in Abb. 2-10 dargestellt – aber fast nie explizit benannt werden können, geschweige deren Aufgabe bzw. Funktion hinsichtlich der nachgelagerten Fertigungsprozessstufen von Gießerei-Modelleinrichtungen bekannt sind.

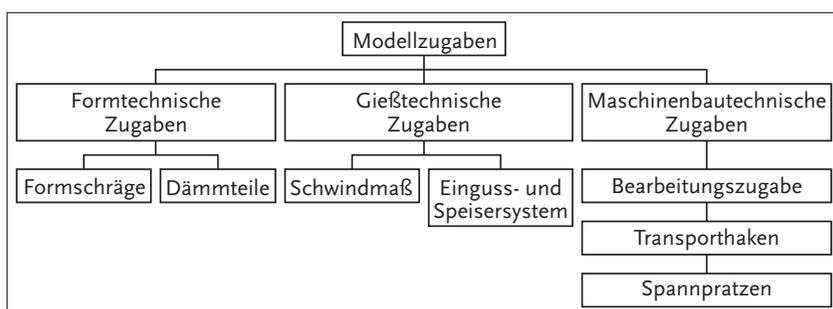


Abb. 2-8: Übersicht der Modellzugaben (Roller 2006, S. 242).

Damit wird Technik „fachkundlich [...] auf die innere Logik des Technischen reduziert und bleibt so in ihrem Wesen als unauflösbare Einheit von technisch Möglichem und gesellschaftlich Notwendigem/sozial Wünschbarem unbegriffen“ (Rauner 1995, S. 56).

2.5.2 Ablaufstrukturen konstruktiver Problemlösungen hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken – das Prozesswissen

Die einzigen Vorgehensmodelle bzw. Ablaufpläne für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen sind in dem handlungsorientierten Schülerarbeitsbuch von Erdmann und Reinkensmeier (o.J.) in Form eines Ablaufplans (Abb. 2-9), bei dem das menschliche Handeln bzw. Problemlösen im Vordergrund steht, und eines Planungsprozesses (Abb. 2-10), bei dem die Sachlogik und deren Ergebnisse im Vordergrund stehen, zu finden. Beide stellen einen Rahmen für die allgemeine Vorgehensweise dar, doch reichen beide bei Weitem nicht aus, um einen komplexen Konstruktionsprozess detailliert darzustellen, d. h. hinter jedem einzelnen (Haupt-)Arbeitsschritt des Ablaufplans bzw. des Planungsprozesses steht eine Vielzahl von Detailschritten, die

entsprechende Rückkopplungen und Rekursionen beinhaltet bzw. erfordert. Des Weiteren sind die Implikationszusammenhänge zwischen dem Ablaufplan und dem Planungsprozess nur auf der Makroebene angedeutet (vgl. Erdmann/Reinkensmeier o. J., S. VI).

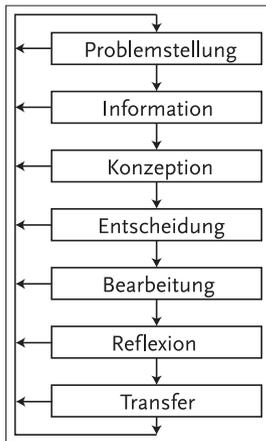


Abb. 2-9: Ablaufplan für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Erdmann/Reinkensmeier o. J., S. III).

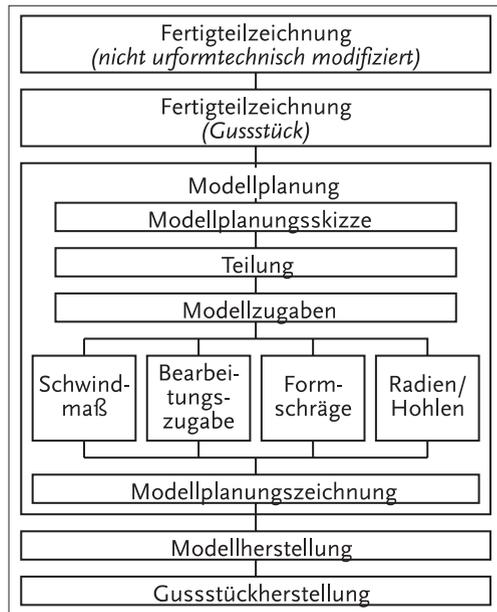


Abb. 2-10: Planungsprozess von der Fertigteilzeichnung bis zum Gussstück (Erdmann/Reinkensmeier o. J., S. L13).

Der Planungsprozess (Abb. 2-10) besteht aus den für die berufliche Erstausbildung wichtigsten Modellzugaben und ist eine Kombination aus „teilproblemorientierten Vorgehen“ und „phasenorientierten Vorgehen“ (Ehrlenspiel 2003, S. 111), d. h. zu Beginn muss die Teilung und danach können erst die Modellzugaben festgelegt werden. Diese Vorgehensweise ergibt sich aus der Sachlogik, da beispielsweise Formschrägen an Flächen angebracht werden müssen, die parallel zur Entnahmerichtung liegen oder die oberliegenden Bearbeitungszugaben – die sogenannten „Schlackekränze“ – erst durch die Teilungsfestlegung und die damit verbundene Festlegung der „Lage in der Form“ bestimmt werden kann. Mit anderen Worten: Der vollziehende Prozess orientiert sich an der Objektstruktur.

Befragungen sowie Gespräche mit Fachleuten aus der betrieblichen Praxis haben ergeben, dass die Vorgehensweise bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen in keiner Weise explizit benannt werden kann. Müller merkt hierzu an, „nicht zuletzt kennen die meisten Praktiker die Methoden, mit denen sie seit vielen Jahren erfolgreich arbeiten, nicht oder nicht mehr beim Namen. Sie sind auch weder veranlasst, noch durchgängig in der Lage, ihr prozedurales Wissen zu explizieren“ (Müller 1990, S. 54; vgl. Ropohl 1999, S. 211 und 279).

Dies könnte daran liegen, dass die Praktiker

- ihr Wissen nicht in deklaratives und prozedurales Wissen separieren, sondern die einzelnen Wissensarten im Können integriert sind (vgl. Klausner 2000, S. 112) und
- ihr Hauptaugenmerk auf das zu erzeugende Produkt richten und nicht auf den Lösungsweg.

Zusammenfassend kann für das zweite Kapitel bisher Folgendes formuliert werden:

Ein detailliertes Konstruktionswissen für den zweiten Konstruktionsbereich – nachgelagerte Fertigungsprozessstufen von Gießerei-Modelleinrichtungen – ist nicht ausgewiesen. Erste Ansätze existieren zwar (Abb. 2-8, Abb. 2-9 und Abb. 2-10), doch sind diese bei Weitem nicht ausreichend, um den komplexen Konstruktionsprozess – und der für die Gießerei-Modelleinrichtungen ist einer – darzustellen. Daraus ergibt sich, dass im besonderen Maße die Bildungs- und Forschungseinrichtungen gefordert sind, diese Defizite zu lösen, da sie den Großteil der Ablaufpläne und andere Muster bereitzustellen haben, die für eine effektive Arbeit im Berufsleben als internes Wissen bzw. als routiniertes Können zur Verfügung stehen müssen.

Da „die wettbewerbsfähige Herstellung technischer Produkte entscheidend von der Leistungsfähigkeit des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses beeinflusst wird“ (VDI-Richtlinie 2221 1993, S. 2) und gerade dieses Wissen ein entscheidender Aspekt ist, um die Innovationsfähigkeit eines Unternehmens oder gar eines ganzen Bereichs erkennen zu lassen, scheint dies ein Grund dafür zu sein, dass der Technische Modellbau der Fachrichtung Gießerei derzeit nur sehr eingeschränkt in der Lage ist, den neuen Anforderungen hinsichtlich der Produktinnovation gerecht werden zu können.

Das Konstruktionswissen bezüglich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen ist in der Praxis, sei es in den Betrieben oder in den Berufsschulen und Hochschulen, vorwiegend durch Erfahrung geprägt und derzeit nicht allgemein theoretisch begründet. Es stellt – so lässt sich vermuten – eine habitua-

lisierte Verhaltensroutine dar, die unterhalb der Bewusstseinschwelle abläuft, d. h. das deklarative und das prozedurale Wissen ist nicht in expliziter Form präsent, sondern oft nur in implizierter Form latent vorhanden. Häufig hat es sich als angesammelte Erfahrung im Langzeitgedächtnis der Handlungssysteme abgesetzt und ist nicht immer gezielt zu aktivieren.

Die Unterschiede in der Wissensstruktur zwischen Alltagswissen und besonders reflektiertem Berufswissen und den damit verbundenen Minimalwissenstrukturen einerseits sowie dem Wissenschaftswissen und deren Modell-/Theoriebildung und den damit verbundenen Optimalwissenstrukturen andererseits ist sicherlich eine weitere Ursache dafür, dass aus der Analyse der beruflichen Handlungsfelder nur unzureichende Hinweise darüber gegeben werden können, was eigentlich das verallgemeinerte Konstruktionswissen hinsichtlich der Gießerei-Modelleinrichtungen ist und wie dessen gehaltvolle Konstruktion gelingt, d. h. es geht beim verallgemeinerten Konstruktionswissen – mit seiner Optimalwissenstruktur – grundsätzlich um ein Wissen, das sich dem Technischen Modellbauauszubildenden – aber auch dem Experten – nicht aus dem alltäglichen Denken und Handeln ergibt (vgl. Gerdsmeyer 2006, S. 8).

Die besondere Schwierigkeit besteht somit darin, dass das Alltagswissen bzw. das besonders reflektierte Berufswissen, welches aus den Arbeitsprozessen erworben wird, in nachfolgenden gedanklichen Schritten irgendwie verallgemeinert werden soll. Gerdsmeyer merkt dazu an, helfen sollen dabei die beschwörend genannten Zauberformeln „vom Konkreten zum Abstrakten“, „vom Besonderen zum Allgemeinen“ usw., welche aber wenige Hinweise liefern, was eigentlich das jeweils Verallgemeinerte ist und warum und wie dessen gehaltvolle Konstruktion gelingt (vgl. Gerdsmeyer 2006, S. 1–2).

Für die didaktische Aufbereitung von Konstruktionsprozessen – also auch die für Gießerei-Modelleinrichtungen – ist es notwendig, das ingenieurwissenschaftliche Wissen der Konstruktionstechnik sowie der angrenzenden Wissenschaftsdisziplinen zu untersuchen und die Schnittstellen zum Facharbeiterwissen aufzudecken – hierfür sind die in diesem Kapitel gewonnenen Erkenntnisse sehr wichtig. Aufgrund dessen erfolgen anschließend umfangreiche Auswertungen zu fachspezifisch-methodologischen Untersuchungen.

3 Auswertung methodologischer Untersuchungen zur Konstruktionswissenschaft

3.1 Zum Wesen methodologischer Untersuchungen

Der methodologischen Seite in den Wissenschaften – sei es in der fachdidaktischen, berufspädagogischen oder technologischen Forschung – eine größere Aufmerksamkeit zu schenken, bleibt auch gegenwärtig eine wenig beachtete Forderung (vgl. Krause 2001, S. 136). Da dieser forschungsmethodische Ansatz nur einen geringen Bekanntheitsgrad hat, wird das Wesen kurz in diesem Kapitel dargestellt.

Im Sinne Lohmanns, des Begründers der Ingenieur- und Technikdidaktik auf der Grundlage einer Methodologie der Technikwissenschaften, ist der Begriffsinhalt der Methodologie „nicht allein die Lehre von den Wegen, die zur Erkenntnis führen, sondern die Lehre von der Struktur einer Wissenschaftsdisziplin“ (Lohmann 1957, S. 132), d. h. es ist „die Wissenschaft, die die Ergebnisse von Problemlösungen in Struktur- oder Gefügebildern sichtbar werden lässt“ (Lohmann 1957, S. 129).

Der entsprechende Forschungsansatz wird als „Methodologieansatz“ (Krause 2001, S. 125) bezeichnet und beschäftigt sich grundsätzlich mit folgenden Aufgaben:

- „1. Inhalt einer Wissenschaftsdisziplin
2. Bauelemente einer Wissenschaftsdisziplin
3. Methoden und Verhaltensweisen in einer Wissenschaftsdisziplin
4. Ordnungsgefüge einer Wissenschaftsdisziplin
5. Sprachanalyse einer Wissenschaftsdisziplin“ (Lohmann 1957, S. 132).

Eine methodologische Analyse strebt somit Aussagen zu folgenden Punkten an:

- „Den Realitätsbereich abzugrenzen, für den ein Methodensystem adäquat ist, und die Klasse von Aufgabenstellungen zu bestimmen, die damit zu bewältigen sind.
- Den Methodenvorrat zu prüfen hinsichtlich:
 - der angenommenen Voraussetzungen,
 - der Funktionen, die zu erfüllen sind,

- der Strukturen, die benutzt werden,
 - der Zuverlässigkeit,
 - der Anwendungsbedingungen, aber auch
 - der Sinnfälligkeit und Grenzen des Gebrauchs.
- Hinweise bzw. Methoden zu erarbeiten, die dienlich sind, den Bestand
 - zu ordnen und zu systematisieren,
 - zweckmäßig zu erweitern und
 - weiter zu optimieren“ (Müller 1990, S. 2).

Die „Kenntnis des Strukturgefüges einer Wissenschaft ist zugleich die Kenntnis ihres Wesens“ (Lohmann 1957, S. 132), d. h. jede Wissenschaftsdisziplin besitzt demnach eine eigene stoffgebundene fachspezifische Methodologie (vgl. Schröder 1992, S. 5), wie beispielsweise die Konstruktionstechnik oder die Fachdidaktik des Technischen Modellbaus der Fachrichtung Gießerei. „Eine ‚fachspezifische Methodologie‘ orientiert die Forschung und die in ihr eingesetzten Methoden zusätzlich auf der Grundlage der Sachlogik und der erarbeiteten inhaltsspezifischen Erkenntnisse über das Untersuchungsobjekt“ (Krause 2001, S. 129–130).

Methodologische Analysen der Fachwissenschaft(en) können einen wesentlichen Beitrag für eine effektivere Gestaltung der beruflichen Bildung leisten, indem sie Grundlage und Orientierung für die unterrichtsmethodische Arbeit sind (vgl. Schröder 1992, S. 6). Dem Lehrenden hilft dabei „nur eine exakte Analyse seines Lehrgebietes, aus deren Ergebnis sich dann zwangsläufig, fast ganz von selbst ergibt, wie er es lehren muss“ (Lohmann 1953/54, S. 625). Die daraus resultierende „Notwendigkeit, in der fachdidaktischen Forschung auch fachspezifische Methodologien der anzueignenden Wissenschaften zu analysieren, führt tief in das Wesen der Fachwissenschaften“ (Krause 2001, S. 138). Erschwerend wirkt sich aus, dass in den meisten Fachwissenschaften – und daran hat sich bis heute nichts geändert – über die jeweilige fachspezifische Methodologie nur selten bewusst reflektiert wurde und dazu bereits publizierte Ergebnisse nur in Ausnahmefällen vorliegen, d. h. „Erkenntnisse solcher Art stehen somit in der Regel nicht für die direkte Nutzung durch den Fachdidaktiker zur Verfügung“ (Krause 2001, S. 126).

Im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei ist das bewusste methodologische Selbstverständnis überhaupt nicht vorhanden (vgl. Neumann 2008a und 2008b). Diese Erkenntnis ist als sehr kritisch dahin gehend anzusehen, wenn nämlich die Strukturen der Wissenschaftszweige, die dem bestimmten

Beruf die fachliche Grundlage zu seiner Ausübung geben, nicht bekannt sind, dann können Tätigkeitsmerkmale, Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten nicht abgeleitet oder begründet werden (vgl. Lohmann 1957, S. 132).

Die aus den methodologischen Analysen moderner Technikwissenschaften gewonnenen Erkenntnisse haben praktisch auf alle Formen der fachdidaktischen Arbeit Einfluss, „wie z. B. Präzisierung der Ziele, Auswahl der Inhalte, Analyse des Begriffs- und Aussagensystems, Umsetzung von Gesetzesaussagen in Handlungsfolgen, Analyse beruflicher Tätigkeiten, Aufdecken inhaltlich-didaktischer Strukturen sowie Entwicklung von ‚fachdidaktischen Lösungen‘. [...] Sie durchdringen aus diesem Grund den gesamten fachdidaktischen Forschungsprozess, da sie eng mit der Spezifik der Inhalte zusammenwirken“ (Krause 2001, S. 126–127).

Die gezielte Auswertung methodologischer Erkenntnisse moderner Technikwissenschaften weist für die Entwicklung und Erschließung von Lernfeldern, die sich inhaltlich mit der Gestaltung von Technik und Arbeit beschäftigen, folgende Vorteile auf:

- „Moderne Technikwissenschaften enthalten die theoretischen und empirischen Grundlagen für das Herleiten von algorithmischen Handlungsanleitungen. Eine optimale Lösung von technologischen Aufgaben setzt die von der Forschung festgelegte Folge von Planungstätigkeiten mit den entsprechenden Handlungsanleitungen voraus. In vielen Fällen kann die zwingende Folge dieser Handlungen nicht auf der Grundlage von Analysen der Handlungen im technologischen Problemlösungsbereich des Betriebes bestimmt werden.
- Eine Orientierung an modernen Technikwissenschaften garantiert, dass auch neue Entwicklungen der Forschungsarbeit erkannt werden, die in Zukunft in der beruflichen Ausbildung an Bedeutung gewinnen werden“ (Bernard 2004b, S. 84; vgl. Bernard 1999a, 2001c und 2003).

„Fachspezifisch-methodologische Erkenntnisse haben eine orientierende Wirkung. Sie lassen sich z. B. in Form von methodologischen Prinzipien, von grundlegenden Ideen, Grundsätzen, Grundauffassungen, Denkstilen, Leitkonzepten, Leitideen, Denkstrukturen und Denkweisen fixieren“ (Krause 2001, S. 130).

Für die Planung, Durchführung und Auswertung des technischen Unterrichts leitet Bernard aus methodologischen Erkenntnissen der Technikwissenschaften

folgende methodische Prinzipien ab, wobei Schröder (1992) den Nachweis explizit für die Konstruktionstechnik erbracht hat:

- Prinzip der Einheit von technisch Machbarem, gesellschaftlich Vertretbarem und sozial Wünschbarem,
- Prinzip der Einheit von Zweck- und Anwendungsorientiertheit,
- Prinzip der Einheit von strategischer Funktion, der von dieser Funktion bedingten Struktur der Lerninhalte und der Art und Weise der methodischen Gestaltung sowie
- Prinzip der Einheit von ganzheitlicher und tätigkeitsbezogener Analyse technischer Lerninhalte (vgl. Bernard/Ebert/Schröder 1995, S. 37 ff).

Die methodischen Prinzipien erfüllen zusammenfassend folgende Funktionen in der fachdidaktischen Arbeit:

- Selektive Funktion, d. h. sie unterstützt die Reduktion hinsichtlich der Auswahl der Lerninhalte und der zweckmäßigen methodischen Konzepte,
- Regulative Funktion, d. h. sie bezieht sich vorrangig auf die Strukturierung von Lerninhalten und die Gestaltung von Lerntätigkeiten sowie
- Normative Funktion, d. h. sie bezieht sich auf die Organisation der Lerntätigkeit und orientiert sich nicht nur auf die inhaltlichen Schwerpunkte (vgl. Bernard/Ebert/Schröder 1995, S. 49–50).

Der Methodologieansatz ergänzt andere fachdidaktische Ansätze – wie beispielsweise den berufswissenschaftlichen – und steht nicht in Konkurrenz zu ihnen (vgl. Krause 2001, S. 127 und Bernard 2004b, S. 80).

Fachdidaktische Forschung auf der Grundlage des Methodologieansatzes muss sich zunächst mit der Frage befassen, was zur fachspezifischen Methodologie der anzueignenden Wissenschaft oder eines anderen für die Konstituierung eines Lehrgebietes gleichwertigem Wissensgebiet gehört. Dann wäre zu klären, ob von ihr möglicherweise Einflüsse auf die Art und Weise, wie fachdidaktische Forschung zu betreiben ist, ausgehen und wie sich die fachspezifische Methodologie einer Wissenschaft auf die fachspezifische Methodologie einer Fachdidaktik auswirkt (vgl. Krause 2001, S. 126).

„Ehe man sich methodologischen Erkenntnissen einzelner Technikwissenschaften zuwendet, ist es für die fachdidaktische Arbeit unerlässlich, zunächst die für die Gruppe der Technikwissenschaften charakteristischen Merkmale zu analysieren. Dann kann man erfassen, in welcher modifizierter Form sie in einer technischen Einzelwissenschaft sichtbar werden“ (Krause 2001, S. 137).

3.2 Charakteristische Merkmale der Technikwissenschaften

„Eine Vertiefung der Erkenntnisse über den Wissenschaftsbegriff in der Technik, über den Entwicklungsstand disziplinärer Integration und Differenzierung sowie über Stellung von Technik und Wissenschaft innerhalb des Wissenschaftssystems ist derzeit von aktueller Bedeutung“ (Spur 1999, S. 153), da „tief greifende globale Gesellschafts- und Wirtschaftsimpulse zunehmend durch Innovationsschübe ausgelöst werden, die auf einer fachübergreifenden Wechselwirkung vieler Wissenschaftsbereiche beruhen, also interdisziplinär begründet sind. [...] Unsere derzeitige Wissenschaftslandschaft ist aufgrund der traditionellen Zergliederung auf integrative Erneuerung nicht vorbereitet. Die gegenseitige Annäherung unterschiedlicher wissenschaftlicher Denkweisen ist ein schwieriger und lang andauernder Lernprozess, der mehr als nur ein darstellendes Nebeneinander erfordert. Es geht im Kern um eine inhaltliche und methodische Erneuerung der Fachdisziplinen“ (Spur 2000, S. 198).

Für die Fachdidaktik lässt sich daraus ableiten, dass disziplinäre Strategien zwar theoretischen Erkenntnisgewinn im Detail erbringen, doch sie verfehlen den ganzheitlichen Problemzusammenhang. Der aber muss erfasst werden – nicht nur, wenn man ein umfassendes Sinnverständnis von Fachdidaktiken bilden will, sondern vor allem auch, wenn man konkrete Unterrichtssituationen zu gestalten hat, in denen alle Aspekte des Technikunterrichts unlösbar miteinander verflochten sind. So ist die mehrdimensionale Betrachtung der Technik und die damit verbundene interdisziplinäre Integration fachdidaktischen Wissens nicht nur ein Bildungsdesiderat, sondern auch ein Desiderat der praktischen Unterrichtsgestaltung (vgl. Pahl 2000, S. 84).

Die Definition des Technikbegriffs von Ropohl erscheint besonders geeignet, da er die künstlich gemachten Gegenstände und das menschliche Handeln umfasst, aber nur solches Handeln, das mit Artefakten zu tun hat.

Ropohl definiert die Technik als

- „(a) die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme),
- (b) die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen, und
- (c) die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden“ (Ropohl 1999, S. 31; VDI-Richtlinie 3780 2000, S. 2 und Brockhaus 2000, S. 4586).

Das Technikverständnis von Ropohl umfasst somit die technischen Sachsysteme sowie deren Entstehung und deren Verwendung in soziotechnischen Systemen (Abb. 3-1), woraus sich für das technische Handeln grundsätzlich zwei Ziele ableiten:

- Das Herstellungshandeln, d. h. die Verwirklichung von Sachsystemen und
- das Verwendungshandeln, d. h. das Sachsystem wird als Mittel eingesetzt.

An dieser Stelle sollte nicht unerwähnt bleiben, dass „die wechselseitigen Durchdringungen und Überlagerungen von Theorie und Praxis sich gerade im Bereich der Technik als besonders verworren“ (Ropohl 1998, S. 31) erweisen, obwohl die maßgebenden Akteure der technischen Praxis ihre formale Qualifikation durchweg technikwissenschaftlichen Ausbildungsstätten zu verdanken haben.

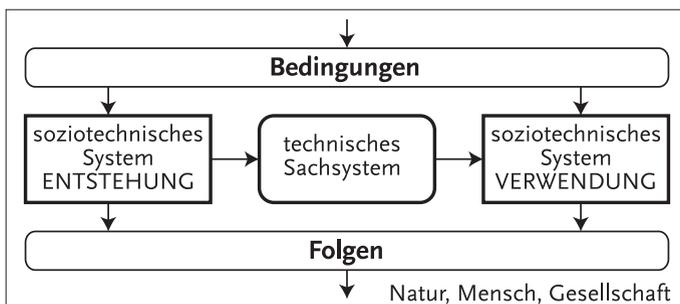


Abb. 3-1: Allgemeines Schema technologischer Probleme (Ropohl 1999, S. 44).

Aus Abb. 3-2 geht hervor, dass Strategien zur Herstellung und Nutzung der Technik einen wesentlichen Lerninhalt in den technischen Unterrichtsfächern darstellen. Die Aneignung technischer Strategien bzw. Handlungsanweisungen kann als entscheidendes Bindeglied zwischen dem theoretischen und praktischen Unterricht bei der Ausbildung von Technischen Modellbauern fungieren. Dabei steht im berufstheoretischen Unterricht das Erkennen der Zusammenhänge zwischen den Gesetzesaussagen und den Strategien im Vordergrund, während der Schwerpunkt in der berufspraktischen Ausbildung in der Herausbildung von Fähigkeiten zur Anwendung von Strategien zur Lösung komplexer beruflicher Aufgaben liegt.

Strategien bzw. Handlungsanweisungen werden der Klasse der Methoden zugeordnet und sind ihrer Natur nach Werkzeuge der geistigen und praktischen Tätigkeit. Ihr Stellenwert und Zweck wird aus den Beziehungen zwischen Technikwissenschaften und der Praxis sichtbar:

„Erstens: Die Theorie der Technikwissenschaften erfüllt wie in den Naturwissenschaften eine Explanationsfunktion. Voraussetzung ist die Kenntnis von Theorien der Naturwissenschaften, indem die dort gefundenen Gesetzesaussagen auf technische Bedingungen übertragen werden.

Zweitens: Die Strategien in den Technikwissenschaften legen fest, wie man am zweckmäßigsten vorgehen muss, um etwas technisch zu beherrschen.

Drittens: In der Produktionspraxis wird die Strategie als potenzielle Aufforderung geistig aktualisiert und praktisch realisiert“ (Bernard/Ebert/Schröder 1995, S. 20).

Objektbereich	Inhalt	Sprachliche Form
Existierende technische Systeme und Werkstoffe	Empirisches und theoretisches Wissen über existierende Technik	Aussagen
Prozesse der Erzeugung, Nutzung technischer Systeme, Werkstoffe (Technologien)	Empirisches und theoretisches Wissen über existierende Technologien	Aussagen
Zu schaffende technische Systeme und Werkstoffe bzw. Technologien	Entwürfe für neue technische Systeme, Werkstoffe und Technologien	(antizipative) Aussagen
	Strategien zur Herstellung und Nutzung der Technik	Aufforderungen (Handlungsanweisungen)
Zu schaffende Entwürfe und Strategien	Methodiken des Konstruierens, Entwerfens usw.	Metaaufforderungen

Abb. 3-2: Objektbereiche und Inhalte der Technikwissenschaften (Banse/Wendt 1986, S. 15 und Bernard/Ebert/Schröder 1995, S. 21).

Da die Belange der Wissensintegration und der Interdisziplinarität der Technikwissenschaften von großer Bedeutung sind, lassen sich folgende spezifische Funktionen ausmachen – über die weitgehend Konsens besteht – die zwar nicht das gesamte Spektrum, aber die typischen Probleme und Aufgaben der technikwissenschaftlichen Tätigkeit kennzeichnen. Natürlich ist es im „Alltag“ unmöglich, diese Funktionen eindeutig zu trennen, da sie sich überlagern und durchdringen.

Die spezifischen Funktionen der Technikwissenschaften sind

- die Analyse und Antizipation technischer Mittel und Prozesse,
- die Begründung von Varianten und Alternativen der technischen Entwicklung,

- die Übernahme und Angleichung naturwissenschaftlichen Wissens sowie
- die Ableitung rationell handhabbaren Ingenieurwissens (vgl. Jobst 1995, S. 11 ff).

Daraus ergeben sich zwei zentrale Aufgaben für die Technikwissenschaften:

- „Die mannigfaltigen Erscheinungsformen technischer Systeme zu erfassen und Modellvorstellungen für ihre optimale Gestaltung zu entwickeln [...] und
- die fachspezifische Methodik für die Technikwissenschaft weiter zu entwickeln“ (Spur 1999, S. 153).

Die daraus resultierenden detaillierten Aufgabenstellungen werden durch eine Differenzierung der Technikwissenschaften in Abb. 3-3 dargestellt, wodurch auch die Interdisziplinarität deutlich wird.

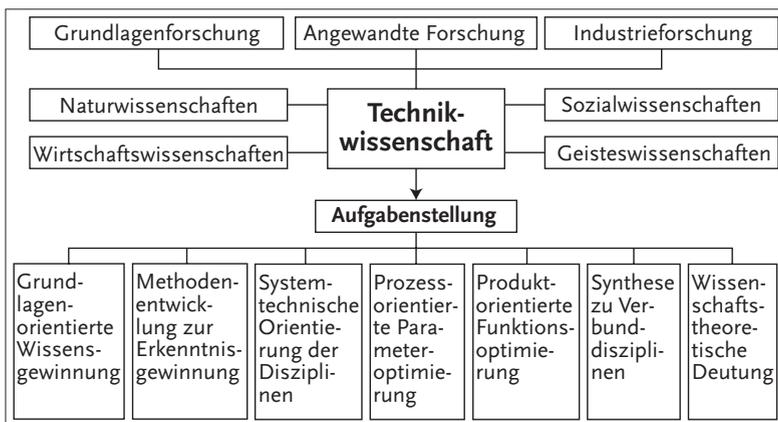


Abb. 3-3: Differenzierung der Technikwissenschaft nach ihren Aufgabenstellungen (Spur 1998, S. 56).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass moderne technologische Wissenschaften die Aufgabe haben, die „Koordination und Steuerung der verschiedenen Tätigkeiten zur Lösung des jeweiligen komplexen Problems. Deshalb ist das Objekt der komplexen Forschung in den modernen technikwissenschaftlichen Disziplinen kein ingenieurtechnisches Objekt traditioneller Art und auch nicht schlechthin ein sehr kompliziertes, sondern ein qualitativ neuartiges ‚tätigkeitsbezogenes‘ Objekt“ (Gorochow 1981, S. 857).

Der prinzipiellen Forderung nach einer innovationsorientierten modernen Wissenschaftslehre der Technik gerecht zu werden, bedarf es weiterhin einer klär-

enden Aufbereitung der einzelnen beteiligten Disziplinen – hier speziell der Konstruktionstechnik – im Sinne eines zukunftsorientierten Selbstverständnisses. Darin ist sowohl eine Strukturierung nach „innen“ als auch die interdisziplinäre Verknüpfung nach „außen“ eingeschlossen, welches mithilfe der Auswertung von methodologischen Erkenntnissen der Fachwissenschaft Konstruktionstechnik erfolgt, mit dem Ziel, nicht nur die Struktur der Aneignungsgegenstände von der fachwissenschaftlichen Seite her aufzudecken, sondern auch das Erkennen der Was-Wie-Beziehungen bei der Vermittlung und Aneignung technischer Inhalte zu unterstützen.

3.3 Methodologische Erkenntnisse der Fachwissenschaft Konstruktionstechnik

3.3.1 Die Fachwissenschaft Konstruktionstechnik – Einordnung in die Technikwissenschaften und Begriffserklärung

Nach Müller ist die Konstruktionstechnik eine „Disziplin der Technikwissenschaften, die den intelligenten Prozess des Konstruierens technischer Gebilde sowie allgemeine Strukturgesetze technischer Systeme mit dem Ziel untersucht,

- die Gesetzmäßigkeiten konstruktiver Prozesse zu erkennen,
- darauf basierend Verfahren, Technologien bzw. Methoden des Konstruierens zu entwerfen,
- diese in die praktische Tätigkeit bzw. in die Ausbildung des Konstrukteurs zu überführen,
- in der Absicht, die Effektivität der intelligenten Prozesse und die Qualität ihrer Erzeugnisse zu verbessern“ (Müller 1990, S. 78).

Die Einordnung der Fachwissenschaft Konstruktionstechnik in die Technikwissenschaft ist in Abb. 3-4 dargestellt, wobei die Betrachtung der technischen Objekte in allen ihren Lebensphasen das Explizieren des Gesamtzusammenhangswissens erleichtert sowie auf jeder Ebene der Hierarchie eine Anzahl von Berufswissenschaften entstehen könnte (vgl. Hubka/Eder 1992, S. 11–12).

„Die Konstruktionswissenschaft will keine Konkurrenzdisziplin sein, sondern sie will eine Rahmendisziplin für die Einordnung des relevanten Wissens aus anderen Gebieten liefern“ (Hubka/Eder 1992, S. 67). Ziel ist es, den Konstruktionsprozess möglichst durchgängig zu erforschen und alles Wissen für und über das Konstruieren zu ordnen und zu speichern.

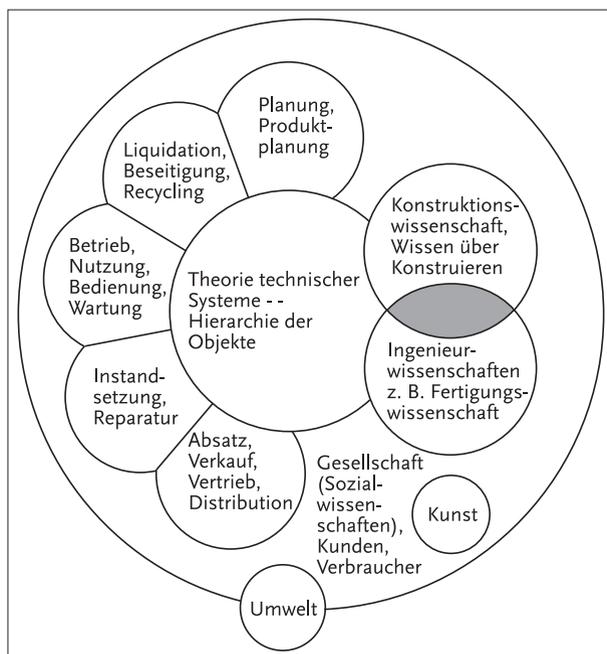


Abb. 3-4: Technische Fachwissenschaften in hierarchischen Ebenen (Hubka/Eder 1992, S. 13).

Konstruieren wird als Oberbegriff für andere, im Sprachgebrauch verwendete Begriffe wie beispielsweise Erfinden, Entwickeln, Anpassen, Projektieren, Konzipieren, Entwerfen, Gestalten, Design benutzt (vgl. Hubka/Eder 1992, S. 112) und

- ist technisch gesehen „der Prozess wissenschaftlich fundierten Vorausdenkens von zu erzeugenden technischen Gebilden, wobei die technischen Gebilde die geforderten Funktionsmengen in einem Kontext von Bedingungen möglichst optimal erfüllen und optimal herstellbar sein sollen. Das schließt die Erstellung der notwendigen und hinreichenden Unterlagen ihrer Fertigung und die Überführung in die Anwendung ein“ (Müller 1990, S. 77). „Das Besondere dabei ist nicht nur das Vorausdenken überhaupt, sondern das Vorausdenken von Strukturen, die Funktionen realisieren müssen. Gebilde müssen also laufend in Funktionen und Funktionen wieder in Gebilde, die sie realisieren, übersetzt werden“ (Hacker 1999, S. 89).
- ist arbeitspsychologisch gesehen eine schöpferisch-geistige Tätigkeit, die ein sicheres Fundament an interdisziplinärem Grundlagenwissen, aber auch Kenntnisse und Erfahrungen des jeweils zu bearbeitenden Fachge-

bietet erfordert. Dabei sind Entschlusskraft, Entscheidungsfreudigkeit, wirtschaftliche Einsicht, Ausdauer, Optimismus und Teambereitschaft wichtige Eigenschaften.

- ist methodisch gesehen ein Optimierungsprozess unter gegebenen Zielsetzungen und sich zum Teil widersprechenden Bedingungen.
- ist organisatorisch gesehen ein wesentlicher Teil des Produktlebenslaufs (vgl. Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote 2003, S. 1–2).

Das Konstruieren wird als Prozess der Informationsgewinnung und -verarbeitung verstanden, wobei es im Wesentlichen darum geht, technisches Wissen zu nutzen und zu vermehren. Die Eingangsgrößen im Konstruktionsprozess sind die Aufgabenstellung, die geeignete Methode und die erforderlichen Daten für die Konstruktion. Aber auch subjektive Umstände wie die Qualifikation des Bearbeiters, seine Motivation, geistige Leistungsfähigkeit, Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit sowie sein Verantwortungsbewusstsein beeinflussen den Konstruktionsprozess in starkem Maße. Objektive Umstände sind die Qualität der Arbeitsmittel sowie räumliche und soziale Bedingungen. Bestimmte Forderungen F_0 müssen bei der Durchführung des Konstruktionsprozesses beachtet werden wie Gesetze, Standards, Richtlinien, Vorschriften, Kundenwünsche usw. Ausgangsgrößen des Konstruktionsprozesses sind der Zeichnungssatz (Zeichnungen für Zusammenstellung, Baugruppen, Einzelteile) und der Schriftsatz (Bedienungsanweisung, Baubeschreibung, Montageanweisung). Neue methodische Erfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnisse ergeben sich als Nebenbedingungen, die einfließen in später zu realisierende Konstruktionsprozesse, also gespeichert werden müssen. In dem Blockschaltbild (Abb. 3-5) wird dieser beschriebene Sachverhalt dargestellt.

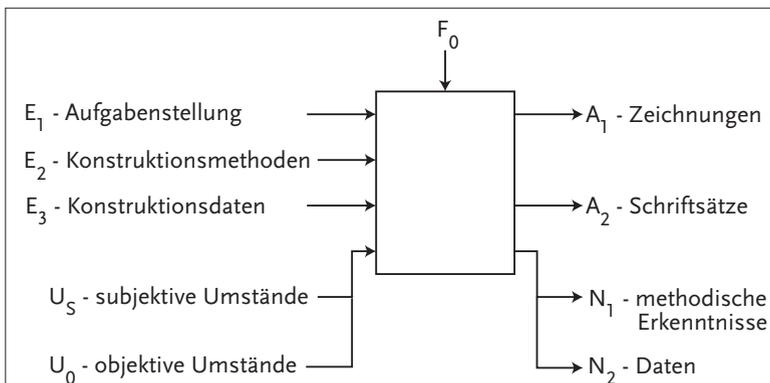


Abb. 3-5: Blockschaltbild eines Konstruktionsprozesses (Rugenstein 1974, S. 19).

Müller (1990) und Schröder (1992) gehen von der Komplexität konstruktiver Prozesse aus, welche sich ergeben aus

- der hierarchischen Struktur der zu antizipierenden Systeme,
- den erkenntnistheoretischen Besonderheiten technischer Entwürfe,
- dem außerordentlich umfangreichen und vielfältig vernetzten Kontext der Herstellung, Anwendung volkswirtschaftlicher Gegebenheiten und technischer Erfüllbarkeit.

Dabei ist die komplexe Betrachtung als Ganzheit, beginnend mit einem überschaubaren, möglichst den Kern ausmachenden Teilfeld des Problems durch ein aufsteigendes Vorgehen zu betrachten

- vom Abstrakten zum Konkreten,
- vom Teil zum Ganzen,
- von der erstrangigen Wirkstelle zu nachgeordneten (vgl. Müller 1990, S. 12).

Ein weiterer wichtiger Begriff, der mit dem Konstruieren in Beziehung steht, ist die Heuristik. Das Ziel der Heuristik „trachtet danach, den Vorgang des Lösens von Aufgaben zu verstehen, insbesondere die Denkopoperationen, die bei diesem Prozess in typischer Weise von Nutzen sind“ (Polya 1949, S. 115). Bromme und Hömberg (1977, S. 95) formulieren den Sachverhalt wie folgt: „Die bei der Lösung eines Problems vollzogene Bewegung und Veränderung des Wissens ist das eigentliche Modellobjekt der Heuristik, die Aufdeckung der ‚Mechanismen‘, die diese Bewegung bewirken“ ist somit das Ziel.

Heuristische Methoden bzw. Strategien sind dadurch gekennzeichnet, dass sie

- keine Lösungsgarantie (nur eine Lösungswahrscheinlichkeit) geben,
- zur Reduzierung des Aufwandes bei der Lösungsfindung beitragen,
- häufig nur zur Lösung bestimmter Problemklassen geeignet sind,
- problembezogen und zielgerichtet sind (was sich aus dem vorherigen Merkmal ergibt),
- den Einsatz verschiedener Methoden zur Lösung eines Problems ermöglichen,
- mithilfe geeigneter Modellvorstellungen nur hinreichend beschrieben werden können (vgl. Schmidt 1980, S. 66 ff).

Die Hauptsäule der Brücke zwischen Heuristik und Konstruktionsmethodik bildet die systematische Heuristik, die besonders von Müller (1970, 1983, 1990) bearbeitet wurde und aus folgenden drei grundlegenden Bestandteilen besteht:

- „Vorgänge, Systeme von Tätigkeiten, welche in einer vorgegebenen Reihenfolge durchgeführt werden sollen;
- eine Programmbibliothek, eine geordnete Sammlung heuristischer Programme, welche für verschiedene innovative Konstruktionszwecke entwickelt wurden;
- eine Sammlung zusätzlicher Anleitungen, welche alle jene heuristischen Anleitungen enthält, die nicht in den Programmen eingebaut wurden, aber sie ergänzen“ (Hubka/Eder 1992, S. 32).

„Unter ‚Systematischer Heuristik‘ versteht man somit eine umfangreiche Sammlung heuristischer Methoden und Prinzipien in Form eines Methodenbaukastens“ (Müller 1983, S. 43). Ziel bei der Bearbeitung eines Problems sind „nicht nur sachlich-fachliche Ergebnisse, sondern auch methodologische Erfahrung, die bisher allerdings kaum gepflegt wurde. Die systematische Heuristik hebt den methodischen Informationsgewinn ab, analysiert ihn, bereitet ihn zur Weiterverarbeitung auf, ordnet und speichert. Dabei wird nicht eine universelle Methode gesucht. Es sollen vielmehr Voraussetzungen dafür geschaffen werden, spätere Bearbeitungsprozesse bewusster unter Einbezug vorliegender Erfahrungen zu vollziehen“ (Müller 1983, S. 44).

Unter Konstruktionsmethodik versteht man ein geplantes Vorgehen mit konkreten Handlungsanweisungen zum Konstruieren von technischen Systemen, die sich aus den Erkenntnissen der Konstruktionswissenschaft und der Denkpsychologie sowie aus den Erfahrungen in unterschiedlichen Anwendungen ergeben. Deren Entstehung ist nicht aus dem ursprünglichen Bedürfnis entstanden, den praktischen Arbeitsprozess zu rationalisieren, sondern es standen didaktische Ziele wie

- die Lehrbar-Machung des Konstruierens und
- die Rationalisierung der Lehre

im Vordergrund. Es lag auch nahe, die Erkenntnisse und Erfahrungen über die Lehre hinaus in die Praxis zu überführen. „Das geschah insofern nicht kritisch genug, als zu wenig beachtet wurde, dass nur rational betrachtet und beschrieben, der in der Praxis ablaufende Prozess in seiner psychologischen Vielfalt aber nicht erfasst war“ (Müller 1990, S. 99).

Ropohl nennt schließlich die Schwachstellen vieler Methoden in den Technikwissenschaften: „Die Speziellen Technologien beschränken sich weitgehend darauf, die Resultate technischer Tätigkeiten, die technischen Produkte, in ihrer naturgesetzlichen Wirkungsweise und in ihrem konstruktiven Aufbau zu erklären und zu optimieren. Sie vernachlässigen dagegen die technische Tätigkeit selbst, deren Prinzipien und deren Gesetzmäßigkeiten. Die Speziellen Technologien tun so, als fielen die technischen Lösungsideen gewissermaßen vom Himmel, und gewisse philosophische Erfindungstheorien haben das auch allen Ernstes behauptet“ (Ropohl 1983, S. 332).

Im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei ist die Konstruktionsmethodik völlig unbekannt und kann daher auch nicht zum Einsatz kommen. Der Grund dafür liegt sicherlich darin, dass die Konstrukteure fast ausnahmslos Facharbeiter und Meister sind, aber die Konstruktionsmethodik ausschließlich an Hochschulen gelehrt wird. Dabei wäre gerade die Konstruktionsmethodik mit ihrem innovationsfördernden Ansatz eine wesentliche Hilfe für die Praxis.

Die Methodik des Konstruierens setzt sich aus den beiden Bereichen der Theorie technischer Systeme als Beschreibung technischer Gebilde und der Theorie der Konstruktionsprozesse als Beschreibung der Denkprozesse des Menschen zusammen (Abb. 3-6). In der Konstruktionswissenschaft geht es somit nicht nur darum, „aus erkannten Gesetzesaussagen Voraussagen über zukünftige Sachverhalte, sondern auch allgemeingültige und spezifische Aufforderungen für ein erfolgreiches Handeln herzuleiten. Es wird nicht ein Sachverhalt, sondern das Was und Wie einer Handlung prädiiziert“ (Bernard/Ebert/Schröder 1995, S. 20). Mit anderen Worten: „Die in der Methode erkannte objektive Gesetzmäßigkeit wandelt sich um in eine Regel für das Handeln des Subjektes. Deshalb fungiert jede Methode als ein System von Regeln oder Verfahren, die für die Erkenntnis und Praxis ausgearbeitet werden“ (Segeth 1974, S. 109).

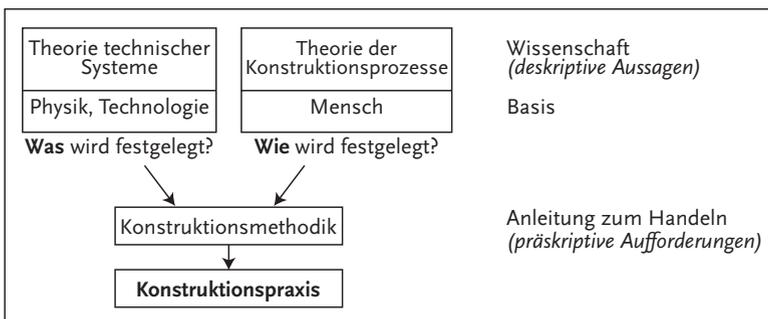


Abb. 3-6: Teilgebiete der Konstruktionswissenschaft (Ehrlenspiel 2003, S. 13).

Daraus resultiert, dass Erkenntnisse

- zur Theorie technischer Systeme mithilfe von Systemmodellen für die zu konstruierenden technischen (Sach-)Systeme (Kapitel 3.3.2.1) und für die damit verbundenen soziotechnischen (Handlungs-)Systeme (Kapitel 3.3.2.2) sowie
- zur Theorie der Konstruktionsprozesse mithilfe von Vorgehensmodellen der Produktentwicklung (Kapitel 3.3.3.1) und Rahmenmodellen zur Darstellung von komplexen Produktentwicklungsprozessen (Kapitel 3.3.3.2) ausgewertet werden.

3.3.2 Systemmodelle der Technik

3.3.2.1 Grundlagen technischer (Sach-)Systeme

Die Konstruktionswissenschaft postuliert, dass man von Anfang an ein möglichst präzises gedankliches Bild, von dem, was man konstruieren will, entwerfen muss. Hierfür benötigt die Konstruktionswissenschaft eine eigenständige Modellsprache höherer Ordnung. Anbieten tut sich hierfür die Modellvorstellung des technischen (Sach-)Systems, bei dem die Funktionen und die Struktur des anvisierten Entwurfs bestimmt werden können, ohne bereits gerätetechnische Ausführungen frühzeitig festlegen zu müssen.

Ropohl definiert „System“ wie folgt:

„Ein System ist die Modellvorstellung einer Ganzheit,

- (a) die Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zuständen etc.) aufweist,
- (b) die aus miteinander verknüpften Teilen bzw. Subsystemen besteht und
- (c) die von ihrer Umgebung bzw. von einem Supersystem abgegrenzt wird“ (Ropohl 1999, S. 77).

Ropohl leitet den Begriff „Sachsysteme“ aus dem Begriff „technische Systeme“ ab, wobei er darunter die systemtheoretische Beschreibung der technischen Gegenstände versteht. Allgemein ist es üblich, die charakteristischen Systemattribute in drei Klassen einzuteilen, die sich an der Unterscheidung Masse, Energie und Information orientieren. Doch entscheidend ist, dass die Funktion jedes beliebigen Sachsystems als raum- und zeitabhängige Transformation zu kennzeichnen ist (Abb. 3-7).

Mit dieser Modellvorstellung hat die technikwissenschaftliche Theoriebildung einen entscheidenden Schritt gemacht, um jedes beliebige Sachsystem, existiere es bereits oder lediglich als ideelle Antizipation, in erster Näherung hinrei-

chend genau zu charakterisieren. So ist es nicht verwunderlich, dass diese Modellvorstellung in der Konstruktionswissenschaft inzwischen zum Handbuchwissen gehört.

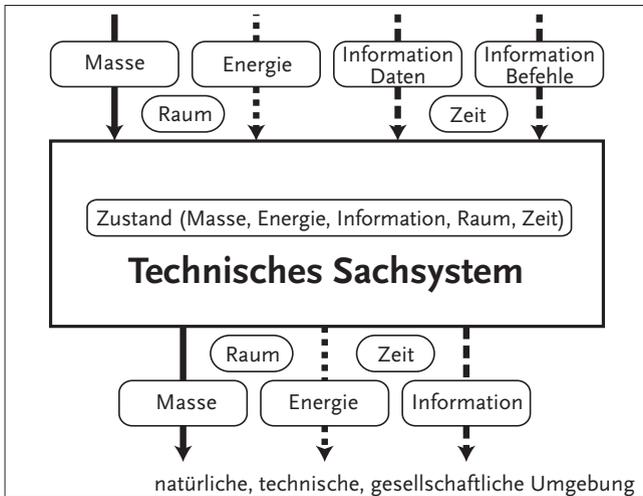


Abb. 3-7: Blockschaltbild des technischen Sachsystems (Ropohl 1999, S. 120).

Eine Strukturierungsmöglichkeit eines technischen Sachsystems ist in Abb. 3-8 dargestellt, bei der die Hauptfunktion in Teilfunktionen und diese in Grund- bzw. Elementarfunktionen sowie das System in Subsysteme bzw. Teilsysteme und diese wiederum in Funktions- bzw. Systemelementen zerlegt werden können und diese jeweils wechselseitig zu geordnet werden können.

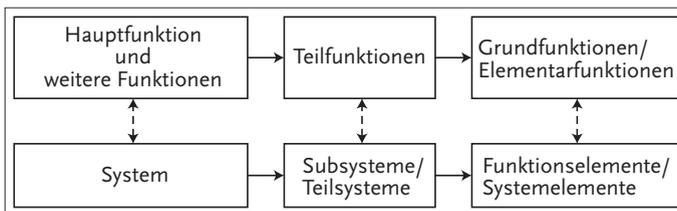


Abb. 3-8: Strukturierungsmöglichkeit eines technischen Sachsystems (vgl. Bader 1988, S. 152 und Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote 2003, S. 18).

Bei dem Modellansatz des technischen Sachsystems – wie er in diesem Kapitel dargestellt ist – wird bewusst alles menschliche Handeln außerhalb des technischen Sachsystems angesiedelt. Dies ist kein Fehler, doch muss man sich des Sachverhaltes bewusst sein, dass dieses sachtechnische Systemmodell von ei-

nem einseitigen Technikverständnis ausgeht, das den Entstehungs- sowie den Verwendungszusammenhängen nicht gerecht wird (Abb. 3-1).

- Im Entstehungszusammenhang hat die Begrenzung dieses Modellansatzes schwerwiegende Folgen, vor allem dann, wenn das sachtechnische Systemmodell zur Formulierung konstruktiver Aufgabenstellungen eingesetzt wird. Als Funktionen des technischen Sachsystems definiert man dann von vornherein nur jene Transformationen, die mit ingenieurmäßigen Mitteln zu verwirklichen sind, und man kann sich überhaupt nicht systematisch die Frage stellen, wieso die Funktion nun ausgerechnet in dieser und nicht in irgendeiner anderen Weise abgegrenzt wird. Es lässt sich – mit anderen Worten – die Konstruktionsaufgabe gar nicht systematisch begründen, da sie ungefragt als vorgegeben betrachtet wird, als fiel sie vom Himmel. Damit aber bleibt eine besonders wichtige Form technischer Kreativität der systemtheoretischen Modellierung entzogen.
- Im Verwendungszusammenhang vernachlässigt dieser Modellansatz den Menschen, der mit dem Sachsystem umgeht. Dann aber lassen sich auch die Mensch-Maschine-Beziehungen nicht ausdrücklich erfassen. Dieser Mangel macht sich besonders dann bemerkbar, wenn es um die ergonomische Bestgestaltung von Arbeitssystemen geht, für die eine rein sachtechnische Bestgestaltung der Maschine nicht ausreicht.

Aus diesen Erkenntnissen resultiert, dass anschließend Modellansätze untersucht werden, bei denen der handelnde Mensch mit einbezogen und das technische Sachsystem zu einem tätigkeitsbezogenen Objekt wird.

3.3.2.2 Soziotechnische (Handlungs-)Systeme

Soziotechnische Systeme sind immer menschliche und sachtechnische Teilsysteme, die zu einer integralen Handlungseinheit verbunden sind (Abb. 3-9). Unterstellt man, dass die Zielsetzung trotz aller computergestützten Informationsaufbereitung – jedenfalls in letzter Instanz – grundsätzlich eine menschliche Funktion bleibt, dann sind die Sachsysteme nur als Teile von soziotechnischen Systemen zu verstehen. „In soziotechnischen Handlungssystemen führen Menschen unter Zuhilfenahme technischer Systeme durch Handeln zielgerichtete Veränderungen herbei“ (Bader 1991, S. 446). Von besonderer Bedeutung ist dies bei der Konstruktion von technischen Sachsystemen, da gerade während des Konstruktionsprozesses der Mensch und sein Handlungssystem im Mittelpunkt stehen.

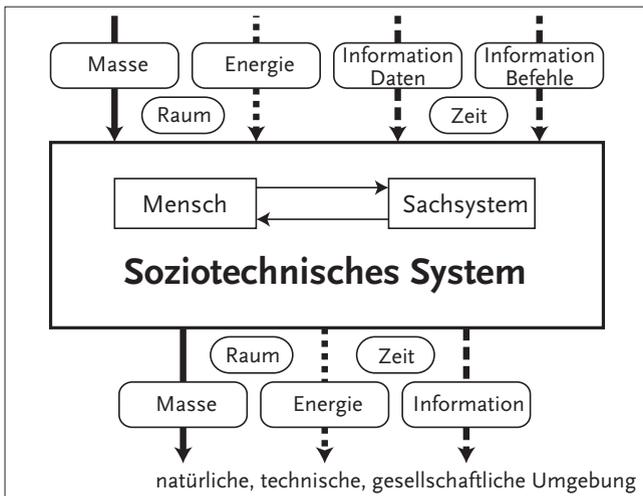


Abb. 3-9: Soziotechnisches Systemkonzept (Ropohl 1998, S. 61; vgl. VDI-Richtlinie 2242 Blatt 1 1986, S. 4).

Die Ablaufstruktur des soziotechnischen Handlungssystems nach Bader (Abb. 3-10) beschreibt die Arbeitsprozesse im technischen Bereich und „kann als Ergebnis einer systematischen Rekonstruktion des Denkens und Handelns des Menschen in Bezug auf Technik – verstanden als zielorientierte Gestaltung der Umwelt mit materiellen Mitteln – aufgefasst werden. Die Gestaltung der Umwelt durch Technik vollzieht sich von der Gestaltungsidee über die Konstruktion, die Herstellung und den Gebrauch von Apparaten, Maschinen und Geräten bis hin zu ihrer Entsorgung, und zwar zunehmend auf der Basis von Erkenntnissen einschlägiger Wissenschaften und unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden. Theoretische Bezugspunkte für die Ablaufstruktur (Abb. 3-10) sind fachwissenschaftliche Konzepte aus der Allgemeinen Technologie und der Konstruktionswissenschaft. Als Modellvorstellung wird angenommen, dass berufliche Handlungskompetenz sich im denkenden und handelnden Umgang mit Technik in den Phasen ‚Planen, Entwickeln, Fertigen, Verteilen, Nutzen und Beseitigen‘ entfaltet und dass diese Handlungskompetenz sich insbesondere im Prozess theoretischer Aufklärung und Anleitung von Praxis entwickelt“ (Bader 2004a, S. 16).

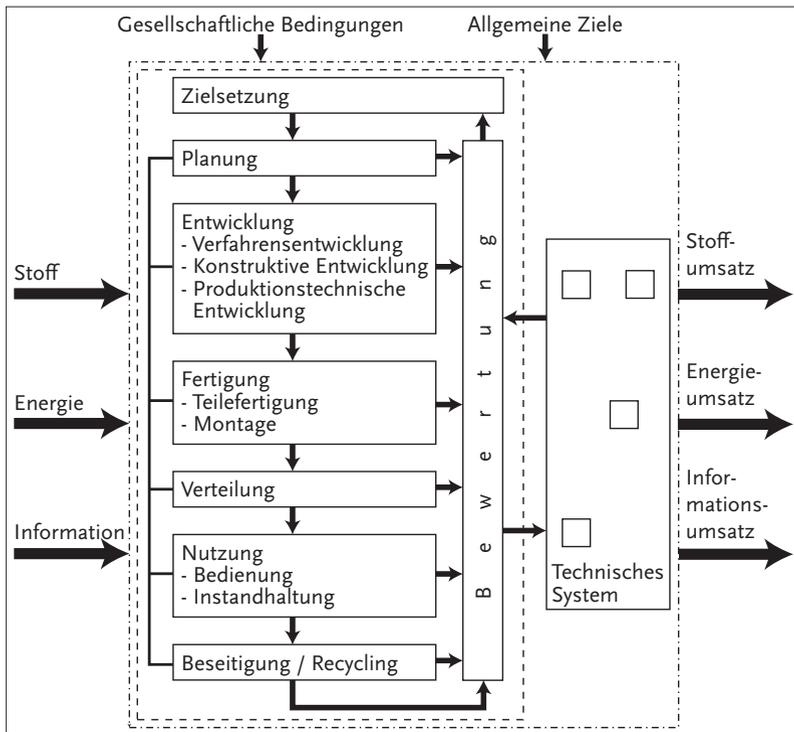


Abb. 3-10: Strukturierung von Arbeitsprozessen auf der Grundlage der Ablaufstruktur eines sozio-technischen Handlungssystems (Bader 2004a, S. 17).

Kommen wir wieder zum Sachsystem zurück, bei dem die Unterscheidung zwischen der Funktion und der Struktur erfolgt und aus denen sich zwei Erfindungstypen ableiten lassen (Abb.3-11). Dies ist einerseits die Struktur-erfindung (Volllinie), welche neue Wege und Mittel aufzeigt, die ein bereits bekanntes Ziel erreichen, d. h. für eine mehr oder minder eindeutige vorgegebene Sachsystemfunktion wird eine geeignete Struktur inklusive physikalisch-konstruktiver Realisation gesucht und andererseits die Funktionserfindung (Strichlinie), welche Mittel und Wege zeigt, die ein bisher unerreichtes Ziel erreichen.

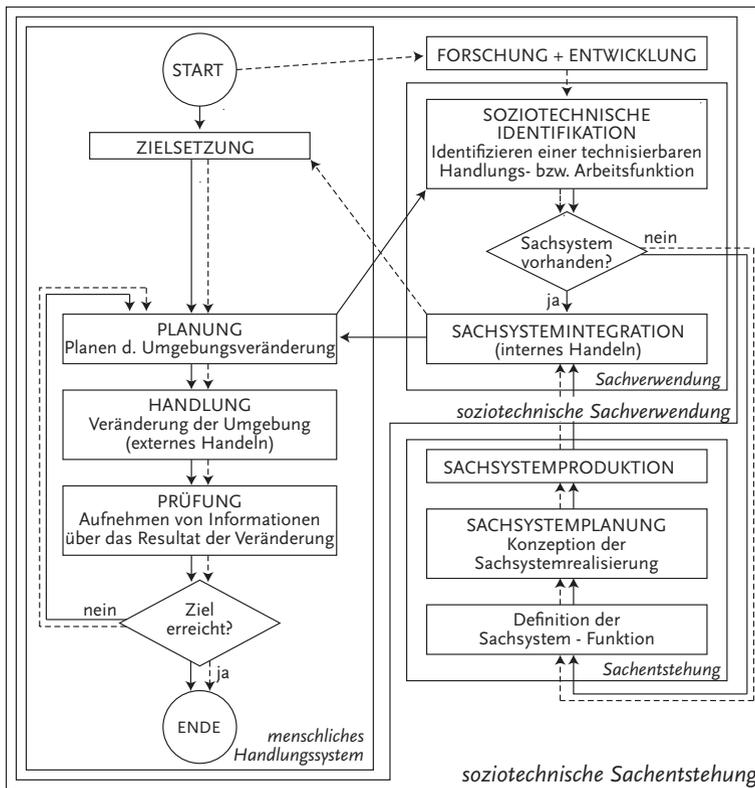


Abb. 3-11: Ablaufstruktur der Entstehung und Verwendung eines Sachsystems (Ropohl 1999, S. 262 und Ropohl 1979, S. 287).

Im weiteren Verlauf der Dissertation wird ausschließlich auf die Strukturerrfindung eingegangen, da die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen diesem Erfindungstyp zuzuordnen ist und durch folgende Vorgehensweisen gekennzeichnet ist:

- Die soziotechnische Sachverwendung, bei der das menschliche Handlungssystem, das sich ein Ziel gesetzt hat und planend daran geht, dieses Ziel zu erreichen, entdeckt die Existenz eines Sachsystems, dessen Funktion die beabsichtigte Handlungsfunktion teilweise oder vollständig zu leisten vermag. Diese neue Handlungseinheit – die soziotechnische Sachverwendung – entsteht aus dem Zusammenwirken des ursprünglich rein menschlichen Handlungssystems und dem technischen Sachsystem. Das bedeutet, dass die Integration eines Sachsystems in ein personales oder soziales System ein internes Handeln darstellt, d. h. die technischen Sach-

systeme sind keine reinen Mittel, die dem Handelnden bloß äußerlich blieben.

- Die soziotechnische Sachentstehung, in deren Verlauf der Handlungsplanung kein gegebenes Sachsystem vorliegt, sondern lediglich eine Teilfunktion des Handlungsplans aufgefunden wird, von der man erwartet, sie lasse sich mit der Funktion eines zu entwickelnden Sachsystems realisieren. Nach der Herstellung des Sachsystems wird dieses vom Verwender integriert und in den Verwendungsablauf eingesetzt.

Durch die analytische Gliederung in Sachverwendung und Sachentstehung kommt somit explizit der Doppelcharakter des Sachsystems als Produkt und als Produktionsmittel zum Ausdruck.

Die durchgängig in der modernen Industriegesellschaft anzutreffende Arbeitsteilung zwischen Herstellung und Verwendung ergibt, dass über das Sachsystem mindestens zwei Menschen, wenn auch nur mittelbar, zueinander in Beziehung treten. Dabei werden die Nutzungsziele oft genug vom Hersteller vorgeprägt. Dies bedeutet, dass der Technische Modellbauer unmittelbar für den Gießereimechaniker sowie mittelbar für den Zerspanungsmechaniker und den Industriemechaniker (Montage des Gussstückes) die Nutzungsziele teilweise festlegt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Konstrukteur – in diesem Fall der Technische Modellbauer – von Anfang an die Nutzung der Gießereimodellvorrichtung, d. h. die soziotechnische Sachverwendung, im Auge haben muss.

Nachdem das „Was“ mithilfe von Systemmodellen in diesem Kapitel dargestellt und erläutert wurde, geht es im Anschluss darum, das „Wie“ – also den Konstruktionsprozess – mithilfe von entsprechenden Modellvorstellungen darzustellen.

3.3.3 Modellvorstellungen zur Darstellung des Konstruktionsprozesses

3.3.3.1 Vorgehensmodelle der Produktentwicklung

Vorgehensmodelle der Produktentwicklung stellen Hilfsmittel dar, die den Konstrukteur bei der Planung zukünftiger Prozesse, bei der Orientierung innerhalb aktueller Prozesse und bei der Reflexion abgeschlossener Prozesse unterstützen. Somit können sie beitragen zur

- Entwicklung von neuartigen und Verbesserung bestehender Produkte,
- Rationalisierung und Objektivierung der Konstruktionsarbeit,

- Verbesserung rechnergestützten Konstruierens,
- Nachvollziehbar-Machung von Konstruktionen,
- Verkürzung der Einarbeitungszeit,
- Hilfestellung bei neuartigen Situationen,
- Förderung der (Problemlöse-)Fähigkeit und Kreativität,
- Lehrbar-Machung und Lernbar-Machung des Konstruierens,
- Rationalisierung der Lehre (vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 9).

Die für dieses Forschungsvorhaben signifikanten Vorgehensmodelle sind in Abb. 3-12 nach dem Auflösungsgrad dargestellt und werden nachfolgend erläutert.

Auflösungsgrad	Vorgehensmodell	Charakteristika
Vorgehen auf der Ebene elementarer Denk- und Handlungsabläufe	TOTE-Einheit (Test-Operate-Test-Exit)	Beschreibung der Vorgänge zur Handlungsregulation auf elementarster Ebene.
	VVR-Einheit (Vergleich-Veränderungs-Rückmeldung)	Offener Regelkreis unter Berücksichtigung der Rückwirkungen aus dem Umfeld, wobei der prozessuale Aspekt der psychologischen Regulation im Vordergrund steht.
	ZBM-Einheit (Ziel-Bedingungs-Maßnahmen)	Für die gleiche Regulation mit der Betonung des inhaltlichen Aspekts kommen WENN-UND-DANN-Beziehungen zum Einsatz, d. h. in den ZBM-Einheiten ist das tätigkeitsleitende Handlungswissen organisiert bzw. strukturiert.
Vorgehen auf der Ebene von operativen Arbeitsschritten der Problemlösung	Problemlösezyklus des Systems Engineering	Darstellung des Grundmusters zur Problemlösung: Zielsuche, Lösungssuche und Auswahl.
	Vorgehenszyklus	Verfeinerung der Hauptschritte des Problemlösezyklus des Systems Engineering mithilfe der TOTE-Einheit.
Vorgehen auf der Ebene von Phasen	Vorgehensplan (generelles Vorgehen beim Konstruieren)	Unterteilung der Arbeitsschritte des Konstruierens in vier Hauptphasen und weiteren Teilphasen in unterschiedlichen Detailebenen.

Abb. 3-12: Übersicht der Vorgehensmodelle zur Produktentwicklung.

Da es eine sehr große Anzahl von Vorgehensmodellen zur Produktentwicklung gibt, werden sie nach folgenden Faktoren ausgewählt:

- Das Vorgehen ist eine konstruktive Problemlösung auf unterschiedlichen Ebenen.
- Das Vorgehen am technischen System ist tätigkeitsbezogen.
- Die Vorgehensmodelle müssen sich grundsätzlich miteinander verknüpfen lassen.
- Die Möglichkeit einer angepassten und zielführenden Anwendung muss gegeben sein.

TOTE-Einheit (Test-Operate-Test-Exit-Einheit)

Eine bekannte Modellvorstellung zur Beschreibung der Vorgänge zur Handlungsregulation auf elementarster Ebene ist die TOTE-Einheit (Abb. 3-13). Bei diesem Grundzyklus der Problemlösung handelt es sich um zwei Prozesse, den Veränderungsprozess und den Prüfprozess, wobei die Rückkopplung als „Versuch-Irrtum-Prozedur“ aufgefasst werden kann. Der Operate-Schritt kann eine echte Handlung, eine gedankliche Vorwegnahme einer Handlung oder das Aufstellen einer Hypothese sein. Der Zugriff auf Wissen, Erfahrung und Fakten ist notwendig, d. h. hier besteht die einzige Möglichkeit der Informationsaufnahme. Dieser Schritt stellt den synthetischen Teil des Prozesses dar. Der Test-Schritt beinhaltet den analytischen Abschnitt des Prozesses. Hier wird die Kontrolle des vorangegangenen Schrittes auf Erreichen der Zieleigenschaften durchgeführt. Dörner sieht in der TOTE-Einheit ein Grundschema für Heuristiken (vgl. Dörner 1987, S. 43) und für Hacker ist dies „die wirksame Funktionseinheit der Arbeitstätigkeit“ (Hacker 2005, S. 217).

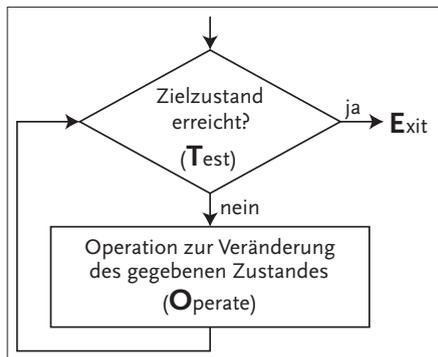


Abb. 3-13: TOTE-Einheit als Grundzyklus der Problemlösung (Dörner 1987, S. 40).

Das Konstruieren ist durch sehr starkes iteratives und rekursives (ineinander verschachteltes) Vorgehen gekennzeichnet (Abb.3-14). Die Iteration ist die Wiederholung eines Problemlösungsprozesses auf einer Ebene, beispielsweise der Versuch, unterschiedliche physikalische Effekte für ein und dieselbe Funktion anzuwenden, bis ein physikalischer Effekt akzeptabel bzw. gut ist. Die Rekursion dagegen wendet ein und dasselbe Schema auf unterschiedlichen Problemebenen an, beispielsweise die Unterteilung einer Gesamtfunktion in Teilfunktionen und ihre Überprüfung im Bereich der physikalischen Effekte, bis man zu einer realisierbaren, stark gegliederten Funktionsstruktur kommt.

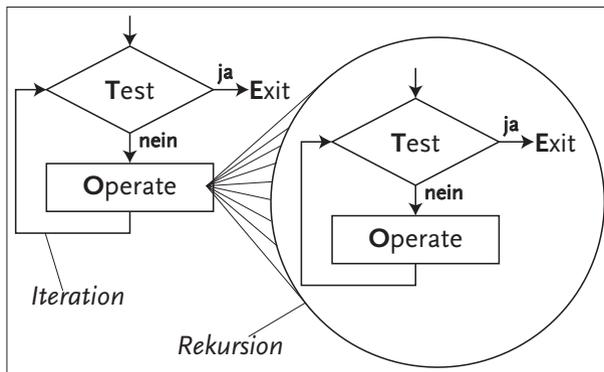


Abb. 3-14: Erläuterung der Iteration und der Rekursion (Rutz 1985, S. 113 und Ehrlenspiel 2003, S. 78).

Bei konstruktiven Problemen bzw. Aufgaben handelt es sich meist um sehr komplexe, ineinander verwobene Hierarchien, d.h. ein komplexes Problem kann nur mit einer großen Anzahl von Iterationen und Rekursionen gelöst werden. Aber nur durch diese sequenzielle Bearbeitung ist der Mensch überhaupt in der Lage, komplexere Probleme zu lösen.

VVR-Einheit (Vorwegnahme-Veränderungs-Rückkopplungs-Einheit)

Hacker erweitert die TOTE-Einheit zur VVR-Einheit (Abb. 3-15). Der wichtigste Unterschied zwischen den beiden Einheiten „ist die inhaltliche Orientierung darauf, womit Veränderungen in der sozialen und dinglichen Umwelt verglichen werden und woher diese Vergleichsinhalte, also die Vorwegnahmen und Vornahmen (Ziel) stammen“ (Hacker 2005, S. 220), d. h. vor der Ausführung von Handlungen wird das Ergebnis vorweggenommen (antizipiert) und in ineinander verschachtelte VVR-Folgen gegliedert. Mittels dieser Rekursionen werden umfassende Aktionsprogramme aufgebaut, wobei die Aufgliederung bei dem Veränderungs-Schritt der Einheit ansetzt.

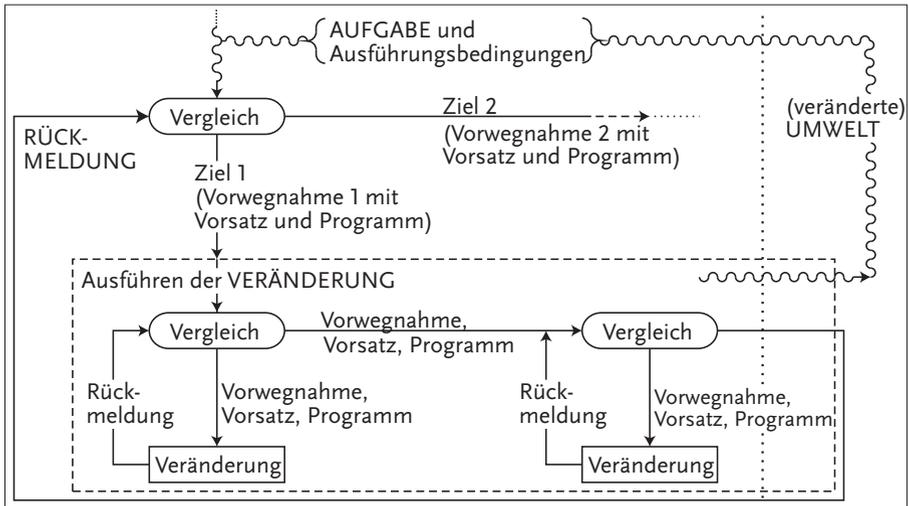


Abb. 3-15: Schematische Darstellung der hierarchischen Struktur mit VVR-Einheiten in Form einer Regulationseinheit (Hacker 2005, S. 219).

ZBM-Einheit (Ziel-Bedingungs-Maßnahmen-Einheit)

Die VVR-Einheiten stellen den prozessualen Aspekt der psychologischen Regulation in den Vordergrund. Beim Betonen des inhaltlichen Aspekts, also der Frage, was vorgenommen und wodurch verändert wird, bietet sich für die gleiche Regulationseinheit die ZBM-Einheit (Hacker 2005) bzw. Produktionsregel (Anderson 2001) in Form von WENN-UND-DANN-Beziehungen an. Dabei ist die Vorwegnahme ein gespeichertes Ziel, das bei gegebenen Bedingungen (Signalen) mittels geeigneter Maßnahmen erreicht werden soll, d. h. die ZBM-Einheiten sind bei vollständiger Betrachtung Rückkopplungskreise, weil jeweils geprüft wird, ob die Maßnahme die Bedingung verändert bzw. das Ziel erreicht hat.

ZBM-Einheiten haben eine hierarchisch-sequenzielle Struktur. Aus arbeitspsychologischer Sicht sind dies auf der oberen Ebene die Tätigkeiten (z), auf der mittleren Ebene die Handlungen (z') und auf der unteren Ebene die Operationen bzw. die Teilhandlungen (z''). Weitere Informationen zum hierarchischen Aufbau der Tätigkeit sind der Anlage 5 zu entnehmen.

Die Grundstruktur von hierarchisch verschachtelbaren ZBM-Einheiten sieht wie folgt aus (vgl. Hacker 1992, S. 33):

- Ziel:** **WENN** das Oberziel (x) bzw. das Ziel (x') bzw. das Teilziel (x'')
- Bedingung:** **UND** die Bedingung (y₁) ... und/oder (y₂) ... erfüllt sind bzw. ist,
- Maßnahme:** **DANN** führe die Tätigkeit (z) bzw. die Handlung (z') bzw. die Operation (z'') aus.

Anwendungsbeispiele für ZBM-Einheiten sind in der Anlage 6 zu finden.

Die ZBM-Einheit bildet aber nicht kurzerhand die objektive Beschaffenheit ab, wie es in den meisten bzw. üblichen inhaltsbezogenen Darstellungen zu finden ist, sondern in den ZBM-Einheiten ist das tätigkeitsleitende Handlungswissen organisiert bzw. strukturiert. Ausschlaggebend für die Handlungswirksamkeit ist aber immer der Zielbezug. Handlungswissen ist somit in diesem Zusammenhang „die Gesamtheit handlungsleitender individuell gespeicherter Informationen als Aktionsprogramme, Vorstellungs-(mentale Modellvorstellungen) und Begriffssysteme“ (Hacker 2005, S. 381).

Die Kenntnis des erforderlichen und vorhandenen Handlungswissens sowie seiner zielbezogenen Organisation ist praktisch unerlässlich für

- „das Ermitteln des Ausbildungsbedarfs und
- das Auswählen der Inhalte von Arbeits-/Handlungsanweisungen und Bedienanleitungen, d. h. für die tätigkeitsleitenden Texte“ (Hacker 2005, S. 380).

Problemlösezyklus des Systems Engineering

Der Problemlösezyklus nach Daenzer und Huber entstand im Rahmen des Systems Engineering und dient als Leitfaden für die Bearbeitung jeglicher Art von Problemen. In Abb. 3-16 ist der Problemlösezyklus in zwei erkenntnistheoretisch unterschiedlichen Vorgehensmodellen dargestellt. Die Schritte in dieser ablaforientierten Modellvorstellung lassen sich den drei übergeordneten Hauptschritten „Zielsuche“, „Lösungssuche“ und „Auswahl“ zuordnen, die den allgemeinen (Haupt-)Arbeitsschritten der Problemlösung entsprechen.

Die Vorgehensmodelle (Abb. 3-16) sind so aufgebaut, dass sich innerhalb der Zielsuche die Schritte „Situationsanalyse“ und „Zielformulierung“ befinden. Ist die Situation einmal bekannt, lassen sich Ziele aufstellen, die für die anschließende Lösungssuche eine Fokussierung ermöglichen. Innerhalb der Lösungssuche findet sich ein kombinierter Schritt aus „Synthese“ und „Analyse“. Die

Vorgehensmodelle besitzen aufgrund des zyklischen Wechselspiels zwischen Analyse und Synthese einen stark iterativen Charakter, ähnlich dem natürlichen Vorgehen der TOTE-Einheit (Abb. 3-13), und lassen damit in diesem Abschnitt dem Konstrukteur die Freiheit eines situativ angepassten Vorgehens. Schließlich folgen im letzten Abschnitt die Einzelschritte „Bewertung“ und „Entscheidung“.

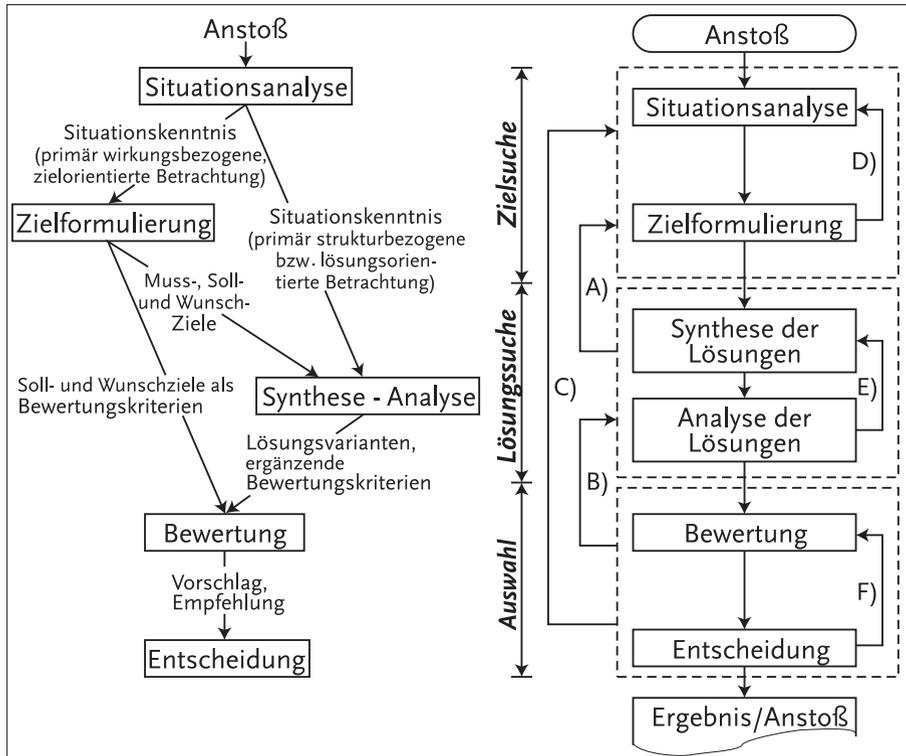


Abb. 3-16: Problemlösezyklus der Systemtechnik. Links werden die Zusammenhänge zwischen den Teilschritten (Daenzer/Huber 2002, S. 96) und rechts die Rückgriffe und Wiederholzyklen (Daenzer/Huber 2002, S. 98) dargestellt.

Vorgehenszyklus

Der Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel (Abb. 3-17, links) ist ein übergreifendes, in allen Lebensphasen von Produkten bzw. Systemen wirksames, aus der Systemtechnik abgeleitetes Hilfsmittel zur Lösung von Problemen bzw. von Aufgaben. Ziel ist es dabei, den geistigen Prozess bewusst zu machen, d. h. den meist intuitiven und unbewussten „Normalbetrieb“ für bestimmte Fälle in den

diskursiven und damit bewusst ablaufenden „Rationalbetrieb“ zu überführen. Mangelndes Fakten- oder Methodenwissen wird dadurch aber nicht ersetzt.

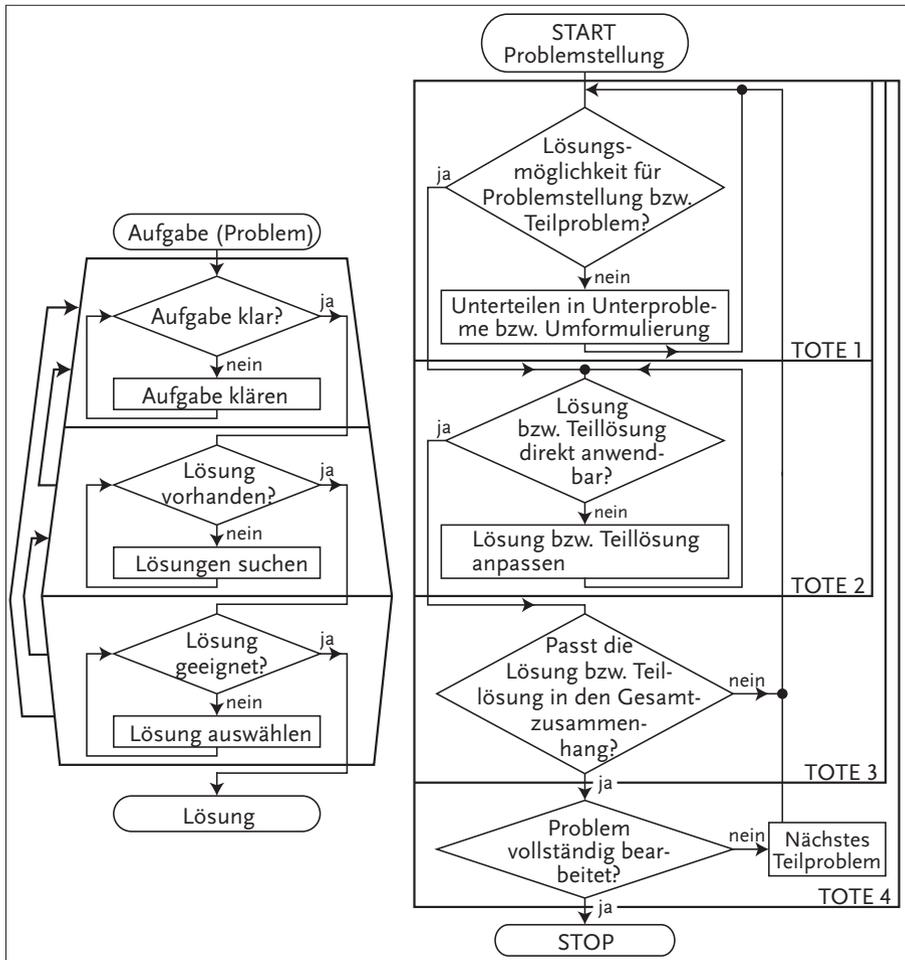


Abb. 3-17: Vorgehenszyklus (links) nach Ehrlenspiel (2003, S. 82–83) und Problemlösezyklus (rechts) nach Rutz (1985, S. 121 und 124).

Der Vorgehenszyklus besteht aus drei Arbeitsschritten, die den allgemeinen drei (Haupt-)Arbeitsschritten der Problemlösung entsprechen. Jeder dieser (Haupt-)Arbeitsschritte wird durch eine TOTE-Einheit repräsentiert. Das wiederholte zyklische Durchlaufen der Arbeitsschritte ist das wesentliche Merkmal des Vorgehenszyklus – und hat ihm daher auch seinen Namen gegeben. Eine Lö-

sungsauswahl (Arbeitsschritt III) kann z. B. den Rücksprung zur Lösungssuche (Arbeitsschritt II) oder auch zum Klären der Aufgabe (Arbeitsschritt I) auslösen. Um einen Vorgehenszyklus endgültig verlassen zu können, muss im Arbeitsschritt „Lösung auswählen“ ein passendes Ergebnis gefunden werden, und es dürfen keine weiteren Probleme auf dieser Bearbeitungsebene vorliegen. Ergibt sich bei einem beliebigen Arbeitsschritt ein weiteres Teilproblem, so kann zu dessen Lösung ein neuer, untergeordneter Vorgehenszyklus begonnen werden (Abb. 3-22), d. h. es entsteht eine hierarchisch-sequenzielle Struktur. Komplexere Konstruktionsaufgaben können also nur durch eine große Anzahl von Vorgehenszyklen gelöst werden.

Der Problemlösezyklus nach Rutz (Abb. 3-17, rechts) basiert auf einer Reihe von hintereinander angeordneten TOTE-Einheiten und ist prinzipiell ähnlich aufgebaut wie der Vorgehenszyklus. Die ersten beiden TOTE-Einheiten haben die Aufgabe, Lösungen zu suchen bzw. anzupassen. Damit wird der kreativ-konstruktive Teil des Konstruktionsprozesses berücksichtigt. Doch ist dies nicht ausreichend, da Teillösungen nicht wirklich isoliert betrachtet werden können, sondern in einen Gesamtzusammenhang einzuordnen sind. Dementsprechend kann man die beiden ersten TOTE-Einheiten als Operationsteil der dritten TOTE-Einheit auffassen. Durch diesen Schritt entsteht ein ergebnisrückwirkender (offener) Kreisprozess, der das entscheidende Merkmal der VVR-Einheit ist (vgl. Hacker 2005, S. 218). Die vierte TOTE-Einheit sorgt für den organisatorischen Zusammenhalt des Problemlöseprozesses.

Vorgehensplan

Der Konstruktionsprozess in seinen wesentlichen Schritten kann in wichtige Hauptphasen unterteilt werden, über deren Inhalte eine weitgehend einheitliche Vorstellung in der Konstruktionswissenschaft (siehe Anlage 7) herrscht (vgl. Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote 2003, S. 168–169). Daraus folgt, dass auf eine breite wissenschaftlich gesicherte Ausgangsbasis zurückgegriffen werden kann, die den Ablauf des Konstruktionsprozesses in die vier übergeordneten Hauptphasen „Klären der Aufgabenstellung“, „Konzipieren“, „Entwerfen“ und „Ausarbeiten“ unterteilt sowie jeweils wichtige Teilergebnisse liefert (Abb. 3-18).

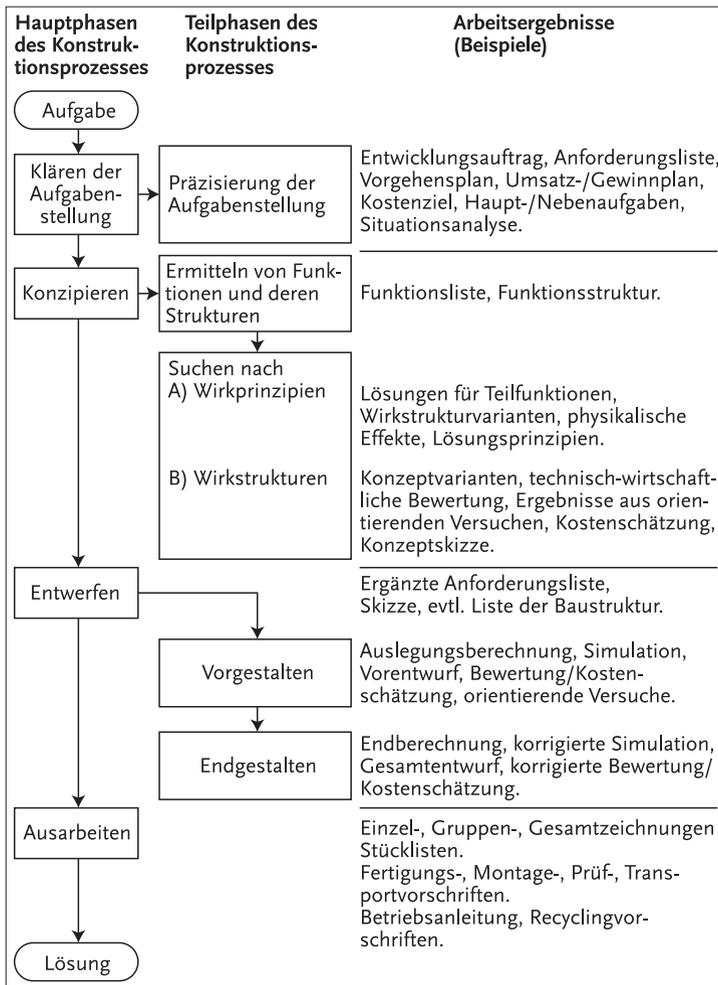


Abb. 3-18: Mögliche Struktur des Konstruktionsprozesses mit potenziellen Arbeitsergebnissen (vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 308 und 310 sowie Anlage 3).

1. Hauptphase: Klären der Aufgabenstellung (informative Festlegung)

Beim generellen Vorgehen zur Konstruktion eines Produktes ist die erste Hauptphase sehr bedeutend, da die Aufgabenstellung den „roten Faden“ bestimmt, in der man auf ein gegebenes Ziel zusteuert. Während es relativ einfach ist, die Hauptaufgabe eines Produktes festzulegen, ist es viel schwerer, auch alle anderen Anforderungen an das Produkt von Anfang an zu berücksichtigen und zu erfassen, wie z. B. für die Fertigung, den Transport, den Be-

trieb, die Restriktionen (wie extreme Temperaturen, erhöhte Korrosionsgefahr usw.). Häufig hat das Vergessen auch nur einer einzigen wichtigen Anforderung schwere, meist kostspielige Konsequenzen zur Folge. Hilfsmittel wie Checklisten, Suchmatrizen usw. sind ein wichtiger Bestandteil der Anforderungsliste, um zu einer präzisen Aufgabenstellung zu kommen. Bei Roth (2000) sind ausführliche Suchmatrizen in diesem Zusammenhang zu finden, deren Ausgangsmerkmale die Lebensphasen des Produkts sind, und denen Gesichtspunkte wie technisch-physikalische, menschbezogene, wirtschaftliche, normative sowie sonstige firmenspezifische Eigenschaften zugeordnet sind. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass jede Konstruktion von einer möglichst detaillierten Aufgabenstellung ausgehen sollte. Leider ist dies selten der Fall, oft aber auch nicht möglich, da zahlreiche Anforderungen sich erst dann ergeben, wenn das neue Produkt schon in Skizzen oder in groben Umrissen vorliegt.

2. Hauptphase: Konzipieren (prinzipielle Festlegung)

Die Beschreibung des „Inneren“ eines technischen Sachsystems wird allgemein in folgende drei Ebenen unterteilt (vgl. Hubka/Eder 1992, S. 94):

- I) Funktionsstruktur (Aufgabe des technischen Sachsystems),
- II) Wirkstruktur (Realisierungsmöglichkeiten der Funktionen) und
- III) Baustruktur (Bauteile zur Realisierung des technischen Sachsystems).

Der Weg durch die einzelnen Ebenen wird oft als Fortgang vom Abstrakten zum Konkreten beschrieben, was aber das Wesen des Vorganges nur in sehr groben Umrissen charakterisiert – also Eckpunkte darstellt, welche aber als detaillierte Anleitung zum Konstruieren bei Weitem nicht ausreicht.

In diesem Zusammenhang ist es besonders wichtig, die Zweck-Mittel-Relationen zu bestimmen, bei der die Auswirkungen des technischen Sachsystems (als Ziel bzw. Zweck) durch bestimmte Funktionsstrukturen (als Mittel) erreicht werden, diese Funktionsstrukturen (als Ziel bzw. Zweck) können aus diversen Wirkstrukturen (als Mittel) verwirklicht werden, die Wirkstrukturen (als Ziel bzw. Zweck) können nur aus unterschiedlichen Baustrukturen (als Mittel) realisiert werden.

Diese Zusammenhänge im technischen Sachsystem sind exemplarisch an einer „Kupplung“ in der Anlage 8 dargestellt.

Der Schwerpunkt dieser Hauptphase liegt darin,

- die vielen möglichen Funktionen auf wenige wesentliche zurückzuführen und in einem Katalog, der einer systematischen und vollständigen Gliederung folgt, darzustellen.

ung entspricht, zu sammeln und die erkannten Funktionen in einer sogenannten Funktionsstruktur darzustellen sowie

- im Suchen von Wirkprinzipien und Wirkstrukturen.

Die in der Hauptarbeitsphase „Konzipieren“ ermittelte Gesamtfunktion – mit entsprechenden Eingangs- und Ausgangsgrößen – des zukünftigen technischen Sachsystems wird in Teilfunktionen unterteilt, deren logische Verknüpfung die Funktionsstruktur ergibt (Abb. 3-19, oberer Teil).

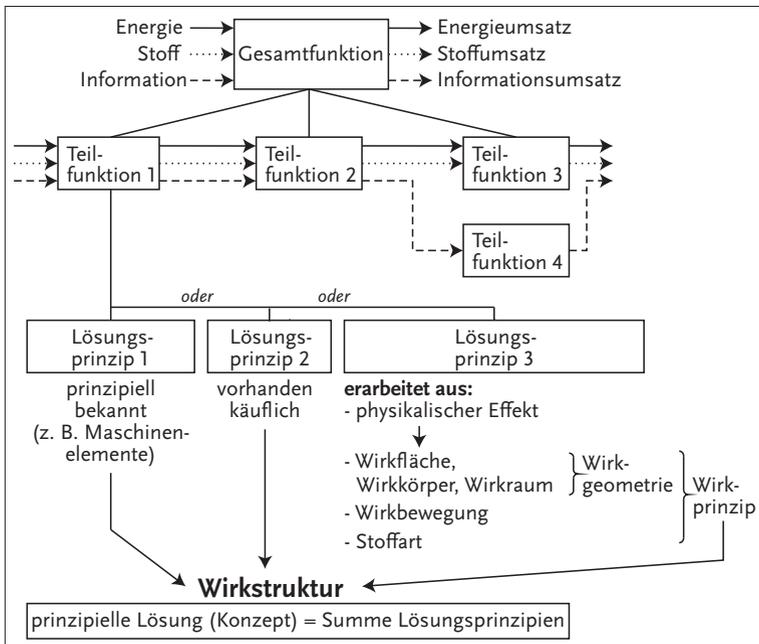


Abb. 3-19: Zusammenhang zwischen Funktionsstruktur und Wirkstruktur (vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 311 und Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote 2003, S. 43).

Für jede Teilfunktion werden anschließend mehrere Lösungsprinzipien gesucht. Diese können grundsätzlich (Abb. 3-19, exemplarische Darstellung für die Teilfunktion 1)

- vom Vorhandenen, Bekannten ausgehen oder
- vorhanden, käuflich oder prinzipiell bekannt sein oder
- neu erarbeitete Lösungsprinzipien sein. Dies kann zutreffen, wenn die beiden Erstgenannten nicht vorhanden bzw. nicht befriedigend sind. Hierbei werden die vorgegebenen (Teil-)Funktionen durch physikalische,

chemische, biologische usw. Effekte realisiert und sind in der Regel an die Geometrie, die Bewegung und die Stoffart gebunden.

Die ausgewählten Lösungsprinzipien jeder Teilfunktion werden in der Wirkstruktur dargestellt und ergeben zusammen die prinzipielle Lösung bzw. das Konzept.

3. Hauptphase: Entwerfen (gestalterische Festlegung)

Das Entwerfen wird unterteilt in das Vorgestalten bzw. qualitative Grobgestalten und in das Endgestalten bzw. quantitative Feingestalten, d. h. das Entwerfen ist, ausgehend von den qualitativen Vorstellungen, die quantitative gestalterische Festlegung der Lösung, wobei die Baustruktur des Produktes nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eindeutig und vollständig am Ende der Hauptphase ausgearbeitet vorliegen muss.

Ausgangsbasis dieser Hauptphase sind Prinzipskizzen der prinzipiellen Lösung bzw. die Wirkstruktur. In vielen Fällen wird man mehrere maßstäbliche Entwürfe neben- oder hintereinander im Sinne von vorläufigen Entwürfen anfertigen müssen, um zu einem besseren Informationsstand über Vor- und Nachteile der Varianten zu gelangen. In den vorläufigen Entwürfen sind die Auswahl der Werkstoffe, die Berücksichtigung der Fertigungs- und der Montageaspekte usw. enthalten. Nach jeder Teilphase wird eine technisch-wirtschaftliche Bewertung durchgeführt, wobei mit fortschreitendem Konstruktionsvorgang die neuen Erkenntnisse auf höherer Informationsebene gewonnen werden. Ein häufiger und typischer Vorgang ist es, dass nach dem Bewerten der einzelnen Varianten eine besonders favorisiert erscheint, und durch Teillösungen der anderen in der Gesamtheit nicht so günstig erscheinenden Vorschläge angeregt und verbessert werden kann. Durch entsprechende Kombination und Übernahme solcher Teillösungen sowie durch Beseitigung von Schwachstellen, die durch die Bewertung auch sichtbar werden, kann dann die endgültige Lösung gewonnen werden und die Entscheidung für die abschließende Gestaltung des endgültigen Gesamtentwurfs fallen. Der endgültige Gesamtentwurf stellt dann schon eine Kontrolle der Funktion, der Haltbarkeit, der räumlichen Verträglichkeit usw. dar, wobei sich die Anforderungen hinsichtlich der Kostendeckung nun spätestens hier als erfüllbar darstellen müssen. Erst dann ist die Freigabe zur Ausarbeitung zulässig.

4. Hauptphase: Ausarbeiten (herstellungstechnische Festlegung)

In dieser Phase wird die Baustruktur eines technischen Systems durch endgültige Vorschriften für Form, Bemessung und Oberflächenbeschaffenheit aller Einzelteile, Festlegung aller Werkstoffe, Überprüfung der Herstellungsmöglichkeit sowie der endgültigen Kosten ergänzt und die verbindlichen zeichnerischen

(z. B. Gesamt-, Einzelteilzeichnungen) und sonstigen Unterlagen (z. B. Stücklisten) erarbeitet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die in diesem Kapitel vorgestellten Vorgehensmodelle nicht im notwendigen Umfang in der Praxis eingeführt sind, wie sie hätten sein sollen. Ein entscheidender Grund dafür ist „die bisher unzureichende Modellierung des Konstruktionsprozesses“ (Kiewert 1991, S. 70). Aus dieser Erkenntnis folgt, dass nachfolgend Modellierungsansätze für Rahmenmodelle zur Darstellung von Produktentwicklungsprozessen untersucht werden.

3.3.3.2 Rahmenmodelle zur Darstellung von Produktentwicklungsprozessen

In diesem Kapitel wird ein Überblick unterschiedlichster Modellierungsansätze zur Darstellung komplexer Produktentwicklungsprozesse aufgezeigt, die für die Prozessmodellierung zur Bewältigung von Konstruktionsproblemen bei Gießerei-Modelleinrichtungen bedeutende Erkenntnisse beinhalten. Die Auswahl der Rahmenmodelle erfolgt nach den gleichen Kriterien wie die der Vorgehensmodelle (siehe Kapitel 3.3.3.1).

Die Auflösung des Produktentwicklungsprozesses und dessen Verschachtelung – die Modellierungsansätze nach Ehrlenspiel (2003), Lindemann (2007) und Rutz (1985)

Der Auflösungsgrad über die Konstruktionszeit des Produktentwicklungsprozesses (Abb. 3-20) ist ein wichtiger Aspekt. Dabei kann der Prozess auf der Ebene elementarer Denk- und Handlungsabläufe mithilfe der TOTE-Einheit untersucht werden. Hierbei handelt es sich um Zyklen aus Analyse, Synthese und Bewertung, die sich im Rahmen von (Zehntel-)Sekunden im Gehirn des Konstrukteurs abspielen. Daneben können Vorgänge auf den Ebenen der operativen Arbeitsschritte mithilfe des Vorgehenszyklus und größerer Arbeitsabschnitte (Phasen) mithilfe des Vorgehensplans dargestellt und analysiert werden. Auf die Managementmethoden wird aus Komplexitätsgründen nicht weiter eingegangen.

Die Betrachtung des Auflösungsgrades über die Konstruktionszeit spielt für die Modellierung des Konstruktionsprozesses eine Rolle, doch viel entscheidender ist die Erkenntnis, dass der Konstruktionsprozess grundsätzlich aus zwei unterschiedlichen, ineinander verwobenen Prozessen besteht (Abb. 3-21), die aber nicht als gleichartige Momentaufnahmen gewertet werden können, sondern als Ausdruck unterschiedlich tiefen theoretischen Eindringens in das Phänomen „Konstruktionshandeln“ zu verstehen sind (vgl. Banse 2000, S. 21). Diese

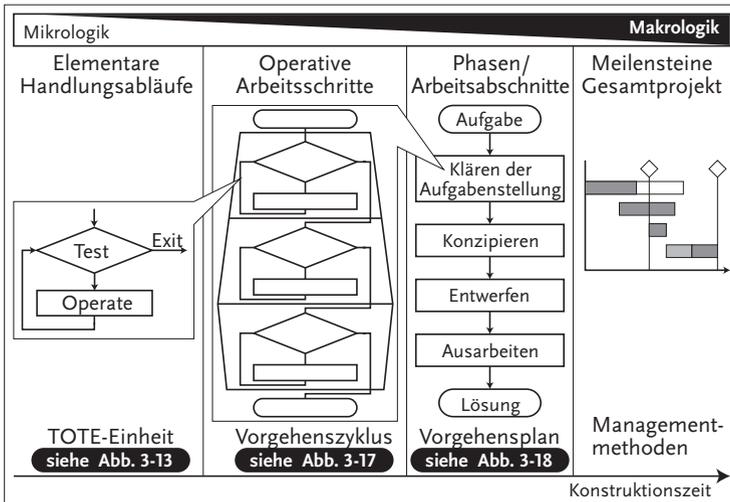


Abb. 3-20: Unterschiedlicher Auflösungsgrad des Produktentwicklungsprozesses (vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 257 und Lindemann 2007, S. 38).

beiden grundsätzlich unterschiedlichen Prozesse wurden von Bender (2004) durch umfangreiche Analysen bestätigt. Um diesen Aspekt besonders deutlich herauszustellen, wird eine dreidimensionale Darstellung gewählt. Der vertikale Ablauf – dargestellt durch den Vorgehensplan – stellt dabei einen allgemeinen organisatorischen Ablauf dar, wobei er ursprünglich aus der Strukturierung des Wissens über die zu konstruierenden technischen Systeme abgeleitet wurde, d.h. aus der Handlungsfolge der Maschinensystematik und aus den organisatorischen Aspekten der Systemtechnik. Die horizontalen Prozesse – dargestellt durch die Vorgehenszyklen – beinhalten neben den objektspezifischen Merkmalen technischer Systeme auch die Art und Weise, wie der Mensch die Festlegung dieser Merkmale vornimmt. Damit steht in diesem Prozess das menschliche Problemlösen im Vordergrund, wobei dies personen- und aufgabenabhängig und somit durch den individuellen Denkprozess geprägt ist. Dies ist der entscheidende Aspekt, der aber sehr häufig verges-

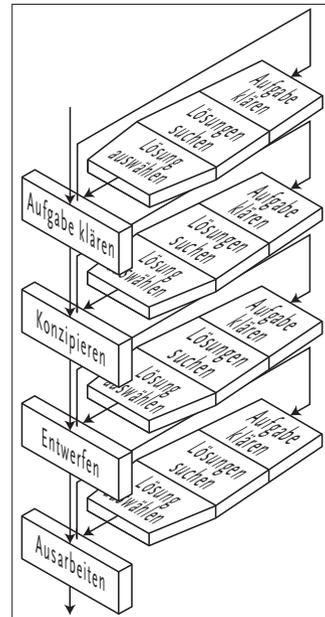


Abb. 3-21: Vertikaler und horizontaler Konstruktionsprozess (vgl. Rutz 1985, S. 35).

sen oder verdrängt wird bzw. worden ist. Da das Konstruieren aus einer Vielzahl einzelner Problemlöseoperationen besteht, muss sich dieser Prozess auch in allen vertikalen Phasen wiederholen. Die meisten in der Fachliteratur anzutreffenden Darstellungen sind zweidimensional (Abb. 3-22), bei denen unterstellt wird, dass die Detaillierungsebenen nur aus operativen Arbeitsschritten bestehen. Dies ist in der Praxis fast nie der Fall, da es Detaillierungsebenen im vertikalen Ablauf gibt, denen entsprechende horizontale Prozesse zugeordnet werden können.

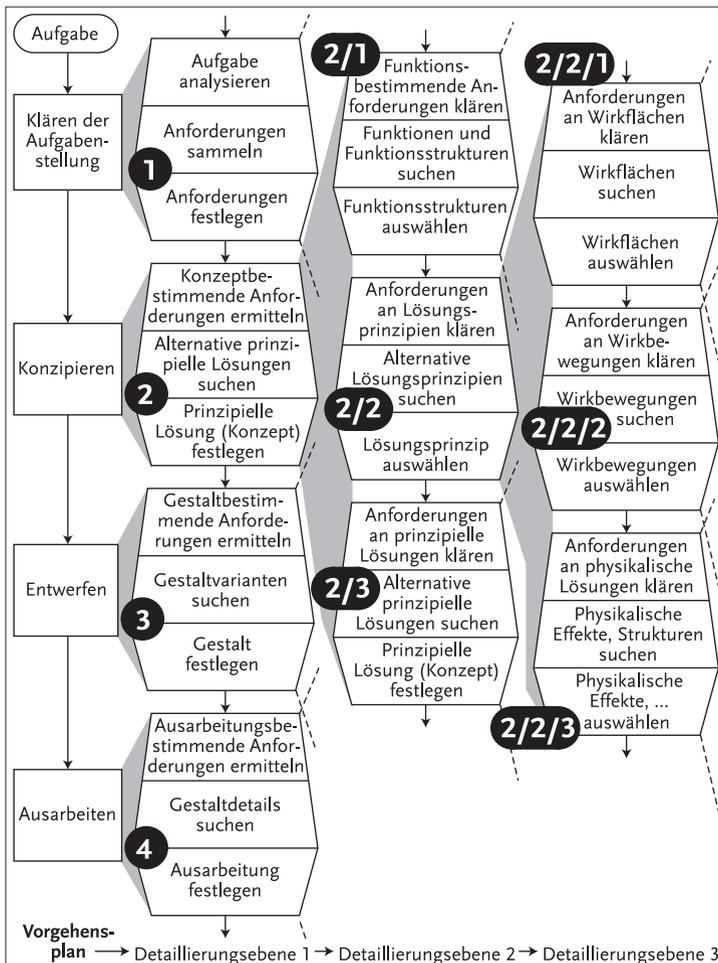


Abb. 3-22: Der Vorgehensplan mit selbstständigen Vorgehenszyklen auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen (Ehrlenspiel 2003, S. 158).

Aus diesen Erkenntnissen wurde von mir der in Abb. 3-23 dargestellte dreidimensionale Vorgehensplan mit dazugehörigen Vorgehenszyklen entwickelt, bei dem die Haupt- und Teilphasen des Vorgehensplans (Abb. 3-18) der vertikalen Konstruktionsprozessebene und den jeweiligen Arbeitsabschnitten in der horizontalen Konstruktionsprozessebene Vorgehenszyklen – aus den Detaillierungsebenen von Abb. 3-22 (siehe schwarz unterlegte Nummerierung) – zugeordnet werden.

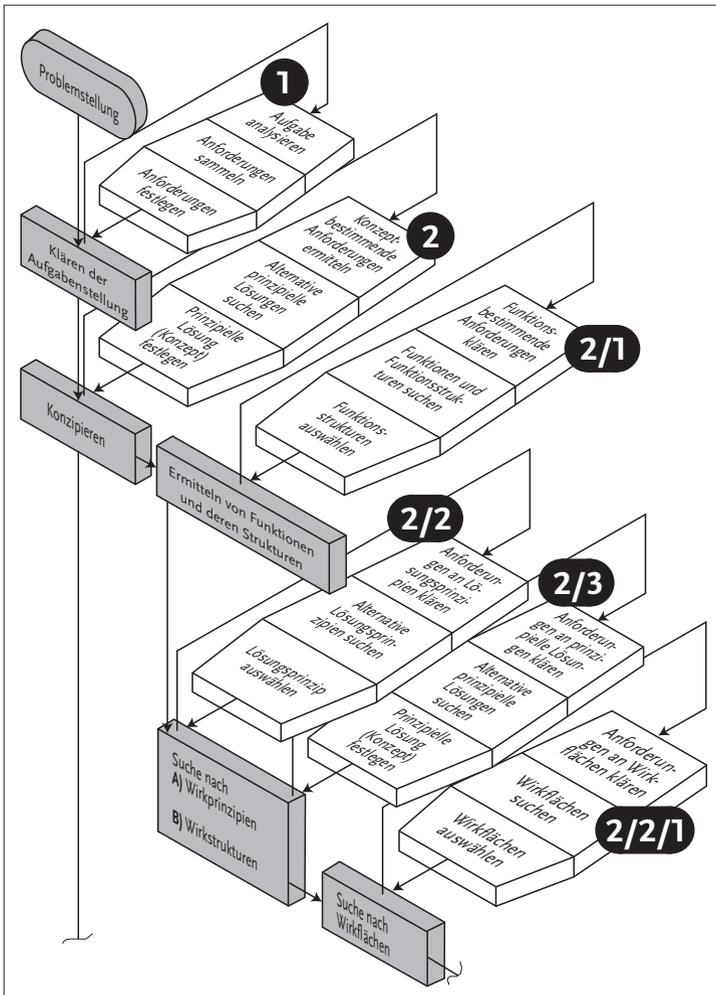


Abb. 3-23: Dreidimensionaler Vorgehensplan mit dazugehörigen Vorgehenszyklen.

Entsprechend den jeweiligen Inhalten jeder Detaillierungsebene bekommen die Vorgehenszyklen jeweils spezielle Ausprägungen, d.h. das Schema der Bearbeitung bleibt jeweils gleich, nur die konkreten Inhalte ändern sich problemangepasst. Die Tiefe der Detaillierung von Vorgehensplänen hängt von dem jeweiligen Problem und dem zulässigen Arbeitsaufwand ab. Anzumerken ist, dass sich Vorgehenspläne im Spannungsfeld zwischen zu groben und zu feinen Vorgaben bewegen. Aufgrund dessen sollte der Vorgehensplan ein auszubauendes Rahmensystem sein.

Abschließend ist anzumerken, dass der Konstruktionsprozess in seinen allgemeinen organisatorischen Aspekten auf der vertikalen Konstruktionsprozessebene weitgehend durch die präskriptive Konstruktionsmethodik untersucht worden ist. Der eigentliche kreative Prozess, das menschliche Handeln bzw. Problemlösen auf der horizontalen Konstruktionsprozessebene, wurde dagegen wenig beachtet. Ein Hauptgrund dafür dürfte sicherlich sein, dass für den Konstrukteur das Objekt von Interesse ist und nicht sein Gedankengang. Es erscheint aber kaum sinnvoll, eine Methodik für das Konstruieren ins Auge zu fassen und dabei die menschlichen Denkprozesse außer Acht zu lassen.

Das Hybridmodell – der Modellierungsansatz nach Hacker (1992 und 2005)

Hacker schlägt für die Bearbeitung von unscharf – es sind wesentliche Ziele unbekannt – komplexen Konstruktionsaufgaben folgendes arbeitspsychologische Hybridmodell vor (vgl. Hacker 1992, S. 60 und 49):

- Nicht Wissen für sich, sondern tätigkeitsregulierendes Können bzw. Leistungsvoraussetzungen sind gefragt.
- Im Zentrum müssen Beschreibungen des Könnens bzw. der Leistungsvoraussetzungen stehen, die prozessorientiert auf die auszuführende Tätigkeit sind (z. B. in Form von VVR-Einheiten, ZBM-Einheiten und Programmablaufplänen).
- Sie sind zu ergänzen durch Zustands- und Merkmalsbeschreibungen, welche in die prozessorientierte Beschreibung einzuordnen sind (z. B. in Form von semantischen Netzwerken).
- Begriffliche Aussagen, bildhafte Vorstellungen und nicht bewusst abgewickelte Vorgehensweisen sind gleichwertige Teile von Können bzw. Leistungsvoraussetzungen, die sämtlich zu berücksichtigen sind.
- Der Aufbau des darzustellenden Könnens bzw. der Leistungsvoraussetzungen muss hierarchisch vom Ganzen zu den Teilen erfolgen, d.h. in der Abfolge

- Tätigkeitsmuster (z. B. als Handlungsschema in Form eines Vorgehensplans),
 - Einzelschritte (z. B. als VVR-Einheit, ZBM-Einheit, Vorgehenszyklus),
 - Einzelmerkmale (z. B. durch Leerstellen wie „Lagerung eines Kerns“), d. h. alle Leerstellen im Tätigkeitsmuster müssen merkmalsbezogen weiter untersucht werden, um das Wissen zu erfassen über die zugehörigen Sachverhalte (Konzepte), deren Merkmale (Attribute), deren Ausprägungen (Werte), deren Bedeutung und deren Relationen zueinander.
- Obgleich Menschen hierarchische Systeme nicht systematisch, sondern vor- und rückwärts springend (opportunistisch) abarbeiten, ist die hierarchische Beschreibung von Wissen eine gute Basis für ein effizientes und opportunistisches Bearbeiten – daher sollte sie genutzt werden.
 - Das Abarbeiten des Hybridmodells zur Ermittlung von Können bzw. Leistungsvoraussetzungen sollte ausgehen von einem mittleren Niveau, nämlich dem der Handlung, und nach „oben“ (Tätigkeiten) und „unten“ (Operationen) ausbauen (siehe Anlage 5).

Anzumerken ist, dass die Leitvorstellungen des Hybridmodells den Erkenntnissen und Hypothesen der kognitiven Psychologie zum Problemlösen beim Konstruieren und den integrierten komplexen Entscheidungsprozessen nicht widersprechen (vgl. Hacker 1992, S. 63) sowie mit dem ATC*-Konzept nach Anderson vereinbar sind (vgl. Hacker 1992, S. 56). Dies ist eine wichtige Erkenntnis, da in Kapitel 3.3.4.2 der Wissenserwerb beim Konstruieren mithilfe des ATC*-Konzept näher erläutert wird.

Die „Minimal-Methode“ – der Modellierungsansatz nach Günther (1998)

Günther stellt eine Leitlinie für Praxis-Konstrukteure auf, mit der die Konstruktionsqualität mit geringem Zusatzaufwand verbessert werden kann. Ausgangspunkt der Leitlinie ist die Erarbeitung einer Liste für die Anforderungen und für die Teilfunktionen/-probleme, für die anschließend jeweils mehrere Lösungen gesucht und die geeignetsten begründet ausgewählt werden. Ferner werden vor dem Feinentwurf meist mehrere Grobentwürfe erstellt, um die Vor- und Nachteile der Lösungen für weitere Aufgabenstellungen dokumentieren zu können. Die Arbeitsschritte – es müssen nicht alle umgesetzt werden – sind grundlegend und können nach einer kurzen Lernphase angewendet werden. Diese von Günther empfohlene Handlungsanleitung – eine ausführliche Darstellung ist in der Anlage 9 zu finden – stellt eine Minimal-Methodik für Perso-

nen aus der Praxis dar, die keine konstruktionsmethodische Ausbildung haben. Anzumerken ist, dass dadurch keine konstruktionsmethodische Ausbildung nachgeholt werden soll bzw. kann. Das Ziel der Minimal-Methodik besteht darin, den Praxis-Konstrukteur bei der Konstruktion zu unterstützen und somit zur Optimierung des Vorgehens beizutragen, wobei er sein routiniertes Vorgehen beim Konstruieren beibehalten kann, aber dennoch die Konstruktionsrisiken vermieden oder vermindert werden können. Die Minimal-Methodik hat derzeit den Charakter eines Vorschlags, der zur Bestätigung erst in der Praxis zu prüfen ist (vgl. Günther 1998, S. 136 und Ehrlenspiel 2003, S. 123).

Die in diesem Kapitel vorgestellten Modellvorstellungen zur Darstellung von Konstruktionsprozessen gilt es hinsichtlich ihres fachspezifischen Wissens näher zu untersuchen, da dies für den Wissenserwerb unverzichtbar ist. Daraus folgt, dass das Konstruktionswissen spezifiziert und in charakteristische Wissensbereiche klassifiziert wird.

3.3.4 Das konstruktionswissenschaftliche Wissen

Die Ausgangsbasis für die Auswahl einer für dieses Forschungsvorhaben geeigneten Darstellung des Konstruktionswissens ist die Erkenntnis, dass moderne technologische Wissenschaften grundsätzlich zwei Wissensblöcke unterscheiden:

- „Das Wissen von den Arbeitstätigkeiten am technischen Objekt und zur Gestaltung von technologischen Prozessen.
- Das Wissen davon, wie dieses Objekt oder Prozess zu untersuchen und zu projektieren ist“ (Bernard 2004b, S. 84).

Hubka und Eder haben das konstruktionswissenschaftliche Wissen in vier grundlegende Wissensbereiche unterteilt, die auf zwei unterschiedlichen Einteilungskriterien basieren. Zum einem erfolgt eine inhaltliche Einteilung des Konstruktionswissens in Prozesswissen (prozedurales Wissen), also über den Konstruktionsprozess und seine Operatoren sowie das Sachwissen (deklaratives Wissen), also über die zu konstruierenden Objekte. Zum anderen erfolgt eine weitere Unterteilung des Wissens entsprechend erkenntnistheoretischer Überlegungen in die Bereiche präskriptives Wissen und deskriptives Wissen. Diese Modellvorstellung (Abb. 3-24) kann als grundlegend für die Einteilung und systematische Erfassung von Konstruktionswissen angesehen werden und ist in großen Teilen identisch mit den Teilgebieten der Konstruktionswissenschaft nach Ehrlenspiel (Abb. 3-6).

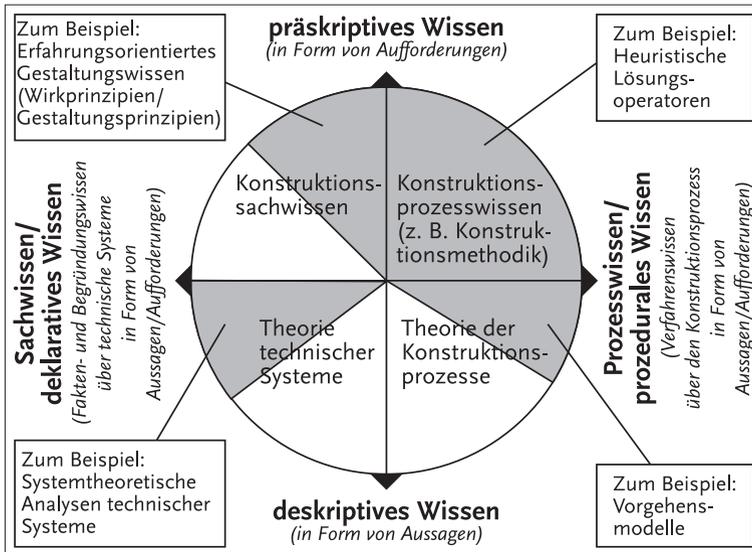


Abb. 3-24: Modellvorstellung zur Strukturierung des Konstruktionswissens (vgl. Hubka/Eder 1992, S. 70) mit Beispielen für das Konstruktionswissen, welches im besonderen Maße die Problemlösefähigkeit bestimmt (Anteil am konstruktiven Gesamtwissen grau hinterlegt) (vgl. Fletcher 2005, S. 263).

Die vier Sektoren der Modellvorstellung beinhalten im Einzelnen folgendes konstruktives Wissen (vgl. Hubka/Eder 1992, S. 70–71):

- Deskriptives Wissen über das Konstruktionsobjekt: Die Theorie technischer Systeme beschreibt, erklärt und begründet die Strukturen, ihre Elemente, die Eigenschaften, Wirkungsweisen und Funktionen von technischen Systemen.
- Präskriptives Wissen über das Konstruktionsobjekt: Das Konstruktions-sachwissen im engeren Sinne umfasst das Know-how bezüglich der Funktionserfüllung im realisierten technischen System, also das Wissen über die Art und Weise, wie technische Produkte konkret ausgelegt werden können oder müssen, um vorgegebene Funktionen zu erfüllen. Diese Aufforderungen finden ihre Stützung in den Ingenieurwissenschaften und in dem gesammelten heuristischen Wissen aus der Erfahrung und in einem weiteren Schritt in den Wissenschaften, welche den Anschluss an die deskriptiven Aussagen über technische Systeme herstellen.

- Deskriptives Wissen über den Konstruktionsprozess: Die Theorie der Konstruktionsprozesse beschreibt, erklärt und begründet die Elemente, Reihenfolgen (Sequenzen) und Wirkungen (Erfolg) von tatsächlich beobachteten Konstruktionsprozessen in ihrem soziotechnischen Kontext, einschließlich aller betrieblichen, organisatorischen und Führungsaspekte.
- Präskriptives Wissen über den Konstruktionsprozess: Das Konstruktionsprozesswissen enthält Hinweise über alle Operatoren des Konstruktionsprozesses. Besonders wichtig ist die Methodik der Konstruktionsprozesse (Konstruktionsmethodik), sie zeigt Wege zur erfolgreichen Abwicklung von Konstruktionsprozessen im betrieblichen Kontext. Sie umfasst im weiteren Sinne alle formalen und ideellen Hilfsmittel (einschließlich der Methoden), welche Konstrukteure anwenden können, um Konstruktionen auszudenken (zu erfinden), darzustellen (zu modellieren), zu berechnen, zu analysieren und zu bewerten.

Die in Abb. 3-24 grau hinterlegten Teilgebiete des Konstruktionswissens – grob geschätzte quantitative Kennzeichnung – ist maßgebend für die gezielte Förderung bzw. Entwicklung der Problemlösefähigkeit beim Konstruieren. Diese Einteilung verfolgt das Ziel, erste didaktische Hinweise für die Gewichtung der einzelnen Wissensbereiche in problemorientierten Ausbildungskonzepten – wie beispielsweise für das Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren „Konstruktionsaufgabe“ – zu geben. In diesem Zusammenhang lassen sich folgende inhaltliche Schwerpunkte identifizieren:

- „1. Im Bereich des Konstruktionsprozesswissens: Heuristische Lösungsoperationen, die insbesondere für Analyse- und Syntheseschritte in der Konzept- und Entwurfsphase benötigt werden.
2. Im Bereich des Wissens über die Theorie der Konstruktionsprozesse: Methodische Vorgehensmodelle (siehe Anlage 7) und weitere Möglichkeiten zur systematischen Strukturierung des Lösungsgangs.
3. Im Bereich des Konstruktionssachwissens: Erfahrungsorientiertes Wissen zur Gestaltung technischer Systeme. Hierzu zählt hauptsächlich Wissen über Wirkprinzipien und Gestaltungsprinzipien von technischen Systemen.
4. Im Bereich des Wissens über die Theorie technischer Systeme: Prinzipien einer systemtheoretischen Analyse von technischen Systemen unter besonderer Berücksichtigung der Zurückführung der Wirkweise von maschinenbautechnischen Systemen auf die Veränderung von Stoff-, Informations- und Energieflüssen“ (Fletcher 2005, S. 262).

Daraus folgt für dieses Forschungsvorhaben, dass zum deklarativen und prozeduralen Konstruktionswissen

- allgemeine erkenntnistheoretische Begriffsbestimmungen und deren Implikationszusammenhänge gehören. Dies ist im Hinblick für die zu entwickelnden Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen von großer Bedeutung, da die gewonnenen Erkenntnisse einen wesentlichen Beitrag leisten, um eine hohe empirische Validität abzusichern und
- die Implikationszusammenhänge von Konstruktionsprozess und Wissenserwerb sowie die damit verbundenen Teilphasen des Wissenserwerbs im Vordergrund stehen, um somit zu einer gezielten Entwicklung der Problemlösefähigkeit beim Konstruieren von Gießerei-Modelleinrichtungen beitragen können.

3.3.4.1 Deskriptives und präskriptives Konstruktionswissen

Eine exakte Trennlinie zwischen dem deskriptiven und dem präskriptiven Konstruktionswissen – also den erkenntnistheoretischen Überlegungen – zu ziehen ist sehr schwierig, manchmal auch nicht möglich und manchmal auch nicht sinnvoll bzw. erstrebenswert, da deskriptive Erkenntnisse auch zur Planung von Handlungen und somit auch tendenziell präskriptiv genutzt werden, d. h. dass das konstruktive Wissen sowohl deskriptiv als auch präskriptiv interpretiert werden kann. Beispielhaft für diesen Konflikt sind technische Gestaltungsregeln sowie ein Großteil der Vorgehenspläne der Konstruktionsmethodik (siehe Anlage 7), die einerseits durch Beobachtungen gewonnen wurden, aber andererseits auch als verbindliche Anleitungen im Sinne normativer Vorschriften benutzt werden, d. h. hier erfolgt die Vermischung von Wissen mit unterschiedlichem erkenntnistheoretischen Status. Diese Unschärfen in Teilbereichen sind akzeptabel und widersprechen nicht der Logik der grundsätzlichen Systematik der Abb. 3-24 (vgl. Hubka/Eder 1992, S. 68).

Im Fall der Konstruktionswissenschaft hat eine deskriptive Theorie zu beschreiben und zu klären, was bei der praktischen Konstruktionstätigkeit tatsächlich vor sich geht. Eine präskriptive Theorie dagegen formuliert und begründet Regeln, nach denen die Konstruktionstätigkeit idealerweise vor sich gehen soll. Die meisten Ausprägungen in der Fachliteratur der Konstruktionswissenschaft sind präskriptiver Natur. Sie erklären dem Konstruktionspraktiker nicht, wie er tatsächlich arbeitet, sondern sie versuchen ihm nahezu legen, wie er eigentlich arbeiten sollte. „Es geht also darum, eine neue Art von Praxis einzuleiten, in der intuitiv-assoziative Arbeitsweisen durch rational-systematische Methoden ersetzt werden. Das ist gewiss kein Fehler, doch sollte man sich dieser Zielset-

zung bewusst sein, um Missverständnisse mit Konstruktionspraktikern zu vermeiden“ (Ropohl 1998, S. 65–66).

An dieser Stelle muss man korrekterweise auch die Frage stellen: Welchen Sinn hat ein deskriptiver Ansatz für die Konstruktionspraxis? Man erwartet, dass die Theorie eine direkte und ohne großen Aufwand anwendbare Hilfestellung bietet. Ein solcher Ansatz ist aber auf Anhieb sicherlich nicht hilfreich, da erst auf wissenschaftlicher Basis die Grundlagen dafür erarbeitet werden müssen. Erst danach ist eine für die Praxis anwendbare Methode zu erwarten. Ropohl formulierte die Zusammenhänge wie folgt: „Nun müssen sich jedoch normative Theorien immer in gewissem Umfang auf deskriptive Theorien abstützen; denn erstens können Mittel zum praktischen Zweck sinnvollerweise nur dann empfohlen werden, wenn durch eine deskriptive Theorie gesichert ist, dass die betreffenden Mittel tatsächlich die Ursache der erwünschten Wirkungen sind; und zweitens kann vernünftigerweise nur zu solchen Mitteln geraten werden, die auch tatsächlich beherrschbar sind, weil Sollen Können voraussetzt“ (Ropohl 1983, S. 331).

Somit müssen deskriptive Ansätze zwangsläufig erarbeitet werden, um die idealtypischen tatsächlichen Abläufe zu kennen. Eine solche Theorie kann innerhalb der Konstruktionsmethodik als Grundlage dienen für

- die Weiterentwicklung der Konstruktionsmethodik im Sinne einer größeren Flexibilität, die sich an den realen Bedürfnissen, Kenntnissen und Begabungen der Konstrukteure sowie den Erfordernissen der zu bearbeitenden Probleme orientiert,
- den Aufbau und die benutzergerechte Gestaltung von Hilfsmitteln wie Methodenbaukasten/-systeme, Checklisten, Lösungskatalogen, Regelsammlungen oder konstruktiven Vorbildern,
- den sinnvollen Einsatz und die geeignete Gestaltung von computergestützten Hilfsmitteln wie Berechnungsprogrammen, CAD-Systemen, Datenbanken oder wissensbasierten Systemen für die Konstruktion (vgl. Ehrlenspiel/Dylla 1991a, S. 43),
- die Lieferung von Erkenntnissen – für den Lernenden/Handelnden – als „Möglichkeit des Lernens am Objekt“ (Training on the Job).

Der deskriptive Aspekt konstruktionswissenschaftlicher Ergebnisse wurde durch folgende Umstände verdunkelt:

- Die Konstruktionswissenschaft geriet sehr bald in den Sog rechnerunterstützter Konstruktionen. Das bedingt zunächst, den Konstruktionsprozess soweit wie möglich in algorithmischer Form darzustellen.

- Die präskriptiven Ansätze bewährten sich
 - „bei der Konstituierung der Wissenschaftsdisziplin ‚Konstruktionstechnik‘,
 - bei der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und
 - bei der Entwicklung des Selbstbewusstseins des Konstrukteurs“ (Müller 1990, S. 99).

Aus deskriptiven Beschreibungsformen können aber auch präskriptive Handlungsanweisungen entstehen. Wenn Beteiligte in konkreten Konstruktionsprozessen oder externe Beobachter erkennen, welches Vorgehen je nach Situation zum Erfolg führt und diese Erfahrungen kumuliert und reflektiert werden, ist es möglich, bestimmte wiederkehrende „Muster“ abzuleiten und allgemeine Handlungsempfehlungen zu formulieren. Derartige Muster werden in der Regel in allgemeiner, abstrahierter Form als Vorgehensmodelle beschrieben mit dem Zweck, dass sie für eine Vielzahl von Konstruktionssituationen Gültigkeit besitzen (vgl. Lindemann 2007, S. 36). Anzumerken ist, dass auf diese Weise sehr viele Vorgehensmodelle der präskriptiven Konstruktionsmethodik entstanden sind (vgl. Müller 1990, S. 98).

Im Umkehrschluss lassen sich die deskriptiven Elemente, dieser – auf Beobachtungen gestützten – präskriptiven Vorgehensmodelle herauskristallisieren, indem „man die in der Literatur genannten Werturteile und vorschreibenden Verknüpfungen zwischen einzelnen Vorgehenschritten entfernt und die Teilschritte als eigenständige Teilprozesse beschreibt sowie alle Abfolgen von Teilprozessen zulässt“ (Fricke 1993, S. 49).

Erfolgt die bewusste Vermischung von deskriptivem und präskriptivem Wissen bei der Entwicklung von Modellvorstellungen bzw. Vorgehensmodellen, so müssen mindestens folgende Hauptmerkmale berücksichtigt werden wie

- den iterativen Charakter solcher Prozesse als konstituierendes Element enthalten,
- über den gesamten Prozessverlauf eine schrittweise Problem- und Zielklärung bzw. Zielkonkretisierung auf Basis einer gründlichen – dabei anfänglich nur vorläufigen – Aufgabenanalyse und Problemdekomposition vorsehen,
- eine auf (Erfahrungs-)Wissen basierende, kognitiv aufwandsarme globale Handlungssteuerung erlauben, bei der in einer konkreten Handlungssituation potenziell Erfolg versprechende Vorgehensoptionen opportunistisch genutzt werden können,

- flexibel an unterschiedliche organisatorische Randbedingungen, individuelle Personenmerkmale sowie die dynamische Veränderung von Anforderungen, Zielen und Randbedingungen anpassbar sein, ohne beliebig zu werden,
- eine auf Konkretisierung basierende korrigierende Lösungserzeugung und -variation zulassen (vgl. Bender 2004, S. 223) und
- vor dem Hintergrund des grundsätzlichen Zielkonfliktes zwischen optimaler technischer Lösung und dem technisch Machbarem auf der einen Seite sowie vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand, gesellschaftlich Vertretbarem und sozial Wünschbarem auf der anderen Seite (vgl. Bernard/Ebert/Schröder 1995, S. 37–38), eine Fokussierung auf zufriedenstellende Lösungen zulassen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Absicht einer Methode präskriptiv (vorschreibend) ist. Die sprachliche Form der einzelnen Vorschriften ist der Aufforderungssatz, wie beispielsweise „Um das gegebene (Teil-)Ziel zu erreichen, ist es erforderlich Folgendes zu tun: ...“ oder „WENN ... UND ... DANN ...“. Die deskriptiven (beschreibenden) Erkenntnisse werden in Form von Aussagen formuliert. Beide – Aussage und Aufforderung – können sich auf den gleichen Sachverhalt beziehen, aber dies geschieht in unterschiedlicher Weise. Die Aussage stellt fest, sagt aus, was (tatsächlich oder möglicherweise) war, ist oder sein wird – sie hat eine kognitive Funktion. Eine Aufforderung hingegen sagt nichts aus, stellt nichts fest – sie hat eine leitende, regelnde Funktion. Die Aussage „Immer wieder lehnen sich Fahrgäste aus dem Zugfenster“ trifft eine Feststellung über das Verhalten von Menschen. Die am Zugfenster angebrachte Aufforderung „Nicht hinauslehnen!“ sagt nichts über das tatsächliche Verhalten der Fahrgäste aus. Die Verschiedenheit von Aussage und Aufforderung sind bewusst so formuliert, dass der Unterschied möglichst klar hervortritt. Sie können jedoch in dieser Absolutheit zum Teil nicht aufrechterhalten werden, da man einer Aufforderung selbstverständlich auch oft gewisse Informationen entnehmen kann (vgl. Segeth 1974, S. 38–39). Der Aufforderungscharakter von Methoden wird in folgender Aussage ganz deutlich: „Die Methode fixiert nicht unmittelbar das, was in der objektiven Welt ist, sondern legt fest, wie der Mensch im Prozess der Erkenntnis und des praktischen Handelns vorgehen muss“ (Segeth 1974, S. 109).

3.3.4.2 Deklaratives und prozedurales Konstruktionswissen

Diese Art der Einteilung des Wissens ist auf breiter Basis akzeptiert, sei es in der Konstruktionstechnik, der Kognitionspsychologie oder der Berufspädagogik und der Didaktik. Aus berufspädagogischer Sicht handelt es sich

- beim deklarativen Wissen „um Gedächtnisinhalte, die sich auf Informationen wie etwa Fakten und Ergebnisse beziehen“ (Tenorth/Tippelt 2007, S. 142) und
- beim prozeduralen Wissen um ein „Verfahrenswissen, handlungsleitendes Wissen; Gedächtnisinhalte, welche den (automatisierten) Ablauf einer Handlung steuern. Im Gegensatz zum deklarativen Wissen kann die Person über die Struktur und den Inhalt ihres prozeduralen Wissen keine genaue Auskunft geben“ (Tenorth/Tippelt 2007, S. 583).

Die Entwicklung der Problemlösefähigkeit hinsichtlich des Konstruierens lässt sich auf der Makroebene durch zwei ineinandergreifende Prozesse beschreiben (Abb. 3-25).

Bei der Abb. 3-25 handelt es sich um eine stark idealisierte Darstellung, bei der der vertikale Ablauf dem Phasenablauf des Vorgehensplans (Abb. 3-18) zur Konstruktion von maschinenbautechnischen Systemen entspricht und die vier horizontalen Prozesse, die die kognitionspsychologischen Erkenntnisse menschlichen Wissenserwerbs beim Problemlösen nach der ACT*-Theorie (Weiterentwicklung der Basistheorie „Adaptive Control of Thought“) von Anderson (2001) widerspiegeln, bei der die fundamentale Einteilung in deklaratives und prozedurales Wissen die Grundlage darstellt.

Der Prozess ist mehrfach rekursiv sowohl auf horizontaler Ebene als auch auf vertikaler Ebene zu durchlaufen. Folgt man diesem Prozessmodell, so besteht der Gesamtkonstruktionsprozess aus einer großen Anzahl einzelner Phasen und Schrittfolgen, die an Gesamt- und Teilzielen orientiert sind und in einer zweckmäßigen Reihenfolge entsprechend den vier Hauptphasen des Vorgehensplans (Abb. 3-18) fortschreiten.

Anzumerken ist, dass für die ganzheitliche Beschreibung eines technischen Produktes in der Regel mehrere Partialmodelle erforderlich sind, die jeweils nur bestimmte Aspekte abbilden können und in einem Rahmenmodell zusammengefasst werden (vgl. Lindemann 2007, S. 32), d. h. jedes Partialmodell ist daher von vornherein unter dem Aspekt des zu modellierenden Rahmenmodells auszuwählen, zu spezifizieren und zu integrieren.

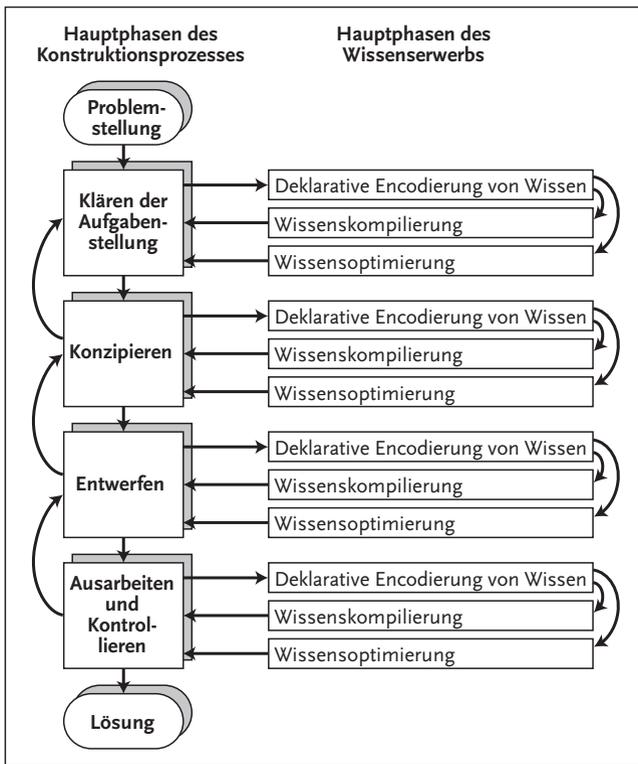


Abb. 3-25: Prozessmodell zur Entwicklung von Problemlösefähigkeit beim Konstruieren (Fletcher 2005, S. 316).

Die drei Hauptphasen des Wissenserwerbs beinhalten nach der ACT*-Theorie Folgendes:

In der ersten Phase der deklarativen Encodierung des Wissens, die auch als kognitive Phase bezeichnet wird, erfolgt die Speicherung ausgehend von neuen deklarativen Wissens-elementen und der dadurch angeregten Aktivierung vorhandener semantischer Knoten im Gedächtnis. Mit anderen Worten: Die Lernenden nehmen neue Informationselemente über verwandte semantische Knoten und/oder über semantische Knoten, die in einem direkten Zusammenhang stehen und als wichtig für den Problemlösevorgang erachtet werden, in ihr Arbeitsgedächtnis auf. Die Ausbreitung erfolgt dabei von Knotenpunkt zu Knotenpunkt entlang bestehender Verknüpfungen.

Das Ergebnis dieser ersten Phase ist die Verknüpfung von gespeichertem Wissen mit den neu encodierten Informationselementen im Arbeitsgedächtnis. Da

bei Novizen noch keine Strukturen ausgebildet sind und somit noch keine oder sehr wenige – häufig noch nebulös vorliegende – semantische Knoten im Gedächtnis vorhanden sind, müssen ganze Teilbereiche neu strukturiert werden. Deshalb müssen zu Beginn deklarative Wissens Elemente in Form von Zielstrukturen aufgenommen und gespeichert werden. Der Lernende ist aufgrund dieser encodierten Wissens Elemente aber noch nicht direkt handlungsfähig, da der Aufbau spezifischer ZBM-Einheiten bzw. Produktionsregeln noch nicht erfolgt ist. Umgangssprachlich ist ein solcher Wissenszustand als vage Vorstellung über das, was zu tun ist, zu interpretieren. Kritisch anzumerken ist, dass viele Fachbücher sowie die Umsetzung im Unterricht häufig über diese Phase nicht hinauskommen und folglich nur sehr bedingt dazu beitragen, Handlungs-kompetenzen aufzubauen und sie weiter zu entwickeln.

In der zweiten Phase, die von Anderson als Phase der Wissenskompilierung (knowledge compilation) bezeichnet wird, erfolgt der Aufbau von speziellen Prozeduren, in denen das deklarative Wissen zusammen mit den Operationen enthalten ist. Das Kernelement der ACT*-Theorie zur Erklärung von Lernvorgängen, die sich auf die Aneignung von prozeduralem Wissen beziehen, sind nach Anderson die beiden folgenden Mechanismen:

- Die Kombination erfolgt, wenn zwei oder mehrere ZBM-Einheiten bzw. Produktionsregeln, die in fester Reihenfolge angewendet werden, zu einer einzigen zusammengefasst werden. Bei diesem Vorgang sind zumeist die Bedingungsteile (WENN-Teile) der einzelnen Regeln durch Konjunktion (UND) und/oder Disjunktion (ODER) miteinander verknüpft. Der Aktionsteil (DANN-Teil) umfasst alle Einzelaktionen der Ausgangsproduktionen mit Ausnahme der Setzung von Zwischenzielen.
- Die Prozeduralisierung ist ein Prozess der Wissenskompilierung, bei dem deklarative Informationen, die sonst aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden müssten, direkt in der ZBM-Einheit bzw. Produktionsregel mit aufgenommen werden, d. h. „die Prozeduralisierung bezieht sich auf den Prozess, in dessen Verlauf die explizite Verwendung deklarativen Wissens durch die unmittelbare Anwendung prozeduralen Wissens abgelöst wird“ (Anderson 2001, S. 291). Hierdurch erfolgt eine viel schnellere Ausführung der ZBM-Einheit bzw. Produktionsregel, da die interpretative Anwendung einer allgemeinen Regel und das Abrufen deklarativer Informationen aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis stark belastet.

Die dritte Phase des Aneignungsprozesses wird als Phase der Wissensoptimierung (tuning production) bezeichnet. Hierunter fasst Anderson alle Vorgänge auf, die zu einer fortlaufenden Verbesserung der erworbenen Fertigkeiten

durch Optimierung der ZBM-Einheiten bzw. Produktionsregeln führen. In der Praxis zeigt sich dieses durch die Fähigkeit, immer schneller und besser die gestellten Aufgaben bewältigen zu können.

An dieser Stelle sei ausdrücklich erwähnt, dass nur eine erfolgreiche Anwendung der neu erworbenen Wissens Elemente zum Aufbau neuer Prozeduren führt und somit „die Entwicklung von Expertentum auf jeglichem Gebiet einen großen Aufwand an zielgerichteter Übung erfordert“ (Anderson 2001, S. 306).

Beim Wissenserwerb wird weiterhin unterschieden in

- Alltagswissen und besonders reflektiertes Berufswissen mit seinen Minimalwissensstrukturen sowie
- Wissenschaftswissen mit seinen Optimalwissensstrukturen (siehe Kapitel 2.4).

Der didaktisch sinnvolle Umgang mit diesen Arten bzw. Strukturformen von Wissen sollte darin liegen,

- die Differenz zwischen den Strukturformen didaktisch einfach zu akzeptieren und
- den beiden Strukturformen unterrichtlich einen angemessenen Raum zu geben (vgl. Gerdsmeyer 2006, S. 10).

Aus diesen Erkenntnissen folgt, dass beide Wissensstrukturen auszuarbeiten sind, sowie für die Optimalwissensstruktur – da liegt der Schwerpunkt dieser Dissertation – Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die einzelnen Phasen des Wissenserwerbs zu entwickeln und in ein Rahmenmodell zu integrieren sind.

4 Modellvorstellungen für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen

4.1 Eine „Minimal-Methodik“ für die Makroebene – eine Minimalwissensstruktur

Die Grundlagen für die Entwicklung der Minimalwissensstruktur

- ist der Arbeitsablauf für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Neumann 2006, siehe Anlage 18), welcher im besonderen Maße durch meine jahrzehntelange Konstruktionserfahrung, sei es als Facharbeiter, Ingenieur und Fachlehrer, geprägt ist,
- ist der Planungsprozess für Gießerei-Modelleinrichtungen (Abb. 2-10) von Erdmann und Reinkensmeier,
- sind die allgemeinen Ablaufstrukturen für den konstruktiven Unterricht von Bader (1990, S. 29), Pahl (2000, S. 109), Ott und Pyzalla (2003, S. 115) sowie Schröder (1992, S. 113–114),
- sind die methodologischen Erkenntnisse der Konstruktionswissenschaft und im Besonderen die Leitlinie zur Konstruktionsunterstützung für Praxis-Konstrukteure von Günther (siehe Anlage 9).

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelte und unten aufgeführte Ablaufstruktur zur konstruktiven Problemlösung bei Gießerei-Modelleinrichtungen wird in der Norddeutschen Fachklasse des Technischen Modellbaus an der BBS Alfeld von den Lernenden seit mehreren Jahren selbstständig erarbeitet – durch sich wiederholende Reflexionen des „erlebten“ Vorgehens (vgl. Aebli 1997, S. 190 ff und Ott/Pyzalla 2003, S. 114) – und bei zahlreichen Konstruktionsaufgaben angewendet. Diese Ablaufstruktur hat sich nach meiner Einschätzung auf der Makroebene in der unterrichtlichen Praxis bewährt. Es ist an dieser Stelle aber ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass diese Einschätzung nicht durch eine umfassende empirische Untersuchung in der schulischen Praxis abgesichert ist, wenngleich diese Ablaufstruktur in den Abschlussbesprechungen der experimentellen Felduntersuchung von den Versuchspersonen (Technische Modellbauexperten) bestätigt wurde.

Ablaufstruktur zur Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen:

- 1) Erstellung der Modellplanungsskizze.
 - 1.1) Informationen über die Anforderungen an die Gießerei-Modelleinrichtung sammeln, analysieren und festlegen (*schriftlich festhalten*).
 - 1.2) Gussstückgeometrie – möglichst dreidimensional – gedanklich vorstellen.
 - 1.3) Mehrere mögliche Teilungsvarianten für das Modell bzw. den Kernkasten festlegen.
 - 1.4) Bewertungskriterien definieren (*schriftlich festhalten*).
 - 1.5) Gewichtung der Bewertungskriterien festlegen (*beispielsweise: 1 = sehr wichtig bis 6 = unwichtig*).
 - 1.6) Teilungsvarianten bewerten.
 - 1.7) Begründete Entscheidung für eine Teilungsvariante (*schriftlich festhalten*).
 - 1.8) Die ausgewählte Teilungsvariante wird mit folgenden Modellzugaben ausgearbeitet:
 - Formschrägen (Wo, „Ausrichtung“, Größe und Nennmaßbezug),
 - Bearbeitungszugaben (Wo, Höhe und Abrundung),
 - Radien/Hohlen (müssen immer angebracht werden, außer an der Teilung) sowie
 - Schwindmaß (nur Richtwert).

Die Modellzugaben werden mithilfe der DIN EN 12890 sowie Tabellen und Faustformeln aus dem Fachbuch (Roller 2006) quantitativ festgelegt.
 - 1.9) Die Modellplanungsskizze wird beispielsweise auf modellbau-, form-, gieß-, stückzahl-, putz-, bearbeitungs-, prüfgerechte Ausführung der Gießerei-Modelleinrichtung und abkühl-, wärmebehandlungs-, beschichtungs-, montagegerechte Gestaltung des Gussstückes (vgl. Ambos/Hartmann/Lichtenberg 1992, S.0-1 bis 0-8) sowie zeichentechnische Richtigkeit nach VDG-Merkblatt M 150 (1994) überprüft.
- 2) Erstellung der Modellplanungszeichnung.

4.2 Modellierung eines Rahmenmodells – eine Optimalwissensstruktur

Die Ausgangsbasis für die Optimalwissensstruktur sind die allgemeinen Erkenntnisse des Prozessmodells zur Entwicklung von Problemlösefähigkeit beim Konstruieren (Abb. 3-25) nach Fletcher. Mithilfe dieses Prozessmodells können in besonderer Weise die Implikationszusammenhänge zwischen dem organisatorischen Phasenablauf zur Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen sowie der damit verbundenen deklarativen und prozeduralen Wissensaneignung dargestellt werden. In diesem Zusammenhang wurden erste fundierte Lösungsansätze von mir veröffentlicht (Neumann 2007a, 2007b und 2007c). Bei dem Modellierungsprozess der Optimalwissensstruktur ist ein entscheidender Aspekt, dass implizit meine jahrzehntelange Konstruktionserfahrung einfließt.

4.2.1 Lösungsansätze für die deklarative Encodierung des Konstruktionsprozesses und insbesondere zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen

Alle Arten technischer Systeme – somit auch Gießerei-Modelleinrichtungen – weisen spezifische Konstruktionsprozesse auf und verlangen neben dem allgemeinen auch konkretes, spezifisches Fachwissen. Dazu müssen zusätzliche Instrumentarien geschaffen werden, die die wesentlichen inhaltlichen Zusammenhänge gut strukturiert zur Verfügung stellen, d. h. es muss eine sachliche Untergliederung mithilfe einer Dekomposition erfolgen, die für den Konstruktionsprozess von Gießerei-Modelleinrichtungen herangezogen werden kann.

Die Erkenntnis, dass nur eine interdisziplinäre Synthese zu einer theoretisch angemessenen Bewältigung in den Technikwissenschaften bzw. der Konstruktionswissenschaft beitragen kann und dieses theoretische Integrationspotenzial durch die Systemmodelle der Technik (Kapitel 3.3.2) bereitgestellt wird, lässt den Schluss zu, dass in diesem Kapitel geeignete produktspezifische Systemmodelle für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen zu entwickeln sind.

Das Systemdenken bezeichnet allgemein eine Denkweise, welche es ermöglicht, komplexe Erscheinungen (Systeme) verstehen und gestalten zu können, und soll der Gefahr entgegenwirken, Sachverhalte und Probleme zu eng zu fassen und Systemgrenzen als unveränderbar anzusehen. Aufgrund dessen kann die Strukturierung der Lerninhalte auf der Grundlage einer systemtheoretischen Betrachtungsweise von Technik als zukunftsweisend angesehen werden (vgl. Bader 1991, S. 442). Wichtig ist dabei nur eine auf Modellvorstellungen basierende, ganzheitliche Betrachtungsweise wie beispielsweise die

Berücksichtigung eines Lebenszyklus, unterschiedliche Perspektiven (Entstehung und Verwendung) oder die Wechselwirkungen des Systems mit seinem Umfeld. Hierdurch wird den Auszubildenden bzw. Schülern die Möglichkeit gegeben, sich die Fachinhalte aus der Perspektive der zu bewältigenden Handlungsanforderungen anzueignen.

An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass es bei der Einführung der Systemtheorie als Gegenstand des beruflichen Lernens um die Erschließung von Betrachtungsweisen und Darstellungsmitteln unter dem didaktischen Interesse der Aufklärung von Sachverhalten und deren Verknüpfungen geht (vgl. Bader 1991, S. 445). Aber gerade der Aspekt der Abstraktion in der Theorie technischer Systeme wurde und wird teils mit Skepsis von Fachdidaktikern aus dem beruflichen Schulwesen aufgenommen. „Doch kann die Konsequenz keinesfalls der Verzicht der Didaktik sein, die Lernenden an generalisierende Einsichten heranzuführen“ (Bader 1991, S. 442).

Die systemorientierte Betrachtungsweise soll hinsichtlich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen

- ein grundsätzlich besseres Problemverständnis schaffen,
- das Problemfeld und dessen Nahtstellen zur Umgebung des Technischen Modellbaus der Fachrichtung Gießerei transparenter machen,
- unterschiedliche Betrachtungsaspekte derselben Situation auseinanderhalten,
- Quelle, Art und Umfang einer möglichen Einflussnahme auf das Konstruktionsvorhaben herausarbeiten und
- Prozessabläufe und Verhaltenseigenschaften im Problemfeld in den Vordergrund treten lassen.

Das Bestimmen konstruktionsspezifischer Inhalte darf nicht eine Blickverengung auf technische Einseitigkeit zur Folge haben. So sollte die soziotechnische Bedeutung der jeweiligen Konstruktion ein wesentlicher Bestandteil der Ausbildung bzw. des Unterrichts sein. Aus diesem Grund bilden in diesem Kapitel die allgemeinen soziotechnischen Handlungssysteme nach Bader (Abb. 3-10) und nach Ropohl (Abb. 3-11) die Ausgangsbasis für die Entwicklung von fachspezifischen soziotechnischen Handlungssystemen im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei.

Mithilfe des soziotechnischen Handlungssystems nach Bader (Abb. 3-10) werden auf der Basis der Lebensphasen einerseits der Gießerei-Modelleinrichtung und andererseits des Gussstückes die Implikationszusammenhänge hinsichtlich

der übergeordneten Arbeitsprozesse im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei dargestellt (Abb. 4-1).

Die daraus zu gewinnenden Erkenntnisse können als Situationsanalyse (Lagebeurteilung) betrachtet werden. Der Zweck besteht darin, sich mit der Ausgangssituation und der Aufgabenstellung vertraut zu machen bzw. sie überhaupt erst zu klären und die Basis für die Formulierung konkreter Ziele zu schaffen. Das Strukturieren des Problems auf diesem abstrakten Niveau dient der Erschließung von Handlungsschwerpunkten und ermöglicht somit die Fokussierung bei der Lösungssuche sowie der Reduzierung der Komplexität für die Bearbeitung. Dieses Vorgehen hat außerdem den Vorteil, dass damit (Vor-)Fixierungen und Denkbarrieren aufgehoben und bestehende Handlungs- und Gestaltungsspielräume herausgearbeitet werden können. Alle diese Schritte dienen dazu, weitere Modellvorstellungen zu entwickeln, aus denen konkrete Schwerpunkte für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen – mit entsprechender Zielerreichung – abgeleitet werden können.

Die Gesamtzusammenhänge der übergeordneten Arbeitsprozesse im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei (Abb. 4-1) setzen sich aus dem soziotechnischen Handlungssystem „Gießerei-Modelleinrichtung“ und aus dem soziotechnischen Handlungssystem „Gussstück“ zusammen, wobei die Integration der Verwendungsziele des soziotechnischen Handlungssystems „Gussstück“ in das soziotechnische Handlungssystem „Gießerei-Modelleinrichtung“ durch die gegenseitigen Wechselbeziehungen der Handlungssysteme und den hierarchischen Aufbau gekennzeichnet ist. Exemplarisch werden diese Zusammenhänge anhand der Teilung einer Gießerei-Modelleinrichtung näher erläutert.

Die „Teilung“ ist ein Teil des Sachsystems „Gießerei-Modelleinrichtung“ (Abb. 4-1). Die Aufgabe einer Teilung – es werden häufig auch mehrere Teilungen benötigt – besteht darin, das Entformen des Modells aus der Form bzw. des Kerns aus dem Kernkasten zu ermöglichen. Damit ist die Ursache die Lebensphase „Fertigung“ des Handlungssystems „Gussstück“, d. h. die Teilung der Gießerei-Modelleinrichtung ist ausschließlich für die Fertigung bzw. Herstellung der Form in der Gießerei erforderlich. Diese Teilung ist aber nicht zu verwechseln mit der „Unterteilung“ der Gießerei-Modelleinrichtung, welche aus modellbautechnischen Gründen vorgenommen wird, um beispielsweise schwer zugängliche Geometriestellen an der Gießerei-Modelleinrichtung fertigen zu können, d. h. die Unterteilung der Gießerei-Modelleinrichtung ist der Lebensphase „Fertigung“ des Handlungssystems „Gießerei-Modelleinrichtung“ zugeordnet.

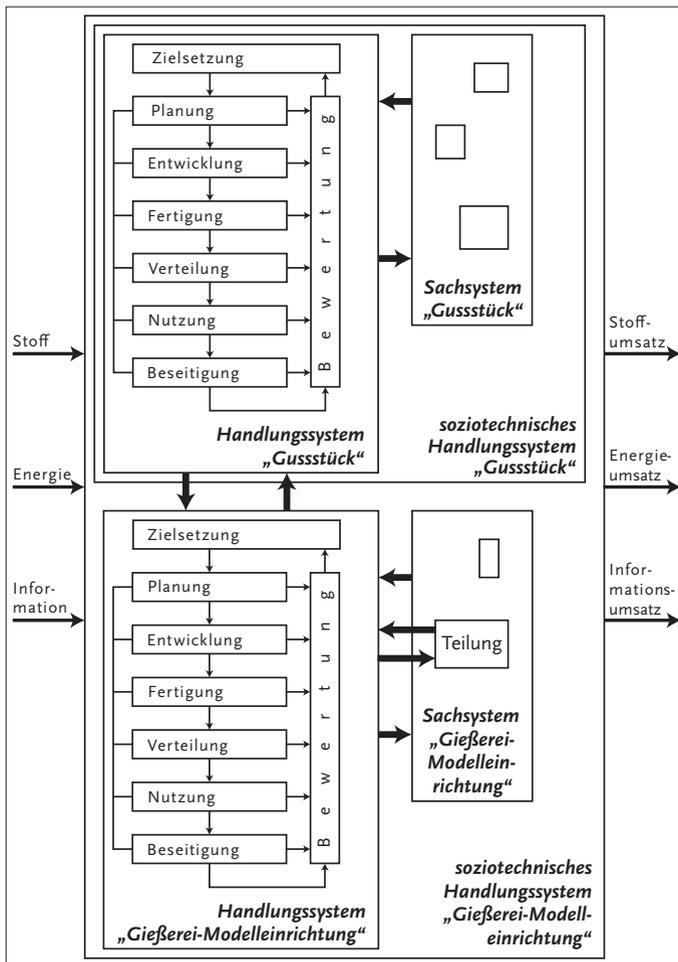


Abb. 4-1: Darstellung der Gesamtzusammenhänge der übergeordneten Arbeitsprozesse aus Sicht des Technischen Modellbaus der Fachrichtung Gießerei am Beispiel der Teilung.

Aufgrund dieser exemplarischen Erkenntnisse bezüglich der Teilung von Gießerei-Modelleinrichtungen wird eine komplexe und vielschichtige Beeinflussung auf die innere Struktur der Gießerei-Modelleinrichtung aufgezeigt, welche das „Wesen“ bzw. die Struktur der Gießerei-Modelleinrichtung deutlich verändert.

Anhand der soziotechnischen Systembildung nach Ropohl (Abb. 3-11) wird explizit die Trennung nach Verwendungs- und Entstehungszusammenhängen und deren unterschiedlichen Perspektiven sichtbar bzw. verdeutlicht, welche in

modernen Industriegesellschaften heute durchgängig anzutreffen sind. Diese im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei auch anzutreffende Arbeitsteilung bedeutet, dass bei der Konstruktion bzw. Sachentstehung der Gießerei-Modelleinrichtungen die fertigungsgerechte Gestaltung von Gussstücken – also die Sachverwendung in der Lebensphase „Fertigung“ des Handlungssystems „Gussstück“ – mit in den Konstruktionsprozess einfließt (Abb. 4-2). Dadurch tritt eine Vielzahl von Menschen zueinander in Beziehung, d. h. ein Teil der Verwendungsziele wird vom Technischen Modellbauer für den Gießereimechaniker (Herstellung Gussstückrohteil), den Zerspanungsmechaniker (Herstellung Gussstückfertigteil) und den Industriemechaniker (Montage des Gussstückfertigteils) vorgegeben.

Die allgemeine Ablaufstruktur des soziotechnischen Handlungssystems für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken (Abb. 4-2) beginnt mit dem Konstruktionsauftrag und der damit verbundenen Festlegung der auftragsbezogenen Anforderungen. In der Phase der Konstruktionsplanung werden unter anderem technisierbare Handlungs- und Arbeitsfunktionen für die nachgelagerten Fertigungsprozessstufen ausfindig gemacht (Abb. 2-3), wobei diese nach der heute üblichen Unterteilung in Gussstückfertigungsprozess, Gussstückbearbeitungsprozess und Montageprozess Gussstück klassifiziert werden (Kapitel 2.2). Eine vollständige Übersicht der Sachsystemfunktionen und deren Sachsystemrealisierungen ist in Abb. 4-4 und Abb. 4-5 zu finden. Anschließend erfolgt eine antizipative Integration der auftragsbezogenen Sachsystemrealisierungen hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung, wobei diese Ergebnisse mit in die Konstruktionsplanung einfließen. Ist die Konstruktionsplanungsphase abgeschlossen, werden die Konstruktionsunterlagen in Form von Modellplanungsskizze/-zeichnung (Abb. 1-2) und/oder Modellaufriß erstellt und auf Richtigkeit geprüft. Zum Schluss erfolgt eine Beurteilung, ob die Konstruktionsunterlagen – also die Ergebnisse der Konstruktion – mit den Anforderungen bzw. geforderten Eigenschaften übereinstimmen. Ist dies der Fall, kann mit der Herstellung der Gießerei-Modelleinrichtung begonnen werden. Ansonsten wird die Ablaufstruktur bzw. der Handlungskreis so oft durchlaufen, bis das Konstruktionsergebnis den Anforderungen entspricht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die aus der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken zu gewinnenden Erkenntnisse sowie deren Einbettung in ein menschliches Handlungssystem als ganzheitliche strukturelle Basis angesehen werden kann, um einerseits die Zusammenhänge besser verstehen zu können und andererseits um den Lernprozess zu erleichtern.

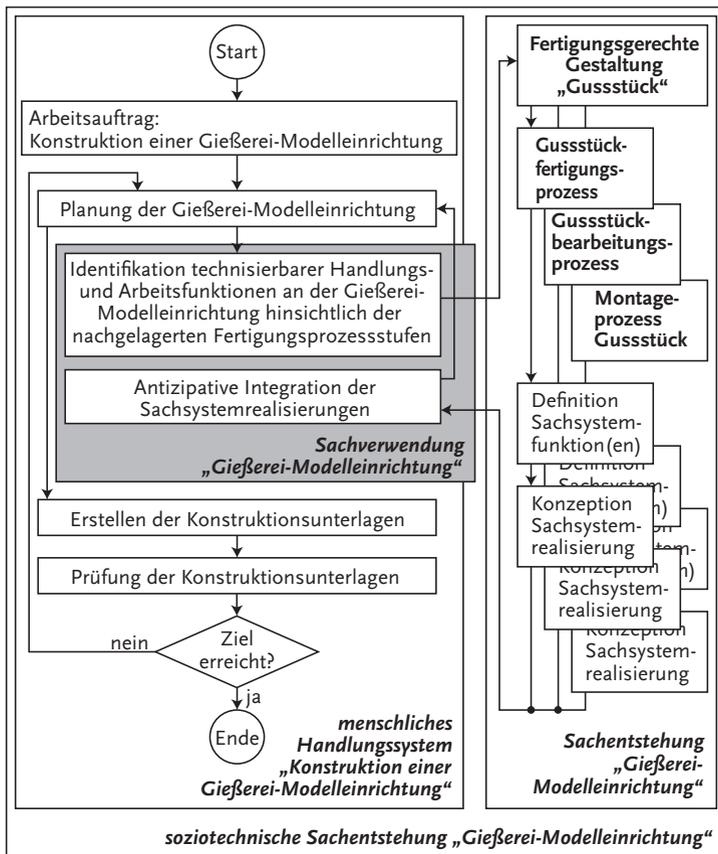


Abb. 4-2: Allgemeine Ablaufstruktur eines soziotechnischen Handlungssystems für die konstruktive Problemlösung bei Gießerei-Modelleinrichtungen hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken.

Bevor eine weitere Vertiefung und Konkretisierung der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken bezüglich der Sachsystemfunktionen und deren Sachsystemrealisierungen erfolgt, wird eine Strukturierung der Produktgruppe „Gießerei-Modelleinrichtung“ auf systemtheoretischer Basis vorgestellt (Abb. 4-3), die als Grundlage für den weiteren Modellbildungsprozess dient.

Die Hauptfunktion wird in Elementarfunktionen zerlegt und aus diesen können dann, wenn erforderlich, weitere Teilfunktionen abgeleitet werden. Die Strichlinien geben in diesem Kontext darüber Auskunft, welche Funktionen und Systemrealisierungen sich aufeinander beziehen. Die hier für die Produktgruppe „Gießerei-Modelleinrichtung“ entwickelte Struktur wurde gegenüber der all-

gemeinen Strukturierung technischer Systeme (Abb. 3-8) situationsgerecht verändert. Dies bedeutet in diesem konkreten Fall, dass sich die Subsysteme erst dann bestimmen lassen, wenn die Systemelemente festgelegt worden sind, d. h. erst wenn beispielsweise die Teilung(en) sowie die Formschrägen festgelegt worden sind und sich herausstellt, dass ein ungünstiges Ballenverhältnis vorliegt und es dadurch bei der Entnahme zu Schwierigkeiten kommen könnten, müssen an dem Modell Durchziehteile/Abstreifkämme oder am Kernkasten eine Auswerfervorrichtung vorgesehen werden.

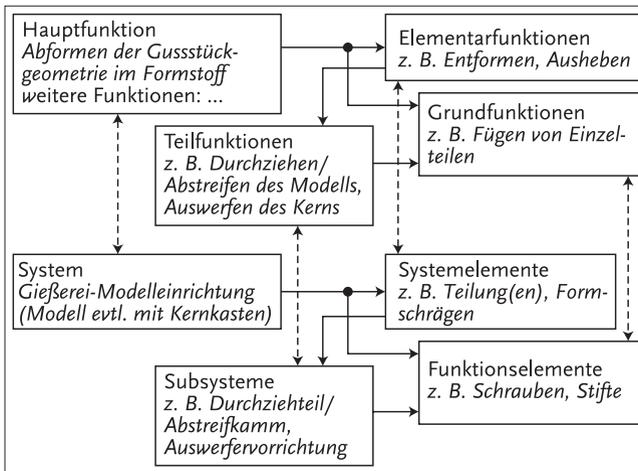


Abb. 4-3: Strukturierungsmöglichkeit des technischen Systems „Gießerei-Modellereinrichtung“.

An dieser Stelle sei explizit auf die Unterscheidung der Elementarfunktionen und der Grundfunktionen sowie der Systemelemente und der Funktionselemente hingewiesen. Die Elementarfunktionen werden durch entsprechende Systemelemente an der Gießerei-Modellereinrichtung realisiert, es sind aber keine eigenständigen Elemente, sondern spezifische urformtechnische Elemente, die untrennbar mit der Gießerei-Modellereinrichtung verbunden sind. Dagegen sind Funktionselemente separate Elemente, die jeweils bestimmte Grundfunktionen erfüllen, d. h. Schrauben fügen beispielsweise Einzelteile der Gießerei-Modellereinrichtung (System) und der Auswerfervorrichtung (Subsystem) zusammen.

Im Rahmen der Sachentstehung „Gießerei-Modellereinrichtung“ (Abb. 4-2) des soziotechnischen Handlungssystems ist es erforderlich, eine vollständige Übersicht hinsichtlich der nachgelagerten Fertigungsprozessstufen von Gießerei-Modellereinrichtungen zu erstellen. Dies erfolgt mithilfe umfangreicher Literatur- und Datenbankenrecherchen, bei denen die Elementarfunktionen und die

Systemelemente ermittelt und anschließend den jeweiligen Fertigungsprozessstufen zugeordnet (Abb. 4-4 und Abb. 4-5) werden.

Diese von mir entwickelte vollständige Übersicht ist in dieser erweiterten Form in der (Fach-)Literatur nicht zu finden und dient als Grundlage für die weiteren Betrachtungen des Konstruktionsprozesses.

Als Darstellungsform für die Übersicht wird der Problemlösebaum – auch Funktionsbaum genannt – ausgewählt, welcher eine spezielle Form des semantischen Netzwerkes ist und besonders als Hilfsmittel zur übersichtlichen Darstellung komplexer Sachverhalte geeignet ist. Anzumerken ist, dass semantische Netzwerke allgemein anerkannte Repräsentanten für das deklarative Wissen sind (vgl. Anderson 2001, S. 153; Hacker 1992, S. 45; Dörner 1987, S. 31 und Schmid/Kindsmüller 1996, S. 35).

Alle Systemrealisierungen der Abb. 4-4 und Abb. 4-5 – außer der Teilung – sind sogenannte „Zugaben“. Diese Zugaben sind fertigungsspezifische, auf das Fertigungsverfahren „Gießen“ bezogene Veränderungen der Gussstückgeometrie (Abb. 1-2), welche von dem Technischen Modellbauer an der Gießerei-Modelleinrichtung berücksichtigt werden müssen. In der Fachliteratur und in dieser Dissertation werden die „Zugaben“ als „Modellzugaben“ bezeichnet, auch wenn sie am bzw. im Kernkasten angebracht sind.

Beim Verwendungszusammenhang von Gießerei-Modelleinrichtungen wird in der Fertigungsprozessstufe 1 unterschieden zwischen

- direkten Modellzugaben, d. h. mit der Gießerei-Modelleinrichtung wird die Form hergestellt (formtechnische Modellzugaben) sowie
- indirekten Modellzugaben, d. h. durch das Abformen der Gießerei-Modelleinrichtung und das anschließende Abgießen werden die Modellzugaben auf das Gussstück „übertragen“ (gießtechnische Modellzugaben).

Aufgrund dieser Erkenntnis wird aus didaktischen Gründen der Gussstückfertigungsprozess in form- und gießtechnische Modellzugaben (Abb. 4-4) unterteilt.

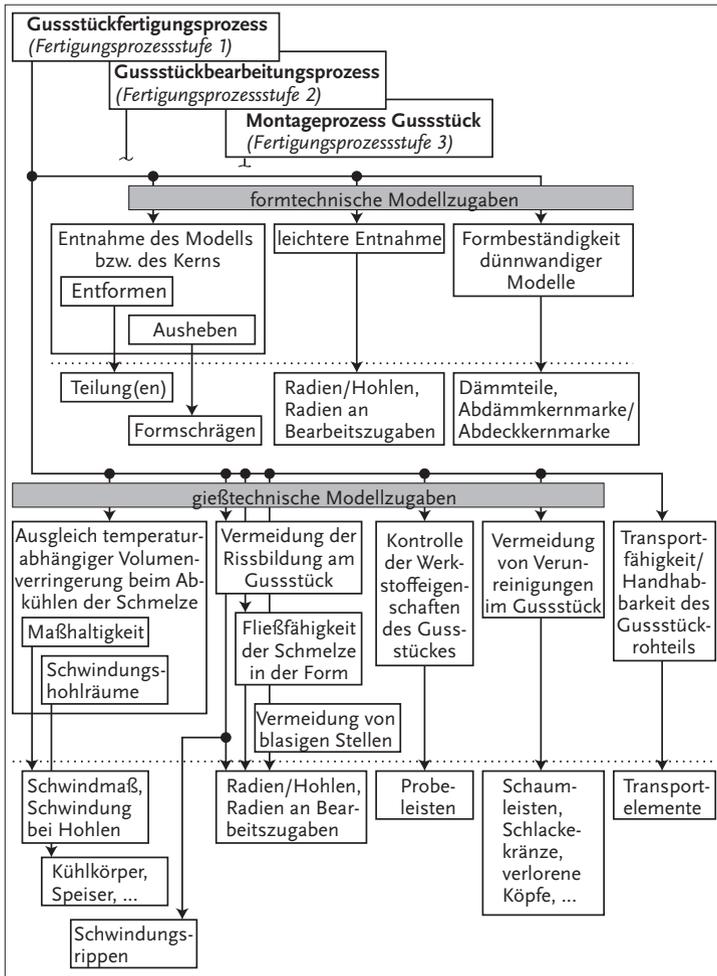


Abb. 4-4: Übersicht der Elementarfunktionen mit dazugehörigen Systemelementen bei Gießerei-Modelleinrichtungen hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken (Teil 1) (Neumann 2007b, S. 86 und 2007c, S. 7).

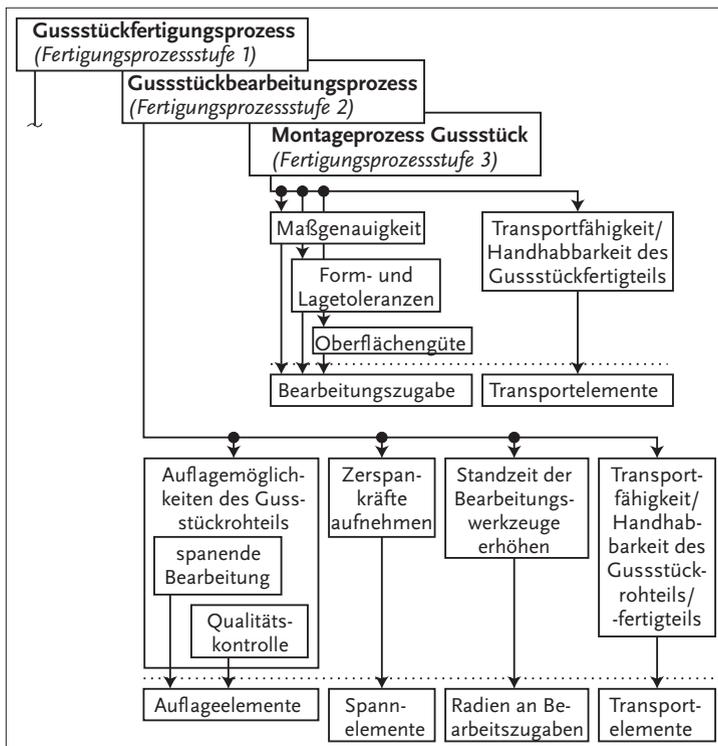


Abb. 4-5: Übersicht der Elementarfunktionen mit dazugehörigen Systemelementen bei Gießerei-Modelleinrichtungen hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken (Teil 2).

Die Abb. 4-4 und Abb. 4-5 stellen allgemeingültige deskriptive Übersichten dar, d.h. für jeden Auftrag muss eine auftragspezifische Funktionsstruktur festgelegt werden.

Der exemplarischen Ableitung von Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die Elementarfunktion „Entformen“ kommt eine besondere Bedeutung zu, da diese derzeit durch CA-Techniken nicht weiter zu rationalisieren ist (vgl. Ambos/Richter 1995, S.2). Umfragen bei Technischen Modellbau- und Gießereibetrieben in Norddeutschland haben ergeben, dass bis heute keine entsprechenden CA-Module eingesetzt werden, die „automatisch“ die Teilung(en) generieren können. Vereinzelt werden zwar Entformungsanalysen bzw. -simulationen durchgeführt sowie ausgehend von der Teilungslinie Teilungsflächen „automatisch“ generiert, doch werden die Teilung(en) ansonsten

ausschließlich manuell, oftmals mithilfe von CAD-Systemen, vom Technischen Modellbauer festgelegt und ankonstruiert.

Aus didaktischen Gründen wird für die Elementarfunktion „Entformen“ eine systemtheoretische Zweck-Mittel-Darstellung ausgewählt, da sie ein allgemeines Denkprinzip zur Strukturierung handlungsrelevanter Aussagen darstellt und somit in erster Linie

- für die Strukturierung (logischer innerer Strukturaufbau) der Elementarfunktion „Entformen“ und
- für die optimale Regulation des Konstruktionsprozesses

von großer Bedeutung ist.

Die systemtheoretische Zweck-Mittel-Darstellung für die Elementarfunktion „Entformen“ (Abb. 4-6) ist anwendbar für die gesamte Produktgruppe „Gießerei-Modelleinrichtung“ und hat somit einen allgemeingültigen Charakter für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen, d. h. aufgrund der Objekt- und Inhaltsunabhängigkeit kann der Inhalt auf die verschiedensten Aufgabenstellungen transferiert werden. Die Volllinien stellen in diesem Zusammenhang die Relationen der Systemelemente untereinander und die Strichlinien rückwirkende Relationen dar. Exemplarisch erläutert wird dies für die Kernmarke und eine eventuell erforderliche Kernsicherung, die sowohl im Kernkasten als auch am Modell – vergrößert um das Kernlagerspiel – vorhanden sind und entformbar sein müssen. Deren geometrische Gestalt aber von der Kerngeometrie des Kernkastens bestimmt wird.

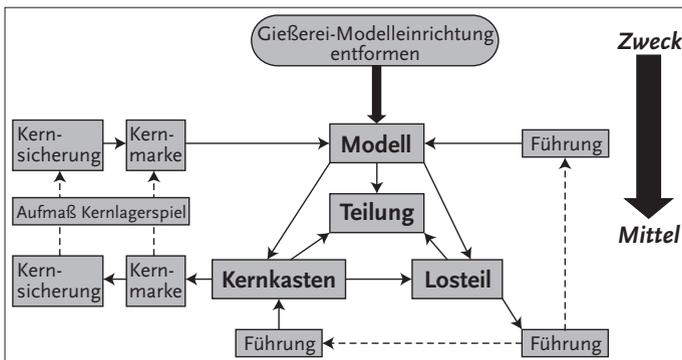


Abb. 4-6: Systemtheoretische Zweck-Mittel-Darstellung für die Elementarfunktion „Entformen“ – eine allgemeine Wirkstruktur.

Eine nähere Erläuterung bezüglich der Anwendung bzw. Handhabbarkeit der systemtheoretischen Zweck-Mittel-Darstellung (Abb. 4-6) ist dem Programm-

ablaufplan (Abb. 4-8) im Kapitel 4.2.2 zu entnehmen, welcher sich stärker auf den zu vollziehenden Prozess der Objektstruktur orientiert. Die systemtheoretische Zweck-Mittel-Darstellung orientiert sich dagegen stärker auf das verfügbare Objektwissen und kann daher als alleinige Anleitung zum Konstruieren nicht genügen. Auch dann nicht, wenn sie geprägt ist durch eine problemorientierte Objektanalyse, die einer gedanklichen Logik zum Erreichen von gesetzten Zielen folgt.

An dieser Stelle muss der Frage nachgegangen werden, wo die Gießerei-Modelleinrichtungen – also das Modell und der Kernkasten – eigentlich geteilt werden. In fast allen Fachbüchern werden keine näheren Angaben bzw. Definitionen gegeben. Die Definition von Erdmann und Reinkensmeier – dies ist die mir am geeignetsten erscheinende – lautet: „Da das Modell nach dem Einförmigen aus der Form gezogen werden muss, kann dies nur über seinen größten Querschnitt erfolgen, der auf der Teilung liegt. Hier fallen Modellteilung und Formteilung technisch in eine Ebene zusammen“ (Erdmann/Reinkensmeier o. J., S. 18; vgl. Roller 2006, S. 246). Diese Definition ist aus didaktisch-methodischer Sicht für die projektorientierte Aufgabe „Schleifbock“ geeignet, hat aber folgende Einschränkungen hinsichtlich einer Allgemeingültigkeit:

- Sie gilt nur, wenn Modell- und Formteilung deckungsgleich in einer Ebene liegen – dies trifft aber in den seltensten Fällen zu und
- Kernkästen und Losteile werden vernachlässigt.

Diese Einschränkungen werden exemplarisch an der dritten Konstruktionsaufgabe der empirischen Untersuchung (siehe Anlage 16.5) verdeutlicht. Bei der Referenzlösungsvariante B (siehe Anlage 16.6), bei der die Modell- und Formteilung in einer nicht deckungsgleichen Ebene liegen, wird das Modell über den größten Flächenquerschnitt der Form entnommen. Die Teilung des Modells erfolgt aber an dem kleinsten Flächenquerschnitt (durch die sechs „Steg“). Bei der Referenzlösungsvariante A, die einen Kernkasten vorsieht, ist dies analog, d. h. die Teilung des Kernkastens erfolgt am kleinsten Flächenquerschnitt (durch die sechs „Steg“) und wird über den größten Flächenquerschnitt des Kerns entnommen.

Daraus ergibt sich folgende Definition für die Festlegung von Teilungen an Gießerei-Modelleinrichtungen:

Die Entnahme des Modells aus der Form sowie des Kerns aus dem Kernkasten erfolgt über einen größten (ebenen) Flächenquerschnitt der Form sowie des Kerns und wird bei unebenen Teilungen auf einen größten (ebenen) Flächenquerschnitt der Form bzw. des Kerns projiziert. Die Teilung(en) der Modelle und der Kernkästen sind entsprechend dieser Bedingungen vorzunehmen.

4.2.2 Lösungsansätze für das Prozesswissen zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen – eine Wissenskompilierung

Die Struktur des Konstruktionsprozesses erscheint zuerst einzig durch das Objekt bestimmt, bei der der Betrachter ausgeschlossen ist, d. h. bei Gießerei-Modelleinrichtungen als Lernobjekt richtet sich das Interesse auf den logischen inneren Strukturaufbau, in diesem Fall auf die der Elementarfunktion „Entformen“ (Abb. 4-6). Doch ein Konzept der Art, die Lernobjektstruktur dem Lernenden deshalb in mehr oder weniger vereinfachter Form vermitteln zu wollen, reicht bei weitem nicht aus. Nur eine Verbindung der Lernsubjektstruktur – die Denk- und Handlungsstrukturen der Lernenden – mit der Lernobjektstruktur – der Struktur der Gießerei-Modelleinrichtung – scheint geeignet zu sein. „Diese Abstimmung der Lernobjekt- und Lernsubjektstruktur kann als didaktische Inhalts- und Themenstrukturierung bezeichnet werden“ (Pahl 2000, S. 85). Mit anderen Worten: Es geht in diesem konkreten Fall zum einen um das Finden der (inneren) Zusammenhänge für die Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen und zum anderen um das Ausarbeiten optimaler Wege für deren Realisierung.

Für die Elementarfunktion „Entformen“ erfolgt die Verbindung von Lernobjekt- und Lernsubjektstruktur auf der Grundannahme (Abb. 3-21), dass die objektspezifischen Merkmale der Elementarfunktion „Entformen“ auf der vertikalen Konstruktionsprozessebene in Form der systemtheoretischen Zweck-Mittel-Darstellung (Abb. 4-6) und die Art und Weise, wie der Mensch die Festlegung dieser Merkmale vornimmt, auf der horizontalen Konstruktionsprozessebene in Form des allgemeinen Vorgehenszyklus (Abb. 3-17, links) angesiedelt sind. Die Verbindung der beiden Konstruktionsprozessebenen erfolgt in Form einer dreidimensionalen Darstellung (Abb. 4-7).

Diese dreidimensionale Darstellungsform mit der expliziten Unterteilung des Konstruktionsprozesses in vertikale und horizontale Ebenen stellt die Verbindung von Lernobjekt- und Lernsubjektstruktur besonders deutlich und eindrucksvoll dar und ist Ausgangsbasis für die weiteren Betrachtungen in diesem Kapitel. Die meisten in der Fachliteratur anzutreffenden Darstellungen sind zweidimensional, bei denen unterstellt wird, dass die Detaillierungsebenen nur aus operativen Arbeitsschritten bestehen (Abb. 3-22). Dies ist in der Praxis fast nie der Fall, da es Detaillierungsebenen im vertikalen Ablauf gibt, denen entsprechende horizontale Prozesse zugeordnet werden können.

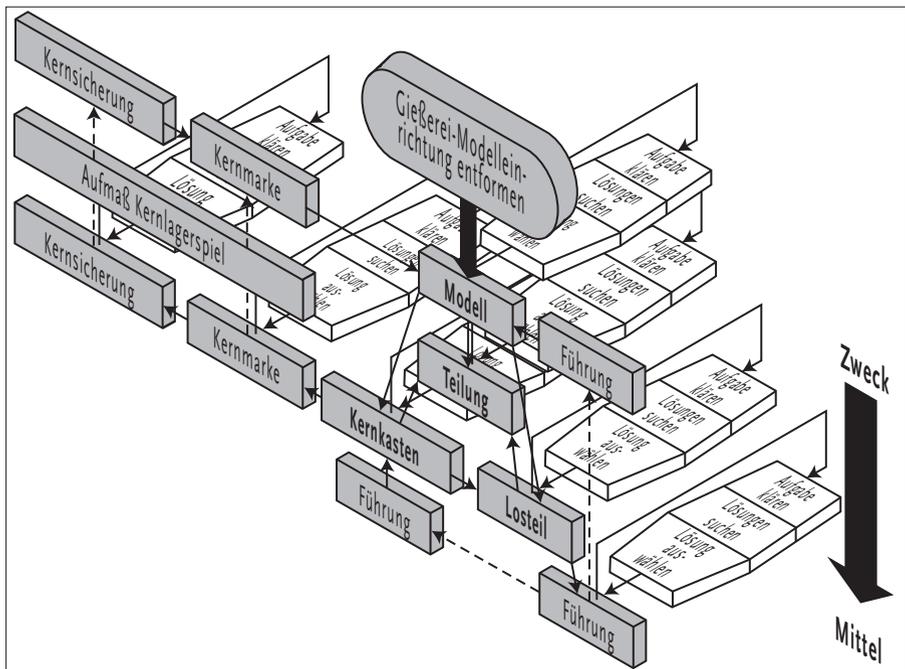


Abb. 4-7: Verbindung der Lernobjektstruktur der Elementarfunktion „Entformen“ in Form einer systemtheoretischen Zweck-Mittel-Darstellung (vertikale Konstruktionsprozessebene) und der Lernsubjektstruktur in Form von allgemeinen Vorgehenszyklen (horizontale Konstruktionsprozessebene).

Der logische innere Strukturaufbau der Elementarfunktion „Entformen“ stellt die vertikale Konstruktionsprozessebene (Abb. 4-7) dar und ist quasi nur die Beschreibung der Konstruktionstätigkeit in Form einer „äußeren“ (Oberflächen-)Struktur“ (Hacker 2005, S. 175) und hat einen vermittelnden Ursprung bzw. die Funktion einer deklarativen Wissensencodierung. Dieses reicht zur vollständigen und erklärenden Charakterisierung der Konstruktionstätigkeit hinsichtlich der Objektstruktur jedoch nicht aus. Die „psychische („innere“) Struktur“ (Hacker 2005, S. 174) einer Konstruktionstätigkeit ist das Gefüge und die Beschaffenheit jener psychischen Sachverhalte, die zur Erfüllung einer Konstruktionsaufgabe durch den Technischen Modellbauer in einer bestimmten Ablauforganisation wirksam werden. Eine Folge der Zielgerichtetheit ist diese psychische Struktur insofern, als sie sich aus der Aufgabenstellung ergibt und sich mit ihr verändert. Die psychische Struktur kann also nicht einfach durch eine Aufzählung dessen, was der Technische Modellbauer sichtbar tut, gekennzeichnet werden, auch dann nicht, wenn diese sichtbaren Verrichtun-

gen im Zusammenhang ihres Ablaufs in Form von Relationen (Abb. 4-6) dargestellt werden (vgl. Hacker 2005, S. 174).

Aus diesem Grund

- wird für die Darstellung der Ablauforganisation der Objektstruktur ein Programmablaufplan für die Elementarfunktion „Entformen“ entwickelt (Abb. 4-8), da er sich am zu vollziehenden Prozess der Objektstruktur orientiert und
- werden für die Darstellung der Lernsubjektstruktur produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten entwickelt, welche als anerkannte Repräsentanten für das prozedurale Wissen gelten (vgl. Aebli 1997, S. 191; Anderson 2001, S. 252; Hacker 1992, S. 33 und Schmid/Kindsmüller 1996, S. 31).

Die Darstellung der Ablauforganisation der Objektstruktur erfolgt für die vertikale Konstruktionsprozessebene mithilfe eines Programmablaufplans, bei dem eine synchronisierte parallele Verarbeitung hinsichtlich der Entformbarkeit von Modellen, Kernkästen und Losteilen vorzunehmen ist (Abb. 4-8). Diese Vorgehensweise wurde für die Darstellung ausgewählt, da insbesondere bei erfahrenen Technischen Modellbauern dies zu erwarten ist. Sollte aber aus Komplexitätsgründen diese synchronisierte parallele Verarbeitung nicht oder nur in einem sehr geringen Umfang möglich sein, wie es bei Novizen zu erwarten ist, kann eine sequenzielle Vorgehensweise im Programmablaufplan gewählt werden, welche mit dem Modell und gegebenenfalls dessen Teilung beginnt. Sind weitere Zweige aus formtechnischen Gründen erforderlich, ist die Reihenfolge durch die Aufgabenstellung vorgegeben, wie beispielsweise das Abformen des Modells von Hand (Losteil möglich) oder mithilfe von Formmaschinen (Losteil nicht erlaubt). Eine abschließende Überprüfung hinsichtlich der Kombination der einzelnen Zweige ist aber in jedem Fall erforderlich.

Ist eine Entformung der vorgegebenen Gussstückgeometrie nicht möglich, so muss diese überarbeitet werden.

Die Programmrückführungsschleifen für Losteile am Modell bzw. im Kernkasten und deren Führungen sowie für Kernmarken und für Kernsicherungen stellen rückwirkende Relationen der Systemelemente dar und sind in der systemtheoretischen Zweck-Mittel-Darstellung (Abb. 4-6) als Strichlinien dargestellt. Sie werden dort näher erläutert.

Der Einsatz von Arbeitshilfen während des Konstruktionsprozesses ist in dem Programmablaufplan an den entsprechenden Stellen vermerkt und in Form von Arbeitsblättern in den Anlagen 11 bis 14 zu finden.

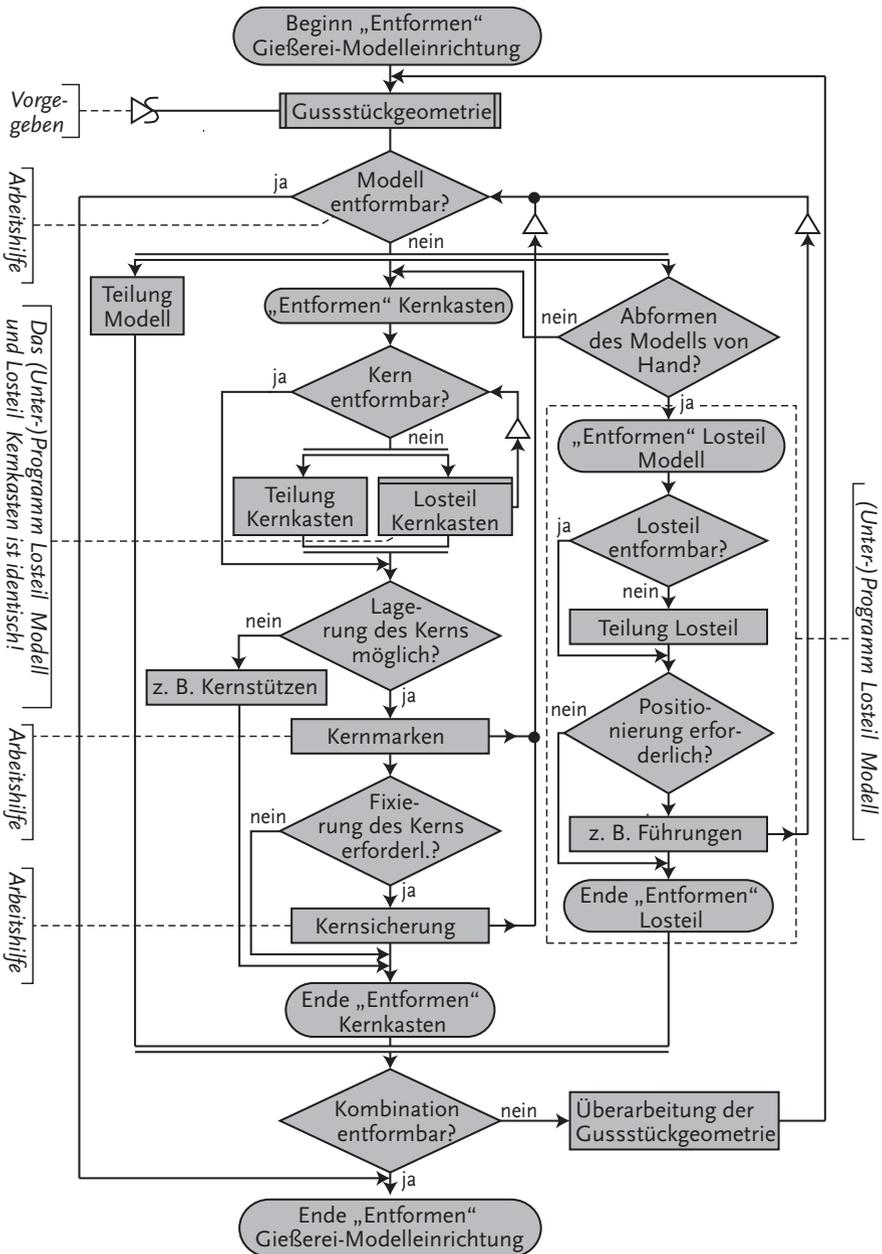


Abb. 4-8: Programmablaufplan für die Elementarfunktion „Entformen“.

Zusammenfassend kann bisher formuliert werden, dass Konstruktionstätigkeiten in der Regel eine objektive Logik bzw. Sachlogik der Konstruktionsgegenstände und teilweise auch deren Arbeitshilfen berücksichtigen müssen. Konstruktionstätigkeiten können somit nicht mit beliebigen Ausführungsweisen zu beliebigen Zeitpunkten realisiert werden. Dies bedeutet, dass Inhalte und Strukturen von Konstruktionstätigkeiten in unterschiedlicher Intensität durch die objektiven Gesetzmäßigkeiten der Konstruktionsgegenstände und – wo genutzt – deren Arbeitshilfen bestimmt werden. Diese objektiven Gesetzmäßigkeiten müssen vom Technischen Modellbauer erkannt und als tätigkeitsleitende (operative) Gedächtnisrepräsentation bewahrt werden, damit sie optimal genutzt werden können.

Die Darstellung der Lernsubjektstruktur für die horizontale Konstruktionsprozessebene erfolgt in einem ersten Entwicklungsschritt in Form eines allgemeinen produktspezifischen Vorgehensmodell für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Abb. 4-9), aus dem in einem zweiten Schritt spezielle Vorgehensmodelle für die Elementarfunktion „Entformen“ (Abb. 4-10 bzw. siehe Anlage 10.1 bis 10.6) abgeleitet werden.

Ausgangspunkt für das allgemeine produktspezifische Vorgehensmodell für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen ist der Vorgehenszyklus (Abb. 3-17, links), der Problemlösezyklus (Abb. 3-17, rechts) und die VVR-Einheit (Abb. 3-15). Alle drei Vorgehensmodelle haben eine Gemeinsamkeit, nämlich die linearisierte und ineinander verschachtelte Anordnung von TOTE-Einheiten (Abb. 3-13). Im weiteren Verlauf der Dissertation werden die produktspezifischen Vorgehensmodelle als produktspezifische VVR-Einheiten bezeichnet, da die inhaltliche Orientierung darauf, woher die Ziele stammen, von großer Bedeutung, insbesondere aus didaktischer Sicht, sind. Der Grund dafür ist die Integration der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken in den Konstruktionsprozess von Gießerei-Modelleinrichtungen (Abb. 2-3).

Die allgemeine produktspezifische VVR-Einheit für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Abb. 4-9) besteht aus fünf sequenziell angeordneten TOTE-Einheiten. Die drei ersten TOTE-Einheiten stellen das Grundmuster des allgemeinen Vorgehenszyklus dar, der die Notwendigkeit der Iteration, der Rücksprünge zu einer vorhergehenden TOTE-Einheit im Vorgehenszyklus und die an die Situation angepasste Anwendung betont. Der Vorgehenszyklus hat die Aufgabe, die Aufgabenstellung zu klären, Lösungen zu suchen und auszuwählen. Damit wird der kreativ-konstruktive Teil des Konstruktionsprozesses berücksichtigt. Doch ist dies insbesondere aus didaktischer Sicht nicht ausreichend, da Teillösungen nicht wirklich isoliert betrachtet werden können, sondern nur in einem Gesamtzusammenhang von Gießerei-Modelleinrichtung und Gussstück. Dementsprechend stellt der Vorgehenszyklus den Operationsteil ei-

ner weiteren TOTE-Einheit bezüglich des Gesamtzusammenhangs auf der Ebene der Gießerei-Modelleinrichtung dar (TOTE 4). Diese vierte TOTE-Einheit ist wiederum der Operationsteil einer weiteren TOTE-Einheit bezüglich des Gesamtzusammenhangs auf der Ebene des Gussstückes (TOTE 5), d.h. nur so können die Genese und die Implikationszusammenhänge hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs deutlich gemacht sowie eine Überprüfung der Teilziele und der Ziele auf der übergeordneten Gesamtzusammenhangsebene sichergestellt werden. Somit besitzt die allgemeine produktspezifische VVR-Einheit eine hierarchische Struktur, bei der ein und dasselbe Schema auf unterschiedlichen Problemebenen zur Anwendung kommt. Dies ist unter anderem eine entscheidende Voraussetzung für die eigenständige Anwendung jeder einzelnen produktspezifischen VVR-Einheit im Unterricht bzw. bei Lehrveranstaltungen.

Die unterschiedlichen Problemebenen besitzen

- Teilziele, sie beziehen sich meistens auf die Elementarfunktionen der Gießerei-Modelleinrichtung (Abb. 4-4 und Abb. 4-5) wie beispielsweise auf das Entformen des Modells aus der Form,
- Ziele, sie beziehen sich auf die Lebensphasen der Gießerei-Modelleinrichtung (Abb. 4-1) wie beispielsweise die herstellungsgerechte und funktionsgerechte Konstruktion einer Gießerei-Modelleinrichtung und
- Oberziele, sie beziehen sich auf die Lebensphasen des Gussstückes (Abb. 4-1) wie beispielsweise die fertigungsgerechte Gestaltung von Gussstücken, ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften des Gussstückes.

Die allgemeine produktspezifische VVR-Einheit für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen ist ein ergebnisrückwirkender Kreisprozess, der durch die Wellenlinienpfeile gekennzeichnet ist (Abb. 4-9). Ursache dafür sind die Oberziele, mit den daraus unter anderem resultierenden Systemelementen der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken (Abb. 4-4 und Abb. 4-5), die bei der Konstruktion der Gießerei-Modelleinrichtung integriert werden müssen und somit die Ausführungsbedingungen der Gießerei-Modelleinrichtung maßgebend vorgeben.

Von der allgemeinen produktspezifischen VVR-Einheit für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Abb. 4-9) werden in einem zweiten Entwicklungsschritt produktspezifische VVR-Einheiten für die Elementarfunktion „Entformen“ abgeleitet. Denen werden wiederum sachverhaltsgleiche ZBM-Einheiten gegenübergestellt (Abb. 4-10 bzw. siehe Anlage 10.1 bis 10.6), da Handlungen grundsätzlich durch zwei Aspekte ein und desselben Sachverhalts

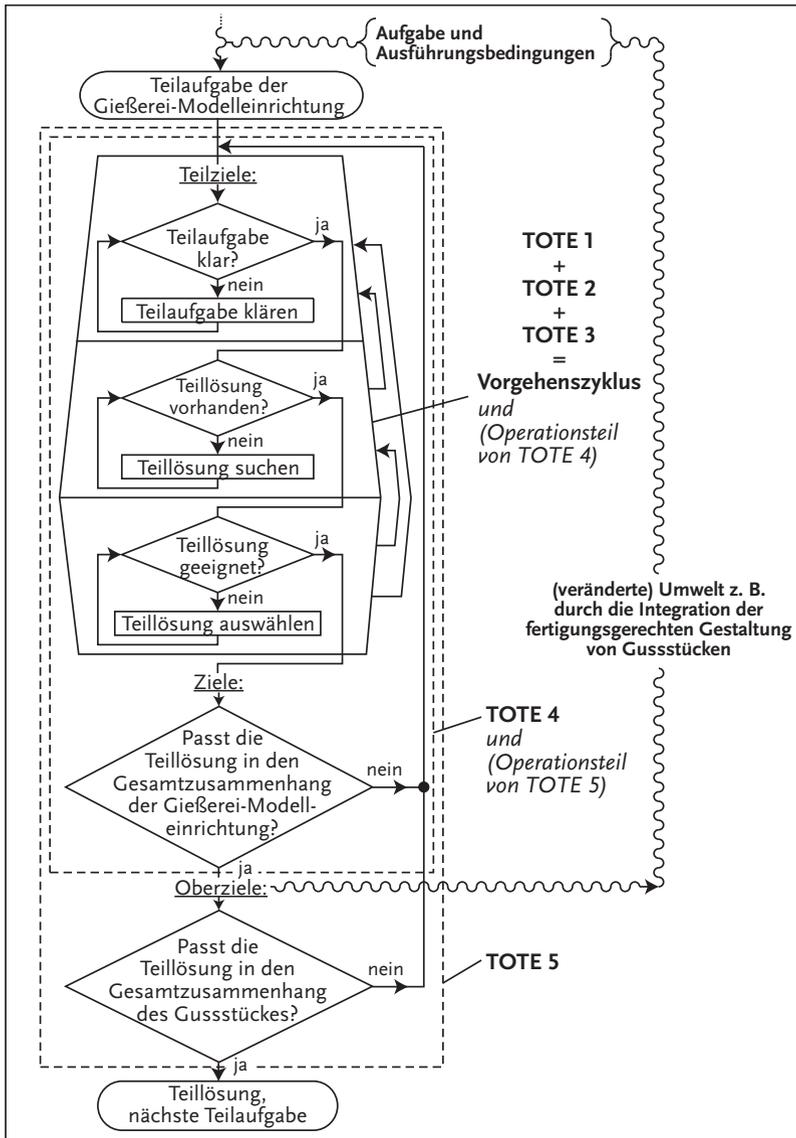


Abb. 4-9: Allgemeine produktspezifische VVR-Einheit für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen – ein ergebnisrückwirkender Kreisprozess.

in zwei unterschiedlichen Regulationseinheiten dargestellt werden können, dies ist einerseits

- die VVR-Einheit, bei der die Betonung auf dem prozeduralen Aspekt der psychischen Regulation liegt, d. h. man nimmt sich etwas vor, verändert und koppelt vergleichend zurück sowie anderseits
- die ZBM-Einheit, bei der der inhaltliche Aspekt, also der Frage nachgegangen wird, was vorgenommen und wodurch verändert wird (siehe Kapitel 3.3.3.1).

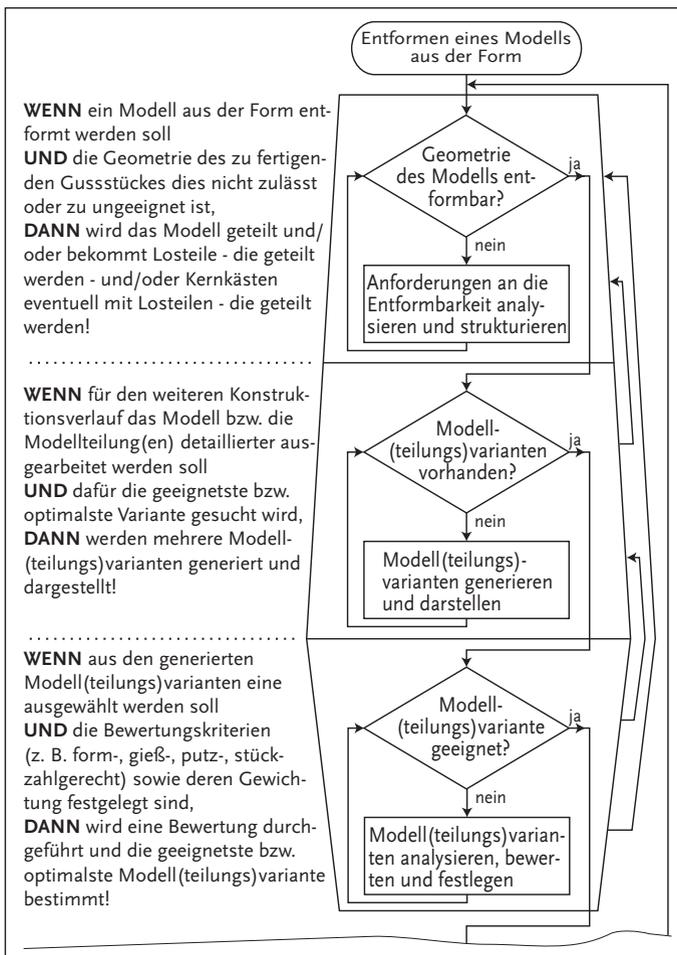
Die sachverhaltsgleiche Gegenüberstellung der produktspezifischen VVR-Einheiten für die Elementarfunktion „Entformen“ mit den dazugehörigen ZBM-Einheiten sind des weiteren für die anschließende empirische Untersuchung von großer Bedeutung, da aus experimentellen Untersuchungen zur handlungsbezogenen Organisation bekannt ist, dass Handlungswissen in Form von ZBM-Einheiten wiedergegeben wird – dies betrifft sowohl Experten als auch Novizen (vgl. Hacker 1992, S. 50). Auch bei sehr präzisen Arbeitsbeobachtungen besteht nur dann ein nützlicher Zugang zu den internen Denkprozessen, wenn enge Beziehungen zwischen den ausgesprochenen und/oder beobachteten Handlungen und den Denkopoperationen bestehen (vgl. Hacker 2005, S. 583). Dies bedeutet, dass durch die Gegenüberstellungen von produktspezifischen VVR-Einheiten mit den dazugehörigen ZBM-Einheiten der prozedurale Aspekt des Konstruktionsprozesses leichter bzw. überhaupt erst zu erkennen ist bzw. die Implikationszusammenhänge des Handlungswissen in seinen inhaltlichen und prozeduralen Aspekten aufgedeckt und transparenter werden, welches letztendlich eine Voraussetzung für die Entwicklung entsprechender Lernprozesse ist.

Die sechs für die Elementarfunktion „Entformen“ erforderlichen – sich inhaltlich selbst erklärenden – produktspezifischen VVR-/ZBM-Einheiten sind:

- Entformen eines Modells aus der Form (Abb. 4-10 bzw. siehe Anlage 10.1),
- Entformen eines Kerns aus dem Kernkasten (siehe Anlage 10.2),
- Lagerung des Kerns in der Form (siehe Anlage 10.3),
- Fixierung des Kerns in der Form (siehe Anlage 10.4),
- Entformen eines Losteils aus der Form oder vom Kern (siehe Anlage 10.5) und
- Positionierung eines Losteils am Modell oder im Kernkasten (siehe Anlage 10.6).

Anzumerken ist, dass für das Systemelement „Teilung“ keine separaten VVR-/ZBM-Einheiten erforderlich sind, da diese in die erst-, zweit- und fünfgenannte VVR-/ZBM-Einheiten integriert sind.

Abschließend erfolgt die Verbindung der Lernobjektstruktur mit der Lernsubjektstruktur für die Elementarfunktion „Entformen“ (Abb. 4-11) auf der Basis der Erkenntnisse der Abb. 4-7, bei der die systemtheoretische Zweck-Mittel-Darstellung der vertikalen Konstruktionsprozessebene ersetzt wird durch den Programmablaufplan (Abb. 4-8) und die allgemeinen Vorgehenszyklen auf der horizontalen Konstruktionsprozessebene ersetzt werden durch die produktspezifischen VVR-/ZBM-Einheiten (Abb. 4-10 bzw. siehe Anlage 10.1 bis 10.6).



WENN ein Modell aus der Form entformt werden soll
UND die Geometrie des zu fertigenden Gussstückes dies nicht zulässt oder zu ungeeignet ist,
DANN wird das Modell geteilt und/oder bekommt Loseile - die geteilt werden - und/oder Kernkästen eventuell mit Loseilen - die geteilt werden!

WENN für den weiteren Konstruktionsverlauf das Modell bzw. die Modellteilung(en) detaillierter ausgearbeitet werden soll
UND dafür die geeignetste bzw. optimalste Variante gesucht wird,
DANN werden mehrere Modell-(teilungs)varianten generiert und dargestellt!

WENN aus den generierten Modell-(teilungs)varianten eine ausgewählt werden soll
UND die Bewertungskriterien (z. B. form-, gieß-, putz-, stückzahlgerecht) sowie deren Gewichtung festgelegt sind,
DANN wird eine Bewertung durchgeführt und die geeignetste bzw. optimalste Modell-(teilungs)variante bestimmt!

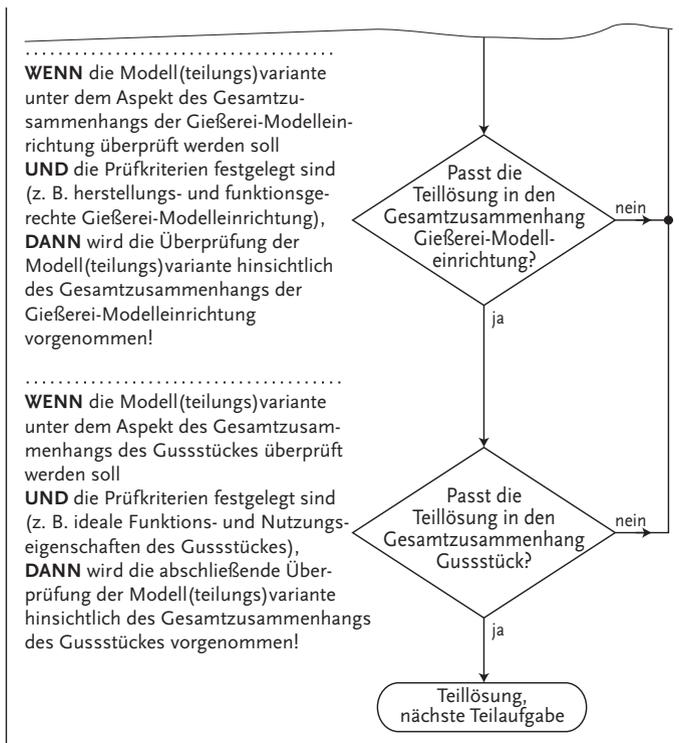


Abb. 4-10: Produktspezifische VVR-Einheit für das Entformen eines Modells aus der Form mit dazugehörigen ZBM-Einheiten.

Zusammenfassend kann formuliert werden, dass diese dreidimensionale Darstellung des prozeduralen Wissens (Abb. 4-11) den vernetzten und verschachtelten Charakter der Vorgehensweise während des Konstruktionsprozesses in besonderer Weise zum Vorschein treten lässt. Sie ist ganzheitlich, übersichtlich und verfügt über unterschiedliche Konstruktionsprozessebenen, um die Kompliziertheit fassbarer sowie die Komplexität durchschaubarer werden zu lassen. Sie ist einfach zu verstehen, ohne dabei die Kompliziertheit und Komplexität der Problemlösung zu schmälern oder zu vernachlässigen.

4.2.3 Ein Rahmenmodell zur Bewältigung von Konstruktionsproblemen bei Gießerei-Modelleinrichtungen

Das Prozessmodell zur Entwicklung von Problemlösefähigkeit beim Konstruieren nach Fletcher (Abb. 3-25) bildet die Ausgangsbasis für die Modellierung eines Rahmenmodells zur konstruktiven Problemlösung für die Produktgruppe „Gießerei-Modelleinrichtung“ (Abb. 4-12), bei dem das zustande kommende Wissen von unterschiedlicher kognitiver Qualität und disziplinärer Herkunft miteinander zu verflechten ist.

Konstruktive Probleme im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei sind meist sehr komplexe, ineinander verwobene Hierarchien, die nur mit einer größeren Anzahl von Partialmodellen dargestellt werden können. Nur durch diese sequenzielle Vorgehensweise ist der Technische Modellbauer überhaupt in der Lage, komplexe Konstruktionsprobleme zu überblicken, aufzuzeigen, anzuwenden und zu lösen, d. h. die Zwischenzielbildung und sequenzielle Vorgehensweise ist die Folge aus der Begrenztheit der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses. Aus diesem Grund ist die hierarchische Beschreibung von Wissen auf der Basis einer größeren Anzahl von Partialmodellen eine gute Basis für eine effiziente opportunistische Vorgehensweise und sollte daher genutzt werden (vgl. Hacker 1992, S. 49).

Das Rahmenmodell (Abb. 4-12) zeigt exemplarisch für die Elementarfunktion „Entformen“ die Implikationszusammenhänge hinsichtlich der Konstruktion der Gießerei-Modelleinrichtung auf (dicke schwarze Pfeile). An dieser Stelle sei ausdrücklich erwähnt, dass die Erläuterung der einzelnen Partialmodelle den jeweiligen Kapiteln zu entnehmen ist.

Ausgangspunkt des Rahmenmodells ist der von mir entwickelte dreidimensionale Vorgehensplan mit den dazugehörigen Vorgehenszyklen (Abb. 3-23), wobei der Schwerpunkt der Betrachtungen in dieser Dissertation die frühen Hauptphasen des Konstruktionsprozesses sind, da gerade beim Klären der Aufgabenstellung und dem Konzipieren den prozessorientierten Aspekten eine hohe Bedeutung zukommt.

Die Phasen des Wissenserwerbs sind aus Platzgründen nebeneinander angeordnet und setzen sich aus folgenden, von mir entwickelten Partialmodellen zusammen:

- Deklarativ encodiertes Wissen
 - Gesamtzusammenhänge der übergeordneten Arbeitsprozesse aus Sicht des Technischen Modellbaus der Fachrichtung Gießerei (Abb. 4-1).

- Vollständige Übersicht der Elementarfunktionen mit dazugehörigen Systemelementen bei Gießerei-Modelleinrichtungen hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung von Gussstücken (Abb. 4-4 und Abb. 4-5), welche ein Teil der Sachentstehung von Gießerei-Modelleinrichtungen in einem soziotechnischen Handlungssystem (Abb. 4-2) ist.
- Systemtheoretische Zweck-Mittel-Darstellung für die Elementarfunktion „Entformen“ (Abb. 4-6).
- Definition für die Festlegung von Teilungen an Gießerei-Modelleinrichtungen.
- Wissenskompilierung
 - Dreidimensionaler Programmablaufplan der Elementarfunktion „Entformen“ mit den produktspezifischen VVR-/ZBM-Einheiten (Abb. 4-11).
- Arbeitshilfen
 - Kernarten (siehe Anlage 11).
 - Kernsicherungen (siehe Anlage 12 und 13).
 - Verfahren zur Aufgliederung und Verknüpfung der Gussstückgeometrie (siehe Anlage 14).

Diese Unterteilung des Wissenserwerbs ist besonders wichtig, da einiges dafür spricht, dass sich Spitzenkünstler von Durchschnittskünstlern gerade durch das Prozedurwissen („Wissen wie“) unterscheiden (vgl. Hacker 2005, S. 370), und dass „ein wesentlicher Teil der Besonderheiten der Leistungsvoraussetzungen von Künstlern lehrbar ist“ (Hacker 1992, S. 26). Daraus resultiert, dass dieses Expertenwissen erfasst und entsprechend den Voraussetzungen den Lernenden didaktisch-methodisch überarbeitet zur Verfügung zu stellen ist.

Ein wichtiger Aspekt bei der Modellierung von Rahmenmodellen bzw. von Vorgehensmodellen ist, die Notwendigkeit bei aller Aufbereitung von Problemlösungsprozessen durch methodische Vorgehensmodelle und Arbeitshilfen keinen Dirigismus aufkommen zu lassen bzw. zuzulassen, denn das ist das sicherste Mittel, kreative Fähigkeiten im Menschen zu lähmen. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass praktische Problemlöseprozesse beim Konstruieren fast immer komplexe Abläufe sind, in denen intuitive und diskursive Schritte einander abwechseln und das diskursive Denken vorzugsweise durch Methoden unterstützt wird.

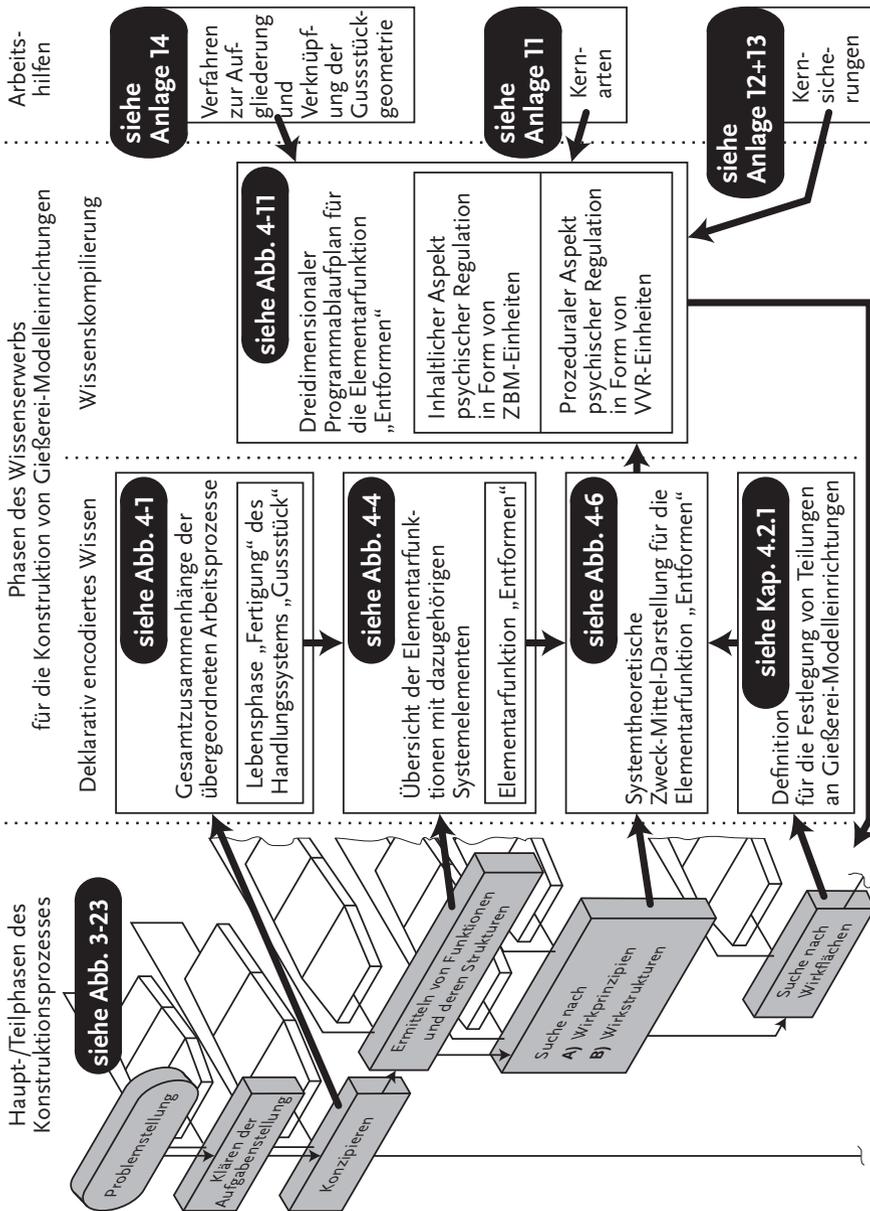


Abb. 4-12: Implikationszusammenhänge der Partialmodelle im Rahmenmodell zur Bewältigung von Konstruktionsproblemen bei Gießerei-Modelleinrichtungen.

In der Anwendung kommt es bedingt durch mangelndes Verständnis und zu wenig Training häufig zu der Fehleinschätzung, dass eine Adaption des Vorgehens nicht erlaubt oder gewünscht ist. So wie sich Produktentwicklungsprozesse voneinander unterscheiden, so bedarf es auch unterschiedlicher Vorgehensweisen, um effektiv und effizient ans Ziel zu gelangen.

Zusammenfassend kann Folgendes über die in diesem Kapitel entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen festgehalten werden, nämlich dass sie

- heuristischer Natur sind und einen Algorithmus-Charakter haben, d. h. (Quasi-) Algorithmen darstellen. Diese Darstellungsform hat den großen Vorteil, dass die Heuristiken besser lehr- und lernbar sind,
- für die Optimalwissensstruktur deskriptiv sind und die Arbeitshilfen Prinzipformen technischer Gestaltungsregeln, d. h. präskriptiver Natur sind,
- für die Minimalwissensstruktur präskriptiv sind,
- jeweils alle Vorgehensmodelle als eigenständige Partialmodelle verwendet werden können,
- der Forderung nach Offenheit und Handlungsorientierung gerecht werden und zur Förderung der beruflichen Handlungskompetenz durch ganzheitliche, problemorientierte Sichtweisen beitragen können und
- letztlich von jedem Fachlehrer beim Lehren berücksichtigt werden müssen.

Das von Rauner kritisierte traditionelle Denken in der Facharbeiterausbildung, welches folgende Konsequenzen nach sich zieht, wie

- Einhergehen von Technikentwicklung mit dem Verlust von Orientierung an gesellschaftlichen Zwecken,
- Polarisierung in den Qualifikationen zwischen Ingenieur und Facharbeiter, was schließlich zur Disqualifizierung führt und
- eine zu enge zweckrationale Qualifizierung für die Facharbeit (vgl. Rauner 1990, S. 103)

könnte mithilfe der hier entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen entgegenwirken.

Die Falsifizierung der in diesem Kapitel entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen erfolgt prinzipiell – im Sinne von Popper (1994) – durch

- das Auffinden von logischen Widersprüchen während des gesamten Modellbildungsprozesses und einer
- empirischen Überprüfung, die nachfolgend mithilfe einer hypothesengeleiteten empirischen Untersuchung (Kapitel 1.1), für den dreidimensionalen Programmablaufplan der Elementarfunktion „Entformen“ mit den dazugehörigen produktspezifischen VVR-/ZBM-Einheiten (Abb. 4-11) durchgeführt wird. Gleichzeitig beinhaltet dieses eine indirekte Überprüfung der deklarativ encodierten Modellvorstellungen, da die Vorgehenslogik auf der Produktlebenslauflogik aufbaut.

5 Untersuchung „realer“ Konstruktionsprozesse von Gießerei-Modelleinrichtungen

Die empirische Untersuchung wurde in enger Abstimmung – insbesondere die Auswahl der Konstruktionsaufgaben und die Beurteilung der produktorientierten Lösungsgüte – mit den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Ur- und Umformtechnik am Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg durchgeführt.

5.1 Untersuchungsdesign der experimentellen Felduntersuchung

Bevor näher auf das Untersuchungsdesign der empirischen Untersuchung eingegangen wird, werden die beiden wichtigsten untersuchungstechnischen Maßnahmen, die die Gültigkeit bzw. Aussagekraft der empirischen Untersuchungsbefunde (interne und externe Validität, siehe Abb. 5-1) beeinflussen, dargestellt:

- Experimentell versus quasiexperimentell: Bei einer experimentellen Untersuchung vergleicht man zufällig zusammengestellte Gruppen und bei einer quasiexperimentellen Untersuchung vergleicht man natürliche Gruppen (z. B. gleiches Bildungsniveau, gleiche Ausbildungsstätte, gleicher Betrieb), wobei experimentelle Untersuchungen eine höhere interne Validität als quasiexperimentelle Untersuchungen haben.
- Laboruntersuchungen versus Felduntersuchungen: In Laboruntersuchungen legt man besonderen Wert auf die Kontrolle bzw. Ausschaltung untersuchungsbedingter Störvariablen. Felduntersuchungen finden demgegenüber in der natürlichen im Zuge des Forschungsprozesses kaum veränderten Umgebung statt (z. B. in einem Betrieb, in der Schule). Felduntersuchungen zeichnen sich durch eine höhere externe Validität gegenüber der Laboruntersuchung aus. Der Vorteil der Felduntersuchung liegt darin, dass die Bedeutung der Ergebnisse unmittelbar einleuchtet, weil diese ein Stück der unverfälschten Realität charakterisieren. Dieser Vorteil geht allerdings zulasten der internen Validität, denn die Natürlichkeit des Untersuchungsfeldes bzw. die nur bedingt mögliche Kontrolle störender Einflussgrößen lässt häufig mehrere gleichwertige Erklärungsalternativen der Untersuchungsbefunde zu.

Die zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsvarianten führt zu dem Ergebnis, „dass bezüglich der Kriterien interne und externe Validität die Kom-

ination »experimentelle Felduntersuchung« allen anderen Kombinationen überlegen ist. Dies gilt zumindest für die hypothesenprüfende Forschung“ (Bortz/Döring 2006, S. 57).

Aufgrund dessen wird für die empirische Untersuchung eine experimentelle Felduntersuchung ausgewählt.

5.1.1 Anforderungen an das Untersuchungsdesign

Empirische Forschung muss Mindestkriterien erfüllen, um valide Ergebnisse zu erzielen, welche in der ingenieurwissenschaftlichen Konstruktionsforschung jedoch oft vernachlässigt werden. Deshalb werden hier die grundlegenden Gütekriterien für die empirische Konstruktionsforschung dargestellt (Abb. 5-1) und kurz erläutert.

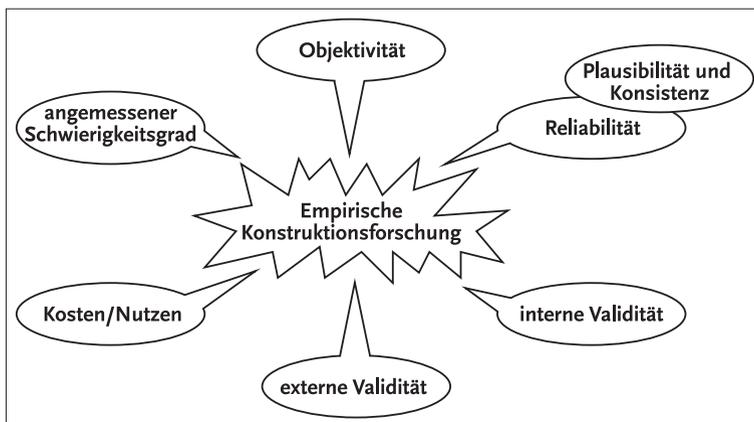


Abb. 5-1: Gütekriterien für die empirische Konstruktionsforschung (vgl. Bender 2004, S. 118).

Die spezifisch auf die empirische Konstruktionsforschung angepassten Gütekriterien sind:

- Objektivität, d. h. die intersubjektive Übereinstimmung in Durchführung, Auswertung und Interpretation einer Untersuchung. Diese Anforderungen sind in der Konstruktionsforschung kaum vollständig einzuhalten. So ist beispielsweise die Normierung der Ergebnisse von Konstruktionsprozessen unmöglich, und eine ideale Referenzlösung gibt es in der Regel nicht.
- Reliabilität, d. h. sie gibt die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit an, mit der ein Merkmal gemessen werden kann.

- Plausibilität und Konsistenz, d. h. die Reliabilität der Vorgehensinterpretation in der Konstruktionsforschung wird durch diese beiden Kriterien erhöht und ist für die Auswertung der Konstruktionstätigkeit von entscheidender Bedeutung. Da die Beobachtungsergebnisse der Konstruktionstätigkeit aus kognitiven Aktivitäten gewonnen werden, sind die Informationen prinzipiell unvollständig und haben somit Interpretationsspielräume (vgl. Bender 2004, S. 142).
- Interne Validität, d. h. die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse sind kausal eindeutig interpretierbar. Neben der Untersuchungshypothese darf es keine vernünftigen Alternativerklärungen geben. Die interne Validität sinkt mit wachsender Anzahl plausibler Alternativerklärungen für die Ergebnisse (vgl. Bortz/Döring 2006, S. 53).
- Externe Validität bzw. empirische Relevanz, d. h. die Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen aus der experimentellen Situation in die Realität. Sie sinkt mit wachsender Unnatürlichkeit der Untersuchungsbedingungen bzw. mit abnehmender Repräsentativität der untersuchten Stichproben. Aus diesem Grund müssen bzw. sollten die Ergebnisse über die besonderen Bedingungen der Untersuchungssituation und über die untersuchten Personen hinausgehend generalisierbar sein (vgl. Bortz/Döring 2006, S. 53).
- Kosten/Nutzen, d. h. die Effizienz der eingesetzten Untersuchungsverfahren. Hierbei ist es von besonderer Bedeutung, vorab zu definieren, welche Daten mit welchen Verfahren und in welchem Umfang erhoben und auf welche Weise diese dann weiter verarbeitet werden sollen. Auch der Aufwand der Versuchspersonen muss unbedingt berücksichtigt werden.
- Angemessener Schwierigkeitsgrad, d. h. er ist an die tatsächlichen Möglichkeiten bzw. Fähigkeiten der Versuchspersonen anzupassen, um diese weder zu überfordern noch zu unterfordern. In beiden Fällen leidet die Akzeptanz des gesamten Untersuchungsdesign erheblich.

Um die Gütekriterien in der Konstruktionsforschung zu erfüllen, muss das Forschungsdesign für die experimentelle Felduntersuchung dem systematischen Vorgehen der Abb. 5-2 folgen.

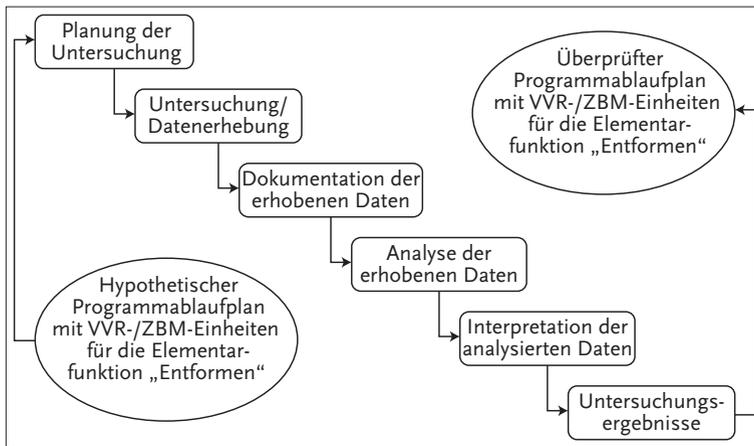


Abb. 5-2: Systematisches Vorgehen bei der experimentellen Felduntersuchung (vgl. Bender 2004, S. 120).

5.1.2 Aufbau und Ablauf der empirischen Untersuchung

Die Versuchspersonen erhalten in den Konstruktionsexperimenten Kopien der Fertigteilzeichnung mit den jeweils entsprechenden Anforderungen, Zeichenwerkzeuge sowie Fachbücher und Normen. Ihre Aufgabe besteht darin, die Entformbarkeit der Gießerei-Modelleinrichtung mithilfe von Modellteil(en) und/oder Kernkastenteil(en) und/oder Losteil(en) und gegebenenfalls deren Teilung festzulegen sowie die Lösungsvariante(n) in die Kopien der Fertigteilzeichnungen einzuzichnen. Das Ergebnis jeder Konstruktionssaufgabe sind eine oder mehrere Modellplanungsskizzen, die für die Vorgehensanalyse und die Lösungsgütebeurteilung ein wichtiger Bestandteil sind. Der Versuchsablauf ist in Abb. 5-3 dargestellt und sieht im Einzelnen wie folgt aus:

Die Versuchspersonen wurden vorab über die Untersuchung umfassend informiert und stimmten der anonymen Verarbeitung der im Rahmen der Studie erhobenen Daten zu.

Zu Beginn der experimentellen Felduntersuchung wird den Versuchspersonen die gesamte Problemstellung und die Instruktion ausgehändigt und einmal von dem Versuchsleiter – also von mir – vorgelesen (siehe Anlage 15). Während der Problembearbeitung werden alle Aktivitäten der Versuchspersonen durch „lautes Denken“ verbalisiert und für die spätere Auswertung mit einer Videokamera aufgezeichnet. Der Versuchsleiter steht als Ansprechpartner bei Konstruktionsproblemen zur Verfügung, er nimmt jedoch keine Beurteilung der Lösungen vor. Ein zweiter Versuchsleiter bedient die Videokamera und erinnert die Versuchspersonen während der Untersuchung, falls notwendig, an das

„laute Denken“. Nach jeder Konstruktionsaufgabe besteht die Möglichkeit einer Nachbesprechung, wobei der Übergang in die kurze Pause fließend ist. Dies soll die zu erwartende Prüfungs- bzw. Testsituation auflockern und, wenn erforderlich, wird nochmals auf Untersuchungsschwerpunkte oder Fragen eingegangen. Im Anschluss an die Bearbeitung der Konstruktionsaufgaben erfolgt eine Abschlussbesprechung, bei der das retrospektiv wahrgenommene Vorge-

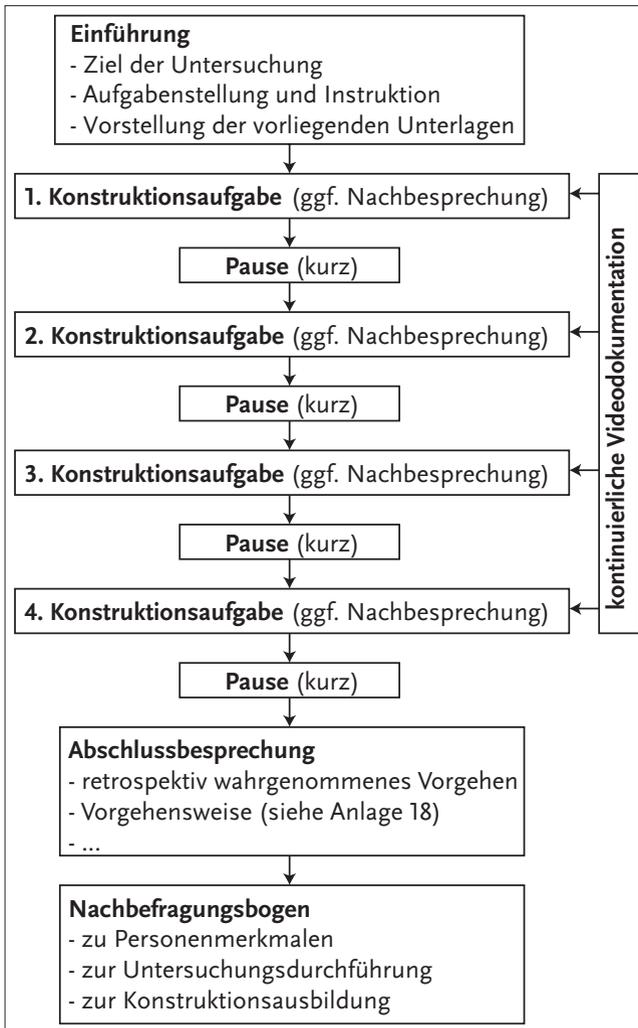


Abb. 5-3: Ablauf der experimentellen Felduntersuchung.

hen während des Konstruierens mithilfe einer konstruktionsunterstützenden Leitlinie für die „Vorgehensweise bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“ (siehe Anlage 18) analysiert werden soll. Am Schluss der Untersuchung werden Befragungsbögen über berufs- und bildungsbiographische Merkmale von den Versuchspersonen ausgefüllt (siehe Anlage 19 und 20).

Die Gesamtdauer der experimentellen Felduntersuchung ist mit etwa 2½ bis 3 Stunden veranschlagt, wobei die benötigte Bearbeitungszeit für die einzelnen Konstruktionsaufgaben den Versuchspersonen freigestellt ist.

An der Untersuchung nehmen ein Modellbaufacharbeiter und drei Modellbaumeister teil, die alle Experten hinsichtlich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen sind.

Der Untersuchungsort wird gemäß der Forderungen an eine Felduntersuchung in einer natürlichen, im Zuge des Forschungsprozesses, kaum veränderten Umgebung stattfinden. Bei drei Versuchspersonen werden die Untersuchungen an ihrem Arbeitsplatz im jeweiligen Betrieb und bei einer Versuchsperson zu Hause durchgeführt – da er Rentner ist. Die einzige Veränderung der natürlichen Untersuchungsumgebung ist die, dass die Untersuchung außerhalb der üblichen Geschäftszeiten durchgeführt wird, um unnötige Unterbrechungen zu vermeiden, da diese sich negativ auf den Konstruktionsprozess bzw. das Untersuchungsergebnis auswirken könnten. Als ungewohnt dürfte sicherlich die Untersuchungssituation an sich sein: mit Videoaufnahme, zwei Versuchsleitern, „lautem Denken“ usw. Die Nachbefragung ergab, dass die Versuchspersonen die Untersuchungssituation nach übereinstimmender Auskunft als kaum beeinträchtigend empfanden.

5.1.3 Auswahl der Versuchspersonen

Die Konstruktionserfahrung nimmt eine zentrale Rolle ein und beeinflusst die produktbezogene Lösungsgüte am stärksten. Weitere Personenmerkmale wie heuristische Kompetenz, adäquates Problemlösen, geringe Neigung zu Emotionen sowie Tendenzen zu Regression und Resignation und ein Ansteigen der Motivation bei neuartigen Problemen entwickeln sich parallel mit der Zunahme der Konstruktionserfahrung (vgl. Günther 1998, S. 141).

Da die Konstruktionserfahrung einen besonderen Stellenwert bei den individuellen Personenmerkmalen einnimmt, werden für die experimentelle Felduntersuchung ausschließlich Experten vorgesehen. Dies sind Arbeitskräfte mit Spitzenleistungen, die über eine sehr große Erfahrung bezüglich der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen verfügen, wobei sich „die Leistungsvoraussetzungen für Spitzenleistungen von denen für Durchschnittsleistungen weniger in Einzelerkenntnissen und -fertigkeiten als vielmehr in Fähigkeiten, erfasst

als generalisierte, ganzheitlich-strategische Vorgehensweisen (Arbeitsverfahren) unterscheiden“ (Hacker 1992, S. 18).

„Der einzige Indikator für die Könnerschaft ist die Leistung beim Ausüben der jeweiligen Tätigkeit. Gerade deshalb ist es schwierig, Könner bei solchen Tätigkeiten eindeutig zu identifizieren, die kein präzise operationalisiertes und in seinen Komponenten unstrittig gewichtetes Leistungskriterium aufweisen“ (Hacker 2005, S. 381), d. h. „die Auswahl der Experten ist also häufig unscharf begründbar und das Validieren der ermittelten Leistungsvoraussetzungen an objektiven und exakten Leistungsdaten ist oft nicht möglich“ (Hacker 1992, S. 11). „Einen Hinweis gibt die Dauer der Ausübung einer Tätigkeit, weil Selbstaulesemechanismen bei leistungsbetonten Tätigkeiten Leistungsstärkeren größere Verweilchancen einräumen“ (Hacker 1992, S. 13). Ehrlenspiel weist darauf hin, dass „zum ‚Heranreifen‘ eines Fachmanns ein Zeitraum von zehn Jahren durchaus als realistisch anzusetzen ist“ (Ehrlenspiel 2003, S. 51).

Die Auswahl der Versuchspersonen erfolgt zufällig – wie für experimentelle Untersuchungen gefordert – nach den folgenden Kriterien:

- Sehr hohe Anzahl an selbstständig durchgeführten Konstruktionsprojekten im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei,
- mindestens zehn Jahre Konstruktionserfahrung,
- unterschiedliches Ausbildungsniveau (Meister oder Facharbeiter),
- aus unterschiedlichen Betrieben und Regionen,
- Besuch von unterschiedlichen Bildungseinrichtungen,
- deutlicher Altersunterschied zwischen den Versuchspersonen.

Die ausgewählten Versuchspersonen sind ein Technischer Modellbaufacharbeiter, der sowohl die Konstruktion als auch die Fertigung der Gießerei-Modell-einrichtung selbstständig durchführt, sowie drei Technische Modellbaumeister, die in den unterschiedlichsten Bereichen (Kalkulation, Konstruktion, Fertigungsplanung) die entsprechenden Konstruktionen durchführen. Allen ist eins gemeinsam: Sie haben keine konstruktionsmethodische Ausbildung durchlaufen. Nähere Informationen zu den Personenmerkmalen der einzelnen Versuchspersonen sind in der Anlage 19 zu finden.

Die Feststellung der Konstruktionskompetenzen der Versuchspersonen ist nicht erforderlich, da mir alle Versuchspersonen persönlich aus der betrieblichen Praxis – es wurden teilweise gemeinsame Projekte bearbeitet – sehr gut bekannt sind, d. h. alle Versuchspersonen wurden von mir als Experten eingestuft!

5.1.4 Auswahl der Konstruktionsaufgaben hinsichtlich der Entformbarkeit

Die Konstruktionsaufgaben werden nach folgenden Kriterien ausgesucht:

- Sie sollen ein möglichst breites Spektrum hinsichtlich der Entformbarkeit von Gießerei-Modellleinrichtungen beinhalten, wie beispielsweise Natur- und Kernmodell, ein- oder mehrteilige Modelle und Kernkästen, Modell- und Kernkastenteilung um 90° versetzt bzw. gedreht, ebene und unebene Teilungsverläufe, Loseile am Modell und im Kernkasten, Loseil-Teilung, hohe Teilungsvielfalt, zwei oder dreiteilige Formen, Kernpakete.
- Sie sollen Neukonstruktionen sein, d. h. es muss mit der Konzepterstellung begonnen werden, da keine direkten Vorbilder für die Gießerei-Modellleinrichtung als Ganzes existieren.
- Sie sollen praxisrelevant sein und eine mittlere Anforderungshöhe bezogen auf den Durchschnittsköner haben – aber dennoch für die Experten angemessen sein, um mit relativ geringem Zeitaufwand aussagefähige Ergebnisse erzielen zu können.
- Die Gesamtbearbeitungszeit soll 2½ bis 3 Stunden nicht wesentlich überschreiten, um auch erfahrene Technische Modellbauexperten aus der betrieblichen Praxis für die Untersuchung gewinnen zu können.

Aufgrund der Auswahlkriterien werden für die experimentelle Felduntersuchung folgende vier Konstruktionsaufgaben ausgewählt (siehe Anlage 16.1, 16.3, 16.5 und 16.7):

- Haube (Roller/Heidler 1989, S. 76; Roller 2006, S. 291; vgl. Moser 2004, S. 8; vgl. Frede 1954, S. 54; vgl. IHK 2004, S. 7 und vgl. IHK 2007/08, S. 4),
- Dampfmaschinegehäuse (Roller/Heidler 1989, S. 64),
- Saugkorb (Roller/Heidler 1989, S. 59) und
- Deckel (Roller/Heidler 1989, S. 65).

Bei der Aufgabenformulierung wurde bewusst auf die prozedurale Formulierung der Konstruktionsaufträge verzichtet, da dies die Versuchspersonen in ein wohlgeordnetes Voranschreiten locken könnte sowie die opportunistischen Einsichten behindert und sich daraus eine Verfälschung der Untersuchungsergebnisse ergeben könnte. Daher beschränkt sich die Aufgabenformulierung ausschließlich auf fachliche Aspekte wie Bezeichnung des Gussstückes, Werkstoff des Gussstückes, Gussstückzahl, Formverfahren gegebenenfalls Modellart

und Modellgüte. Für weitergehende Fragen steht der Versuchsleiter – Verfasser dieser Dissertation – während der Versuchsdurchführung zur Verfügung.

5.2 Vorgehensbeobachtung und Datengewinnung

In der Konstruktionsforschung kommt der Handlungsbeobachtung besondere Bedeutung zu. Im Gegensatz zu manuellen Tätigkeiten, wie sie in der industriellen Arbeitsanalyse oft anzutreffen sind, ist die Konstruktionstätigkeit in den frühen Phasen des Konstruktionsprozesses der direkten Beobachtung nur selten zugänglich. Man muss deshalb aus den Beobachtungen – „externes“ Verhalten – auf die eigentlich interessierenden „internen“ kognitiven Aktivitäten schließen. Es ist deshalb sicherzustellen, dass die eingesetzten Verfahren das „interne“ Verhalten auch wirklich erfassen können.

Für die systematische Handlungsbeobachtung stehen folgende erprobte Beobachtungsformen zur Verfügung (vgl. Bortz/Döring 2006, S. 267 ff):

- teilnehmend oder nicht teilnehmend,
- offen oder verdeckt,
- kontinuierlich oder diskontinuierlich,
- mit oder ohne apparative Hilfe,
- als Selbst- oder Fremdbeobachtung,
- durch einen oder mehrere Beobachter.

Das Ziel jedes Beobachtungsverfahrens zur Datengewinnung muss sein, das tatsächliche Vorgehen der Versuchspersonen möglichst nicht zu beeinflussen, vor allem nicht in Richtung auf die der Untersuchung zugrunde liegenden Hypothesen. Um die Vorgehensbeeinflussung bei der vorliegenden Studie zu minimieren, wird eine nicht teilnehmende, offene, kontinuierliche, apparativ gestützte Fremdbeobachtung der Versuchspersonen durch zwei Versuchsleiter als Beobachtungsinstrumentarium ausgewählt.

Speziell zur Datengewinnung über den Konstruktionsprozess werden in Abb. 5-4 geeignete Verfahren vorgestellt, die die einzige Möglichkeit darstellen, an Informationen über den Inhalt des Kurzzeitgedächtnisses zu gelangen und damit detaillierte Daten über den Konstruktionsprozess zu gewinnen.

Für die durchzuführende Untersuchung wurde das „laute Denken“ ausgewählt, da dies trotz der Nachteile (Störung des Ablaufes, Unvollständigkeit der gewonnenen Informationen) ein geeignetes Mittel darstellt, um Erkenntnisse über das Denken bei Konstruktionstätigkeiten und damit verbunden das proze-

durale Wissen zu gewinnen (vgl. Günther 1998, S. 43; Hacker 1992, S. 44 und Dylla 1990, S. 39). Gegenüber der retrospektiven Beschreibung von Denkabläufen hat es den Vorteil, dass es die Gedanken relativ unverfälscht widerspiegelt und nicht wie bei der Rekonstruktion Strukturen und Begründungen geschaffen werden, die dem realen Ablauf nicht entsprechen.

Verfahren	Anwendungen	Vorteile	Nachteile
Beobachtungen (unstrukturiert; strukturiert; begleitend)	Konstruktionstätigkeit (Interaktionen); Konstruktionsprozess (Problemstruktur, Konstruktionsphasen)	keine/kaum Störung des Prozesses; für reale Prozesse anwendbar; relativ einfach durchzuführen	vom Urteil des Beobachters abhängig; zeitintensiv; übersieht Feinheiten
Fragen (unstrukturiertes Interview; strukturiertes Interview; Fragebögen)	Wissensstruktur des Konstrukteurs; Inhalt der Konstruktion; Verständnis des Konstruktionsprozesses	kann gezielt Themen ansprechen; keine Störung des Prozesses; relativ einfach durchzuführen	Erinnerungslücken; Gestaltung aufwendig; vom Urteil des Beobachters abhängig; von der Wahrnehmung der Versuchsperson abhängig
Retrospektive Protokolle	Erkennen von Organisationsstrukturen; Verständnis des Konstruktionsprozesses	keine Störung des Prozesses; einfach durchzuführen; erzeugt umfangreiches Datenmaterial; für reale Prozesse anwendbar	von der Wahrnehmung der Versuchsperson abhängig; liefert eher Zusammenfassungen als Details; Erinnerungslücken
Wortprotokolle (lautes Denken) bzw. Videoprotokolle	Verständnis des Vorgehens im Detail; zeigt Aktivitäten und Wissen	bildet den Prozess in Echtzeit ab; erzeugt umfangreiches, detailliertes Datenmaterial; kontrollierbare Konstruktionsumgebung	stört den Prozess; erhöht die Bearbeitungszeit; manche Gedanken können nicht verbalisiert werden; schwierig durchzuführen; kann die Inkubationszeit nicht erfassen

Abb. 5-4: Verfahren zur Datengewinnung (Dylla 1990, S. 43).

5.3 Datenauswertung und deren Dokumentation

Die Lösungsgüte der Modellplanungsskizzen (Konstruktionsergebnisse) wird stark vom Verlauf des Konstruktionsprozesses beeinflusst bzw. ist stark davon abhängig (vgl. Günther 1998, S. 4).

Daraus folgt, dass sowohl eine Datenauswertung für die produktorientierte Lösungsgüte als auch für die prozedurale Lösungsgüte vorgenommen wird.

5.3.1 Auswertung der produktorientierten Lösungsgüte

Bei einfacheren Aufgabenstellungen – wie es hier der Fall ist – kann die produktorientierte Qualitätsbeurteilung aus einer bzw. mehreren Referenzlösungen bestehen und mit den Modellplanungsskizzen der Versuchspersonen direkt verglichen werden (vgl. Bender 2004, S. 151). Ansonsten ist bei komplexeren Aufgabenstellungen darauf zu achten, dass die Auswertreliabilität sichergestellt ist. Grundsätzlich sind dafür die Nutzwertanalyse, die VDI-Richtlinie 2225, das Bewertungsverfahren nach Pahl, Beitz, Feldhusen und Grote (2003, S. 143 ff) und das Beurteilungsschema nach Bender (2004, S. 153 und 162) geeignet.

Bei der Beurteilung der Modellplanungsskizzen wird zwischen „gut“ und „nicht ausreichender“ Entformbarkeit der Gießerei-Modelleinrichtung unterschieden. Sie basiert auf qualitativen Schätzurteilen (Augenscheinvalidität), d. h. die produktorientierte Lösungsgütebeurteilung erfolgt intuitiv und erfahrungsbasiert unter Zuhilfenahme von Referenzlösungen (siehe Anlage 16.2, 16.4, 16.6 und 16.8) sowie den unten aufgeführten Beurteilungskriterien.

Die Beurteilung in zwei Stufen für die produktorientierte Lösungsgüte ist für dieses Forschungsvorhaben ausreichend, da aufgrund der relativ einfachen Aufgabenstellungen für Experten durchweg gute Ergebnisse zu erwarten sind. Die Ausnahme ist, dass die Versuchsperson überhaupt keinen Zugang zur Konstruktionsaufgabe finden würde, dann würde das Ergebnis als „nicht ausreichend“ bewertet werden. Würden aber nicht alle möglichen Wirkprinzipien erkannt werden – wie beispielsweise Lösungsvariante B der 3. Konstruktionsaufgabe (siehe Anlage 16.6), dann würde der Lösungsraum zwar nicht vollständig ausgeschöpft, aber dennoch sind gute Ergebnisse möglich.

Allgemeine Bewertungskriterien zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen:

- Eine Verträglichkeit muss mit der Aufgabe gegeben sein,
- die Anforderungen müssen erfüllt werden,

- eine Realisierungsmöglichkeit hinsichtlich notwendiger Anforderungen, Wirkungshöhe usw. muss zu erkennen sein und
- einen zulässigen Fertigungsaufwand für die Herstellung der Gießerei-Modelleinrichtung erwarten lassen (vgl. Pahl/Beitz/Feldhusen/Grote 2003, S. 141).

Spezielle Bewertungskriterien zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen:

Für Teilungen die

- modellbau-, form-, stückzahl-, gieß-, abkühl-, putz-, bearbeitungs-, prüf-, wärmebehandlungs-, beschichtungs- sowie montagegerechte Gestaltung des Gussstückes (vgl. Ambos/Hartmann/Lichtenberg 1992, S. 0-1 bis 0-8).

Für Kernmarken die

- formgerechte Gestaltung der Kernmarken,
- Lage der Kerne im Unter- oder Oberkasten und die Gießlage,
- Einlegemöglichkeit der Kerne in den Formkasten,
- Anzahl der geforderten Gussstücke,
- Größe und geometrische Gestalt der Kerne,
- Anzahl der Kernmarken,
- Modellausführung,
- Kernherstellungsverfahren und Formstoff sowie
- Kernmarkenspiel (Kernlagerspiel) (vgl. Roller 1982, S. 31).

Für Kernsicherungen die

- Ausführung der Kernsicherung hinsichtlich der Zweckmäßigkeit und Wirksamkeit (siehe Anlage 12 und 13) sowie
- formgerechte Gestaltung der Kernsicherungen.

Für Losteile die

- formgerechte Gestalt des Losteils sowie
- Führung (exakt und doch leichtgängig).

5.3.2 Auswertung des Konstruktionsprozesses – der prozeduralen Lösungsgüte

Für die systematische und objektive Datenauswertung, aus der Erkenntnisse über den Konstruktionsprozess abgeleitet werden können, gibt es drei grundsätzliche Möglichkeiten (Abb. 5-5).

Verfahren	Anwendungen	Vorteile	Nachteile
unstrukturierte Analyse	Hypothesenentwicklung; anwendbar für alle Formen von Daten	einfach anzuwenden; großer Anwendungsbereich; geeignet für neue Forschungsgebiete	stark vom Urteil des Beobachters abhängig; allgemein, nicht detailliert; nicht verlässlich
strukturierte Analyse	Datenorganisation; Hypothesenentwicklung; Erkennen von Aufgabenschwerpunkten	für die Entwicklung spezieller Hypothesen anwendbar; höhere Verlässlichkeit der Resultate; Analyse wiederholbar	Ergebnisse müssen noch abgeleitet werden; Verlässlichkeit schwer zu erreichen
Inhaltsanalyse	Hypothesentest; Verlässlichkeitsnachweis; nützlich für retrospektive Protokolle und Wortprotokolle (lautes Denken)	verlässlich; überprüfbar; erzeugt quantitative Daten; erzeugt qualitative Daten	zeitintensiv; Beobachtungsunabhängigkeit schwer zu erreichen; schwierig durchzuführen

Abb. 5-5: Verfahren zur Datenauswertung bei Konstruktionsprozessen (Dylla 1990, S. 62).

Die Aufgabe bei dieser konkreten Auswertung besteht darin, die realen – insbesondere die internen – Vorgehensweisen beim Konstruieren aus dem Videomaterial und den Modellplanungsskizzen (Ergebnisse) herauszufiltern sowie die daraus gewonnenen realen Konstruktionsschritte bzw. -aktivitäten mit den hypothetischen Basisoperationen und deren hypothetischen Übergängen zu überprüfen.

Die daraus resultierenden Anforderungen sind die charakteristischen Merkmale der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (vgl. Mayring 2002, S. 115 und 118 ff), die gekennzeichnet ist durch die in Abb. 5-6 dargestellten Arbeitsschritte und im Einzelnen für diese experimentelle Felduntersuchung nachfolgend näher spezifiziert werden.

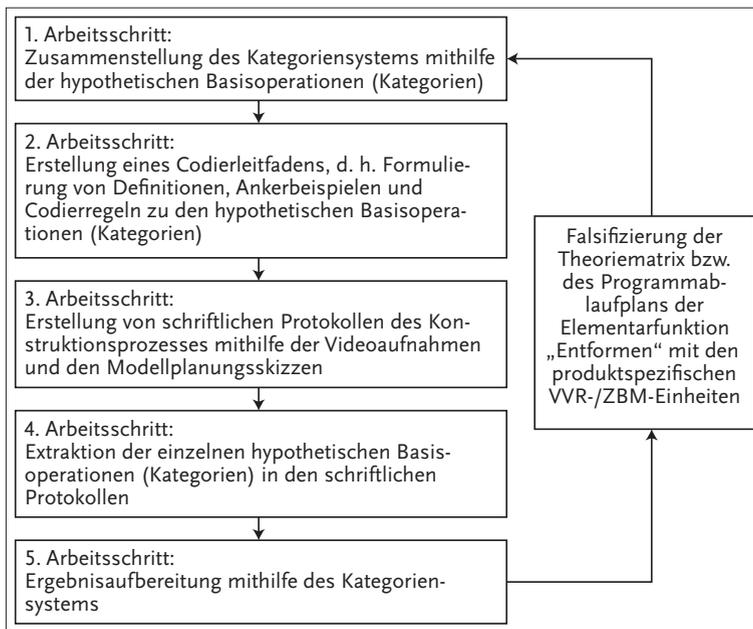


Abb. 5-6: Ablauf der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (vgl. Mayring 2002, S. 120).

1. Arbeitsschritt: Zusammenstellung des Kategoriensystems

Kern jeder strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse ist das Kategoriensystem. Zur geordneten Dokumentation und Auswertung von Konstruktionsprozessen schlagen Müller (1990, S. 101 ff), Fricke (1993, S. 56) und Bender (2004, S. 147) Ordnungsmatrizen vor. Diese dienen als systematische Erfassungsschemata für die beobachteten Konstruktionsaktivitäten und können somit auch für die Überprüfung der Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen eingesetzt werden.

Die Ordnungsmatrizen zur Analyse von Konstruktionsprozessen können folgendermaßen unterschieden werden (vgl. Fricke 1993, S. 92 ff):

- Übergangsmatrix: In ihr werden alle zu untersuchenden hypothetischen Basisoperationen jeweils in die Zeilen und Spalten der Matrix eingetragen.
- Theoriematrix: Sie entsteht dadurch, dass in der Übergangsmatrix die Zellen gekennzeichnet werden, die den hypothetischen Übergängen entsprechen.

- Realmatrix: Die Theoriematrix wird durch die Dokumentation des realen Vorgehens zur Realmatrix und stellt somit ein deskriptives Abbild des individuellen Konstruktionsprozesses einer Versuchsperson für eine Konstruktionsaufgabe dar.

Durch den gleichartigen Aufbau von Real- und Theoriematrix besteht ein großer Vorteil darin, dass der Übereinstimmungsgrad zwischen dem realen Vorgehen und den hypothetischen Übergängen sehr einfach quantitativ bestimmt werden kann.

Die Übergangsmatrix für diese experimentelle Felduntersuchung besteht aus 24 hypothetischen Basisoperationen, die jeweils in die Zeilen und Spalten der Matrix eingetragen werden (Abb. 5-8). Diese 24 hypothetischen Basisoperationen setzen sich zusammen aus

- den beiden Vorgehenszyklen für die „Konzeptbestimmenden Anforderungen“ und „Funktionsbestimmenden Anforderungen“ des dreidimensionalen Vorgehensplans (Abb. 3-23). Die Berücksichtigung dieser beiden Vorgehenszyklen ist erforderlich, da zu erwarten ist, dass sie automatisch beim realen Vorgehen durchlaufen werden und
- den sechs Vorgehenszyklen der produktspezifischen VVR-/ZBM-Einheiten (siehe Anlage 10.1 bis 10.6) des dreidimensionalen Programmablaufplans (Abb. 4-11).

An dieser Stelle sei nochmals explizit darauf hingewiesen, dass die TOTE 4-Einheit und TOTE 5-Einheit (Abb. 4-9) aus didaktischen Gründen eingeführt wurde und bei der realen Konstruktionstätigkeit in die Vorgehenszyklen integriert sind, d. h. es werden aus den acht Vorgehenszyklen jeweils nur die operativen Arbeitsschritte „Anforderungen klären“, „Lösungen suchen“ und „Lösung auswählen“ in der Matrix berücksichtigt.

In die so entstandene Übergangsmatrix werden anschließend die hypothetischen Übergänge – gemäß der acht Vorgehenszyklen – grau hinterlegt (Abb. 5-8). Wodurch aus der Übergangsmatrix die Theoriematrix wird.

Die Lage der Zellen in der Theoriematrix (Abb. 5-8) stellen im konstruktionsmethodischen Sinne – bezogen auf den Vorgehensplan (Abb. 3-18) –

- oberhalb der Matrixdiagonalen das Vorwärtsschreiten der Konstruktionstätigkeit dar,
- unterhalb der Matrixdiagonalen die Rücksprünge bzw. Rückkopplungen der Konstruktionstätigkeit dar, d. h. der Konstrukteur kommt auf vorläufig akzeptierte Ergebnisse bzw. Operationen zurück, die er in Folge einer Prüfung korrigiert, ändert, ergänzt oder negiert und

- auf der Matrixdiagonalen eine Stagnation im Vorgehen dar und werden daher in der Theoriematrix nicht als hypothetischer Übergang grau hinterlegt.

Die Anordnung der hypothetischen Basisoperationen bzw. die hypothetischen Übergänge in der Theoriematrix (Abb. 5-8) stellen in diesem konkreten Fall keine zwangsläufige Reihenfolge im konstruktionsmethodischen Sinn dar, sondern sind sehr stark von der jeweiligen Aufgabenstellung abhängig. Kommt beispielsweise eine Gießerei-Modelleinrichtung ohne Kern bzw. Kernkasten aus, dann sind die hypothetischen Basisoperationen der Vorgehenszyklen „Entformen Kern“, „Lagerung Kern“ und „Fixierung Kern“ in der Matrix nicht erforderlich, um eine erfolgreiche Konstruktion zu durchlaufen. Ob auch wirklich diese Vorgehenszyklen nicht durchlaufen wurden, kann explizit nicht mit Sicherheit festgestellt werden, da dies häufig „verborgen im Kopf“ abläuft und somit nicht verbalisiert wird bzw. werden kann.

Bei der (Auswertungs-)Handhabung der Theoriematrix – dadurch wird sie zur Realmatrix – wird ausgehend von einer beobachteten hypothetischen Basisoperation (Startpunkt des Übergangs) die nächste beobachtete hypothetische Basisoperation (Endpunkt des Übergangs) ermittelt und anschließend in die entsprechende Zelle eingetragen. Diese Vorgehensweise wird für alle weiteren Konstruktionsschritte wiederholt und entsprechend der Konstruktionsabfolge durchnummeriert. Geht beispielsweise die Versuchsperson zu Beginn von der Basisoperation „Konzeptbestimmende Anforderungen klären“ (Zeile) zur Basisoperation „Konzeptbestimmende Lösungen suchen“ (Spalte) über, so wird dies mit einer „1“ in der entsprechenden Zelle gekennzeichnet (Abb. 5-8).

2. Arbeitsschritt: Erstellung eines Codierleitfadens

Eine wesentliche Anforderung für die systematische und objektive Datenauswertung ist, dass die Theoriematrix (Kategoriensystem) so genau definiert sein muss, dass eine eindeutige Zuordnung von realen Konstruktionsschritten zu den hypothetischen Basisoperationen und den damit verbundenen Konstruktionsübergängen (Kategorien), immer möglich ist. Dabei hat sich ein Verfahren bewährt, das in den folgenden drei Schritten vorgeht (vgl. Mayring 2002, S. 118 ff):

- a) Definition der Kategorien: Es wird explizit definiert, welche Konstruktionsschritte unter eine hypothetische Basisoperation bzw. einen hypothetischen Übergang fallen sollen.
- b) Ankerbeispiele: Es werden konkrete Konstruktionsschritte angeführt, die unter eine hypothetische Basisoperation bzw. einen hypothetischen Übergang fallen und als Beispiel für diese gelten sollen. Diese Ankerbeispiele

haben prototypische Funktion für die hypothetische Basisoperation bzw. den hypothetischen Übergang.

- c) Codierregeln: Bei Abgrenzungsproblemen zwischen den hypothetischen Basisoperationen bzw. den hypothetischen Übergängen (Kategorien) werden Regeln formuliert, um eindeutige Zuordnungen zu ermöglichen.

Diese drei Schritte werden in einem Codierleitfaden gesammelt (siehe Anlage 22) und dienen als Handanweisung für die Datenauswertung. Anzumerken ist, dass im Verlauf der Auswertung weitere Ankerbeispiele darin aufgenommen und bei strittigen Codierungen neue Codierungen formuliert werden können.

Nachfolgend sind die Codierregeln aufgeführt und in der Abb. 5-8 den entsprechenden Zellen der Theoriematrix zugeordnet (die Codierregel-Nummern sind schwarz unterlegt).

Codierregel für die Zelle mit dem Übergang vom „Lösungen suchen“ zur „Lösung auswählen“ der Funktionsstruktur:

- I) Wenn der Funktionszusammenhang der Elementarfunktion „Entformen“ nicht explizit genannt wird, dann erfolgt die Zuordnung zu Beginn jeder Konstruktionsaufgabe in die Zelle mit dem Übergang von „Funktionsstruktur, Lösungen suchen“ zur „Funktionsstruktur, Lösung auswählen“ (siehe Abb. 5-8, Zelle mit der Nr. „3“).

Codierregeln für die Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Anforderungen klären“ unterhalb der Matrixdiagonalen:

- II) Wenn das gedankliche Vorstellen der vorgegebenen Gussstückgeometrie explizit genannt wird oder dies implizit (immer) zu Beginn der Konstruktionsaufgabe der Fall ist, dann erfolgt die Zuordnung in die Zelle mit dem Übergang von „Konzeptbestimmende Lösung auswählen“ zum „Konzeptbestimmende Anforderungen klären“ (siehe Abb. 5-8, Zelle mit der Nr. „2“).
- III) Wenn der Lösungsfindungsprozess abgeschlossen ist und anschließend nochmalig – ausgehend von der festgelegten Lösung – rückwärtsschreitende Prüfvorgänge hinsichtlich der Anforderungen durchgeführt werden, dann erfolgt die Zuordnung in den Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Anforderungen klären“ (siehe Abb. 5-8, beispielsweise die Zelle mit den Nummern „15“ und „18“).

Codierregeln für die Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Lösungen suchen“ unterhalb der Matrixdiagonalen:

- IV) Wenn Lösungsmöglichkeiten für die Änderung der vorgegebenen Gussstückgeometrie aus Gründen der Entformbarkeit von der Versuchsperson gesucht werden, dann erfolgt die Zuordnung in die Zelle mit dem Übergang von „Konzeptbestimmende Lösung auswählen“ zum „Konzeptbestimmende Lösungen suchen“ (siehe Abb. 5-8, Zelle mit der Nummer „16“).
- V) Wenn der Lösungsfindungsprozess abgeschlossen ist und anschließend nochmalig rückwärtsschreitend weitere Lösungsvarianten – ausgehend von der festgelegten Lösung – gesucht werden, dann erfolgt die Zuordnung in den Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Lösungen suchen“ (siehe Abb. 5-8, beispielsweise die Zelle mit der Nummer „20“).

Codierregel für die Zellen mit dem Übergang vom „Lösungen suchen“ zum „Anforderungen klären“ unterhalb der Matrixdiagonalen:

- VI) Wenn der Lösungsfindungsprozess abgeschlossen ist und anschließend nochmalig rückwärtsschreitend weitere Lösungsvarianten – ausgehend von der festgelegten Lösung – gesucht werden und bei der Suche die Anforderungen nochmals geklärt werden, dann erfolgt die Zuordnung in den Zellen mit dem Übergang vom „Lösungen suchen“ zum „Anforderungen klären“.

3. und 4. Arbeitsschritt: Erstellung von schriftlichen Protokollen und Extraktion der hypothetischen Basisoperationen

Mithilfe der kontinuierlichen Videoaufnahmen und der Modellplanungsskizzen (Ergebnisse) werden schriftliche Protokolle der Konstruktionsprozesse erstellt, in denen anschließend die hypothetischen Basisoperationen bzw. hypothetischen Übergänge extrahiert werden. Exemplarisch wird dies in der Abb. 5-7 anhand der 1. Konstruktionsaufgabe der Versuchsperson A dargestellt.

Alle schriftlichen Protokolle mit Extraktionen sowie die dazugehörigen Videoaufnahmen können bei mir eingesehen bzw. angefordert werden.

Lfd. Nr.	Zeit [min]	Arbeitsschritt	Extraktion
1	0:10	Vp liest sich die Aufgabenstellung durch	1.Z / 1.S, k→s
2	?	Vp stellt sich Gussstückgeometrie vor (<i>implizit</i>)	1.Z / 1.S, a→k
3	?	Vp legt die Funktionsstruktur fest (<i>implizit</i>)	2.Z / 2.S, s→a
4	?	Entformbarkeit Modell (<i>implizit</i>)	3.Z / 3.S, k→s
5	0:30	„Eindeutige“ Modellteilung ausgewählt	3.Z / 3.S, s→a
6	0:50	„UK/OK muss festgelegt werden!“ Dies ist signifikant für die Kernlagerungsmöglichkeiten	3.Z / 3.S, k→s
7	0:55	UK/OK festgelegt	3.Z / 3.S, s→a
8	?	Ein Innenkern wird benötigt (<i>implizit</i>)	4.Z / 4.S, k→s
9	?	Kernlagerungsmöglichkeiten und Entformbarkeit KM im OK (<i>implizit</i>)	5.Z / 5.S, k→s
10	1:05	„Kern ‚spiegelt‘ im OK!“ (wurde im weiteren Verlauf verworfen)	5.Z / 5.S, s→a
11	?	Kernlagerungsmöglichkeiten und Entformbarkeit KM im UK (<i>implizit</i>)	5.Z / 5.S, k→s
12	1:10	KM für den UK ausgewählt	5.Z / 5.S, s→a
13	2:20	KK-Teilung erforderlich	4.Z / 4.S, k→s
14	2:30	KK-Teilung ausgewählt	4.Z / 4.S, s→a
15	2:45	Überprüfung der ausgewählten KK-Teilung hinsichtlich des Hinterschnitts am Ø80 innen	4.Z / 4.S, a→k
16	2:48	Vorgegebene Gussstückgeometrie „anziehen“!	1.Z / 1.S, a→s
17	2:56	VI: „Darf nicht angezogen werden!“	1.Z / 1.S, k→a
	3:05	Bearbeitungszugabe festgelegt und eingezeichnet	
18	5:00	„Überprüfung der ausgewählten KK-Teilung!“	4.Z / 4.S, a→k
19	5:38	„Es wird ein Losteil im KK benötigt!“	7.Z / 7.S, k→s
20	6:10	Kernlagerungsmöglichkeiten und Entformbarkeit KM im OK	5.Z / 5.S, a→s
21	6:24	„Gespiegelter“ Kern bekommt im OK eine KM	5.Z / 5.S, s→a
22	7:05	Entformbarkeit des Losteils im KK	7.Z / 7.S, k→s
23	7:20	Losteil für das Entformen im KK ausgewählt	7.Z / 7.S, s→a
Legende: 1. bis 8. = Zeilen-/Spaltennummer, Z = Zeile, S = Spalte, k = Anforderungen klären, s = Lösungen suchen, a = Lösung auswählen, → = Übergang, KM = Kernmarke, KK = Kernkasten, UK = Unterkasten, OK = Oberkasten, VI = Versuchsleiter, Vp = Versuchsperson.			

Abb. 5-7: Extraktion der hypothetischen Basisoperationen in dem schriftlichen Protokoll am Beispiel der 1. Konstruktionsaufgabe der Versuchsperson A.

5. Arbeitsschritt: Ergebnisaufbereitung

Ausgangspunkt der Ergebnisaufbereitung sind die in der Realmatrix eingetragenen und durchnummerierten realen Übergänge. Werden diese realen Übergänge der Reihe nach durch eine Linie miteinander verbunden, so entsteht ein sogenannter „aktivitätsorientierter Graph“ (Müller 1990, S. 105). Der aktivitätsorientierte Graph eines Konstruktionsprozesses stellt eine visuell sehr eindrucksvolle grafische Darstellung der Arbeitsfolge – selbstverständlich real nicht sequenziell – in der Realmatrix dar (Abb. 5-8).

Mithilfe der Realmatrix (Abb. 5-8) kann der quantitative Übereinstimmungsgrad zwischen dem realen Vorgehen der Technischen Modellbauexperten und den hypothetischen Übergängen (grau hinterlegte Zellen) sehr einfach bestimmt werden, da der Aufbau von Realmatrix und Theoriematrix gleich ist.

Der Übereinstimmungsgrad wird nach folgender Formel berechnet:

$$V = \frac{\sum \ddot{U}_z}{\sum (\ddot{U}_u + \ddot{U}_z)} \cdot 100\%$$

V	Übereinstimmungsgrad
\ddot{U}_z	zweckmäßige Übergänge
\ddot{U}_u	unzweckmäßige Übergänge

Die Summe der zweckmäßigen Übergänge (\ddot{U}_z) wird durch das Abzählen der grau hinterlegten Zellen (hypothetische Übergänge), die Summe der unzweckmäßigen Übergänge (\ddot{U}_u) wird durch das Abzählen der nicht grau hinterlegten Zellen bestimmt – beide zusammen ergeben die Gesamtanzahl der durchgeführten Übergänge.

Abschließend wird für die vorliegende experimentelle Felduntersuchung folgende These aufgestellt:

Je höher der Übereinstimmungsgrad zwischen dem realen Vorgehen und den hypothetischen Übergängen ist, desto aussagekräftiger sind die von mir entwickelten Lösungsansätze zur Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen.

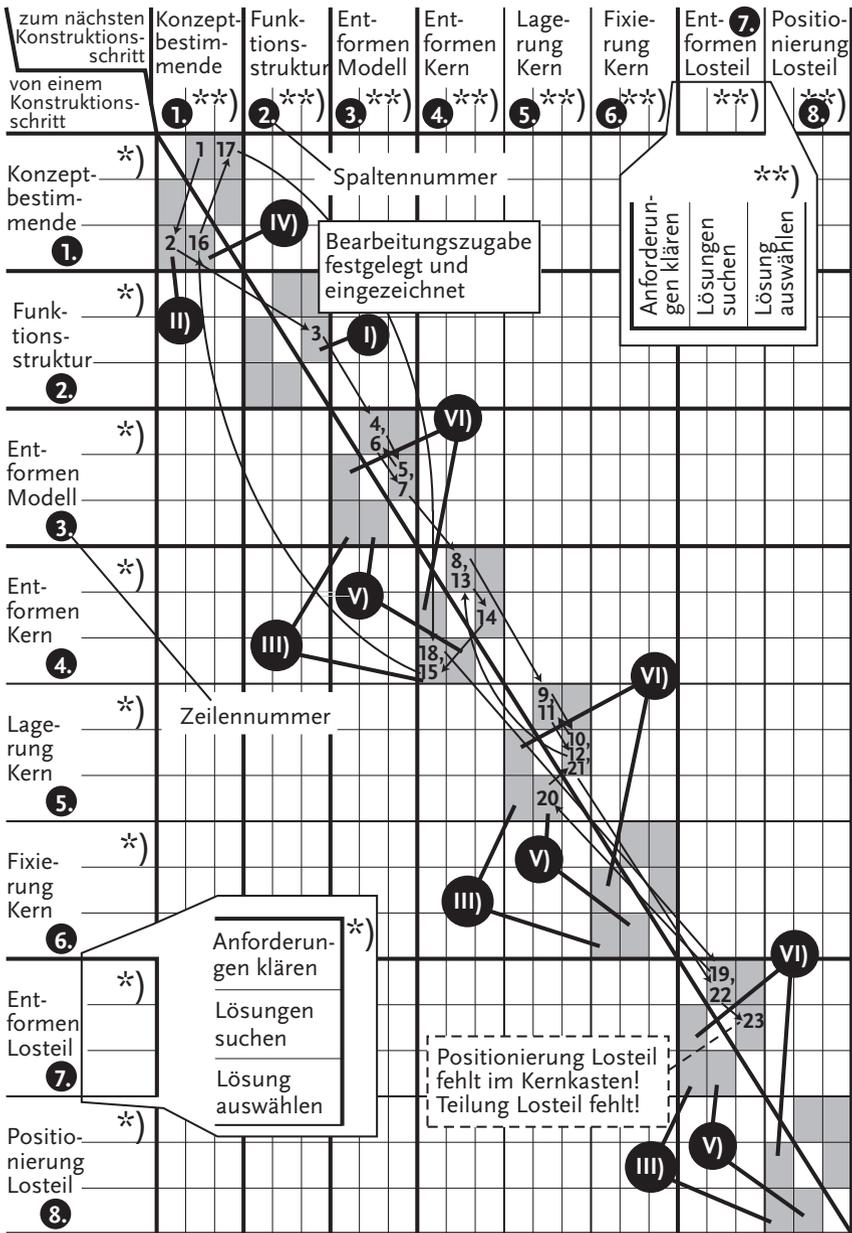


Abb. 5-8: Realmatrix mit aktivitätsorientierten Graphen der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A sowie Zuordnung der Codierregeln.

5.4 Ergebnisse der experimentellen Felduntersuchung zur Entformbarkeit

Die unzureichenden Übergänge beim realen Vorgehen – nicht grau hinterlegte Zellen in der Realmatrix (Abb. 5-8) – können grundsätzlich bei dieser experimentellen Felduntersuchung entstehen

- aufgrund nicht „ausreichender“ produktorientierter Lösungsgüten sowie
- durch die Falsifikation der hypothetischen Übergänge und somit der hier entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen bezüglich der Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen.

Daher wird als erstes die produktorientierte Lösungsgüte bestimmt und anschließend der reale Konstruktionsprozess mit der hier entwickelten hypothetischen Vorgehensweise verglichen und gegebenenfalls falsifiziert.

5.4.1 Beurteilung der produktorientierten Lösungsgüte

Die produktorientierte Lösungsgüte ist, wie zu erwarten war, bei allen Konstruktionsaufgaben „gut“. Die geringfügigen Unterschiede zu den Referenzlösungen sind in Form von Hinweisen – mit den jeweiligen Abweichungen – an den entsprechenden Stellen in der Realmatrix vermerkt (Abb. 5-8), um so unzureichende Übergänge von den hypothetischen Übergängen, die auf die produktorientierte Lösungsgüte zurückzuführen sind, feststellen zu können.

Die Abweichungen von den Referenzlösungen sind ausschließlich auf den Detaillierungsgrad zurückzuführen. Der Detaillierungsgrad wurde mit Absicht nicht vorgegeben, da sonst eine Beeinflussung des Konstruktionsprozesses zu erwarten gewesen wäre. Die beobachteten Handlungen der Versuchspersonen A, B und D waren fast ausschließlich in der Konzeptphase und die der Versuchsperson C gingen bis in die Vorentwurfsphase bzw. das Vorgestalten (Abb. 3-18). Zu erkennen ist dies an den detaillierteren Modellplanungsskizzen und an der deutlich höheren Bearbeitungsdauer (siehe Anlage 21).

Aus dieser Annahme resultiert, dass fehlende Systemelemente, wie beispielsweise die fehlende Positionierung des Losteils im Kernkasten und deren fehlende Teilung (Abb. 5-8), auf das frühe Konstruktionsstadium zurückzuführen sind und daher nicht als Kriterien mit größer negativer Tragweite bei der Beurteilung berücksichtigt wurden.

5.4.2 Beurteilung der Lösungsgüte des Konstruktionsprozesses

Der Übereinstimmungsgrad zwischen der Theoriematrix und den Realmatrizen beträgt bei allen Versuchspersonen und Konstruktionsaufgaben 100% (siehe

Realmatrizen in den Anlagen 17.2, 17.4, 17.6, ... 17.32). Dieses Ergebnis war sehr schnell und einfach zu bestimmen, da sich alle realen Übergänge auf den grau hinterlegten Zellen (hypothetischen Übergängen) befinden.

Die Annahme bei der Beurteilung der produktorientierten Lösungsgüte, dass fehlende Systemelemente bezüglich der Entformbarkeit der Gießerei-Modell-einrichtungen auf das frühe Konstruktionsstadium zurückzuführen sind, haben sich bestätigt, da keine Abweichungen von der Theoriematrix festgestellt werden konnten.

Eine Abweichung von der hypothetischen Vorgehensweise ist bei allen Versuchspersonen bei der geometrischen Auslegung der Kernmarken zu beobachten gewesen. Die Vorgehensweise war dahin gehend ungewöhnlich, dass nach der Festlegung der Entformbarkeit des Modells und der daraus gewonnenen Erkenntnis, dass ein Kern bzw. Kernkasten benötigt wird, sofort die Geometrie der Kernmarke am Modell festgelegt wurde. In der von mir entwickelten systemtheoretischen Zweck-Mittel-Darstellung für den „inneren“ Aufbau der Elementarfunktion „Entformen“ (Abb. 4-6) erfolgt die geometrische Auslegung der Kernmarken und Kernsicherungen von dem Kernkasten bzw. dem Kern aus. Ihre Vorgehensweise konnte während der Felduntersuchung auch durch mehrmaliges Nachfragen nicht beantwortet werden. Eine plausible Erklärung scheint zu sein, dass die Versuchspersonen aufgrund ihrer großen Erfahrung die Grobgestaltung der Kernmarken vornehmen konnten. Ob dabei parallel ablaufende Aktivitäten oder „Abbilder“ von ähnlichen, schon einmal angewendeten Kernmarken vorhanden waren, konnte nicht festgestellt werden.

Die Gesamtzusammenhänge – insbesondere die des Gussstückes – wurden explizit von den Versuchspersonen genannt und sind ein existenzieller Bestandteil bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen.

Für die Datenauswertung waren die Codierregeln ausreichend, d. h. es mussten keine weiteren Codierregeln hinzugefügt werden.

Das „Verfahren zur Aufgliederung und Verknüpfung der Gussstückgeometrie“ (siehe Anlage 14) als Hilfsmittel bzw. Arbeitshilfe zur Ermittlung der Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen wurde explizit von Versuchsperson B auf Nachfrage in der Abschlussbesprechung beschrieben.

Die Beobachtungen während des Konstruierens haben ergeben, dass sich die Vorgehenszyklen mit ihren TOTE-Einheiten zwar nicht in jedem Augenblick erkennen lassen, besonders in extrem kreativen Situationen, doch kehrten die Versuchspersonen immer wieder zu dem steten Wechsel von Test und Operation zurück.

Zusammenfassend kann für die experimentelle Felduntersuchung festgestellt werden, dass der dreidimensionale Programmablaufplan für die Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen mit seinen produktspezifischen VVR-/ZBM-Einheiten (Abb. 4-11) nicht falsifiziert werden konnte.

Zum Schluss muss explizit darauf hingewiesen werden, dass aufgrund der begrenzten Anzahl von vier Versuchsteilnehmern die Ergebnisse statistisch nicht abgesichert sind und sie nicht ohne weiteres zu verallgemeinern sind, aber dennoch Grundtendenzen erkennen lassen und somit einen guten Überblick über die real ausgeführten Konstruktionstätigkeiten geben.

6 Schlussbetrachtung und Ausblick

Es wurden die entwicklungsbedingten Anforderungen an den Technischen Modellbauer im Handlungsfeld „Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“ aufgezeigt, die

- die Fähigkeit zum Beherrschen und zum Mitgestalten von komplexen Arbeitsprozessen und der dazugehörigen Technik umfasst. Dieses setzt Wissen, Erfahrung, Intuition sowie Selbstständigkeit und Eigenverantwortung voraus und kann somit einen wesentlichen Beitrag zur Förderung der Handlungskompetenz leisten,
- eine Voraussetzung darstellt, den zeitgemäßen Gegenstand der Technikwissenschaften sowie deren integrativen Charakter ihres Wissens erfassen zu können.

Der theoretischen Reflexion der beruflichen Praxis, die sich auf Handlungsnähe bezieht und das alltägliche Tun in die umfassenden Zusammenhänge stellt, kommt eine bedeutende Rolle zu.

Bei diesem konkreten Forschungsvorhaben sind die fachspezifischen methodologischen Erkenntnisse der Konstruktionswissenschaft und der angrenzenden Wissenschaftsdisziplinen das zentrale und zugleich verbindende Glied zwischen dem schulischen Lernfeld/Lernsituation, dem beruflichen Handlungsfeld und den modernen (tätigkeitsbezogenen) Technikwissenschaften.

Basis für die entwickelten Lösungsansätze waren soziotechnische Handlungssysteme mit ihren Herstellungs- und Nutzungszusammenhängen sowie die Produktlebenslauflogik einerseits der Gießerei-Modelleinrichtung und andererseits des – mithilfe der Gießerei-Modelleinrichtung herzustellenden – Gusstückes.

Ausgangspunkt für die entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen war das Prozessmodell zur Entwicklung von Problemlösefähigkeit beim Konstruieren nach Fletcher (Abb. 3-25), welches sich zusammensetzt aus dem allgemein anerkannten Vorgehensmodell der Produktentwicklung und den Phasen des Wissenserwerbs nach Anderson.

Die hier entwickelten Lösungsansätze genügen den Ansprüchen der Prinzipien der Einheit

- von Ganzheitlichkeit und Tätigkeitsbezogenheit,
- von Zweck- und Anwendungsorientiertheit und

- von technisch Machbarem, gesellschaftlich Vertretbarem und sozial Wünschbarem.

Es stellte sich als unerlässlich heraus, eine wissenschaftsbestimmte Optimalwissensstruktur für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen zu entwickeln, welche die Realtechnik, aber auch das Facharbeiterwissen und dessen Erfahrung mit einfließen oder sich zumindest darin widerspiegeln soll.

Das entwickelte Rahmenmodell (Abb. 4-12) – und insbesondere die Partialmodelle – sind hinsichtlich des Wissenserwerbs entscheidend durch den Dualismus zwischen Fachsystematik und Handlungssystematik gekennzeichnet. Es ist un schwer zu erkennen, dass diese beiden einander bedingen und nicht isoliert voneinander betrachtet werden können – außer um grundlegende Erkenntnisse zu gewinnen. Somit erfordert das Können eine duale, aber tätigkeitsorientierte Beschreibung.

Die Konstruktionstätigkeiten im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei und die damit verbundenen Konstruktionsprozesse als Inhalte der Berufs- und Lebenswelt ermöglichen einen durch ihre jeweilige Eigenart gekennzeichneten Aufbau, die gezielte Vermittlung sowohl von Fach- und Arbeitswissen als auch von Qualifikationen und Kompetenzen.

Bei der empirischen Überprüfung konnte der dreidimensionale Programmablaufplan mit seinen VVR-/ZBM-Einheiten für die Entformbarkeit von Gießerei-Modelleinrichtungen (Abb. 4-11) nicht falsifiziert werden, da der Übereinstimmungsgrad bei allen Versuchspersonen und Konstruktionsaufgaben 100% betrug. Dieses Ergebnis gilt somit auch für das Rahmenmodell (Abb. 4-12), in dem der Prozess der Modellbildung dargestellt ist.

Mit den in dieser Dissertation entwickelten Ergebnissen liegen nun für die fachdidaktische Forschung fachspezifisch-methodologische Erkenntnisse vor, die weitere Untersuchungen dahin gehend ermöglichen, ob und wie die entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen bei der fachdidaktischen Erkundung in der beruflichen Bildung zu Lösungen beitragen können, d. h. es gilt

- unterrichtsmethodische Konzepte und Handlungsanleitungen zu entwickeln und
- diese in der unterrichtlichen Praxis zu erproben.

Nicht bewährt hat es sich in der beruflichen Ausbildung von Technischen Modellbauern, diese vollständig mit spezifischen Methoden(-systemen) versorgen zu wollen. Entscheidend ist, dass die Lernenden lernen,

- sich spezifische Methoden anzueignen,
- sie situationsgerecht anzuwenden,
- bei Bedarf neue Methoden zu entwickeln,
- aus der Erfahrung heraus wertvolles prozedurales Wissen abzuheben, es zu bewerten, zu ordnen und in zweckmäßiger Schreibweise zu fixieren und dann
- strukturiert im Alltagswissen abzulegen, um es effektiv handhaben zu können.

Auf der Basis der hier entwickelten Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für die Gießerei-Modelleinrichtungen können allgemeine Lösungsansätze für die Produktpalette der Urformwerkzeuge (Kokillen, Druckgießwerkzeuge, Spritzgießwerkzeuge usw.) entwickelt werden. Dies ist möglich, da die Gießerei-Modelleinrichtungen als didaktischer Repräsentant für die Urformwerkzeuge angesehen werden können.

Das Rahmenmodell (Abb. 4-12) ist so aufgebaut, dass es in ein computergestütztes Lernsystem integriert und umgesetzt werden kann.

7 Literaturverzeichnis

- Aebli, Hans (1997):** Grundlagen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. 4. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta Verlagsgemeinschaft 1997.
- Aebli, Hans (2001):** Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. 11. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta Verlagsgemeinschaft 2001.
- Anderson, John R. (2001):** Kognitive Psychologie. 3. Aufl. Heidelberg und Berlin: Spektrum Akademischer Verlag 2001.
- Ambos, Eberhard (1982):** Urformtechnik metallischer Werkstoffe. 2. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982.
- Ambos, Eberhard; Hartmann, Roland; Lichtenberg, Horst (1992):** Fertigungsgerechtes Gestalten von Gußstücken. Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1992 oder Darmstadt: Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag 1992.
- Ambos, Eberhard; Richter, Uwe (1995):** Stand und Entwicklungstendenzen der wissenschaftlichen Durchdringung des Fertigungsprozesses von Modellen und Formen. In: Computergestützte Innovative Technologien im Modellbau für Giessereien -CITIM-. Düsseldorf: VDG Fachbericht 1995, S. 1–8.
- Ambos, Eberhard; Soethe, Michael (1995):** Aufbereitung und Objektivierung von Expertenwissen für die Konstruktion gegossener Bauteile. In: Computergestützte Innovative Technologien im Modellbau für Giessereien -CITIM-. Düsseldorf: VDG Fachbericht 1995, S. 13–21.
- Ambos, Eberhard; Behm, Ingolf (1999):** Ganzheitliche Entwicklung – Quelle für innovative Produkte, Prozesse und Werkstoffe. In: GIESSEREI 86 (1999) Nr. 3, S. 35–40.
- ARP (2009):** Ausbildungsrahmenplan für die Berufsausbildung zum Technischen Modellbauer/zur Technischen Modellbauerin. In: Verordnung über die Berufsbildung Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, S. 15–23.
- Auer, P.; von der Weth, Rüdiger (1994):** Wie klären Konstrukteure ein Problem? – Die Entwicklung von Erfahrung und das Vorgehen bei der Analyse von Konstruktionsaufgaben. In: Konstruktion 46 (1994), S. 175–180.
- BA-Studium (2005):** Berufsakademie-Studium. Diplom Fertigungsprozessinformatiker/-in (Informationsbroschüre). Berufsakademie Nordhessen GmbH und Bundesfachschule Modellbau (Hrsg.): Bad Wildungen 01/2005.
- Bähr, Rüdiger; Mnich, Franz; Saewert, Hans-Christoph; Fiedler, Dirk (2005):** Virtuelle Produktentwicklung in der Gussfertigung. In: konstruieren + giesen 30 (2005) Nr. 1, S. 2–6.

- Bader, Reinhard (1988):** Maschinen- und Gerätetechnik. In: Bader, Reinhard u. a.: Technologie Metall. Grundstufe. 1. Aufl. Düsseldorf: Cornelsen Verlag Schwann-Girardet 1988, S. 138–155.
- Bader, Reinhard (1990):** Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz in der Berufsschule. Zum Begriff "berufliche Handlungskompetenz" und zur didaktischen Strukturierung handlungsorientierten Unterrichts. Soest: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung Nordrhein-Westfalen 1990.
- Bader, Reinhard (1991):** Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz durch Verstehen und Gestalten von Systemen – Ein Beitrag zum systemtheoretischen Ansatz in der Technikdidaktik. In: Die berufsbildende Schule 43 (1991) 7/8, S. 441–458.
- Bader, Reinhard (1995):** Didaktische Konzepte und Entwicklungen in der Berufsbildung – Konkretisierungen für gewerblich-technische Berufsfelder. In: Dehnpostel, Peter; Walter-Lezius, Hans-Joachim (Hrsg.): Didaktik moderner Berufsbildung. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 1995, S. 151–174.
- Bader, Reinhard (1998a):** Lernfelder. Erweiterter Handlungsraum für die didaktische Kompetenz der Lehrenden. In: Die berufsbildende Schule 50 (1998) 3, S. 73–74.
- Bader, Reinhard (1998b):** Das Lernfeld – Konzept in den Rahmenlehrplänen. In: Die berufsbildende Schule 50 (1998) 7–8, S. 211–212.
- Bader, Reinhard (1999a):** Lernfelder. In: Die berufsbildende Schule 51 (1999) 1, S. 3–4.
- Bader, Reinhard (1999b):** Handlungsfelder – Lernfelder – Lernsituationen. In: Die berufsbildende Schule 51 (1999) 5, S. 177.
- Bader, Reinhard (2000):** Konstruieren von Lernfeldern – eine Handreichung für Rahmenlehrplanausschüsse und Bildungsgangkonferenzen in technischen Berufsfeldern. In: Bader, Reinhard; Sloane, Peter F.E. (Hrsg.): Lernen in Lernfeldern. Theoretische Analysen und Gestaltungsansätze zum Lernfeldkonzept. Markt Schwaben: Eusl-Verlagsgesellschaft 2000, S. 33–50.
- Bader, Reinhard (2002a):** Handlungsorientierung in der Berufsbildung. Variantenreiche Ausprägungen. In: Die berufsbildende Schule 54 (2002) 3, S. 71–73.
- Bader, Reinhard (2002b):** Unterrichten nach dem Lernfeld-Konzept. Materialien für die Schulpraxis und allgemeine Einschätzungen. In: Die berufsbildende Schule 54 (2002) 10, S. 287.
- Bader, Reinhard (2003):** Lernfelder konstruieren – Lernsituationen entwickeln. Eine Handreichung zur Erarbeitung didaktischer Jahresplanungen für die Berufsschule. In: Die berufsbildende Schule 55 (2003) 7–8, S. 210–217.

- Bader, Reinhard (2004a):** Handlungsfelder – Lernfelder – Lernsituationen. Eine Anleitung zur Erarbeitung von Rahmenlehrplänen sowie didaktischer Jahresplannungen für die Berufsschule. In: Bader, Reinhard; Müller, Martina (Hrsg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2004, S. 11–37.
- Bader, Reinhard (2004b):** Handlungsorientierung als didaktisch-methodisches Konzept der Berufsbildung. In: Bader, Reinhard; Müller, Martina (Hrsg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2004, S. 61–68.
- Bader, Reinhard; Müller, Martina (2002a):** Vom Lernfeld zur Lernsituation. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 98. Band, Heft 1 (2002), S. 71–85.
- Bader, Reinhard; Müller, Martina (2002b):** Leitziel der Berufsbildung: Handlungskompetenz. Anregungen zur Ausdifferenzierung des Begriffs. In: Die berufsbildende Schule 54 (2002) 6, S. 176–182.
- Bader, Reinhard; Müller, Martina (2004):** Weiterentwicklung des Lernfeldkonzeptes – Empfehlungen an die KMK. In: Bader, Reinhard; Müller, Martina (Hrsg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2004, S. 69–81.
- Bader, Reinhard; Schäfer, Bettina (1998):** Lernfelder gestalten. Vom komplexen Handlungsfeld zur didaktisch strukturierten Lernsituation. In: Die berufsbildende Schule 50 (1998) 7–8, S. 229–234.
- Banse, Gerhard (1999):** Entwerfen im Spannungsfeld von Methodik, Heuristik und Kreativität. In: Thema 4. Jg., Heft 1 April 1999, S. 1–11. Online unter: www.tucottbus.de/theoriederarchitektur/Wolke/deu/Themen/991/Banse/banse.html
- Banse, Gerhard (2000):** Konstruieren im Spannungsfeld: Kunst, Wissenschaft oder beides? In: Banse, Gerhard; Friedrich, Käthe (Hrsg.): Konstruieren zwischen Kunst und Wissenschaft. Idee – Entwurf – Gestaltung. Berlin: Ed. Sigma 2000, S. 19–79.
- Banse, Gerhard; Wendt, Helge (1986):** Erkenntnismethoden in den Technikwissenschaften. Eine methodologische Analyse und philosophische Diskussion der Erkenntnisprozesse in den Technikwissenschaften. Berlin: VEB-Verlag Technik 1986.
- Beckmann, Johannes (1777):** Anleitung zur Technologie. Göttingen: 1777; neue Ausgabe Wien: 1789, Vorrede (unpaginiert).
- Bender, Bernd (2004):** Erfolgreiche individuelle Vorgehensstrategien in frühen Phasen der Produktentwicklung. Düsseldorf: VDI-Verlag 2004. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1 Nr. 377.

- Bender, Bernd; Pietzker, Frank; Kammerer, Uwe (2001):** Methoden für Beobachtung, Analyse und Interpretation von Konstruktionsprozessen und Lösungsgüte in empirischen Laborstudien. Dresden: Technische Universität, Institut für Psychologie I, Arbeitsgruppe „Wissen – Denken – Handeln“, Projektberichte Heft 9 2001.
- Bernard, Franz (1985):** Methodikrelevante Merkmale von Unterrichtsmethodiken technischer Fächer der Metallberufe aus der Sicht der Entwicklung des Unterrichtsstoffes. In: *Forschung soz. Berufsbildung* 19 (1985) 1, S. 19–25.
- Bernard, Franz (1990):** Methodische Konzepte für die Arbeit mit technischen Strategien im Unterricht technischer Fächer. In: *Forschung zur Berufsbildung* 24 (1990) 6, S. 261–266.
- Bernard, Franz (1991):** Gedanken und Konzepte zur Entwicklung von Unterrichtsmethodiken technischer Fachrichtungen. In: *berufsbildung* 45 (1991) 1, S. 35–38.
- Bernard, Franz (1993):** Berufliche Handlungskompetenz zur Gestaltung von Fertigungsprozessen. In: *Die berufsbildende Schule* 45 (1993) 3, S. 87–93.
- Bernard, Franz (1994):** Differenzierte Lernhandlungen im technologischen Unterricht zur Herausbildung von Planungskompetenz. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 90. Band, Heft 1 (1994), S. 37–49.
- Bernard, Franz (1998):** Zu Problemen der didaktischen Analyse von Lernfeldern. In: *Die berufsbildende Schule* 50 (1998) 11–12, S. 331–334.
- Bernard, Franz (1999a):** Technikdidaktische Probleme beim Erschließen von Lernfeldern. In: Huisinga, Richard; Lisop, Ingrid; Speier, Hans-Dieter (Hrsg.): *Lernfeldorientierung. Konstruktion und Unterrichtspraxis*. Frankfurt a. M.: G.A.F.B.-Verlag 1999, S. 447–474.
- Bernard, Franz (1999b):** Entfaltung von Methoden in der Technikdidaktik. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 95. Band, Heft 1 (1999), S. 63–83.
- Bernard, Franz (2000a):** Zum Prinzip der handlungsorientierten Akzentuierung von Lerninhalten für Lernfelder. In: Bader, Reinhard; Sloane, Peter F.E. (Hrsg.): *Lernen in Lernfeldern. Theoretische Analysen und Gestaltungsansätze zum Lernfeldkonzept*. Markt Schwaben: Eusl-Verlagsgesellschaft 2000, S. 99–110.
- Bernard, Franz (2000b):** Forschungsmethodische Lösungsansätze zur Differenzierung und Integration von technischem Wissen. In: Pahl, Jörg-Peter; Rauner, Felix; Spöttl, Georg (Hrsg.): *Berufliches Arbeitsprozesswissen*. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft 2000, S. 149–158.
- Bernard, Franz (2001a):** Technikdidaktik und Lernfeldkonzept. In: Bader, Reinhard; Bonz, Bernhard (Hrsg.): *Fachdidaktik Metalltechnik*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2001, S. 107–124.

- Bernard, Franz (2001b):** Paradigmenwechsel oder -pluralisierung in der Fachdidaktik Metall- und Maschinentechnik. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 97. Band, Heft 4 (2001), S. 596–606.
- Bernard, Franz (2001c):** Anforderungen des Lernfeldkonzeptes an die technikkdidaktische Ausbildung. In: Die berufsbildende Schule 53 (2001) 10, S. 299–305.
- Bernard, Franz (2002):** Berufsbildungspläne – ein Ersatz für Lernfelder? In: Die berufsbildende Schule 54 (2002) 3, S. 95–96.
- Bernard, Franz (2003):** Der fachwissenschaftlich-methodologische Ansatz der Technikdidaktik. In: Bonz, Bernhard; Ott, Bernd (Hrsg.): Allgemeine Technikdidaktik – Theorieansätze und Praxisbezüge. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2003, S. 72–87.
- Bernard, Franz (2004a):** Entwicklung von Fach- und Handlungssystematik in technischen Fächern und Lernfeldern. In: Bader, Reinhard; Müller, Martina (Hrsg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2004, S. 97–124.
- Bernard, Franz (2004b):** Folgerungen aus der Entwicklung neuer technischer Theorien für die Technikdidaktik. In: lernen & lehren (2004) 74, S. 80–89.
- Bernard, Franz (2006):** Herausbildung von Handlungsfähigkeit aus handlungstopologischer Sicht. In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 102. Band, Heft 3 (2006), S. 426–440.
- Bernard, Franz (2007):** Entwicklung von gewerblich-technischen Wissenschaften ohne Bezug zu Fachwissenschaften? In: Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 103. Band, Heft 1 (2007), S. 118–124.
- Bernard, Franz; Bonz, Bernhard (1990):** Unterrichtsmethodik und Fachdidaktik des Technikunterrichts in der DDR und der BRD. In: Forschung zur Berufsbildung 24 (1990) 5, S. 198–206.
- Bernard, Franz; Ebert, Dieter; Schröder, Bärbel (1995):** Unterricht Metalltechnik. Fachdidaktische Handlungsanleitungen. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik 1995.
- Biber, Jörg (1994):** Kreative Zeichenaufgabe. In: berufsbildung (1994) 30, S. 37–40.
- BLK-Programm (1998):** Neue Lernkonzepte in der dualen Berufsausbildung. Informationen für Antragsteller. Bremen: Institut Technik und Bildung 1998.
- Bloy, Werner (2004):** Lernen in Lernfeldern: Bautechnik, Holztechnik sowie Farbtechnik und Raumgestaltung. In: Bader, Reinhard; Müller, Martina (Hrsg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2004, S. 125–139.
- Bonz, Bernhard (1968):** Interpretativer und konstruktiver Unterricht an beruflichen Schulen. In: Die berufsbildende Schule 20 (1968) 10, S. 681–691.

- Bonz, Bernhard (1970):** Unterricht, konstruktiver. In: Horney, Walter; Ruppert, Johann Peter; Schultze, Walter (Hrsg.): Pädagogisches Lexikon, Band 2. Gütersloh: Bertelsmann Fachverlag 1970, S. 1247–1250.
- Bonz, Bernhard (1986):** Konstruktiver und erklärender Unterricht. Gegensätzliche Konzeptionen für Unterricht in technischen Fächern. In: *technic-didact* 11 (1986) 2, S. 81–93.
- Bonz, Bernhard (2003):** Technikdidaktik und technische Kompetenz in der allgemeinen und beruflichen Bildung – zugleich eine Einführung. In: Bonz, Bernhard; Ott, Bernd (Hrsg.): Allgemeine Technikdidaktik – Theorieansätze und Praxisbezüge. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2003, S. 4–18.
- Bortz, Jürgen; Döring, Nicola (2006):** Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. 4. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag 2006.
- Bouffee, Heinz (1979):** Modellbau für Gießereien. 5. Aufl. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1979.
- Bouffee, Heinz (1984):** Modellbau für Gießereien. 6. Aufl. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1984 oder Berlin: Lizenzausgabe für den Fachverlag Schiele & Schön 1983.
- Brockhaus (2000):** Der Brockhaus in fünf Bänden. 9. Aufl. Leipzig, Mannheim: F.A. Brockhaus 2000.
- Bromme, Rainer; Hömberg, Eckhard (1977):** Psychologie und Heuristik. Probleme der systematischen Effektivierung von Erkenntnisprozessen. Darmstadt: Dr. Dietrich Steinkopff Verlag 1977.
- Busse, Stefan; Lampe, Ralf-Hennig (1984):** Zur Begründung einer handlungstopologischen Sichtweise innerhalb einer Theorie individueller Handlungsfähigkeit. In: Vorweg, M. (Hrsg.): Persönlichkeitspsychologische Forschungen zur Regulation und Modifikation individuellen Verhaltens. Leipzig 1984, S. 28–57.
- Busse, Stefan; Lampe, Ralf-Hennig (1987):** Person – Handlung – Umwelt. Ein Strukturmodell zur individuellen Handlungsfähigkeit. In: Probleme und Ergebnisse der psychologischen Forschung. Leipzig, 8. Jg. (1987) 1.
- Conrad, Klaus-Jörg (2003):** Grundlagen der Konstruktionslehre. Methoden und Beispiele für den Maschinenbau. 2. Aufl. München, Wien: Hanser Verlag 2003.
- Conrad, Klaus-Jörg (2008):** Taschenbuch der Konstruktionstechnik. 2. Aufl. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2008.
- Chrosciel, Karl (1959):** Werkkunde des Modellbauers. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik 1959.

- Chrosciel, Karl; Greiner, Philipp; Richter, Rudolf; Schümmer, Ludwig (1979):** Grund- und Fachkenntnisse gießereitechnischer Berufe. Technologie – Technische Mathematik – Technisches Zeichnen. 3. Aufl. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik 1979.
- Daenzer, Walter F.; Huber, F. (2002):** Systems Engineering. Methodik und Praxis. 11. Aufl. Zürich: Verlag Industrielle Organisation 2002.
- Dellwig, Friedrich (1943):** Lehrlinge und Meister formen und gießen. Eine Bilderfolge aus der Welt der Formerlehrlinge und der Gießereimeister. Verein deutscher Gießereifachleute im NS-Bund Deutscher Technik (Hrsg.). Essen: Bildgut-Verlag 1943.
- DIN 1511 (1978):** Gießerei-Modelleinrichtungen. Herstellung und Güte. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.). Berlin: Beuth Verlag 1978.
- DIN 8580 (2003):** Fertigungsverfahren. Begriffe, Einteilung. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.). Berlin Beuth Verlag 2002.
- DIN 66001 (1983):** Informationsverarbeitung. Sinnbilder und ihre Anwendung. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.). Berlin: Beuth Verlag 1983.
- DIN EN 12890 (2000):** Gießereiwesen. Modelle, Modelleinrichtungen und Kernkästen zur Herstellung von Sandformen und Sandkernen. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung 2000.
- DIN ISO 8062 (1998):** Gussstücke. System für Maßtoleranzen und Bearbeitungszugaben. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.). Berlin: Beuth Verlag 1998. (Anmerkung: Die DIN 1680 bis 1688 sind nicht für Neukonstruktionen)
- DIN EN ISO 8062–1 (2008):** Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile – Teil 1: Begriffe. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.). Berlin: Beuth Verlag 2008.
- DIN EN ISO 8062–3 (2008):** Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile – Teil 3: Allgemeine Maß-, Form und Lagetoleranzen und Bearbeitungszugaben für Gussstücke. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.). Berlin: Beuth Verlag 2008.
- Dörner, Dietrich (1987):** Problemlösen als Informationsverarbeitung. 3. Aufl. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz: Kohlhammer Verlag 1987.
- Dörner, Dietrich (2002):** Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. 15. Aufl. Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag 2002.
- Dreibholz, D. (1975):** Ordnungsschemata bei der Suche von Lösungen. In: Konstruktion 27 (1975), S. 233–239.
- Dubbel, Heinrich [Begr.] (1987):** Taschenbuch des Maschinenbaus. 16. Aufl. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer-Verlag 1987.

- Dylla, Norbert (1990):** Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren. München: Technische Universität, Fakultät für Maschinenwesen, Diss. 1990.
- Ehrlenspiel, Klaus (2003):** Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 2. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 2003.
- Ehrlenspiel, Klaus; Dylla, Norbert (1991a):** Untersuchung des individuellen Vorgehens beim Konstruieren. In: Konstruktion 43 (1991), S. 43–51.
- Ehrlenspiel, Klaus; Dylla, Norbert (1991b):** Wirksamkeit von Konstruktionsstrategien. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 91. Zürich: Edition Heurista 1991 (Schriftenreihe WDK 20), S. 322–330.
- Ehrlenspiel, Klaus; Rutz, Andreas (1985):** Denkpsychologie als neuer Impuls für die Konstruktionsforschung – Folgerungen aus der Unmöglichkeit geschlossen algorithmischer Behandlung des Konstruktionsprozesses. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 85. Zürich: Edition Heurista 1985 (Schriftenreihe WDK 12), S. 863–873.
- Ehrlenspiel, Klaus; Rutz, Andreas (1987):** Konstruieren als gedanklicher Prozeß. In: Konstruktion 39 (1987) 10, S. 409–414.
- Engels, Gerhard (1991):** Geleitwort. In: Menden, Albert (Hrsg.): Gießerei-Modellbau. Handbuch. Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1991, S. V.
- Eratz, H.; Salm, Th. (1995):** Unterstützung der Rohteilkonstruktion durch Geometriemodule. In: Computergestützte Innovative Technologien im Modellbau für Giessereien -CITIM-. Düsseldorf: VDG Fachbericht 1995, S. 9–12.
- Erdmann, Ullrich; Reinkensmeier, Hinnerk (o. J.):** Urformtechnik. Projektorientierte Materialien. Vom Schweißteil zum Gußstück. Schleifbock. Analyse, Planungsprozess, Teilung, Modellzugaben, Modellriß (Lehrerausgabe). Ilsede bei Hannover: Beate Christmann Verlag o. J.
- Eversheim, Walter (1989):** Organisation in der Produktionstechnik. Band 3. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
- Fecht, Nikolaus (2002):** Schichtweise zum Erfolg „Experimentelle Fabrik Magdeburg“: Experimentierfeld für RP-Technologien. In: Bundesinnungsverband des Deutschen Modellbauer-Handwerks 4/2002, S. 29–30.
- Feldhusen, Jörg (2005):** CAx – und was dann? In: Konstruktion 9–2005, S. 3.
- Fischer, Fritz (1952):** Der Modellbau. Eine gemeinfaßliche Darstellung. Fachauschuß Modellbau im Verein Deutscher Gießereifachleute (Hrsg.). Düsseldorf: Giesserei Verlag 1952.
- Fletcher, Stefan (2005):** Förderung der Problemlösefähigkeit zum Konstruieren. Gestaltung von Lernprozessen mit Hilfe wissensbasierter Lernsysteme. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2005.

- Fletcher, Stefan (2006):** Methodisches Konstruieren mit Unterstützung neuer Medien. In: lernen & lehren (2006) 83, S. 101–106.
- Franke, Hans-Joachim (1975):** Methodische Schritte beim Klären konstruktiver Aufgabenstellungen. In: Konstruktion 27 (1975), S. 395–402.
- Franke, Hans-Joachim (1976):** Untersuchungen zur Algorithmisierbarkeit des Konstruktionsprozesses. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 47.
- Frede, Ludger (1954):** Fachzeichnen für Former. Essen: Fachbuchverlag Witzel 1954.
- Frei, Jörg (2004):** Integration der Simulation in den Entwicklungsprozess von Druckgießformen. In: GIESSEREI KOMPAKT 02/2004, S. 20–24.
- Fricke, Gerd (1993):** Konstruieren als flexibler Problemlöseprozeß – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen beim Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 227.
- Fricke, Gerd (1994):** Erfolgreiches individuelles Vorgehen beim Konstruieren – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In: Konstruktion 46 (1994), S. 181–189.
- Fricke, Gerd; Pahl, Gerhard (1991):** Zusammenhang zwischen personenbedingtem Vorgehen und Lösungsgüte. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 91. Zürich: Edition Heurista 1991 (Schriftenreihe WDK 20), S. 331–341.
- Fricke, Gerd; von der Weth, Rüdiger (1990):** Denkprozesse beim Konstruieren. Bamberg: Universität, Lehrstuhl Psychologie II, Erster Zwischenbericht der Arbeitsgruppe Darmstadt/Bamberg 1990.
- Fritz, Herbert A.; Schulze, Günter (1998):** Fertigungstechnik. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1998.
- Fuchs, Heinrich; Wappelhorst, Michael; Zeumer, Norbert (2002):** Zur Leistungsfähigkeit von Sandguß am Beispiel hochbeanspruchter Luftfahrtanwendungen. In: GIESSEREI 89 (2002) Nr. 5, S. 37–41.
- Georg, Walter; Grüner, Gustav; Kahl, Otto (1995):** Kleines berufspädagogisches Lexikon. 8. Aufl. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 1995.
- Gerdsmeier, Gerhard (2006):** Problemstellungen des Wissenserwerbs in Lernfirmen. Online unter: www.bwpat.de/ausgabe10/gerdsmeier_bwpat10.pdf
- Getzlaff, Uwe (2003):** Zeitersparnis von der Produktentwicklung bis zur Serieneinführung – Produktentwicklung als Absatzmotor. In: konstruieren + gießen 28 (2003) Nr. 2, S. 2–5.

- Giapoulis, Anthimos (1998):** Modelle für effektive Konstruktionsprozesse. Aachen: Shaker Verlag 1998.
- Görner, Rolf (1994):** Zur psychologischen Analyse von Konstrukteur- und Entwurfstätigkeiten. In: Bergmann, Bärbel; Richter, Peter (Hrsg.): Die Handlungsregulationstheorie. Von der Praxis einer Theorie. Göttingen u. a.: Verlagsgruppe Hogrefe 1994, S. 231–241.
- Gorochow, Vitalij Georgievic (1981):** Probleme des Aufbaus moderner technischer Theorien. In: Sowjetwissenschaft – Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge 34 (1981) Heft 6, S. 850–860.
- Grüner, Gustav (1967a):** Die didaktische Reduktion als Kernstück der Didaktik. In: Die Deutsche Schule 59 (1967) 7/8, S. 414–430.
- Grüner, Gustav (1967b):** Erziehung zum konstruktiven Denken in beruflichen Schulen. In: Die deutsche Berufs- und Fachschule 63 (1967) 3, S. 191–204.
- Grüner, Gustav (1978):** Bausteine der Berufsschuldidaktik. Trier: Spee-Verlag 1978.
- Günther, Claus; Lothmann, Gottfried (1982):** Ur- und Umformwerkzeuge. Lehrbuch für die Berufsausbildung. 5. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
- Günther, Joachim (1998):** Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozeß. Eine empirische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Konstrukteuren aus der Praxis. Aachen: Shaker Verlag 1998.
- Gudjons, Herbert; Winkel, Rainer (2006):** Didaktische Theorien. 12. Aufl. Hamburg: Bergmann + Helbig Verlag 2006.
- Hacker, Winfried (1989):** On the utility of procedural rules. In: Ergonomics, Vol. 32, No.7 1989, S. 717–732.
- Hacker, Winfried (1992):** Expertenkönnen. Erkennen und Vermitteln. Göttingen, Stuttgart: Verlagsgruppe Hogrefe 1992.
- Hacker, Winfried (1999):** Konstruktives Entwickeln als Tätigkeit – Versuch einer Reinterpretation des Entwurfsdenkens (design problem solving). In: Zeitschrift für Sprache & Kognition 18 (3/4) 1999, S. 88–97.
- Hacker, Winfried (2002):** Denken in der Produktentwicklung. Psychologische Unterstützung der frühen Phasen. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- Hacker, Winfried (2005):** Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit. 2. Aufl. Bern: Verlag Hans Huber 2005.
- Häntzschel-Clairmont, Walter (o. J.):** Die Praxis der Modelltischlerei. 3. Aufl. Leipzig: Dr. Max Jänecké Verlagsbuchhandlung (Veröffentlichung im Deutschen Reich).

- Hales, C. (1987):** Analysis of the Engineering Design Process in an Industrial Context. Cambridge: University Diss. 1987.
- Hansen, Friedrich (1966):** Konstruktionssystematik. Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1966.
- Hansen, Friedrich (1974):** Konstruktionswissenschaft. Grundlagen und Methoden. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1974.
- Heidegger, Gerold; Rauner, Felix (1990):** Berufe 2000 – Berufliche Bildung für die industrielle Produktion der Zukunft. Reihe: Mensch und Technik. Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). Düsseldorf 1990.
- Heidegger, Gerald u. a. (2000):** Berufsbilder 2000. Soziale Gestaltung von Arbeit, Technik und Bildung. Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). Opladen: Westdeutscher Verlag 1991.
- Herfurth, Klaus; Ketscher, Niels; Köhler, Martina (2003):** Giessereitechnik kompakt. Werkstoffe, Verfahren, Anwendungen. Verein Deutscher Giessereifachleute (Hrsg.). Düsseldorf: Giesserei-Verlag 2003.
- Hesse, Stefan; Nörthemann, Karl-Heinz; Krahn, Heinrich; Strzys, Peter (1998):** Vorrichtungen zur Herstellung von Gußstücken und Spritzgußteilen. Praxisbeispiele für Planer, Konstrukteure und Betriebsingenieure. Renningen-Malsheim: Expert Verlag 1998.
- Heursen, Gerd (1997):** Ungewöhnliche Didaktiken. Hamburg: Bergmann + Helbig Verlag 2007.
- Heymann, Matthias (2005):** «Kunst» und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts. Zur Geschichte der Konstruktionswissenschaft. Zürich: Chronos Verlag 2005.
- Honsel, Chr.; Gundlach, J.; Weiß, K. (1995):** Optimierung der Gußteilentwicklung sowie des endform- und funktionsgerechten Modell- und Formenbaus mittels Finite Elemente Simulation. In: Computergestützte Innovative Technologien im Modellbau für Giessereien -CITIM-. Düsseldorf: VDG Fachbericht 1995, S. 22–30.
- Honsel, Hans-Dieter (2006):** Technologischer Fortschritt – unsere Antwort auf die Globalisierung. In: GIESSEREI 93 06/2006, S. 18–23.
- Hubka, Vladimir; Eder, Ernst W. (1992):** Einführung in die Konstruktionswissenschaft. Übersicht, Modell, Anleitung. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, London u. a.: Springer-Verlag 1992.
- Huisinga, Richard (2003):** Spezifische Wissensbasen und Folgerungen für berufliches Lernen im Bereich der Hochtechnologie. In: Pahl, Jörg-Peter; Schütte, Friedhelm; Vermehr, Bernd (Hrsg.): Verbundausbildung – Lernorganisation im Bereich der Hochtechnologie. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2003, S. 103–128.

- Huppertz, Andreas; Schulze, Mirko J.; Gündisch, Christian (2003):** Kundenbezogene Produktentwicklung. In: GIESSEREI 90 09/2003, S. 61–62.
- Infotech Enterprises (2008):** Entformungswinkel-Analyse: Neues Softwaremodul. In: GIESSEREI 95 07/2008, S. 140.
- IHK (2004):** Abschlussprüfung Modellbaumechaniker/-in Gießereimodellbau. Schriftliche Prüfung Modell- und Formenherstellung Teil 1, Sommer 2004. Stuttgart: PAL-Prüfungsaufgaben- und Lehrmittelentwicklungsstelle 2004.
- IHK (2007/08):** Abschlussprüfung Modellbaumechaniker/-in Gießereimodellbau. Schriftliche Prüfung Modell- und Formenherstellung Teil 1, Winter 2007/08. Stuttgart: PAL-Prüfungsaufgaben- und Lehrmittelentwicklungsstelle 2007.
- ISO 10135 (1994):** Technical drawings – Simplified representation of moulded, cast and forged parts. International Organisation for Standardization (Hrsg.). Switzerland 1994.
- Jobst, Eberhard (1995):** Technikwissenschaften, Wissensintegration, interdisziplinäre Technikforschung. Eine Problemstudie. Frankfurt a.M.: Verlag G.A.F.B. 1995.
- Johannsen, Gunnar (1993):** Mensch – Maschine – Systeme. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1993.
- Jung, Helmut (1953):** Metallmodelle, Gipsmodelle und Modellplatten für die Maschinenformerei. 2. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1953.
- Kadlec, Emil (1951):** Fachkunde für den Modellbau. 2. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1951.
- Kadlec, Emil (1965):** Gießereimodellbau. Grundlagen, Herstellung, Verwendung. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1965.
- Kirchhöfer, Dieter (1977):** Die Entfaltung der Methoden. Leipzig: Karl-Marx-Universität, Dissertation B 1977.
- Kiewert, Alfons (1991):** Der Konstruktionsprozeß als Rückkopplung – Formulierung von Teilaspekten des Konstruktionsprozesses. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of International Conference on Engineering Design. Zürich: Edition Heurista 1983 (Schriftenreihe WDK 20), S. 70–76.
- Kirschner, Oswald (1993):** Konstruieren als Problemstellung im handlungsorientierten Unterricht der Berufsschule. In: Die berufsbildende Schule 45 (1993) 10, S. 329–335.
- Klauser, Fritz (2000):** Deklaratives, prozedurales, strategisches Wissen und Metakognition als Leitkategorien der Lernfeldgestaltung. In: Bader, Reinhard; Sloane, Peter F.E. (Hrsg.): Lernen in Lernfeldern. Markt Schwaben: Eusl-Verlagsgesellschaft 2000, S. 111–122.

- Klein, Gerhard; Kochendörfer, Jürgen; Kurz, Ulrich (1992):** Kann „Technische Kommunikation“ das konstruktive Denken fördern? In: *lernen & lehren* 7 (1992) 28, S. 67–77.
- Kleiner, Michael; Haasler, Bernd (2002):** Berufsbildungspläne als Beitrag zur Entwicklung von Lernfeldern. In: *Die berufsbildende Schule* 54 (2002) 1, S. 12–17.
- KMK-Handreichungen (2000):** Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz (KMK) für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Sekretariat der KMK (Hrsg.). Bonn 2000.
- KMK-Handreichungen (2007):** Handreichungen für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe. Sekretariat der KMK (Hrsg.). Bonn 2007.
- König, Ernst; Riedel, Harald (1976):** Systemtheoretische Didaktik. 3. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz Verlag 1976.
- König, Wolfgang (1999):** Künstler und Strichezieher. Konstruktions- und Technikulturen im deutschen, britischen, amerikanischen und französischen Maschinenbau zwischen 1850 und 1930. 1. Aufl. Frankfurt a. M.: Suhrkamp Verlag 1999.
- Köster, Egon (1994):** Problemlösen als Lernhandlung. Grundlagen der Ausbildung schöpferischen Denkens und Handelns in der Lerntätigkeit. Schriftenreihe Erziehung-Unterricht-Bildung 28 1994.
- Kohler, Richard (2009):** Piaget und die Pädagogik. Eine historiographische Analyse. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt 2009.
- Koller, Rudolf (1998):** Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. 4. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag 1998.
- Kraft, Klaus (1982):** Urformen. Fertigungstechnik. Institut für Fachschulwesen der Deutschen Demokratischen Republik (Hrsg.). 4. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
- Krause, Konrad (1998):** Zur Entwicklung von Hochschuldidaktiken als Teilgebiete einer Hochschulpädagogik in der DDR. In: Knoll, Jörg (Hrsg.): Hochschuldidaktik der Erwachsenenbildung. Theorie und Praxis der Erwachsenenbildung. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt 1998, S. 130–172.

- Krause, Konrad (2001):** Zum Einfluss fachspezifischer Methodologien auf die Entwicklung von Fachdidaktiken. In: Bader, Reinhard; Bonz, Bernhard (Hrsg.): Fachdidaktik Metalltechnik. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2001, S. 125–143.
- Kreimeyer, Matthias; Heymann, Matthias; Lauer, Wolfgang; Lindemann, Udo (2006):** Die Konstruktionsmethodik im Wandel der Zeit – Ein Überblick zum 100sten Geburtstag von Prof. Wolf Georg Rodenacker. In: Konstruktion 10 2006, S. 72–74.
- Kromrey, Helmut (2006):** Empirische Sozialforschung. Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung. 11. Aufl. Stuttgart: Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft 2006.
- Kuhn, Thomas S. (1976):** Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Zweite revidierte und um das Postscriptum von 1969 ergänzte Aufl. Frankfurt a. M.: Suhrkamp-Verlag 1976.
- Leontjew, Alexej Nikolajewitsch (1982):** Tätigkeit, Bewusstsein, Persönlichkeit. Köln: Pahl-Rugenstein Verlag 1982. (Copyright by Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin/DDR 1979).
- Lindemann, Udo (2004):** Entwicklungsmethodik in der industriellen Praxis. In: Konstruktion 4–2004, S. 3.
- Lindemann, Udo (2007):** Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2007.
- Löwer, Richard (1950a):** Der Holzmodellbau. I. Teil: Allgemeines. Einfachere Modelle. 3. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1950.
- Löwer, Richard (1950b):** Der Holzmodellbau. II. Teil: Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen. 3. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1950.
- Lohmann, Hans (1953/54):** Die Technik und ihre Lehre. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Dresden 3 (1953/54) Heft 4, S. 601–629.
- Lohmann, Hans (1957):** Die Bedeutung der Methodologie für die Lehre der Technik. In: Die Fachschule Heft 4/1957, S. 128–133.
- Lohmann, Hans (1959/60a):** Zur Theorie und Praxis der Heuristik in der Ingenieur-erziehung (Teil I). In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Dresden 9 (1959/60) Heft 4, S. 1069–1096.
- Lohmann, Hans (1959/60b):** Zur Theorie und Praxis der Heuristik in der Ingenieur-erziehung (Teil II). In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Dresden 9 (1959/60) Heft 5, S. 1281–1321.
- Longmuß, Jörg (2003):** Der Referenz-Prozess – eine Leitlinie für den gesamten Produktentstehungsprozess. In: Konstruktion 9–2003, S. 63–67.

- du Maire, Ernst (1999):** Umsetzung moderner Gießereitechnologien in funktions- und kostenoptimierte Konstruktionen. In: konstruieren + giessen 24 (1999) Nr. 3, S. 36.
- du Maire, Ernst (2001):** Die Gießerei als Entwicklungspartner – Wertschöpfung auf kreativen Wegen. In: konstruieren + giessen 26 (2001) Nr. 3, S. 18–25.
- du Maire, Ernst; Helm, Bodo (1998):** Komplettentwicklung der Rotornabe für eine Windkraftanlage – Mit Simultaneous Engineering vom ersten Entwurf bis zum einbaufertigen Bauteil. In: konstruieren + giessen 23 (1998) Nr. 4, S. 19–25.
- du Maire, Ernst; Schmidt, Thorsten (2004):** Rapid Casting – schneller besser werden! In: GIESSEREI 91 06/2004, S. 127–131.
- Mayring, Philipp (2002):** Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 5. Aufl. Weinheim und Basel: Beltz Verlag 2002.
- Menden, Albert (1991):** Gießerei-Modellbau. Handbuch. Verein Deutscher Giessereifachleute (Hrsg.). Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1991.
- Meyer, Hilbert (1992):** Unterrichtsmethoden. I: Theorieband. 5. Aufl. Frankfurt a. M.: Cornelsen Verlag Scriptor 1992.
- Meyer, Hilbert (1993):** Unterrichtsmethoden. II: Praxisband. 5. Aufl. Frankfurt a. M.: Cornelsen Verlag Scriptor 1993.
- Missler Software (2007):** Noch kürzere Entwicklungszeiten. Vereinfachter Formenentwurf mit TopSolid`Mold. In: Zeitschrift des Bundesinventionsverband des Deutschen Modellbau-Handwerks 2007 Heft 1, S. 9.
- Moser, Helmut (2004):** Ausbildung im Modellbauer-Handwerk. Vortrag vor dem Obermeistertag des Bundesverbandes des Deutschen Modellbauer-Handwerks am 08. Oktober 2004 (Manuskript-Vorlage).
- Müller, Johannes (1970):** Grundlagen der Systematischen Heuristik. 1. Aufl. Berlin: Dietz Verlag 1970.
- Müller, Johannes (1983):** Systematische Heuristik, Theorie und Anwendung. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 83. Zürich: Edition Heurista 1983 (Schriftenreihe WDK 10), S. 43–52.
- Müller, Johannes (1985):** Denkpsychologie und Ingenieurmethodik – Wege zur empirisch fundierten Methodikforschung. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 85. Zürich: Edition Heurista 1985 (Schriftenreihe WDK 10, Vol. 2), S. 841–854.
- Müller, Johannes (1986):** Versuch einer Typisierung von Anforderungssituationen bei der Lösung technisch-wissenschaftlicher Aufgabenstellungen. In: Maschinenbautechnik 35 (1986) 8, S. 365–372.

- Müller, Johannes (1990):** Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Systematik, Heuristik, Kreativität. Berlin, Heidelberg, New York u. a.: Springer-Verlag 1990.
- Müller, Martina; Bader, Reinhard (2004):** Begriffe zum Lernfeldkonzept. In: Bader, Reinhard; Müller, Martina (Hrsg.): Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2004, S. 82–93.
- Müller-Jentsch, Walther (1997):** Arbeitsorganisation. In: Kahsnitz, Dietmar; Ropohl, Günter; Schmid, Alfons (Hrsg.): Handbuch der Arbeitslehre. Frankfurt a. M.: Oldenburger Verlag 1997.
- Neumann, Uwe (1991):** Konzeption und Entwurf eines Preßformenadapters zur automatischen Herstellung von Brillenglasrohlingen. Hannover: Fachhochschule, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit 1991.
- Neumann, Uwe (1995):** Entwicklung von beruflicher Handlungskompetenz durch methodisches Konstruieren. Hannover: Universität, Fakultät Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Erste Staatsprüfung 1995.
- Neumann, Uwe (2006):** Analysen zum Konstruktionsprozess von Gießereimodellen als typisches Handlungsfeld des Modellbauers. In: Die berufsbildende Schule 58 (2006) 1, S. 19–26.
- Neumann, Uwe (2007a):** Entwicklung von Ablaufplänen für die konstruktive Problemlösung im Gießereimodellbau als typisches Handlungsfeld des Modellbauers (Teil 1). In: Die berufsbildende Schule 59 (2007) 2, S. 51–56.
- Neumann, Uwe (2007b):** Entwicklung von Ablaufplänen für die konstruktive Problemlösung im Gießereimodellbau als typisches Handlungsfeld des Modellbauers (Teil 2). In: Die berufsbildende Schule 59 (2007) 3, S. 85–88.
- Neumann, Uwe (2007c):** Entwicklung eines Methodensystems für die konstruktive Problemlösung von Gießereimodellen. In: konstruieren + giessen 32 (2007) Nr. 4, S. 2–8.
- Neumann, Uwe (2008a):** Das Berufsbild im Fachbereich Modellbau. Eine Diskussionsgrundlage. In: Fachzeitschrift des Bundesinnungsverbandes des Deutschen Modellbauer-Handwerks 1/2008, S. 3–5.
- Neumann, Uwe (2008b):** Das Berufsbild im Fachbereich Modellbau. Eine Diskussionsgrundlage. Unveröffentlichtes Manuskript und Weiterentwicklung von Neumann 2008a. Alfeld 2008.
- Ott, Bernd (2003):** Strukturmerkmale einer ganzheitlichen Techniklehre und Technikdidaktik. In: Bonz, Bernhard; Ott, Bernd (Hrsg.): Allgemeine Technikdidaktik – Theorieansätze und Praxisbezüge. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2003, S. 90–103.

- Ott, Bernd (2007):** Grundlagen des beruflichen Lernens und Lehrens. Ganzheitliches Lernen in der beruflichen Bildung. 3. Aufl. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor 2007.
- Ott, Bernd; Pyzalla, Georg (2003):** Konzeption einer problemorientierten Technikdidaktik und Techniklehre. In: Bonz, Bernhard; Ott, Bernd (Hrsg.): Allgemeine Technikdidaktik – Theorieansätze und Praxisbezüge. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2003, S. 104–116.
- Ott, Heinz K.; Reip, Hubert; Isberner, Dieter (1995):** Planung, Analyse und Beurteilung von Unterricht. Bad Homburg: Verlag Dr. Max Gehlen 1995.
- Pahl, Gerhard (1985):** Denkpsychologische Erkenntnisse und Folgerungen für die Konstruktionslehre. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 85. Zürich: Edition Heurista 1985 (Schriftenreihe WDK 10, Vol. 2), S. 817–822.
- Pahl, Gerhard (1994):** Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Ergebnisse des Ladensburger Diskurses von Mai 1992 bis Oktober 1993. Köln: Verlag TÜV Rheinland 1994.
- Pahl, Gerhard (1999):** Denk- und Handlungsweisen beim Konstruieren. Erkenntnisse aus einer interdisziplinären Forschung. In: Konstruktion 6–1999, S. 11–17.
- Pahl, Gerhard (2005):** VADEMECUM – Ein kurzer Leitfaden beim Entwickeln und Anwenden von Konstruktionsmethoden. In: Konstruktion 5–2005, S. 64–69.
- Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang (1993):** Konstruktionslehre. Methoden und Anwendungen. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1993.
- Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (2003):** Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendungen. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg u. a.: Springer-Verlag 2003.
- Pahl, Jörg-Peter (1991):** Die Nacherfindungsaufgabe. Ein Unterrichtsverfahren zur Förderung von Kreativität in der beruflichen Bildung. In: lernen & lehren 6 (1991) 21, S. 51–60.
- Pahl, Jörg-Peter (2000):** Konstruieren und berufliches Lernen. Neusäß: Kieser Verlag 2000.
- Pahl, Jörg-Peter (2003):** Arbeits- und Technikdidaktik – Zur Frage der Handlungs- und Gestaltungsorientierung beim beruflichen Lernen. In: Bonz, Bernhard; Ott, Bernd (Hrsg.): Allgemeine Technikdidaktik – Theorieansätze und Praxisbezüge. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2003, S. 55–71.
- Pahl, Jörg-Peter; Schilling, Ernst-Günter (1993):** Die Konstruktionsaufgabe. In: Die berufsbildende Schule 45 (1993) 7/8, S. 256–261.

- Patzak, Gerold (1982):** Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1982.
- Peukert, Klaus (1995):** Gießgerechtes Konstruieren – ist diese Forderung noch realistisch? In: konstruieren + giessen 20 (1995) Nr. 2, S. 4–8.
- Piaget, Jean (2003):** Meine Theorie der geistigen Entwicklung. Reinhard Fatke (Hrsg.). Weinheim, Basel: Beltz Verlag 2003.
- Pietzcker, Frank (2004):** Konstruktion lehren – Wirkung einer konstruktionsmethodischen Ausbildung auf das Konstruieren bei Studenten und Konstrukteuren. München: Verlag Dr. Hut 2004.
- Polya, Georg (1949):** Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme. Bern: Francke Verlag 1949.
- Popper, Karl R. (1994):** Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis, Geschichte und Politik. München, Zürich: Piper Verlag 2004.
- Rahmenvereinbarung für Splitterberufe (2009):** Rahmenvereinbarung über die Bildung länderübergreifender Fachklassen für Schüler/Schülerinnen in anerkannten Ausbildungsberufen mit geringer Zahl Auszubildender. Beschluss der Kultusministerkonferenz – gültig ab dem 01.08.2009. Online unter: www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2010/2010_06_25-Splitt-Liste-22-Fortschreibung.pdf, S. 214–216.
- Rauner, Felix (1990):** Technikgestaltung als Bildungsaufgabe. In: Forschung zur Berufsbildung 3–90, S. 103–109.
- Rauner, Felix (1995):** Gestaltung von Arbeit und Technik. In: Arnold, Rolf; Lipsmeier, Antonius (Hrsg.): Handbuch der Berufsbildung. Opladen: Leske + Budrich Verlag 1995, S. 50–66.
- Reetz, Lothar (2000):** Handlung, Wissen und Kompetenz als strukturbildende Merkmale von Lernfeldern. In: Bader, Reinhard; Sloane, Peter F.E. (Hrsg.): Lernen in Lernfeldern. Theoretische Analysen und Gestaltungsansätze zum Lernfeldkonzept. Markt Schwaben: Eusl-Verlagsgesellschaft 2000, S. 141–154.
- Richter, Rudolf (1986):** Form- und gießgerechtes Konstruieren. 4. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1986.
- Riedel, Alfred (2004):** Didaktik I – Grundlagen. München Technische Universität, Lehrstuhl für Pädagogik, Seminarunterlagen 2004.
- RLP (1989):** Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Modellbauer/Modellbauerin (Beschluss der KMK vom 21.02.1989). In: Verordnung über die Berufsbildung Modellbauer/Modellbauerin. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, S. 13–27.
- RLP (1996):** Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Modellbaumechaniker/Modellbaumechanikerin (Beschluss der KMK vom 21.11.1996). In: KMK – Berufliche Bildung 47 Februar 1998, S. 1–8.

- RLP (2009):** Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin (Beschluss der KMK vom 23.04.2009). In: Verordnung über die Berufsbildung Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, S. 24–53.
- Rodenacker, Wolf Georg (1984):** Methodisches Konstruieren. Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag 1984.
- Roediger, Hannes (1988):** Die zeichnerisch-konstruktive Durchbildung von Maschinenteilen, Teil 1 und 2. 5. Aufl. Bad Camberg: Camberger Verlag Ulrich Lange 1988.
- Roller, Rolf (1982):** Fachkenntnisse Gießereimodellbau. Technologie. 1. Aufl. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik 1982.
- Roller, Rolf (1992):** Grund- und Fachkenntnisse Modellbau. Technologie Modell- und Formenbau. 3. Aufl. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik.
- Roller, Rolf (2006):** Fachkunde Modellbau. Technologie des Modell- und Formenbaus. 5. Aufl. (identisch mit der 4. Aufl.). Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel 2006.
- Roller, Rolf; Heidler, Hans (1989):** Technisches Zeichnen für Gießerei und Modellbau. Grund- und Fachstufe. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik 1989.
- Roller, Rolf; Heidler, Hans (1990):** Lösungen zu Roller/Heidler (1989) Technisches Zeichnen für Gießerei und Modellbau. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik 1990.
- Ropohl, Günter (1975):** Systemtechnik – Grundlagen und Anwendung. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1975.
- Ropohl, Günter (1979):** Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie. 1. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1979.
- Ropohl, Günter (1983):** Konstruktionswissenschaft und allgemeine Techniklehre. In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 83. Zürich: Edition Heurista 1983 (Schriftenreihe WDK 10), S. 327–336.
- Ropohl, Günter (1998):** Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften. Amsterdam: GIB Verlag Fakultät 1998.
- Ropohl, Günter (1999):** Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 2. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1999.
- Ropohl, Günter (2003):** Allgemeine Technologie: Wissenschaft in didaktischer Absicht. In: Bonz, Bernhard; Ott, Bernd (Hrsg.): Allgemeine Technikdidaktik – Theorienansätze und Praxisbezüge. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2003, S. 148–161.

- Roth, Karlheinz (2000):** Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, London: Springer-Verlag 2000.
- Rugenstein, Jürgen (1974):** Methodisches Konstruieren. Einführung in die Konstruktionswissenschaften Teil 1 und 2. In: Schriftenreihe des Institutes für Fachschulwesen. Karl-Marx-Stadt 1974.
- Rutz, Andreas (1985):** Konstruieren als gedanklicher Prozess. München: Technische Universität, Fakultät Konstruktion im Maschinenbau, Diss. 1985.
- Sachse, Pierre; Hacker, Winfried (1995):** Wie denkt, handelt der Konstrukteur? Forschungsberichte der Technischen Universität Dresden, Band 24. Dresden 1995.
- Schäfer, Bettina; Bader, Reinhard (2000):** Handlungskompetenz durch Lernfelder – Möglichkeiten einer Konzeptualisierung des Lernfeld-Ansatzes. In: Lipsmeier, Antonius; Pätzold, Günter (Hrsg.): Lernfeldorientierung in Theorie und Praxis. Stuttgart: Franz Steiner Verlag 2000, S. 148–158.
- Scheel, Burghard; Ambos, Eberhard; Bähr, Rüdiger; Behm, Ingolf; Brahmman, Martin (1996):** Einsatz multimedialer Datenkommunikation im simultanen Konstruktions- und Entwicklungsprozeß gegossener Bauteile. In: konstruieren + gießen 21 (1996) Nr. 3, S. 22–28.
- Schelten, Andreas (1994):** Moderner Unterricht in der Berufsschule. Herausforderungen für die Zukunft. DGB Bundesvorstand (Hrsg.). Gewerkschaftliche Bildungspolitik (1994) Heft 6/7, S. 142–148.
- Schelten, Andreas (2006):** Objektivistischer und konstruktivistischer Unterricht. In: Die berufsbildende Schule 58 (2006) 2, S. 39–40.
- Schiffer, Franz; Tempelhof, Karl-Heinz (1985):** Fertigungsprozessgestaltung im Maschinen- und Gerätebau. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1985.
- Schmid, Ute; Kindsmüller, Martin Christof (1996):** Kognitive Modellierung: Eine Einführung in logische und algorithmische Grundlagen. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1996.
- Schmidt, Hans (1984):** Konstruktionsausbildung an Fachhochschulen. Empfehlungen zu einem Rahmenplan für methodenbezogenen Konstruktionsunterricht. Leitsätze, Lernziele, Lerninhalte, Hinweise für die Unterrichtsplanung. Berlin, München: Siemens Aktiengesellschaft 1984.
- Schmidt, Heinrich Georg (1980):** Heuristische Methoden als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung beim Konzipieren technischer Produkte. Berlin: Institut für Maschinenkonstruktion 1980.
- Schregenberger, Johann W. (1982):** Methodenbewusstes Problemlösen. Ein Beitrag zur Ausbildung von Konstrukteuren, Beratern und Führungskräften. Bern, Stuttgart: Paul Haupt Verlag 1982.

- Schröder, Bärbel (1992):** Zum Einfluß methodologischer Analysen auf die Entwicklung der Fachdidaktik des konstruktiv-maschinenkundlichen Unterrichts. Magdeburg: Technische Universität "Otto von Guericke", Fakultät für Erziehungswissenschaften, Diss. 1992.
- Schröder, Bärbel (1994):** Lernfähigkeiten im konstruktiv-maschinenkundlichen Unterricht in Metallberufen versus Tätigkeiten im konstruktiven Entwicklungsprozess? In: Die berufsbildende Schule 46 (1994) 7/8, S. 251–258.
- Schröder, Bärbel (1995):** Problembearbeitung im konstruktiv-maschinenkundlichen Unterricht. In: lernen & lehren 37/38 (1995), S. 83–95.
- Schröder, Bärbel (2001):** Zur Entwicklung der Fachdidaktik des konstruktiv-maschinenkundlichen Unterrichts. In: Bader, Reinhard; Bonz, Bernhard (Hrsg.): Fachdidaktik Metalltechnik. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren 2001, S. 144–162.
- Schwarzwälder, Stefan (2000):** Technikdidaktik – Synthetisch-konstruierend akzentuierte Methoden. München, Ravensburg: Grin-Verlag 2000.
- Schweres, Manfred; Wilk, Bettina (1999):** Anforderungsermittlung in modernen Produktionsstrukturen – Umsetzung des Konzeptes der vollständigen Arbeitsaufgabe. In: Zeitschrift für Unternehmerentwicklung und Industrial Engineering 48 (1999) 4, S. 168–173.
- Segeth, Wolfgang (1974):** Aufforderung als Denkform. Vom Wissen zum zielgerichteten Handeln. Berlin: Akademie-Verlag 1974.
- Sembill, Detlef (1992):** Problemlösefähigkeit, Handlungskompetenz und emotionale Befindlichkeit. Göttingen, Toronto, Zürich: Hogrefe Verlag 1992.
- Smetan, Herbert (2009):** Einfach besser sein genügt! In: GIESSEREI 96 09/2009, S. 76–85.
- Spur, Günter (1998):** Technologie und Management. Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1998.
- Spur, Günter (1999):** Thesen zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften. In: Zeitschrift für wissenschaftliche Fertigung 94 (1999) 4, S. 150–158.
- Spur, Günter (2000):** Die technologische Globalisierung. Eine Herausforderung der Ingenieurwissenschaften. In: Zeitschrift für wissenschaftliche Fertigung 95 (2000) 5, S. 198–200.
- Spur, Günter; Krause, Frank-Lothar (1997):** Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1997.
- Spur, Günther; Stöferle, Theodor (1981):** Handbuch der Fertigungstechnik. Band 1 Urformen. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1981.

- Stäudel, Thea (1988):** Der Kompetenzfragebogen. Überprüfung eines Verfahrens zur Erfassung der Selbsteinschätzung der heuristischen Kompetenz, belastenden Emotionen und Verhaltenstendenzen beim Lösen von Problemen. In: *Diagnostica* 34 (1988) Heft 2, S. 136–147.
- Staudt, Erich; Kriegesmann, Bernd (1997):** Technische Entwicklung und Innovation. In: Kahsnitz, Dietmar; Ropohl, Günter; Schmid, Alfons (Hrsg.): *Handbuch der Arbeitslehre*. Frankfurt a. M.: Oldenburger Verlag 1997.
- Stauffer, L. A. (1989):** Eliciting and analyzing data about the engineering-design process. College of Engineering, University of Massachusetts (Hrsg.): Supplement to preprints of NSF Engineering Design Research Conference, Amherst, June 1989.
- Stumpf, Heinrich; Fay, Ernst (1983):** Schlauchfigurentest. Ein Test zur Beurteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens. Göttingen u.a.: Hogrefe Verlag 1983.
- Tempelhof, Karl-Heinz; Bernard, Franz (1985):** Methodologische Erkenntnisse der Wissenschaftsdisziplin Fertigungsprozeßgestaltung und ihr Einfluß auf die Lehrmethodik. In: *Aus Theorie und Praxis der Hochschulpädagogik* 33 (1985) Heft 1, S. I–VI.
- Tenberg, Ralf (2010):** Lernfelddidaktik – immer noch eine Herausforderung. In: *berufsbildung* Heft 124 August (2010), S. 3–7.
- Tenorth, Heinz-Elmar; Tippelt, Rudolf (2007):** *Lexikon Pädagogik*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag 2007.
- Todte, Matthias; Bähr, Rüdiger; Mnich, Franz (2005):** Prognose des Einflusses von Gefügemerkmalen und Eigenspannungen auf die statistischen und dynamischen Festigkeitseigenschaften von gegossenen Motorkomponenten. In: *konstruieren + giessen* 30 (2005) Nr. 4, S. 28–34.
- Ungerbühler, Frank (2005):** Virtuelle Technologien in der Entwicklung von Zylinderkurbelgehäusen aus Gusseisen. In: *konstruieren + giessen* 30 (2005) Nr. 4, S. 23–27.
- VDG (1966):** *Konstruieren mit Gusswerkstoffen*. Verein Deutscher Giessereifachleute und Verein Deutscher Ingenieure Fachgruppe Konstruktion (Hrsg.). Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1966.
- VDG-Merkblatt K 200 E (2003):** Gussteile für den Maschinenbau. Leitfaden für die Konstruktion und Bestellung von Gussteilen aus Gusseisen für den Maschinenbau. Düsseldorf: VDG Informationszentrum 2003.
- VDG-Merkblatt M 150 (1994):** *Giessereitechnische Zeichnungen*. Düsseldorf: VDG Informationszentrum 1994.

- VDI-Richtlinie 2212 (1981):** Datenverarbeitung in der Konstruktion. Systematisches Suchen und Optimieren konstruktiver Lösungen. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1981.
- VDI-Richtlinie 2221 (1993):** Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth Verlag 1993.
- VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1 (1977):** Konstruktionsmethodik. Konzipieren technischer Produkte. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1977.
- VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1 (1997):** Konstruktionsmethodik. Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Berlin: Beuth Verlag 1997.
- VDI-Richtlinie 2223 (2004):** Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Berlin: Beuth Verlag 2004.
- VDI-Richtlinie 2225 Blatt 1 (1977):** Konstruktionsmethodik. Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Anleitung und Beispiele. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1977.
- VDI-Richtlinie 2235 (1987):** Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren. Methoden und Hilfen. Berlin: Beuth Verlag 1987.
- VDI-Richtlinie 2242 Blatt 1 (1986):** Konstruieren ergonomischer Erzeugnisse. Grundlagen und Vorgehen. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1986.
- VDI-Richtlinie 3780 (2000):** Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag 2000.
- Vollrath, Klaus (2002):** Die Gießerei als Entwicklungspartner für den Werkzeugmaschinenbau – Schlüsselrolle für Zulieferer mit Engineeringkompetenz –. In: konstruieren + giessen 27 (2002) Nr. 2, S. 37–40.
- Wächtler, Klaus (1989):** Konstruktionslehre für Maschinenbauingenieure. Grundlagen, Konstruktions- und Antriebs-elemente. 2. Aufl. Berlin: VEB Technik Verlag 1989.
- Wallmeier, Stefan (2001):** Potenziale in der Produktentwicklung. Möglichkeiten und Grenzen von Tätigkeitsanalyse und Reflexion. Düsseldorf: VDI Verlag 2001, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 352.
- Welsch, Wolfgang (1996):** Vernunft – die zeitgenössische Vernunftskritik und das Konzept der transversalen Vernunft. 2. Aufl. Frankfurt a.M.: Suhrkamp Verlag 1996.
- von der Weth, Rüdiger (1994):** Konstruieren: Heuristische Kompetenz, Erfahrung und individuelles Vorgehen. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie 38 (1994) 3, S. 102–111.
- von der Weth, Rüdiger (1998):** Komplexität und Arbeit – Wie Konstrukteure und Manager komplexe Probleme bewältigen und wie man sie dabei unterstützen kann. Dresden: Technische Universität, Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften, Fachrichtung Psychologie, Habilitationsschrift 1998.

- Wingert, Bernd (1985):** Ist Konstruieren ein eigener psychologischer Handlungstyp? In: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 85. Zürich: Edition Heurista 1985 (Schriftenreihe WDK 10, Vol. 2), S. 884–892.
- Wübbenhorst, Heinz; Engels, Gerhard (1989):** 5000 Jahre Gießen von Metallen. Fakten, Daten, Bilder zur Entwicklung der Gießereitechnik. Verein Deutscher Giessereifachleute (Hrsg.). 2. Aufl. Düsseldorf: Giesserei-Verlag 1989.
- Zwicky, Fritz (1971):** Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild. München: Droemer-Knauer 1971.

8 Anlagen

Anlage 1.1	Rahmenlehrplan (Auszug) für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin	172
Anlage 1.2	Ausbildungsrahmenplan (Auszug) für die Berufsausbildung zum Technischen Modellbauer/zur Technischen Modellbauerin	177
Anlage 2	Relevante Prozessstufen für die fertigungsgerechte Gestaltung von gegossenen Einzelteilen	178
Anlage 3	Kennzeichnung des gießereitechnischen Informationsbedarfs hinsichtlich des Vorgehensplans der Produktentwicklung nach Pahl und Beitz	179
Anlage 4	Unterschiede zwischen Alltagswissen und Wissenschaftswissen	180
Anlage 5	Hierarchischer Aufbau der Tätigkeit – aus arbeitspsychologischer Sicht	182
Anlage 6	Anwendungsbeispiele für ZBM-Einheiten	183
Anlage 7	Gegenüberstellung von Vorgehensplänen hinsichtlich der Produktentwicklung	185
Anlage 8	Zusammenhänge in technischen Systemen	186
Anlage 9	Leitlinie zur Konstruktionsunterstützung für Praxis-Konstrukteure	187
Anlage 10.1	Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für das Entformen eines Modells aus der Form	188
Anlage 10.2	Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für das Entformen eines Kerns aus dem Kernkasten	189
Anlage 10.3	Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für die Lagerung des Kerns in der Form	190
Anlage 10.4	Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für die Fixierung des Kerns in der Form	191
Anlage 10.5	Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für das Entformen eines Losteils aus der Form oder vom Kern.	192
Anlage 10.6	Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für die Positionierung eines Losteils am Modell oder im Kernkasten.	193
Anlage 11.1	Arbeitshilfe: Kernarten	194
Anlage 11.2	Arbeitshilfe: Kernarten (<i>Lösung</i>)	195
Anlage 12.1	Arbeitshilfe: Kernsicherungen (liegender Kern)	196
Anlage 12.2	Arbeitshilfe: Kernsicherungen (liegender Kern) (<i>Lösung</i>)	197
Anlage 13.1	Arbeitshilfe: Kernsicherungen (stehender Kern).	198
Anlage 13.2	Arbeitshilfe: Kernsicherungen (stehender Kern) (<i>Lösung</i>).	199

Anlage 14	Verfahren zur Aufgliederung und Verknüpfung der Gusstückgeometrie.	200
Anlage 15	Aufgabenblatt der experimentellen Felduntersuchung	201
Anlage 16.1	1. Konstruktionsaufgabe.	202
Anlage 16.2	Referenzlösungen der 1. Konstruktionsaufgabe	203
Anlage 16.3	2. Konstruktionsaufgabe.	204
Anlage 16.4	Referenzlösungen der 2. Konstruktionsaufgabe	205
Anlage 16.5	3. Konstruktionsaufgabe.	206
Anlage 16.6	Referenzlösungen der 3. Konstruktionsaufgabe	207
Anlage 16.7	4. Konstruktionsaufgabe.	208
Anlage 16.8	Referenzlösungen der 4. Konstruktionsaufgabe	209
Anlage 17.1	Ergebnis der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A	210
Anlage 17.2	Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A. . . .	211
Anlage 17.3	Ergebnis der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A	212
Anlage 17.4	Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A. . . .	213
Anlage 17.5	Ergebnis der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A	214
Anlage 17.6	Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A. . . .	215
Anlage 17.7	Ergebnis der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A	216
Anlage 17.8	Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A. . . .	217
Anlage 17.9	Ergebnis der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B	218
Anlage 17.10	Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B. . . .	219
Anlage 17.11	Ergebnis der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B	220
Anlage 17.12	Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B. . . .	221
Anlage 17.13	Ergebnis der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B	222
Anlage 17.14	Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B. . . .	223
Anlage 17.15	Ergebnis der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B	224
Anlage 17.16	Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B. . . .	225
Anlage 17.17	Ergebnis der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C	226
Anlage 17.18	Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C. . . .	227
Anlage 17.19	Ergebnis der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C	228
Anlage 17.20	Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C. . . .	229
Anlage 17.21	Ergebnis der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C	230
Anlage 17.22	Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C. . . .	231

Anlage 17.23	Ergebnis der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C	232
Anlage 17.24	Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C . . .	233
Anlage 17.25	Ergebnis der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D	234
Anlage 17.26	Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D . . .	235
Anlage 17.27	Ergebnis der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D	236
Anlage 17.28	Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D . . .	237
Anlage 17.29	Ergebnis der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D	238
Anlage 17.30	Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D . . .	239
Anlage 17.31	Ergebnis der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D	240
Anlage 17.32	Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D . . .	241
Anlage 18	Vorgehensweise bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen	242
Anlage 19	Zusammenfassung der Personenmerkmale der Versuchspersonen .	243
Anlage 20	Zusammenfassung des Befragungsbogens	245
Anlage 21	Übersicht Bearbeitungsdauer	247
Anlage 22	Codierleitfaden für die experimentelle Felduntersuchung	248

Anlage 1.1 Rahmenlehrplan (Auszug) für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin (RLP 2009, S. 27–28)

Übersicht über die Lernfelder für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin					
Lernfelder		Zeitrichtwerte in Unterrichtsstunden			
		1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
Nr.					
1	Herstellen von Bauteilen durch Zerspanen	80			
2	Urformverfahren bauteilbezogen auswählen	80			
3	Umformverfahren bauteilbezogen auswählen	40			
4	Planen und Herstellen von einfachen Modellen und Formen für Ur- und Umformbauteile	80			
5	Herstellen von Bauteilen/-gruppen durch Fügen	40			
6	Herstellen von Bauteilen mit Werkzeugmaschinen		60		
7	Modelle und Formen planen, herstellen, instand setzen und ändern		60		
8	Muster und Prototypen planen und herstellen		40		
9	Einzelteile auf numerisch gesteuerten Maschinen fertigen		80		
10	Installieren und Inbetriebnehmen von Steuerungen an Einrichtungen des Modellbaus		40		
Fachrichtung Gießerei					
11	Planen und Herstellen von Gießerei-Modelleinrichtungen zum Handformen			60	
12	Planen und Herstellen von Gießerei-Modelleinrichtungen zum Maschinenformen			80	
13	Planen und Herstellen von Gießerei-Modelleinrichtungen mittels rechnergestützter Fertigung			80	
14	Planen und Herstellen von Dauerformen für metallische Bauteile			60	
15	Prüfen von Modelleinrichtungen und Dauerformen				80
16	Planen und Herstellen von Vorrichtungen, Lehren und Schablonen für den Fertigungsprozess				60
<u>Anmerkung:</u> Die gekennzeichneten Lernfelder beinhalten Lerninhalte für die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen und sind nachfolgend aufgeführt.					

Rahmenlehrplan (Auszug) für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin (RLP 2009, S. 32)

Lernfeld 4:	Planen und Herstellen von einfachen Modellen und Formen für Ur- und Umformbauteile	1. Ausbildungsjahr Zeitrictwert: 80 Stunden
<p>Ziel: Die Schülerinnen und Schüler planen aufgrund von Kundenaufträgen Modelle und Formen für Ur- und Umformbauteile ohne Hinterschnidungen mit ebener Teilung für verschiedene Fachrichtungen des technischen Modellbaus. Sie entwickeln Modelle und Formen unter Anwendung modellbauspezifischer Aspekte. Die Schülerinnen und Schüler bestimmen die notwendigen technologischen Daten und führen die erforderlichen Berechnungen durch. Die Planung erfolgt sowohl manuell als auch rechnergestützt. Sie bestimmen spanende sowie urformende Fertigungsverfahren zur Herstellung von einfachen Modellen und Formen. Unter Beachtung des Arbeits- und Umweltschutzes planen sie die Arbeitsschritte zur Herstellung der Modelle und Formen. Die Schülerinnen und Schüler wählen geeignete Kunstharzgießverfahren aus und fertigen damit Modelle und Formen für Ur- und Umformbauteile. Sie lagern und entsorgen umweltgefährdende Stoffe fachgerecht. Die Schülerinnen und Schüler stellen Ur- und Umformbauteile mithilfe der gefertigten Modelle und Formen her. Sie prüfen und bewerten die gefertigten Bauteile und schließen daraus auf die Funktionalität der Modelle und Formen. Die Schülerinnen und Schüler dokumentieren und präsentieren die Arbeitsergebnisse dem Kunden. Dabei berücksichtigen sie die kulturellen Besonderheiten der Gesprächspartner.</p>		
<p>Inhalte: Erzeugnisse des Gießerei-, Karosserie- und Anschauungsmodellbau Formteilung Modellteilung Bearbeitungszugaben Formschrägen Skizzen und Zeichnungen von Modellen und Formen Berechnung von Schwindmaßen, Mischungsverhältnissen, Winkelfunktionen CAD Sicherheitsdatenblätter Formen aus Duroplasten und Elastomeren Vollgieß-, Hinterfüll- und Oberflächengießverfahren Prüfen der Entformbarkeit, Maße, Form und Oberfläche</p>		

Rahmenlehrplan (Auszug) für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin (RLP 2009, S. 35)

Lernfeld 7:	Modelle und Formen planen, herstellen, instand setzen und ändern	2. Ausbildungsjahr <i>Zeitrictwert: 60 Stunden</i>
<p>Ziel: Die Schülerinnen und Schüler planen auftragsbezogen den Aufbau von Modellen und Formen mit Hinterschneidungen und unebener Teilung, indem sie Einzelteilzeichnungen analysieren, formtechnische Probleme erkennen und Lösungen entwickeln. Sie wägen Alternativen in Bezug auf Herstellbarkeit, Zeitaufwand, erforderliche Unterstützung sowie Wirtschaftlichkeit ab. Dazu nutzen sie auch CAD-Programme. Sie legen zweckmäßige Fertigungsverfahren fest, bestimmen die Reihenfolge der Fertigungsschritte und wählen geeignete Werkstoffe aus. Mithilfe von Arbeitsplänen bereiten sie die Herstellung der Modelle und Formen für Ur- und Umformteile vor. Bei der Herstellung der Modelle und Formen beachten sie die Arbeits- und Umweltschutzbestimmungen. Die Schülerinnen und Schüler setzen Modelle und Formen nach erfolgter Schadensanalyse instand. Hierbei entwickeln sie Instandsetzungsmöglichkeiten unter Abwägung der Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Sie führen die Instandsetzung unter Berücksichtigung der entstehenden Kosten und der zur Verfügung stehenden Zeit durch und dokumentieren diese. Die Schülerinnen und Schüler führen Änderungen an Modellen und Formen mithilfe einer Analyse des Änderungsauftrags aus und dokumentieren diese. Sie entwickeln hierbei Ausführungsmöglichkeiten, die technische sowie wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen. Die Schülerinnen und Schüler prüfen die erstellten, instand gesetzten bzw. geänderten Modelle und Formen mithilfe der gefertigten Ur- und Umformteile, bewerten diese und dokumentieren ihre Ergebnisse.</p>		
<p>Inhalte: Formtechnische und gießtechnische Aspekte Modell- bzw. Formteilung Losteile, Schieber Schnittdarstellungen Modell- und Formplanungszeichnungen</p>		

Rahmenlehrplan (Auszug) für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin (RLP 2009, S. 44)

Lernfeld 11:	Planen und Herstellen von Gießerei-Modelleinrichtungen zum Handformen	Fachrichtung Gießerei 3. Ausbildungsjahr Zeitrichtwert: 60 Stunden
<p>Ziel: Die Schülerinnen und Schüler planen – vorrangig im Team – Modelleinrichtungen nach Kundenaufträgen, indem sie gussteilspezifische Informationen erfassen sowie formtechnische, gießtechnische, bearbeitungstechnische und putztechnische Bedingungen berücksichtigen. Dazu verschaffen sie sich einen Überblick über Form- und Gießverfahren. Sie erstellen mithilfe von Fertigungszeichnungen, Modellplanungsskizzen und CAD-Datensätzen Planungsunterlagen für die Herstellung der Modelleinrichtungen. Sie wenden typische englische Fachbegriffe an. Die Schülerinnen und Schüler planen die Fertigung der Modelleinrichtung durch Auswählen des Modellwerkstoffes sowie des Modellaufbaus, wobei sie die mögliche Herstellung von Kernkästen berücksichtigen. Sie bestimmen mithilfe ihrer Planungsunterlagen geeignete Herstellungsverfahren. Mithilfe der vorliegenden Zeichnungen bzw. CAD-Datensätze legen sie Bearbeitungsstrategien fest. Die Schülerinnen und Schüler stellen die Modelleinrichtungen durch manuelle oder maschinelle Fertigung her. Hierzu erzeugen sie auch CAM-Daten. Sie komplettieren die Modelleinrichtung durch die Herstellung von Kernkästen (Kernseelen) und kennzeichnen die entsprechenden Modellteile. Sie beachten bei der Herstellung den Arbeits- und Umweltschutz. Die Schülerinnen und Schüler prüfen die Modelleinrichtungen mithilfe geeigneter Prüfeinrichtungen anhand der Kundenanforderungen, bewerten diese und dokumentieren ihre Ergebnisse.</p>		
<p>Inhalte: Naturmodell Kernmodell verlorene Modelle Farbkennzeichnung der Modelle</p>		

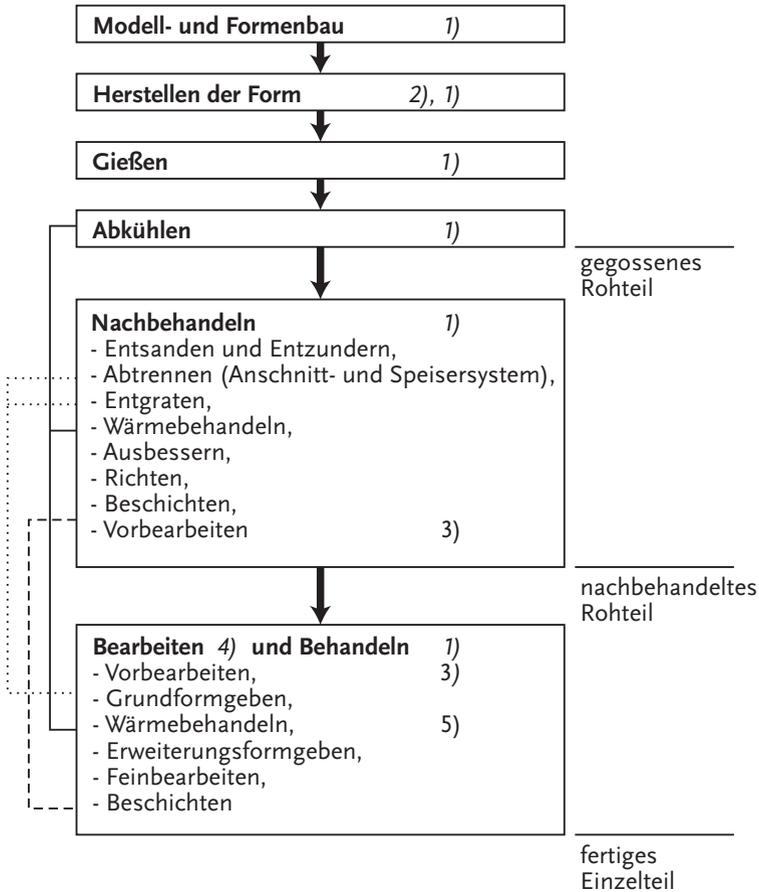
Rahmenlehrplan (Auszug) für den Ausbildungsberuf Technischer Modellbauer/Technische Modellbauerin (RLP 2009, S. 44)

Lernfeld 12:	Planen und Herstellen von Gießerei-Modelleinrichtungen zum Maschinenformen	Fachrichtung Gießerei 3. Ausbildungsjahr Zeitrictwert: 80 Stunden
<p>Ziel: Die Schülerinnen und Schüler planen – vorrangig im Team – die Gestaltung und Fertigung von Gießerei-Modelleinrichtungen zum Maschinenformen und führen deren Fertigung und Prüfung durch. Mithilfe technischer Unterlagen beschaffen sie sich Informationen über Gestalt, Werkstoff und Stückzahl des Gusstücks. Sie entnehmen Informationen auch aus englischen Unterlagen. Bei der Planung der Gießerei-Modelleinrichtung wählen sie Werkstoffe für Modellplatten und Kernkästen aus und berücksichtigen formtechnische, gießtechnische, bearbeitungstechnische und putztechnische Bedingungen. Die Schülerinnen und Schüler bestimmen den Modell- und Modellplattenaufbau. Sie legen den Aufbau der dazugehörigen Kernformwerkzeuge fest. Bei der Planung der Fertigung der Gießerei-Modelleinrichtung bestimmen sie die Rohlinge und wählen geeignete spanende oder urformende Fertigungsverfahren aus. Sie übernehmen bzw. bereiten die CAD-Daten für die Fertigung auf. Aufgrund der zu bearbeitenden Werkstoffe, der Werkstückgeometrie und der vorhandenen Maschinen und Werkzeuge legen die Schülerinnen und Schüler Bearbeitungsstrategien fest. Unter Beachtung der Sicherheit, des Arbeits- und Umweltschutzes stellen die Schülerinnen und Schüler die Gießerei-Modelleinrichtung her. Sie fertigen Rohlinge, Modelle, Modellplatten und Kernkästen mit geeigneten spanenden und urformenden Fertigungsverfahren. Sie fügen die Einzelteile, komplettieren die Gießerei-Modelleinrichtungen und kennzeichnen die Einrichtungskomponenten. Die Schülerinnen und Schüler prüfen und bewerten die Gießerei-Modelleinrichtungen und optimieren sie aufgrund der Gussteilanalyse.</p>		
<p>Inhalte: Maschinenformverfahren Kernherstellungsverfahren Gieß- und Speisersysteme Modellplattenarten Kernkastenarten</p>		

Anlage 1.2 Ausbildungsrahmenplan (Auszug) für die Berufsausbildung zum Technischen Modellbauer/zur Technischen Modellbauerin (ARP 2009, S. 17)

Lfd. Nr.	Teil des Ausbildungsbildes	Zu vermittelnde Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten	Zeitliche Richtwerte in Wochen im 25.-42. Monat
1	Planen und Konstruieren von Produkten des Gießereimodellbaus (§ 4 Absatz 2 Abschnitt B Nummer 1)	<ul style="list-style-type: none"> a) Bedingungen für den Einsatz des Produktes beim Kunden erfassen, insbesondere form-, gieß-, putz- und bearbeitungstechnische Bedingungen b) formtechnische Bedingungen, insbesondere Formverfahren, Konturänderungen, Teilungen und Formschrägen, berücksichtigen c) gießtechnische Bedingungen, insbesondere Gießverfahren, Gieß- und Speisersysteme sowie Schwindung, berücksichtigen d) putztechnische Bedingungen, insbesondere Entgraten sowie Entfernen von Gieß- und Speisersystemen, berücksichtigen e) bearbeitungstechnische Bedingungen, insbesondere Bearbeitungszugaben, berücksichtigen f) modellspezifische Informationen, insbesondere Skizzen und Zeichnungen, nutzen g) Koordinatensysteme anwenden h) technische Informationen übernehmen und erzeugen, insbesondere CAD-Daten i) Daten weiterverarbeiten, insbesondere unter Berücksichtigung von form-, gieß-, putz- und bearbeitungstechnischen Bedingungen j) Gießerei-Modelleinrichtungen, insbesondere Natur- und Kernmodelle mit Kernkasten sowie geteilte und verlorene Modelle oder Dauerformen, konstruieren k) Lehren und Vorrichtungen konstruieren 	26

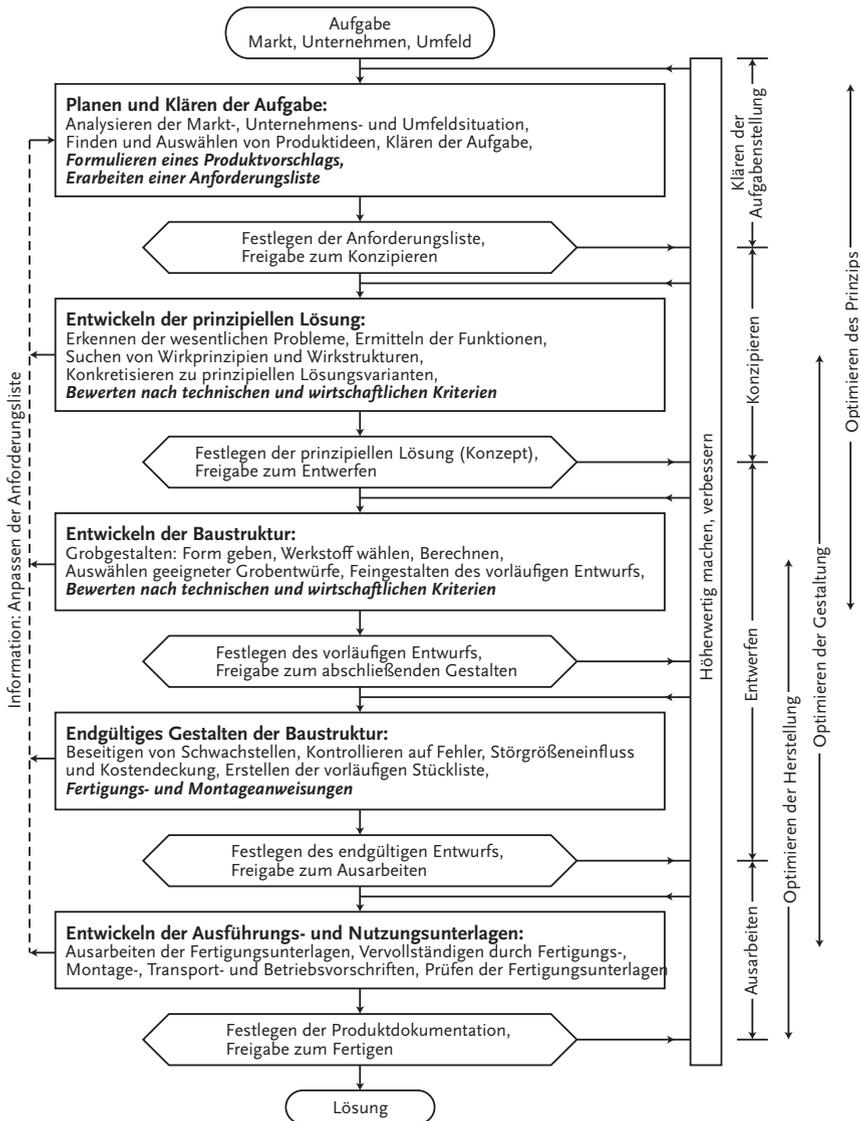
Anlage 2 Relevante Prozessstufen für die fertigungsgerechte Gestaltung von gegossenen Einzelteilen (Ambos/Hartmann/Lichtenberg 1992, S. 2-8)



Anmerkungen:

- 1) Das Prüfen kann innerhalb und nach jeder Prozessstufe erfolgen
- 2) Schließt die Kernherstellung ein und entfällt teilweise oder vollständig bei Dauerformen
- 3) Findet nach Möglichkeit bereits in der Prozessstufe „Nachbehandeln“ statt, sonst Bestandteil des Bearbeitens
- 4) Überwiegend spanende Vorgänge
- 5) Gegebenenfalls nach Vorbearbeiten, Erweiterungsformgeben oder Feinbearbeiten

Anlage 3 Kennzeichnung des gießereitechnischen Informationsbedarfs hinsichtlich des Vorgehensplans der Produktentwicklung nach Pahl und Beitz (1993, S. 81) (Scheel/Ambos/Bähr/Behm/Brahmann 1996, S. 23)



Anlage 4 Unterschiede zwischen Alltagswissen und Wissenschaftswissen (Müller 1990, S. 30–31)

Alltagswissen	Wissenschaftswissen
<p><i>Bestände</i></p> <p>Unschärfe, nicht definierbare vieldeutige Namen stehen vorzugsweise für bildhafte, konfigurale Strukturen, in denen sich in Form von Prototypen, Clustern usw. Kontexte, Gestalten, Episoden, Konventionen abbilden, die in der aktiven Auseinandersetzung mit der Umwelt erfahren wurden. Ebenso episodisch sind prozedurale Bestände über Situationen und deren Bewältigung (das war etwa so). Deklaratives und prozedurales Wissen sind weitgehend unterbewusst (Engramme, Synapsenstrukturen) bzw. in stereotypen Fertigkeiten, also im Zusammenhang mit dem synergetischen System der Organe gespeichert.</p>	<p><u>Deklaratives Wissen:</u> Definierte Termini (Paradigma der Eindeutigkeit), Begriffssysteme (Klassifikationen, Ordnungen). Gesetzesaussagen (Paradigma der logischen bzw. mathematischen Formalisierung). Theorien (Paradigma der Widerspruchsfreiheit). <u>Prozedurales Wissen:</u> Algorithmisch strikte und heuristisch unscharfe Methoden, Regeln bzw. Verhaltensprinzipien. Aktualisierbar abrufbar und aktivierbar gespeichert im Langzeitgedächtnis.</p>
<p><i>Funktion</i></p> <p>Bildet Hintergrund für Einstellungen, Motivationen, Emotionen, Stimmungen, Paradigmen, Interessen, Selbstdeutungen. Diese bewirken unterbewusst Aktualisierung und Ordnung. Ausschluss von Varianten aufgrund ästhetischer und emotionaler Bewertung, ohne dass sie in das Bewusstsein treten. Erfassen von Ähnlichkeiten, Aufbau vager Erwartungsfelder, in denen Reize interpretierbar, aber auch erforderliche Informationen aus erfahrbaren Komplexen, unbewusst selektiert, abgezogen werden. Sichert Kommunikationsfähigkeit im „häuslichen“ komplexen Kontext.</p>	<p>Basis der logischen bzw. geplanten analytisch-synthetischen Aufnahme und Verarbeitung von Informationen (Fakten, Daten). Basis der rationalen intelligenten Organisation.</p>
<p><i>Entstehung</i></p> <p>Primär nicht im Prozess einer Datenaufnahme, die später ganzheitlich integriert wird, sondern indifferenziert nach der sinnlichen Wahrnehmung gruppiert, wie sie in den Situationen erfahren werden. Die Muster, Cluster entstehen nicht thematisiert, sondern in den täglichen Interaktionen auf dem Hintergrund der Gepflogenheiten. Sie kommen aus der Umwelt, die als solche, weil schon weitgehend Ergebnis menschlicher Tätigkeit (Technik, Kunst) geordnet ist. Sie ist auch der Gegenstand unserer Bedürfnisse</p>	<p>Definitive Benennung. Analytische Explikation vorgefundener Bestände. Analytisch-synthetische Verallgemeinerung, Abstraktion, Idealisierung. Rational gesteuerte Faktenverarbeitung (Beobachtung, Experiment). Die prozeduralen Bestände entstehen aus der Analyse der vollzogenen intellektuellen Prozesse, später auch in logischer Konstruktion möglicherweise sinnvoller Vorgehensweisen bzw. aus der Analyse der intellektuell zu beherrschenden objektiven Sachverhalte (Berechnungsformel).</p>

Alltagswissen	Wissenschaftswissen
<p><i>Entstehung (Fortsetzung)</i></p> <p>bzw. Interessen. Es wird phänomenologisch, mit Hinblick auf Paradigmen, verarbeitet (verdichtet, vage strukturiert, selektiert, geclustert), worauf auch Emotionen, Motivation und Konvention Einfluss nehmen.</p> <p>Teilweise wird auch erst rational organisiert gelernt und dann so ins Unterbewusste abgelegt, dass es nicht mehr ohne weiteres abrufbar und rational aktivierbar ist. Die prozeduralen Bestände sind teilweise angeboren; teils im Mutterleib erlebt; spontan, d. h. ohne Anleitung im Aufwachsen erlangt; auch angeleitet, aber nicht regelhaft, im Hineinwachsen in die vorgefundene Umwelt erworben; aber auch teilweise regelhaft erlernt und dann ins Unterbewusstsein abgelegt und „vergessen“; schließlich in aktiver (mehr oder weniger bewusster) Auseinandersetzung mit der Umwelt erfahren.</p>	
<p><i>Verwendung</i></p> <p>Vorzugsweise fluid geordnet, aber direkt nicht durch Regeln gesteuert.</p> <p>Nicht über Merkmalslisten und Entscheidungsbäume verarbeitet, sondern ganzheitlich, holistisch-strukturiert, im Zug der Handlung (auch Sprech- und Zeichnungshandeln), also auch mit den entsprechenden Organen verbunden. Kontextabhängig werden die Prototypen bestimmt, aber so weit wie möglich dem Selbstverständnis bzw. der Selbstverständlichkeit überlassen.</p> <p>Weitgehend unbewusste, d. h. im Rand verbleibend. Unbewusste Aktualisierung der prozeduralen Muster und episodalen Erfahrung, ohne sie zu explizieren. Ebenfalls stark handlungs- und organgebunden.</p>	<p>Vorzugsweise kristallin in fester Ordnung bzw. Struktur.</p> <p>Geplant, regelgesteuert (methodenbewusst). Dekomposition, Kombination. Stark sequenziell bzw. parallel organisiert. Weitgehend unter Einsatz des gegenwärtigen Typus von Rechentechnik möglich.</p>
<p><i>Analyse</i></p> <p>Analyse der Bestände und ihrer Verwendung ist bisher nur partiell möglich. Sie reicht daher auch nicht aus bzw. sind die Ergebnisse der Analyse am Prozess nicht beteiligt.</p>	<p>Hinreichend zuverlässige bis sichere Verwendung auf Grund deskriptiver Analyse der Bestände und Vorgänge.</p>

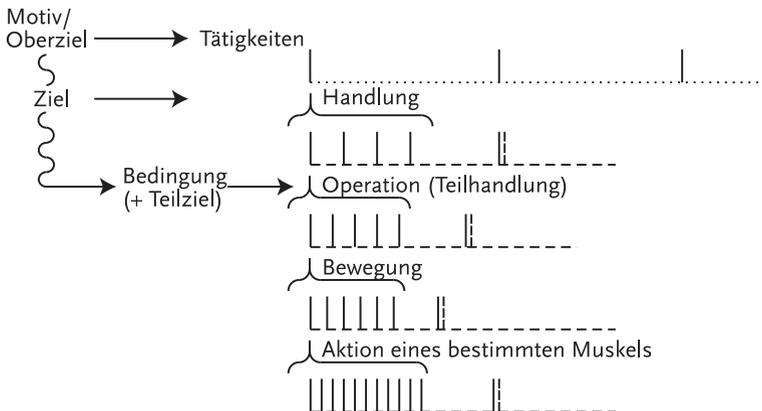
Anlage 5 Hierarchischer Aufbau der Tätigkeit – aus arbeitspsychologischer Sicht (Hacker 2005)

Aus arbeitspsychologischer Sicht sind Tätigkeiten „Vorgänge, mit denen Menschen ihre Beziehungen zu Aufgaben und ihren Gegenständen, zueinander und zur Umwelt verwirklichen“ (Hacker 2005, S. 52), wobei der Auftrag von Vorgesetzten oder Klienten/Kunden die zentrale Kategorie psychologischer Tätigkeitsbetrachtungen ist.

Die „Handlung“ stellt eine in sich geschlossene Einheit der Tätigkeit, d. h. Handlungen bilden die kleinste psychologische Einheit der willensmäßig gesteuerten Tätigkeit. Die Abgrenzung dieser Handlungen erfolgt durch das bewusste Ziel, das die mit einer Vornahme verbundene Vorwegnahme des Ergebnisses der Handlung darstellt.

Operationen (Teilhandlungen) sind nur unselbstständige Bestandteile der Tätigkeit, da ihre Resultate nicht bewusst (als Ziel) antizipiert werden. Vielmehr werden sie durch Auslösebedingungen reguliert (WENN Bedingung X, DANN Operation Y; beispielsweise „Ampel rot – bremsen“). Eine Beteiligung kurzlebiger Teilziele ist möglich.

Bewegungen und Aktionen eines bestimmten Muskels sind vollständig unselbstständige Elemente der Tätigkeit bzw. ihrer Handlung; für sie gibt es keine eigenen Ziele und Motive (Antriebsregulation) wie für Handlungen.



Vereinfachendes Schema des hierarchischen Aufbaus der Tätigkeit (Hacker 2005, S. 68).

Anlage 6 Anwendungsbeispiele für ZBM-Einheiten

Im Sinne von Hacker (1992, S. 32 ff und 2005, S. 221 ff) sind die Mittel bzw. Maßnahmen

- auf niederer Regulationsebene nochmals unterteilt in
 - Operationen, die nur hinsichtlich der Bedingungen zu prüfen sind, wie z. B.
 - A)** Ampel rot? Bremsen!
 - B)** Modell nicht entformbar? Modell teilen!
 - Teilhandlungen, die untergeordnete Teilziele in dem Bedingungs-Teil haben, wie z. B.
 - A)** **WENN** auf dem Weg zum Einkaufen die Ampel rot ist, **DANN** muss gebremst werden **und** gekuppelt werden **und** ...!
 - B)** **WENN** die geometrische Gestalt des Modells nicht direkt entformt werden kann, **DANN** Teilung des Modells **und/oder** mit Losteil (am Modell) **und/oder** einen Kernkasten – evtl. geteilt – **und/oder** mit Losteil (im Kernkasten)!
- auf mittlerer Regulationsebene „Handlungen“, wie z. B.
 - A)** **WENN** das Ziel darin besteht, mit dem Auto in einem Supermarkt einzukaufen, **UND** auf dem Weg dort hin eine Ampel rot ist, **DANN** muss gebremst werden **und** gekuppelt werden **und** ...!
 - B)** **WENN** das Ziel darin besteht, ein Modell aus der Form zu entformen, **UND** die geometrische Gestalt dies nicht zu lässt oder zu ungeeignet ist, **DANN** muss das Modell geteilt werden **und/oder** mit einem Losteil (am Modell) versehen werden **und/oder** einen Kernkasten bekommen, der evtl. geteilt ist **und/oder** mit einem Losteil (im Kernkasten) versehen werden!
- auf übergeordneter Regulationsebene „Tätigkeiten“, wie z. B.
 - A)** **WENN** das Oberziel darin besteht, sich mit Nahrungsmitteln zu versorgen, **UND** dies mit dem Auto in einem Supermarkt erfolgen soll **UND** auf dem Weg dort hin eine Ampel rot ist, **DANN** muss gebremst werden **und** gekuppelt werden **und** ...!
 - B)** **WENN** das Oberziel darin besteht, ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften bei einem Gussstück zu erreichen, **UND** das Guss-

stück in einer „verlorenen Form“ hergestellt werden soll **UND** für die Herstellung der „verlorenen Form“ eine Gießerei-Modelleinrichtung benötigt wird, **DANN** muss die fertigungsgerechte Gestaltung von Gusstücken in die Gießerei-Modelleinrichtung integriert bzw. berücksichtigt werden und die Entformbarkeit gewährleistet sein **und** die Aushebbarkeit gewährleistet sein **und** ...!

Anlage 7 Gegenüberstellung von Vorgehensplänen hinsichtlich der Produktentwicklung (Roth 2000, S. 43)

K-Phasen (Roth)		Ablaufplan nach VDI-2221					Rodenacker
Aufgabenformulierung	Roth Aufgabe Formulieren	Pahl/Beitz Aufgabe Klären der Aufgabe	VDI-2221 Aufgabe Formulieren der Aufgabe		Koller Produktplanung Marktanalyse	Aufgabe	
	Funktionelle	Klären d. Aufgabenstellung Hauptaufgabe, Anweisung Anforderungsliste	Klären der Aufgabenstellung Anforderungsliste	1 Klären und präzisieren der Aufgabenstellung	Formulieren der Aufgabe	Erarbeiten der Aufgabenstellung	Geforderter Wirkzusammenhang
Funktion entwickeln Funktion ermitteln, Allgemeine, logische Funktionsstruktur		Konzipieren Entwickeln der prinzipiellen Lösung Funktionen	2 Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen	Prinzip finden	Funktionssynthese	Funktion	
Wirkprinzip	Prinziplösung entwickeln Funktionen mit Effekten, Prinziplösungen entwickeln, spezielle Funktion	Wirkprinzipien Wirkstrukturen Prinzipielle Lösungen Varianten Technisch-wirtschaftliches Bewerten	3.1 Suchen nach Lösungsprinzipien Effektebene		Zweck- oder Hauptfunktionen, Gliedern der Teil- und Grundfunktionsstrukturen Technisch-wirtschaftliches Bewerten	Logischer Wirkzusammenhang Physikalisches Geschehen Physikalischer Wirkzusammenhang	
	Wirkstruktur	Entwerfen Baustruktur entwickeln Grobgestalten: Form, Werkstoff, Berechnen Feingestalten Techn.-wirtschaftl. Bewert.	3.2 Suche nach Lösungsprinzipien Gestaltebene		Qualitative Synthese Zuordnung und variieren von Effekten, Effekträger variieren, Prinzip darstellen, Auswählen der Lösungen für das Gesamtkonzept, Gestalten, Entwerfen	Wirkort Kinematischer Wirkzusammenhang	
Geometrische	Struktur- und Formgestalten Strukturgestalt- Skizze Konturen und Querschnitte entwerfen Werkstoffe, Festigkeit, Montierbarkeit, Benennung Funktionsintegration Gesamtwicklung Techn.-wirtschaftl. Bewert.	Entwerfen Baustruktur entwickeln Grobgestalten: Form, Werkstoff, Berechnen Feingestalten Techn.-wirtschaftl. Bewert.	4 Gliedern in realisierbare Module		Quantitative Synthese Zuordnen, Berechnen, Experimentelle Untersuchungen, Erprobung, Verbesserung, Detaillieren, Arbeitspläne erstellen	Konstruktiver Wirkzusammenhang	
	Gestaltende	Fertigungsgestalten Schwachstellenanalyse Fertigungs-, montage-, transport-, recycling-, gereicht usw. Gestalten Endgültiger Entwurf, Detaillieren, Tolerieren Herstellungsunterlagen Montage-, Betriebs-, Prüfvorschriften	5 Gestalten der maßgebenden Module		Quantitative Synthese Berechnen, Bemessen, Experimentelle Untersuchungen, Erprobung, Verbesserung, Detaillieren, Arbeitspläne erstellen	Fertigungstechnischer Wirkzusammenhang	
Herstellungstechnische	Fertigungsgestalten Schwachstellenanalyse Fertigungs-, montage-, transport-, recycling-, gereicht usw. Gestalten Endgültiger Entwurf, Detaillieren, Tolerieren Herstellungsunterlagen Montage-, Betriebs-, Prüfvorschriften	Ausarbeiten Ausführungs- und Nutzungsunterlagen, Fertigungsunterlagen, Montage-, Transport-, Betriebs-, Prüfvorschriften	6 Gestalten des gesamten Produkts				
			7 Festlegen der Nutzungsangaben				

Produktdokumente

**Anlage 8 Zusammenhänge in technischen Systemen (Pahl/Beitz/
Feldhusen/Grote 2003, S. 54)**

Zusammenhänge	Elemente	Struktur	Beispiel
Funktionszusammenhang	Funktionen	Funktionsstruktur	
Wirkzusammenhang	Physikalische Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale ↓ Wirkprinzipien	Wirkstruktur	
Bauzusammenhang	Bauteile, Verbindungen, Baugruppen	Baustruktur	(siehe Original)
Systemzusammenhang	Technische Gebilde, Mensch, Umgebung	Systemstruktur	

Anlage 9 Leitlinie zur Konstruktionsunterstützung für Praxis-Konstrukteure (Günther 1998, S. 137; vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 123)

Schritt	Erläuterung
1. Anforderungsliste Eine eigene schriftliche Beschreibung der Anforderungen an die Konstruktion ist nach Rücksprache mit dem Auftraggeber zu erstellen.	Dieser Schritt verringert das Risiko, Anforderungen zu übersehen bzw. zu spät zu erkennen. Unscharfe Anforderungen können geklärt werden.
2. Liste der Teilfunktionen (Teilprobleme) Teilfunktionen sind schriftlich zu notieren und nach Haupt- und Nebenfunktionen zu sortieren.	Dieser Schritt hilft, die Struktur des Gesamtproblems zu erkennen und die wesentlichen Teilfunktionen zuerst zu bearbeiten.
3. Prinzipielle Lösungen Für jede Teilfunktion ist eine prinzipielle Lösung in einer Skizze darzustellen. Für jede Hauptfunktion sind mindestens zwei prinzipielle Lösungen zu erarbeiten, von denen eine auszuwählen ist (siehe auch Schritt 6).	Mit diesem Schritt wird die Lösungssuche strukturiert, und für die lösungsbestimmenden Hauptfunktionen werden mindestens zwei alternative Lösungen in Betracht gezogen.
4. Konzept In einer Skizze sind die prinzipiellen Lösungen zum Konzept zu kombinieren und anhand der Anforderungen zu überprüfen. Wenn das Konzept die Anforderungen erfüllt, dann kann mit dem Grob-Entwurf begonnen werden.	Mit diesem Schritt entsteht eine prinzipielle Gesamtdarstellung, die eine Zwischenbeurteilung ermöglicht. Dadurch wird die Sicherheit erhöht, dass später keine grundlegenden Änderungen im Entwurf auftreten.
5. Grob-Entwurf Vor dem Fein-Entwurf ist ein Grob-Entwurf zu erarbeiten.	Der Grob-Entwurf ermöglicht eine nochmalige Analyse und Beurteilung der Konstruktion, bevor mit dem Fein-Entwerfen begonnen wird.
6. Vor- und Nachteile von Lösungen Vor- und Nachteile von prinzipiellen Lösungen und Konzepten sind als Grundlage für ein Auswahlverfahren festzuhalten. Änderungen im Entwurf sind schriftlich zu dokumentieren.	Diese Dokumentation unterstützt den Auswahlprozess. Sie erleichtert außerdem die Weitergabe von Zwischenergebnissen an andere sowie die spätere Nachvollziehbarkeit der Arbeit.

Anlage 10.1 Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für das Entformen eines Modells aus der Form

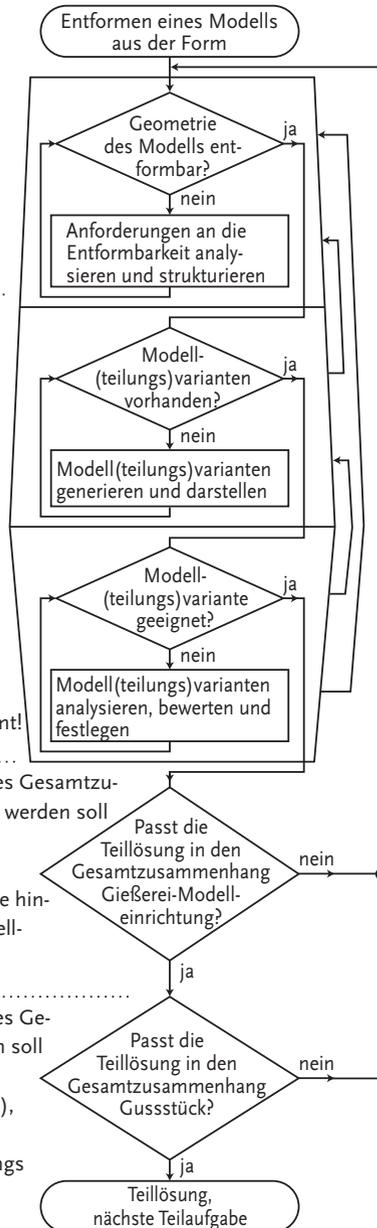
WENN ein Modell aus der Form entformt werden soll
UND die Geometrie des zu fertigenden Gussstückes dies nicht zulässt oder zu ungeeignet ist,
DANN wird das Modell geteilt und/oder bekommt Losteile - die geteilt werden - und/oder Kernkästen eventuell mit Losteilen - die geteilt werden!

WENN für den weiteren Konstruktionsverlauf das Modell bzw. die Modellteilung(en) detaillierter ausgearbeitet werden soll
UND dafür die geeignetste bzw. optimalste Variante gesucht wird,
DANN werden mehrere Modell(teilungs)varianten generiert und dargestellt!

WENN aus den generierten Modell(teilungs)varianten eine ausgewählt werden soll
UND die Bewertungskriterien (z. B. form-, gieß-, putz-, stückzahlgerecht) sowie deren Gewichtung festgelegt sind,
DANN wird eine Bewertung durchgeführt und die geeignetste bzw. optimalste Modell(teilungs)variante bestimmt!

WENN die Modell(teilungs)variante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modell-einrichtung überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. herstellungs- und funktionsgerechte Gießerei-Modell-einrichtung),
DANN wird die Überprüfung der Modell(teilungs)variante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modell-einrichtung vorgenommen!

WENN die Modell(teilungs)variante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften des Gussstückes),
DANN wird die abschließende Überprüfung der Modell(teilungs)variante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes vorgenommen!



Anlage 10.2 Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für das Entformen eines Kerns aus dem Kernkasten

WENN ein Kern aus dem Kernkasten entformt werden soll

UND die Geometrie des zu fertigenden Gussstückes dies nicht zulässt oder zu ungeeignet ist,
DANN wird der Kernkasten geteilt und bekommt eventuell Losteile - die geteilt werden!

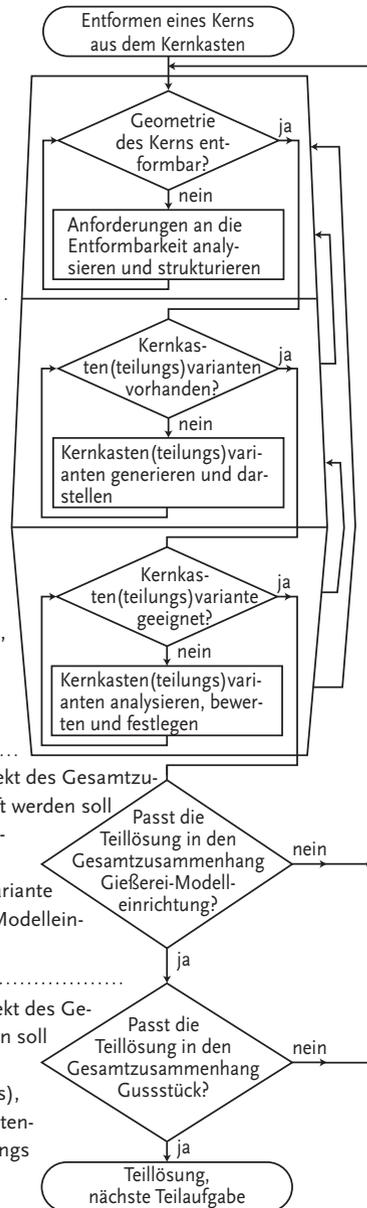
WENN für den weiteren Konstruktionsverlauf der Kernkasten bzw. die Kernkastenteilung(en) detaillierter ausgearbeitet werden soll

UND dafür die geeignetste bzw. optimalste Variante gesucht wird,
DANN werden mehrere Kernkasten(teilungs)varianten generiert und dargestellt!

WENN aus den generierten Kernkasten(teilungs)varianten eine ausgewählt werden soll
UND die Bewertungskriterien (z. B. form-, gieß-, putz-, stückzahlgerecht) und deren Gewichtung festgelegt sind,
DANN wird eine Bewertung durchgeführt und die geeignetste bzw. optimalste Kernkasten(teilungs)variante bestimmt!

WENN die Kernkasten(teilungs)variante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. herstellungs- und funktionsgerechte Gießerei-Modelleinrichtung),
DANN wird die Überprüfung der Kernkasten(teilungs)variante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung vorgenommen!

WENN die Kernkasten(teilungs)variante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften des Gussstückes),
DANN wird die abschließende Überprüfung der Kernkasten(teilungs)variante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes vorgenommen!



Anlage 10.3 Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für die Lagerung des Kerns in der Form

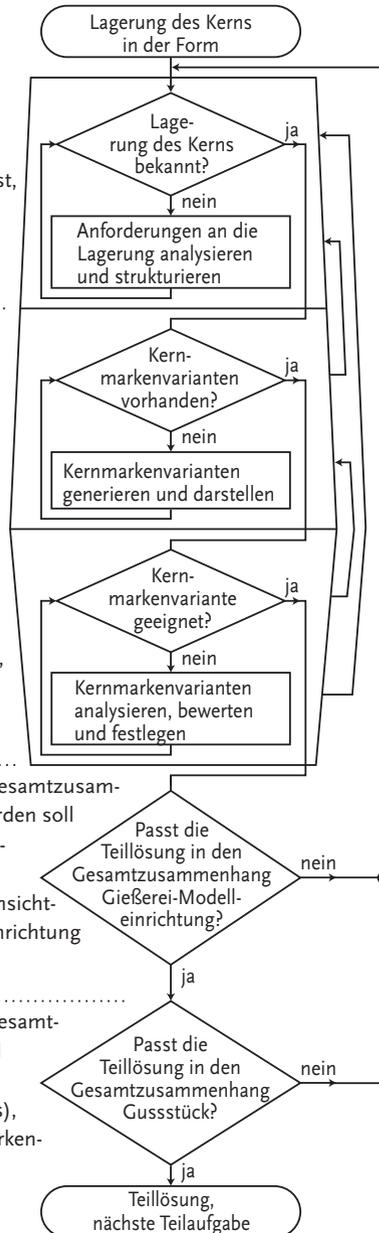
WENN ein Kern in der Form einwandfrei gelagert werden soll
UND die Gewichtskraft des Kerns sowie die Gießdruckkräfte der Metallschmelze aufzunehmen sind und eine Positionierung des Kerns in der Form zu gewährleisten ist,
DANN werden entsprechend den Anforderungen die Kernmarken im Kernkasten und am Modell (mit Aufmaß für das Kernlagerspiel) geometrisch gestaltet!

WENN für den weiteren Konstruktionsverlauf die Kernmarke(n) detaillierter ausgearbeitet werden soll
UND dafür die geeignetste bzw. optimalste Variante gesucht wird,
DANN werden mehrere Kernmarkenvarianten generiert und dargestellt!

WENN aus den generierten Kernmarkenvarianten eine ausgewählt werden soll
UND die Bewertungskriterien (z. B. form-, gieß-, putz-, stückzahlgerecht) und deren Gewichtung festgelegt sind,
DANN wird eine Bewertung durchgeführt und die geeignetste bzw. optimalste Kernmarkenvariante bestimmt!

WENN die Kernmarkenvariante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. herstellung- und funktionsgerechte Gießerei-Modelleinrichtung),
DANN wird die Überprüfung der Kernmarkenvariante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung vorgenommen!

WENN die Kernmarkenvariante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften des Gussstückes),
DANN wird die abschließende Überprüfung der Kernmarkenvariante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes vorgenommen!



Anlage 10.4 Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für die Fixierung des Kerns in der Form

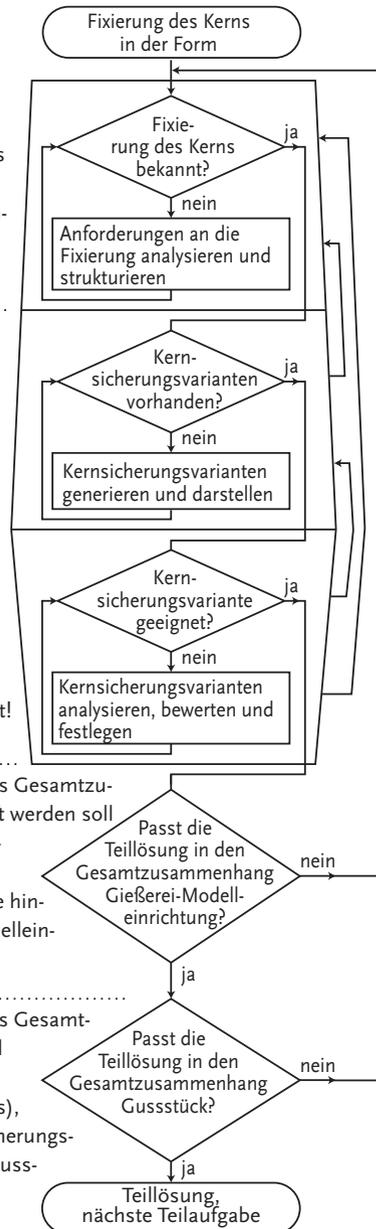
WENN ein Kern in der Form exakt fixiert werden soll
UND mögliche Bewegungsrichtungen bzw. Freiheitsgrade des Kerns aufgrund der geometrischen Gestalt des Gussstückes analysiert worden sind,
DANN werden entsprechend dem Freiheitsgrad die Kernsicherung(en) im Kernkasten und am Modell (mit Aufmaß für das Kernlagerspiel) geometrisch gestaltet!

WENN für den weiteren Konstruktionsverlauf die Kernsicherung(en) detaillierter ausgearbeitet werden soll
UND dafür die geeignetste bzw. optimalste Variante gesucht wird,
DANN werden mehrere Kernsicherungsvarianten generiert und dargestellt!

WENN aus den generierten Kernsicherungsvarianten eine ausgewählt werden soll
UND die Bewertungskriterien (z. B. form-, putz-, stückzahlgerecht) sowie deren Gewichtung festgelegt sind,
DANN wird eine Bewertung durchgeführt und die geeignetste bzw. optimalste Kernsicherungsvariante bestimmt!

WENN die Kernsicherungsvariante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. herstellungs- und funktionsgerechte Gießerei-Modelleinrichtung),
DANN wird die Überprüfung der Kernsicherungsvariante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung vorgenommen!

WENN die Kernsicherungsvariante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften des Gussstückes),
DANN wird die abschließende Überprüfung der Kernsicherungsvariante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes vorgenommen!



Anlage 10.5 Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für das Entformen eines Losteils aus der Form oder vom Kern

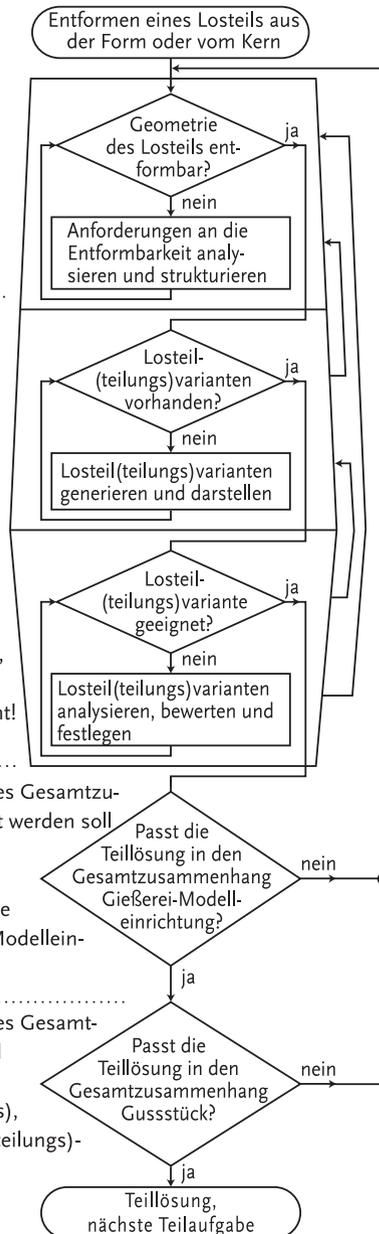
WENN ein Modell aus der Form oder ein Kern aus dem Kernkasten entformt werden soll
UND ein Geometriebereich des zu fertigenden Gussstückes quer zur Entformungsrichtung liegt,
DANN wird ein Losteil, welches eventuell geteilt werden muss, benötigt!

WENN für den weiteren Konstruktionsverlauf das Losteil bzw. die Losteilteilungsvarianten detaillierter ausgearbeitet werden soll
UND dafür die geeignetste bzw. optimalste Variante gesucht wird,
DANN werden mehrere Losteil(teilungs)varianten generiert und dargestellt!

WENN aus den generierten Losteil(teilungs)varianten eine ausgewählt werden soll
UND die Bewertungskriterien (z. B. form-, gieß-, putz-, stückzahlgerecht) und deren Gewichtung festgelegt sind,
DANN wird eine Bewertung durchgeführt und die geeignetste bzw. optimalste Losteil(teilungs)variante bestimmt!

WENN die Losteil(teilungs)variante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. herstellung- und funktionsgerechte Gießerei-Modelleinrichtung),
DANN wird die Überprüfung der Losteil(teilungs)variante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung vorgenommen!

WENN die Losteil(teilungs)variante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften des Gussstückes),
DANN wird die abschließende Überprüfung der Losteil(teilungs)variante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes vorgenommen!



Anlage 10.6 Produktspezifische VVR-/ZBM-Einheiten für die Positionierung eines Losteils am Modell oder im Kernkasten

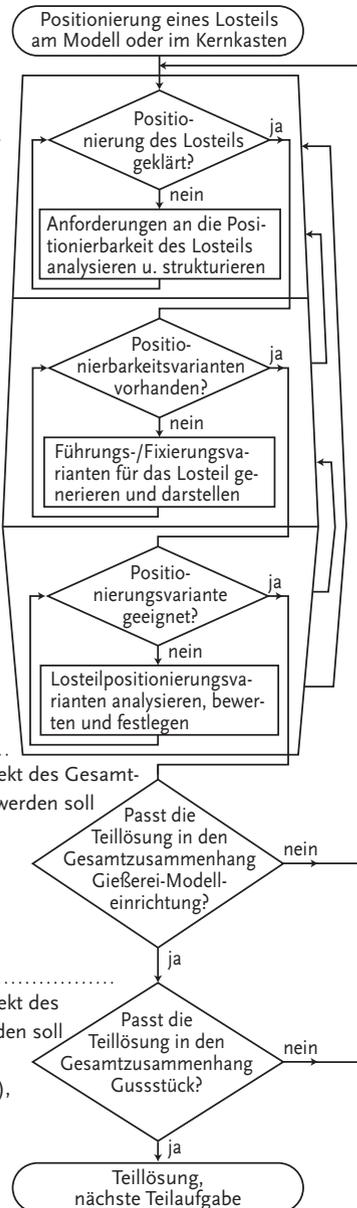
WENN ein Losteil vorgesehen wird
UND eine den Anforderungen entsprechende Positioniergenauigkeit des Losteils am Modell oder im Kernkasten gewährleistet sein muss,
DANN werden Führungen bzw. Fixierungen am Losteil sowie am Modell oder im Kernkasten angebracht!

WENN für den weiteren Konstruktionsverlauf die Losteilpositionierungsvarianten detaillierter ausgearbeitet werden sollen
UND dafür die geeignetste bzw. optimalste Variante gesucht wird,
DANN werden mehrere Losteilpositionierungsvarianten generiert und dargestellt!

WENN aus den generierten Losteilpositionierungsvarianten eine ausgewählt werden soll
UND die Bewertungskriterien (z. B. form-, putz-, stückzahlgerecht) sowie deren Gewichtung festgelegt sind,
DANN wird eine Bewertung durchgeführt und die geeignetste bzw. optimalste Losteilpositionierungsvariante bestimmt!

WENN die Losteilpositionierungsvariante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. herstellungs- und funktionsgerechte Gießerei-Modelleinrichtung),
DANN wird die Überprüfung der Losteilpositionierungsvariante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs der Gießerei-Modelleinrichtung vorgenommen!

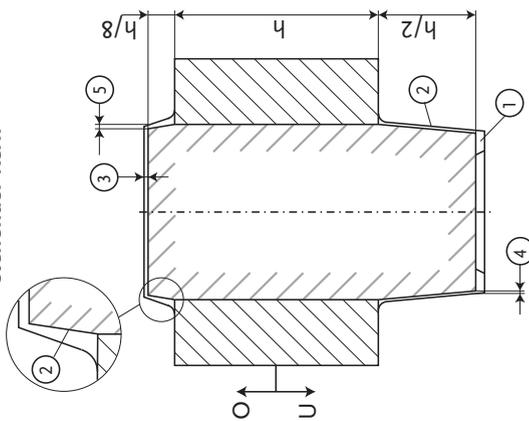
WENN die Losteilpositionierungsvariante unter dem Aspekt des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes überprüft werden soll
UND die Prüfkriterien festgelegt sind (z. B. ideale Funktions- und Nutzungseigenschaften des Gussstückes),
DANN wird die abschließende Überprüfung der Losteilpositionierungsvariante hinsichtlich des Gesamtzusammenhangs des Gussstückes vorgenommen!



Anlage 11.1 Arbeitshilfe: Kernarten

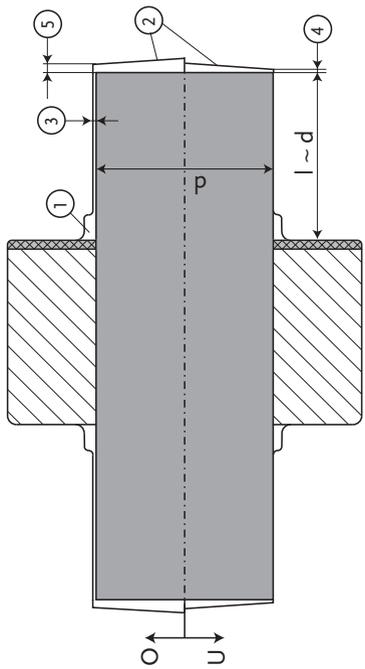
Thema: Kernarten			
Name:	Klasse:	Seite:	Datum:

stehender Kern



① Aufg.:

liegender Kern



① Aufg.:

②

③

④

⑤

Anlage 11.2 Arbeitshilfe: Kernarten (Lösung)

Thema: Kernarten			
Name:	Klasse:	Seite:	Datum:

liegender Kern

stehender Kern

① Druckleiste (Abmaße siehe Roller 2006, S. 326)
Aufg.: Ein Abbrechen oder Abdrücken der Kernlagerkante soll vermieden werden

② Formschräge an den Kernmarken (Größe siehe Roller 2006, S. 326)

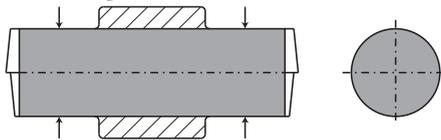
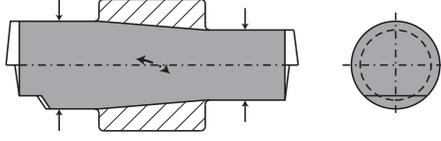
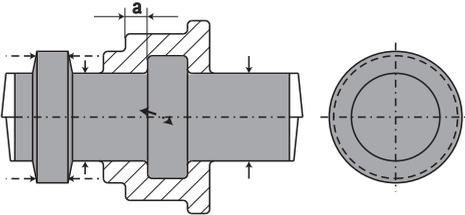
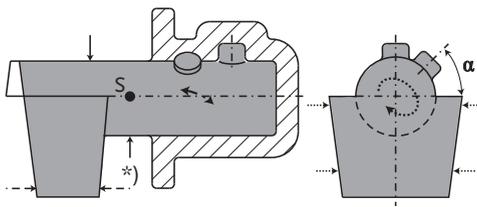
③ Deckkastenspiel bzw. Schließspiel = s (Größe siehe Roller 2006, S. 325)

④ Kernlagerspiel bzw. Spiel für Formenzusammenbau = f (Größe siehe Roller 2006, S. 325)

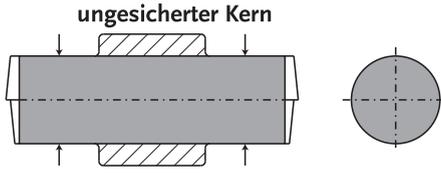
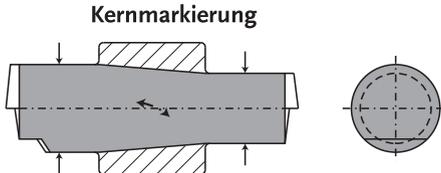
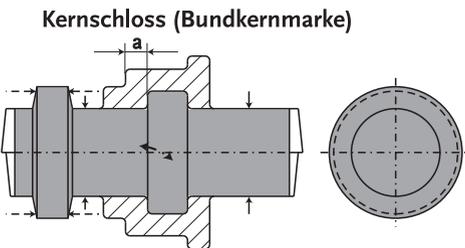
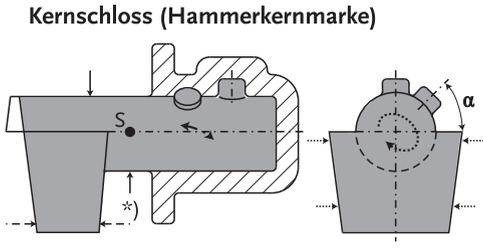
⑤ Kernmarkenüberstand bzw. Abdeckspiel = a (Größe siehe Roller 2006, S. 325)

① Sandleiste (Abmaße siehe Roller 2006, S. 326)
Aufg.: Der beim Einlegen abriebselnde Sand soll aufgenommen werden

Anlage 12.1 Arbeitshilfe: Kernsicherungen (liegender Kern)

Thema: Kernsicherungen (liegender Kern)				
Name:	Klasse:	Seite:	Datum:	
ungesicherter Kern				
		<u>Gesichert gegen:</u>		↓ ↑
Kernmarkierung				
		<u>Gesichert gegen:</u>		↓ ↘ ↙
Kernschloss (Bundkernmarke)				
		<u>Gesichert gegen:</u>		↓ ↘ ↙ ↔
Kernschloss (Hammerkernmarke)				
		<u>Gesichert gegen:</u>		↓ ↘ ↙ ↔ ↻
Anmerkung:				

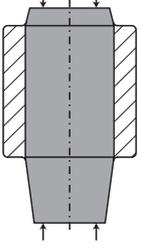
Anlage 12.2 Arbeitshilfe: Kernsicherungen (liegender Kern) (Lösung)

Thema: Kernsicherungen (liegender Kern)				
Name:	Klasse:	Seite:	Datum:	
<p>ungesicherter Kern</p> 		<p><u>Gesichert gegen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufschwimmen/ Absacken 		
<p>Kernmarkierung</p> 		<p><u>Gesichert gegen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufschwimmen/ Absacken - falsches Einlegen 		
<p>Kernschloss (Bundkernmarke)</p> 		<p><u>Gesichert gegen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufschwimmen/ Absacken - falsches Einlegen - Verschieben ($a = \text{Wandstärke}$) 		
<p>Kernschloss (Hammerkernmarke)</p> 		<p><u>Gesichert gegen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufschwimmen/ Absacken - falsches Einlegen - Verschieben - Verdrehen ($\alpha = \text{Winkel}$) 		
<p><u>Anmerkung:</u> Beim einseitig gelagerten Kern muss der Schwerpunkt (S) in der Kernlagerung liegen und muss die Sandbrücke *) groß genug sein, um ein Abbrechen zu vermeiden.</p>				
<p>Die Ausführung der Kernsicherung soll nur so aufwendig wie nötig gestaltet werden!</p>				

Anlage 13.1 Arbeitshilfe: Kernsicherungen (stehender Kern)

Thema: Kernsicherungen (stehender Kern)			
Name:	Klasse:	Seite:	Datum:

ungesicherter Kern



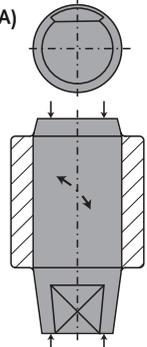
Gesichert gegen:

..... ↓

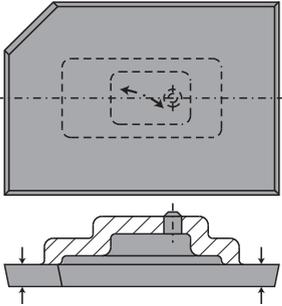
..... ↑

Kernmarkierung

A)



B)



Gesichert gegen:

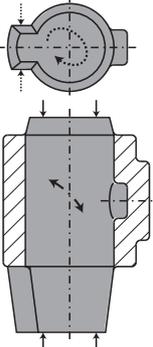
..... ↓

..... ↑

..... ↗

..... ↘

Kernarretierung



Gesichert gegen:

..... ↓

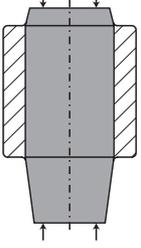
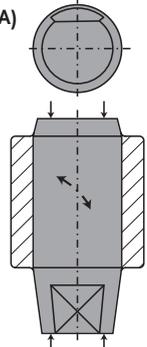
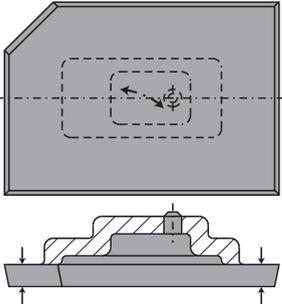
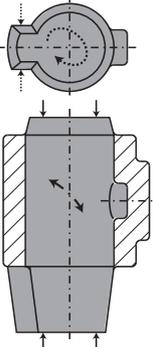
..... ↑

..... ↗

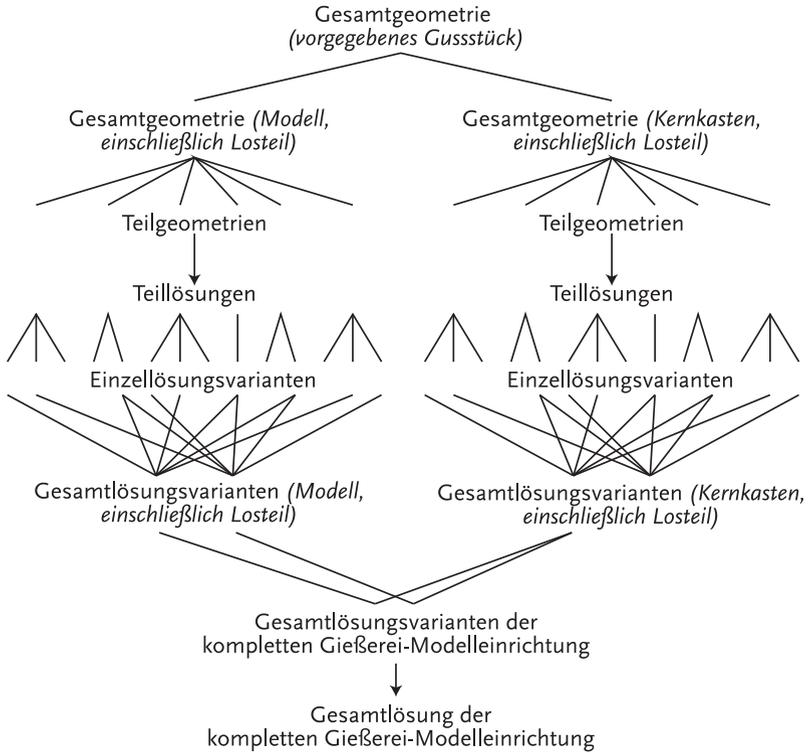
..... ↘

..... ↻

Anlage 13.2 Arbeitshilfe: Kernsicherungen (stehender Kern) (Lösung)

Thema: Kernsicherungen (stehender Kern)					
Name:	Klasse:	Seite:	Datum:		
ungesicherter Kern					
			<u>Gesichert gegen:</u> - <i>Aufschwimmen/ Absacken</i> ↓ ↑		
Kernmarkierung					
A)			B)		
			<u>Gesichert gegen:</u> - Aufschwimmen/ Absacken ↓ ↑ - <i>falsches Einlegen</i> ↖ ↗		
Kernarretierung					
			<u>Gesichert gegen:</u> - Aufschwimmen/ Absacken ↓ ↑ - falsches Einlegen ↖ ↗ - <i>Verdrehen</i> ↻		

Anlage 14 Verfahren zur Aufgliederung und Verknüpfung der Gussstückgeometrie



Anlage 15 Aufgabenblatt der experimentellen Felduntersuchung

Ziel der Untersuchung

ist es, ein möglichst genaues Bild vom Ablauf Ihrer Gedanken und Vorstellungen hinsichtlich der Festlegung der Teilung(en) bei Gießerei-Modelleinrichtungen zu erhalten.

Anzumerken ist, dass sich aus fachlich nicht optimalen Lösungen auch wichtige Erkenntnisse ableiten lassen können – und somit auch Bestandteil von empirischen Untersuchungen ist!

Aufgabenstellung und Instruktion

Legen Sie für die nachfolgenden Modelleinrichtungen die Modell- und Kernkastenteilung(en) fest und zeichnen Sie diese in die jeweilige Zeichnung ein.

Die Anforderungen an die jeweilige Modelleinrichtung sind auf der entsprechenden Zeichnung angegeben. Für weitere Informationen stehen Ihnen die unten aufgeführten Unterlagen zur Verfügung. Darüber hinaus können Sie auf Wunsch weitere Unterlagen erhalten. Wenn Sie Fragen haben, wenden Sie sich jederzeit an den mich.

Sprechen Sie bitte alles aus, was Ihnen während der Bearbeitung der Aufgaben in den Sinn kommt. Dies gilt auch für Gedanken, die Ihnen unwesentlich erscheinen mögen.

Versuchen Sie bitte, „laut“ zu denken!

Es kann vorkommen, dass Sie nicht immer in der Lage sind, in Worte zu fassen, womit Sie sich gerade geistig beschäftigen. Versuchen Sie in diesem Fall unmittelbar anschließend zu beschreiben, was sich in Ihnen ereignet hat.

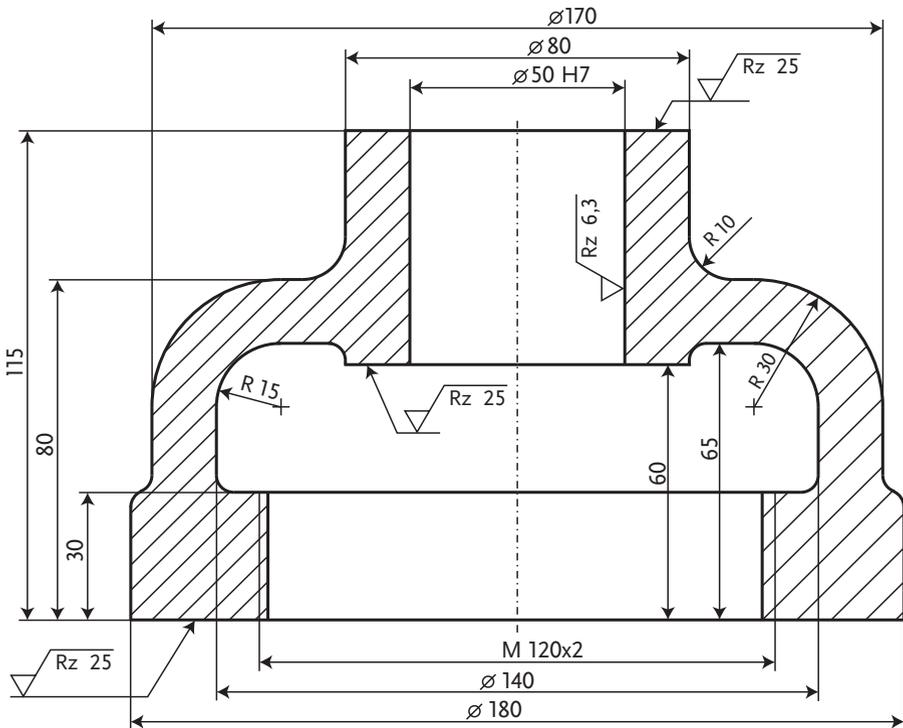
Wenn Sie länger schweigen, werden Sie daran erinnert, dass Sie „laut“ denken oder, falls dies gerade nicht möglich ist, beschreiben sollen, was in Ihnen vorgegangen ist. Teilen Sie bitte auch mit, wenn Ihre Gedanken abschweifen oder wenn Sie einmal nicht weiter wissen.

Unterlagen:

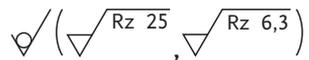
- Tabellenbuch,
- Fachkundebuch Modellbau,
- VDG-Merkblatt M 150 (Gießereitechnische Zeichnungen) bzw. eine Zusammenfassung der Zeichenregeln,
- DIN EN 12890 (Modelle, Modelleinrichtungen und Kernkästen zur Herstellung von Sandformen und Sandkernen)

Anlage 16.1 1. Konstruktionsaufgabe

Bezeichnung des Gussstückes:	Haube (Roller/Heidler 1989, S. 76)
Werkstoff des Gussstückes:	EN-GJL-200 (GG-20)
Gussstückzahl:	20
Formverfahren:	Hand- oder Maschinenformverfahren – <i>steht derzeit noch nicht fest!</i>
Modellgüte:	H 1



Nicht bemaßte Radien R 4



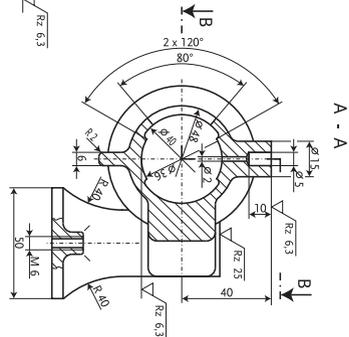
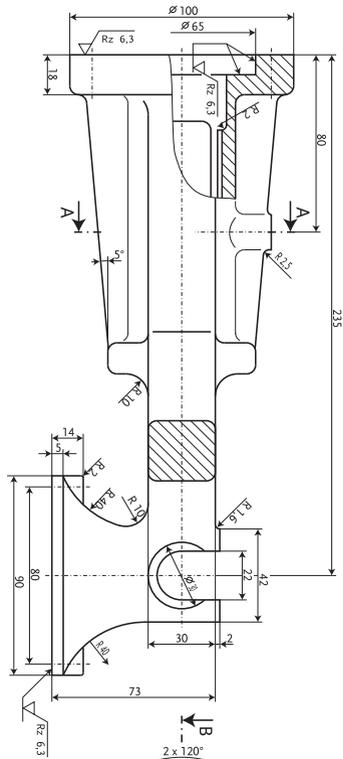
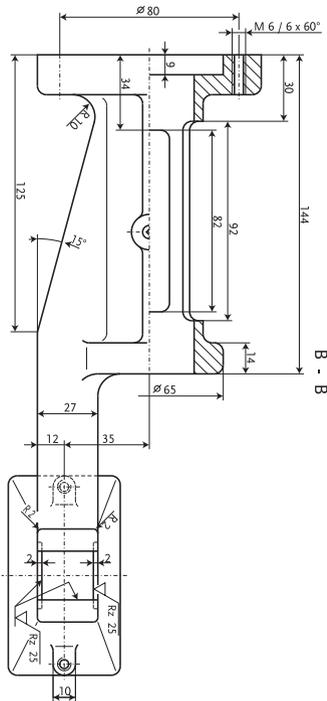
Anlage 16.2 Referenzlösungen der 1. Konstruktionsaufgabe

(Lösungen 1a und 4b: Roller/Heidler 1989, S. 76 bzw. Roller 2006, S. 291)

Gießerei-Modell-einrichtung		Lösungsprinzipien/prinzipielle Lösungen (Konzepte)			
		1	2	3	4
Elementarfunktionen	Modellteilung				
	Entformen				
Ausheben	Kernsicherung				
	Bemerkungen	<ul style="list-style-type: none"> - ebenes Naturmodell, mit geteiltem Losteil, mit Ausrüstpriloz (mit den Teilungsvarianten a), b) oder c) - ebenes Kernmodell, mit geteiltem Losteil, mit zweiteiligem ebenen Kernkasten 	<p>Stehender Kern:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zweiteiliges ebenes Kernmodell, mit zweiteiligem ebenen Kernkasten 	<p>Liegender Kern:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zweiteiliges ebenes Kernmodell, mit zweiteiligem ebenen Kernkasten, mit geteiltem Losteil, Kernsicherung 	<p>Hängender Kern:</p> <ul style="list-style-type: none"> - einteiliges ebenes Kernmodell, mit Kernkasten a) Schuttkernkasten mit zwei Einlagen b) dreiteiliger Kernkasten (Teilungsverlauf wie a))

Anlage 16.3 2. Konstruktionsaufgabe

Bezeichnung des Gussstückes: Dampfmaschinegehäuse (Roller/Heidler 1989, S. 64)
 Werkstoff des Gussstückes: EN-GJL-200 (GG-20)
 Gussstückzahl: 250
 Modellart: Modellplatteneinrichtung
 Modellgüte: K 1



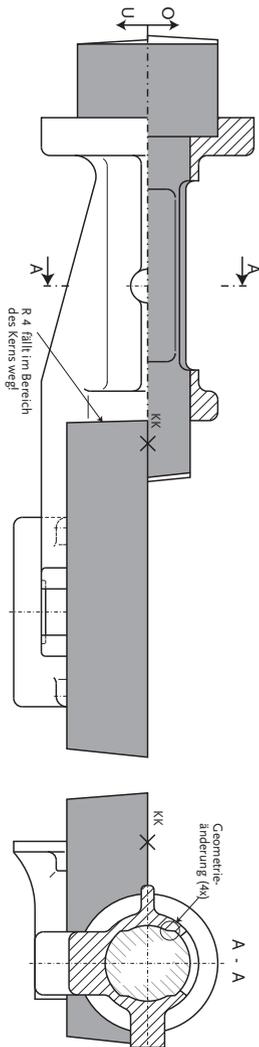
Nicht benannte Radien R 4
 ($\sqrt{\text{Rz 2.5}}$, $\sqrt{\text{Rz 6.3}}$)

Anlage 16.4 Referenzlösungen der 2. Konstruktionsaufgabe

Variante A:

(vgl. Roller/Heidler 1989, S. 64)

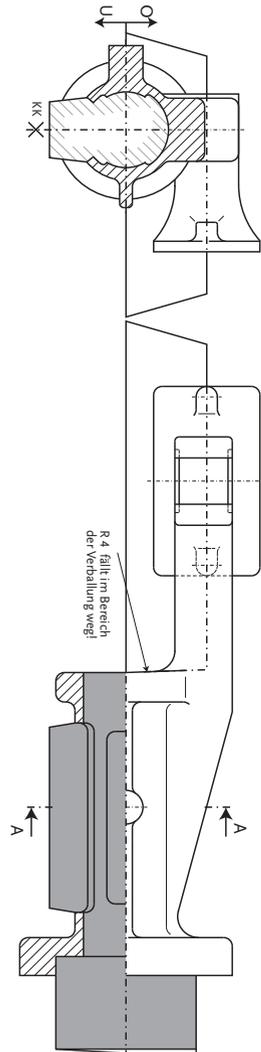
Innen- und Außenkontur ein Kern



Variante B:

Innenkontur mit Kern und Außenkontur mit

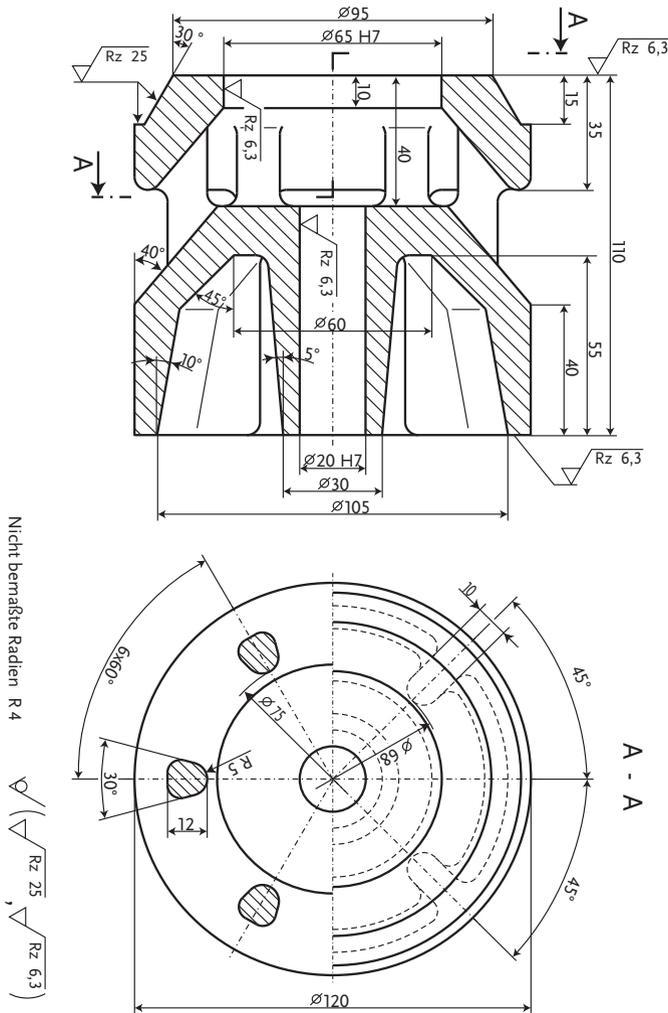
Verballung



Anlage 16.5 3. Konstruktionsaufgabe

Bezeichnung des Gussstückes: Saugkorb (Roller/Heidler 1989, S. 59)
 Werkstoff des Gussstückes: EN-GJS-400 (GGG-40)
 Gussstückzahl: 8
 Formverfahren: Handformverfahren
 Modellgüte: H 1

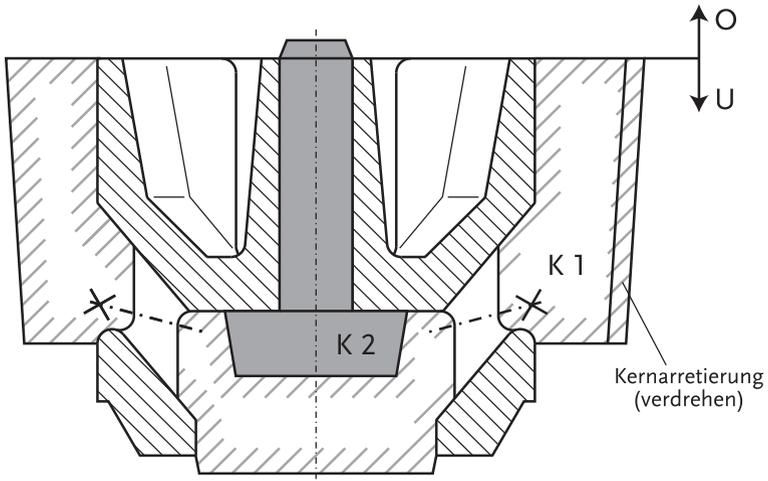
Anmerkung: Die Bohrung $\varnothing 20$ H7 soll **nicht** vollgegossen werden!



Anlage 16.6 Referenzlösungen der 3. Konstruktionsaufgabe

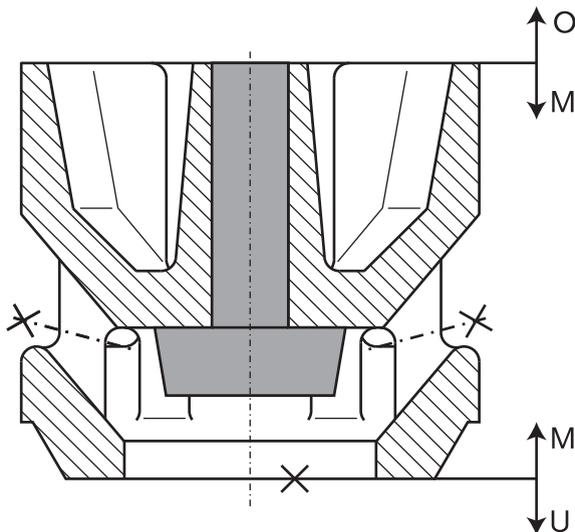
Variante A:

Kernmodell mit zwei Kernen



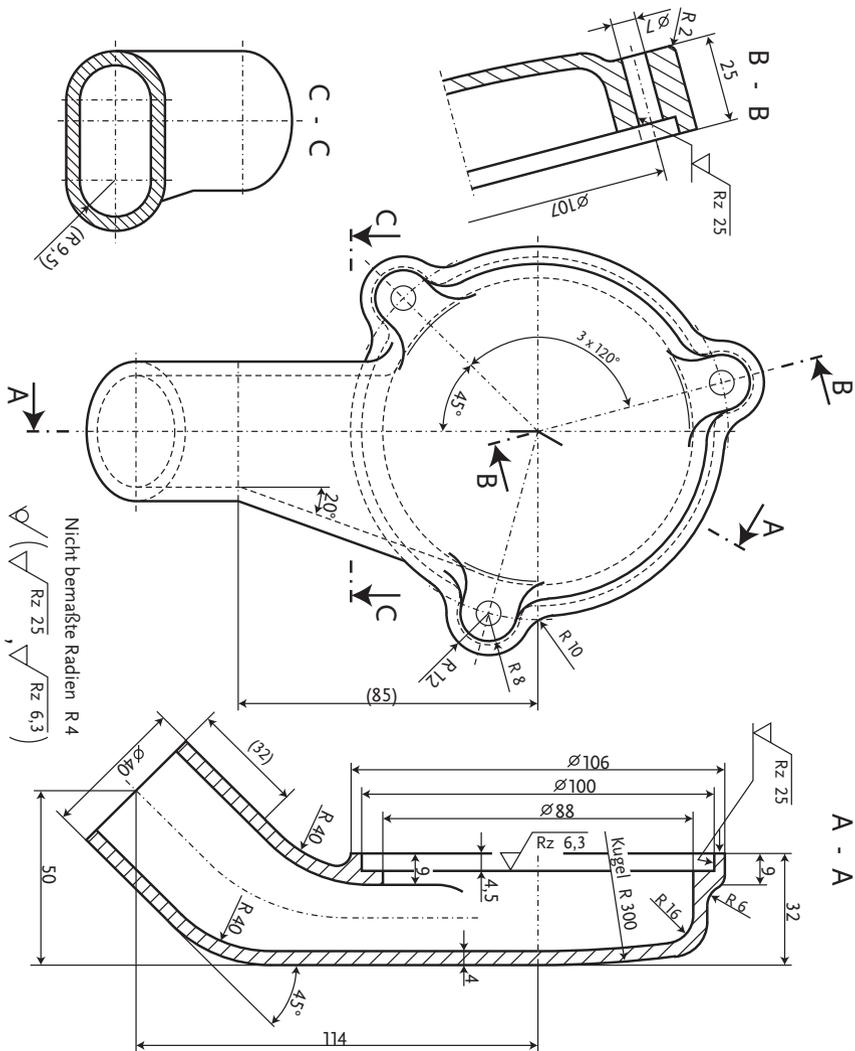
Variante B: (vgl. Roller/Heidler 1990, S. 24, ohne Kern)

Zweiteiliges Naturmodell mit Bohrkern → dreiteilige Form



Anlage 16.7 4. Konstruktionsaufgabe

Bezeichnung des Gussstückes:	Deckel (Roller/Heidler 1989, S. 65)
Werkstoff des Gussstückes:	EN AC-ALSi12 (G-ALSi12)
Gussstückzahl:	500
Modellart:	Modellplatteneinrichtung
Modellgüte:	K 1



Anlage 16.8 Referenzlösungen der 4. Konstruktionsaufgabe

Modell: (vgl. Roller/Heidler 1990, S. 28–29)

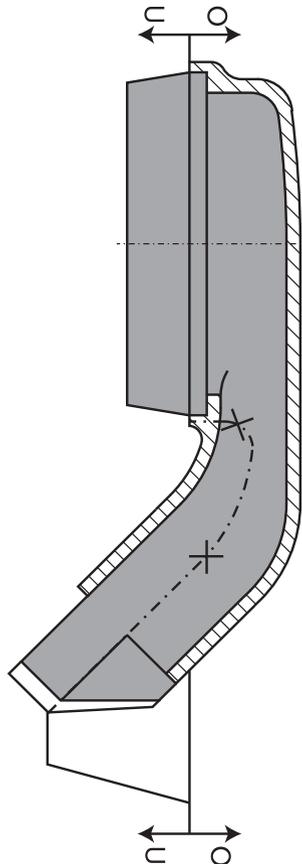
Unebene Modellteilung

Kernkasten, Variante A: (vgl. Roller/Heidler 1990, S. 29)

Unebene Kernkastenteilung (identisch mit Modellteilung)

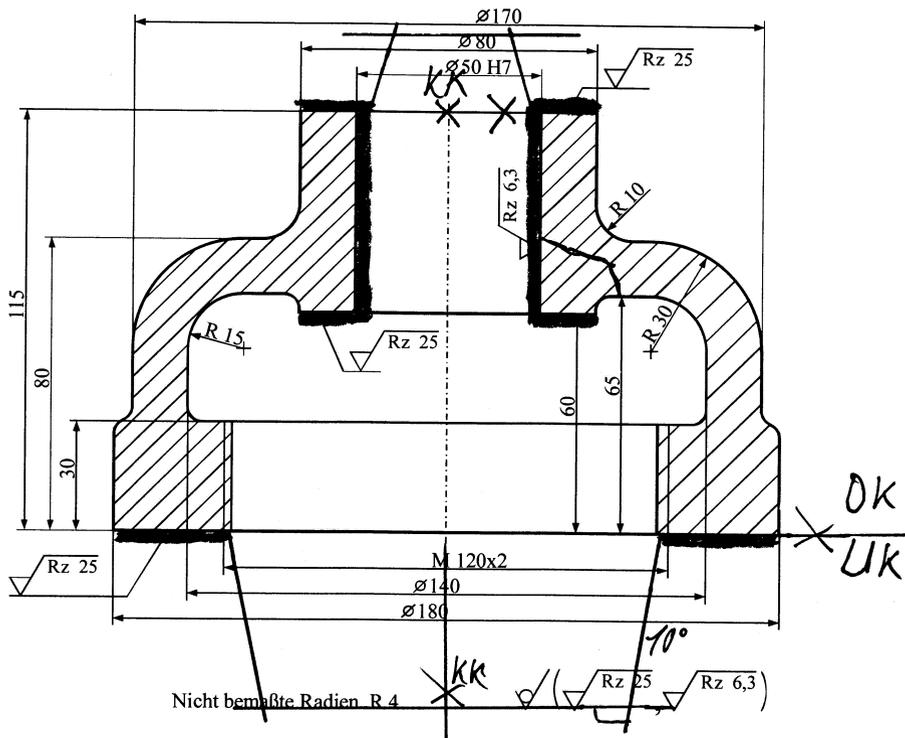
Kernkasten, Variante B:

Ebene Kernkastenteilung (in Zeichnungsebene) → optional: KM Ø40 komplett

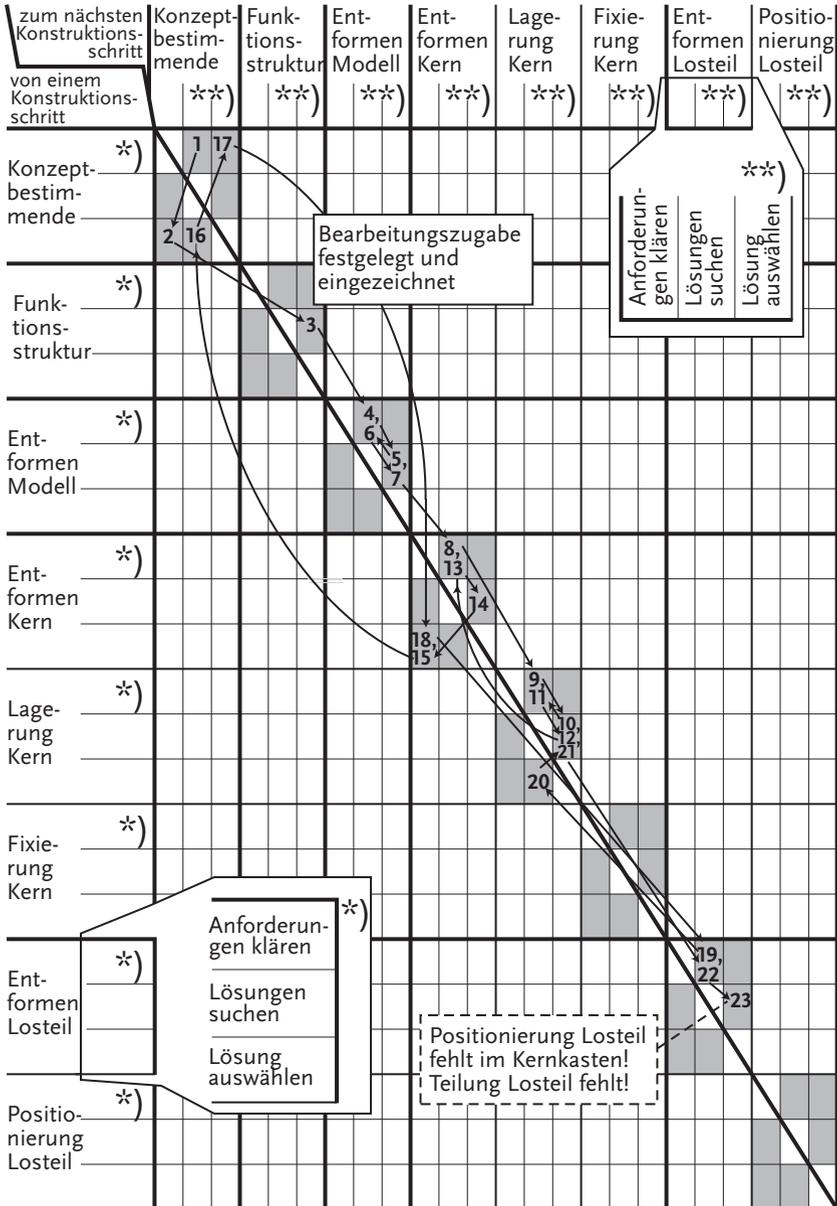


Anlage 17.1 Ergebnis der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A

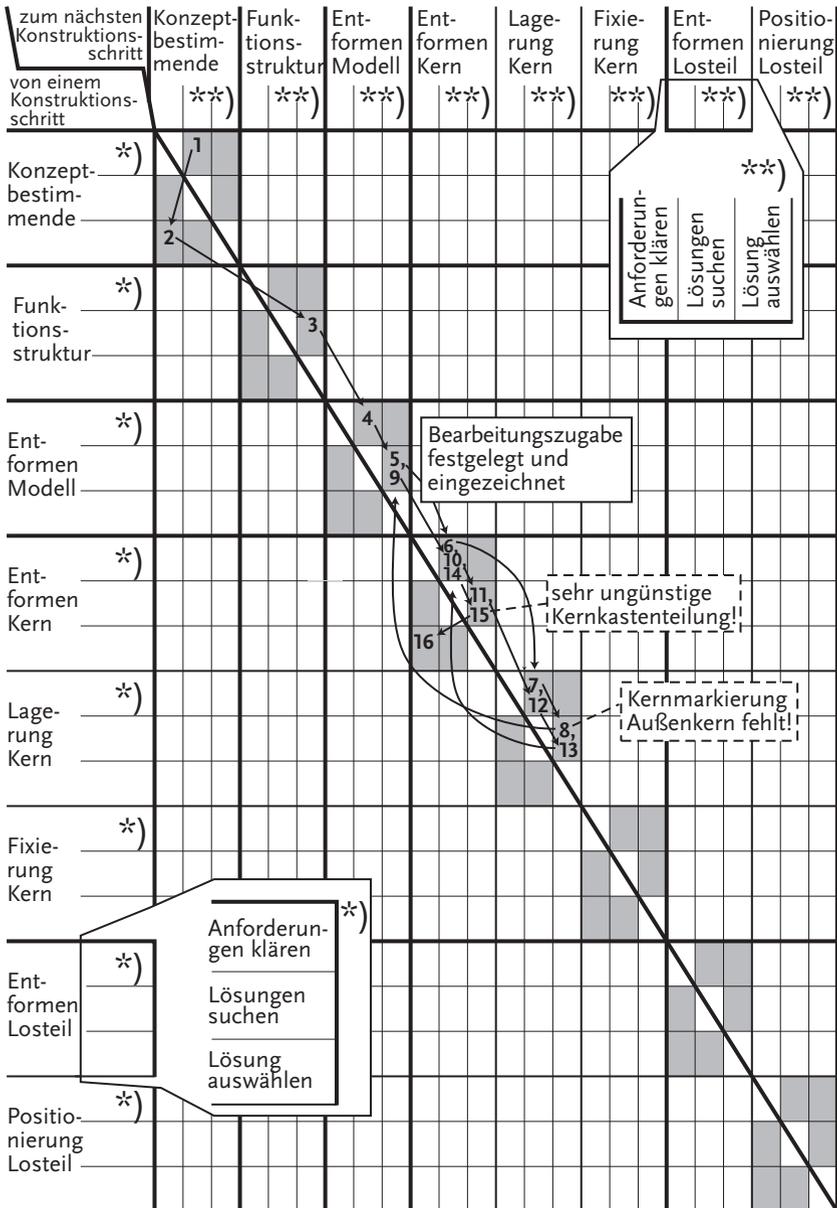
Bezeichnung des Gussstückes: Haube (Roller/Heidler 1989, S. 76)
 Werkstoff des Gussstückes: EN-GJL-200 (GG-20)
 Gussstückzahl: 20
 Formverfahren: Hand- oder Maschinenformverfahren – steht derzeit noch nicht fest!
 Modellgüte: H 1



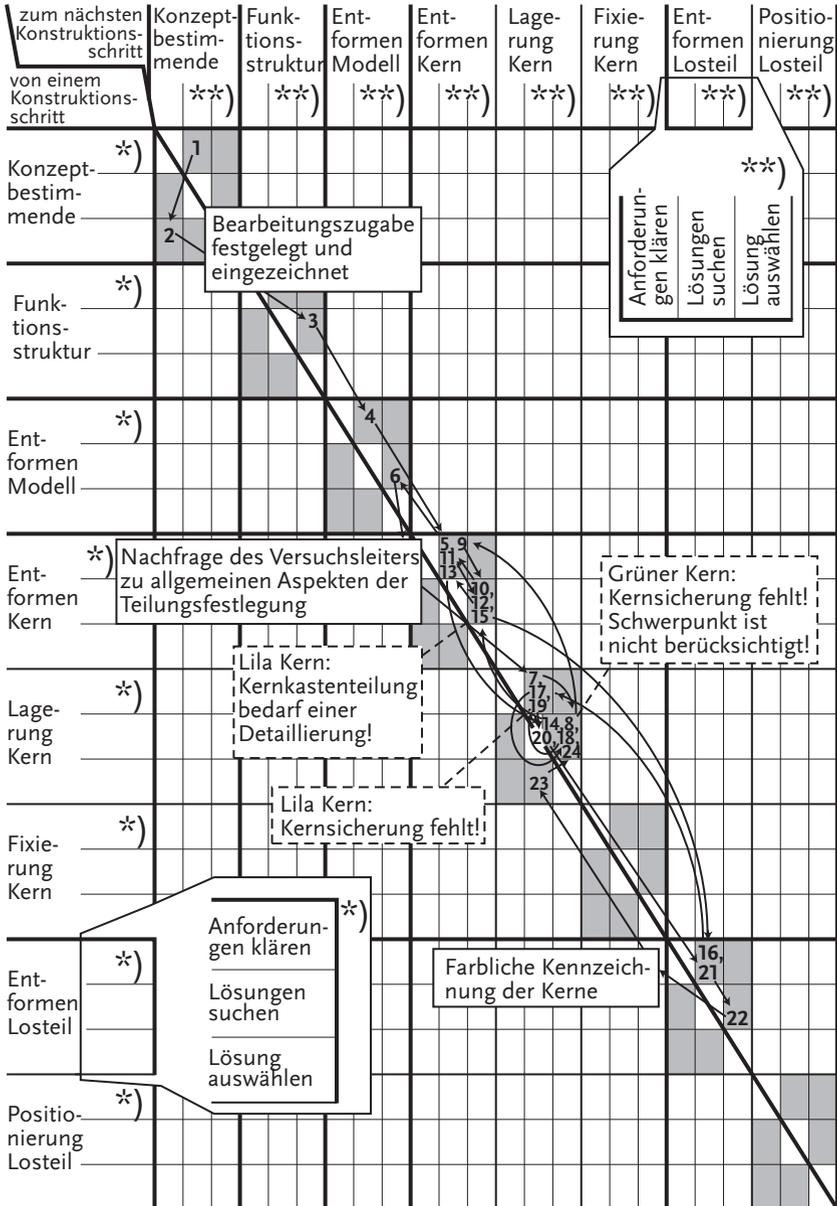
Anlage 17.2 Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A



Anlage 17.4 Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A

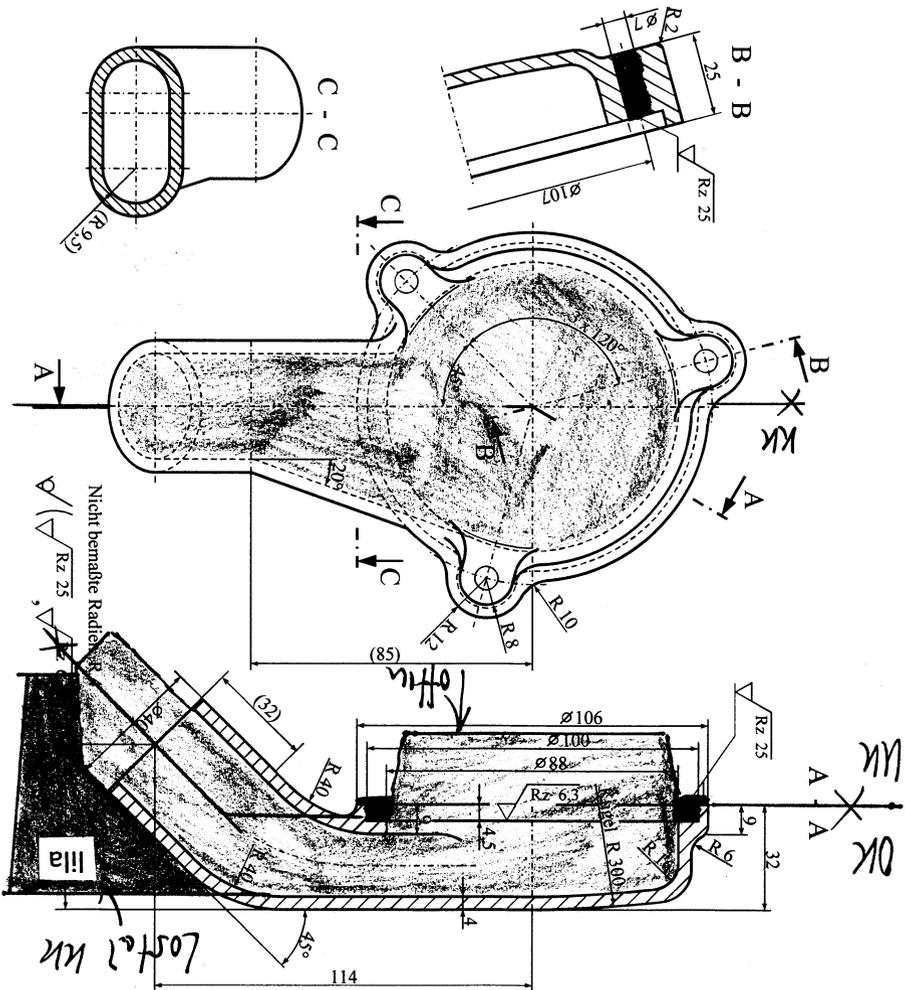


Anlage 17.6 Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A

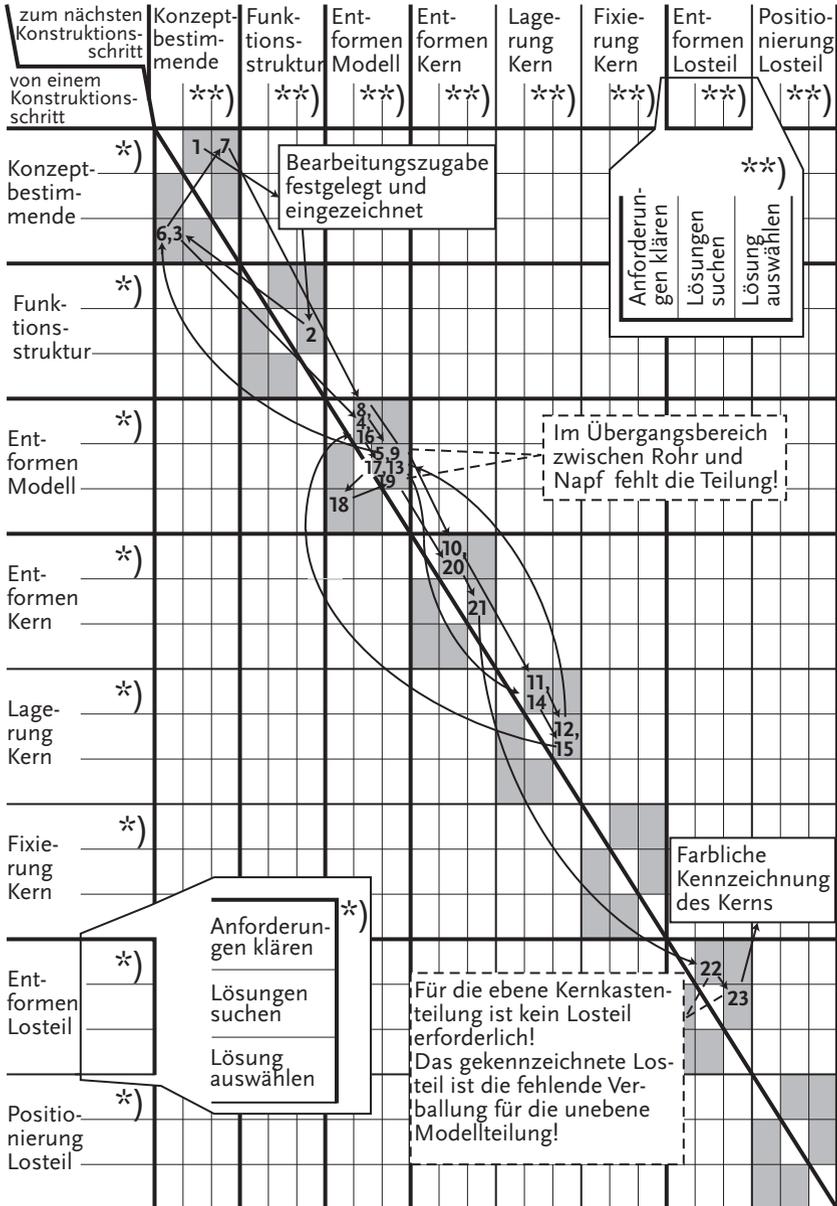


Anlage 17.7 Ergebnis der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A

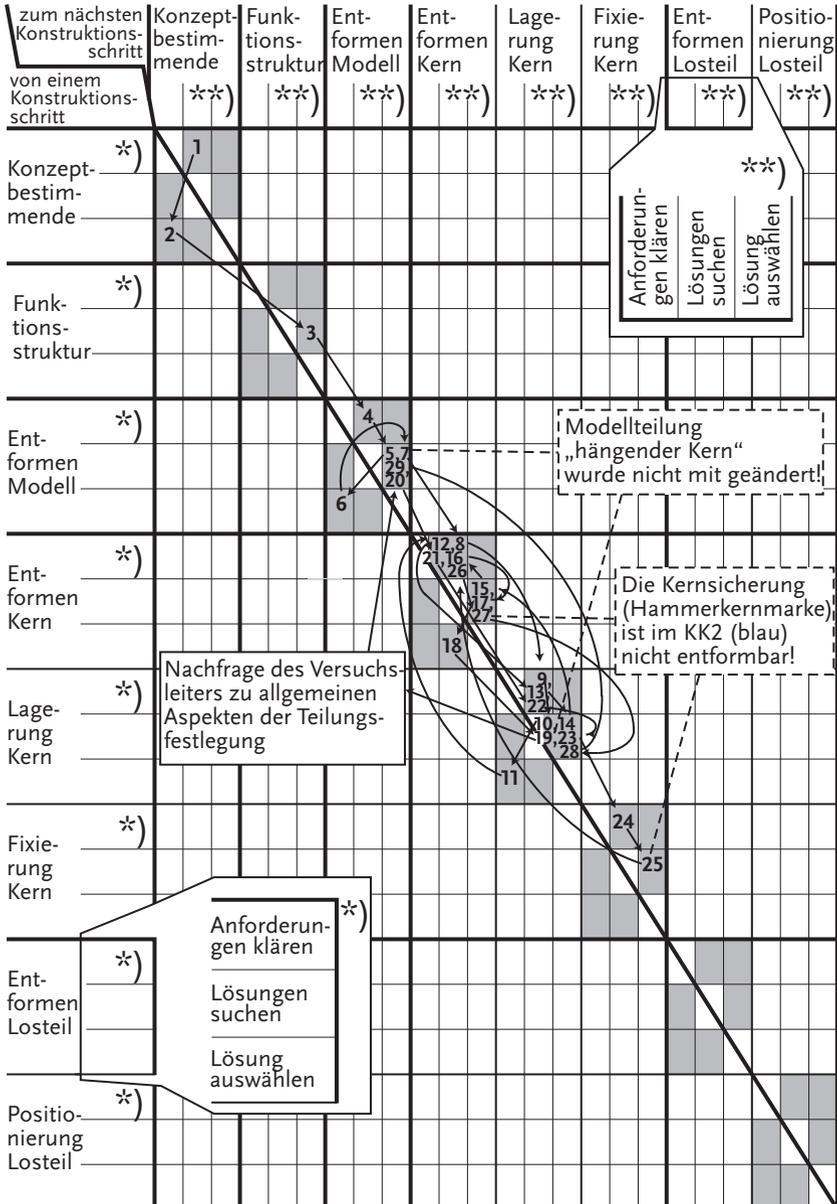
Bezeichnung des Gussstückes: Deckel (Roller/Heidler 1989, S. 65)
 Werkstoff des Gussstückes: EN AC-ALSi12 (G-ALSi12)
 Gussstückzahl: 500
 Modellart: Modellplatteneinrichtung
 Modellgüte: K 1



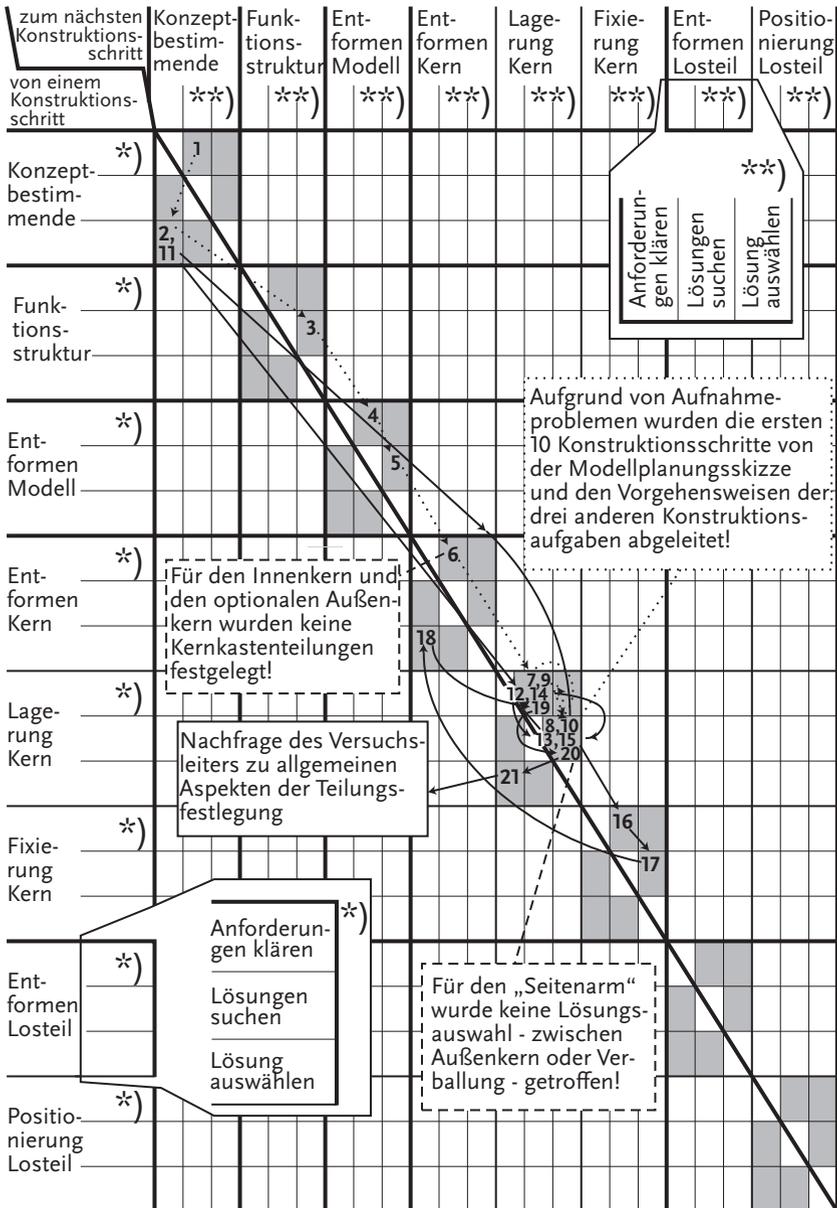
Anlage 17.8 Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson A



Anlage 17.10 Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B



Anlage 17.12 Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B



Anlage 17.13 Ergebnis der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B

Bezeichnung des Gussstückes: Saugkorb (Roller/Heidler 1989, S. 59)

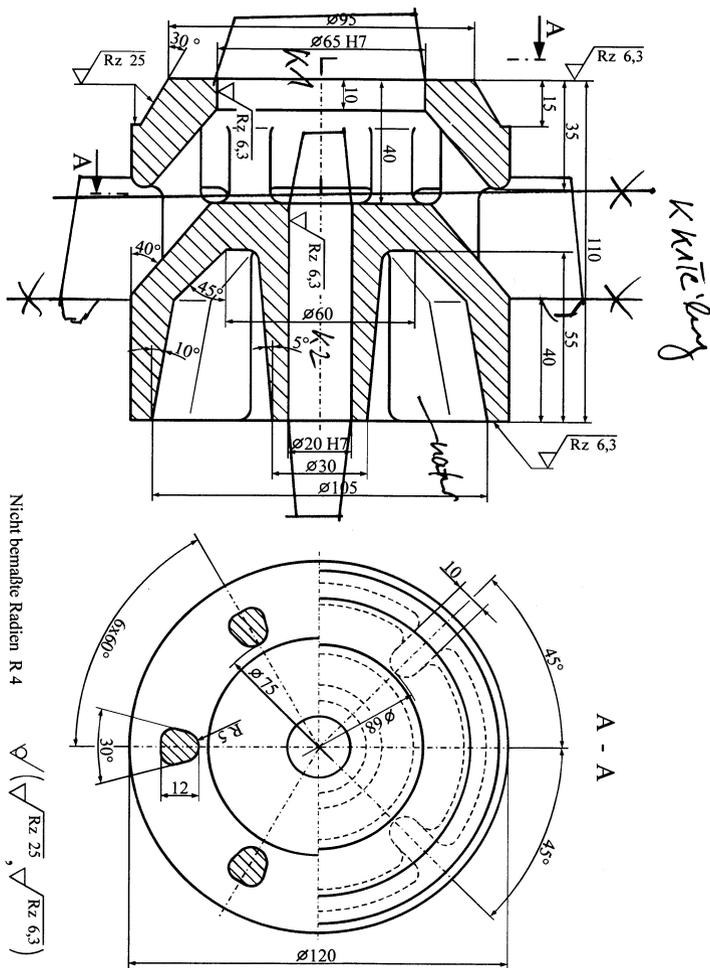
Werkstoff des Gussstückes: EN-GJS-400 (GGG-40)

Gussstückzahl: 8

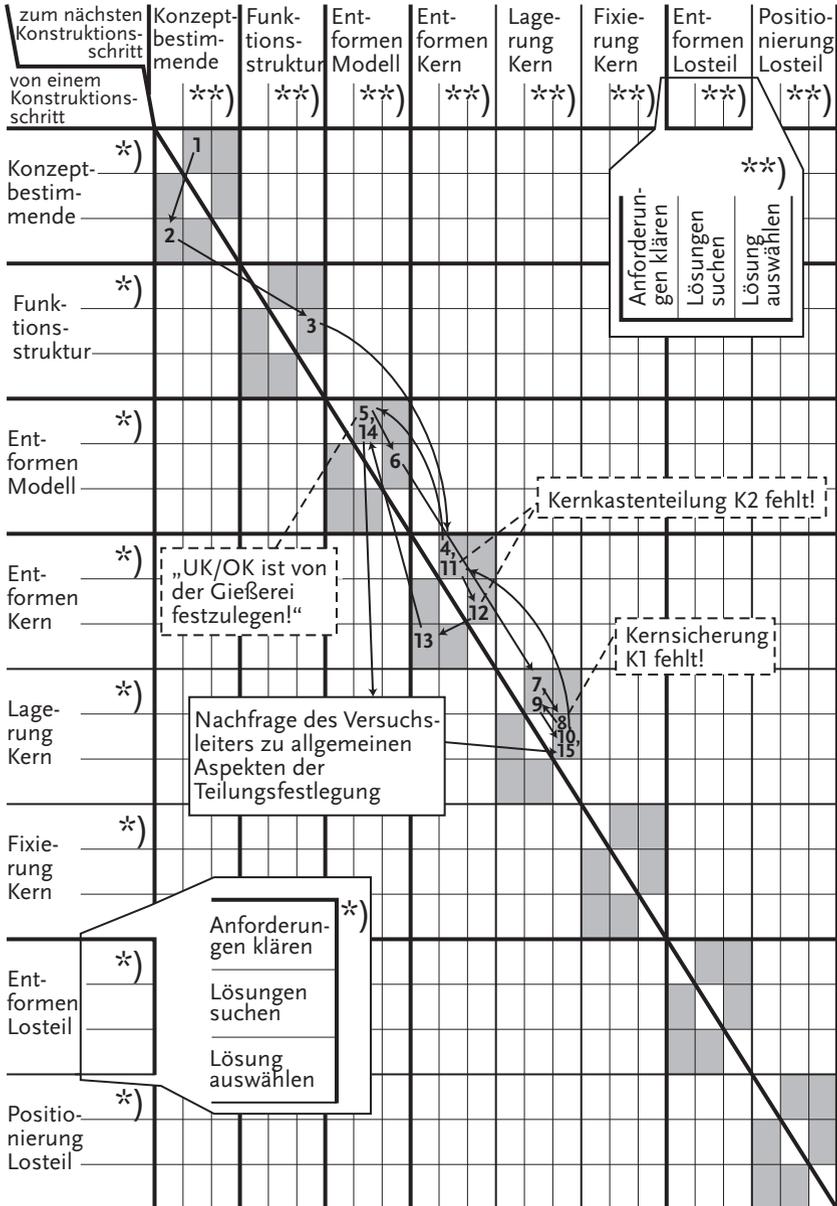
Formverfahren: Handformverfahren

Modellgüte: H 1

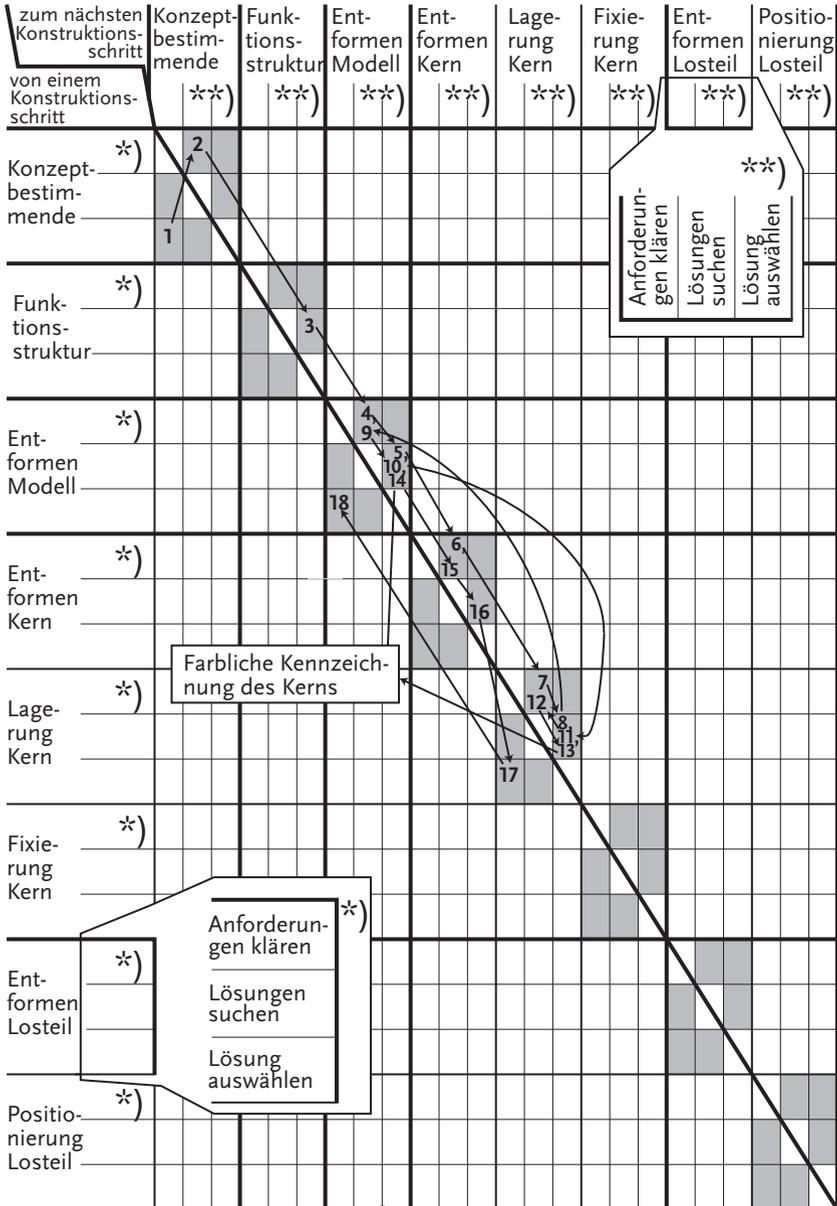
Anmerkung: Die Bohrung $\varnothing 20$ H7 soll **nicht** vollgegossen werden!



Anlage 17.14 Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B

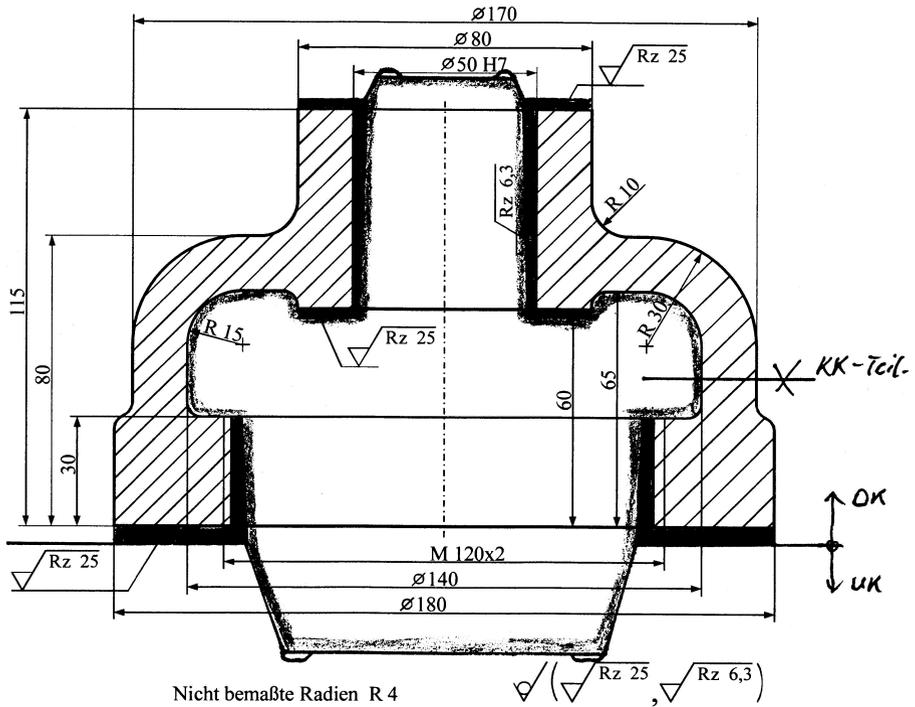


Anlage 17.16 Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson B

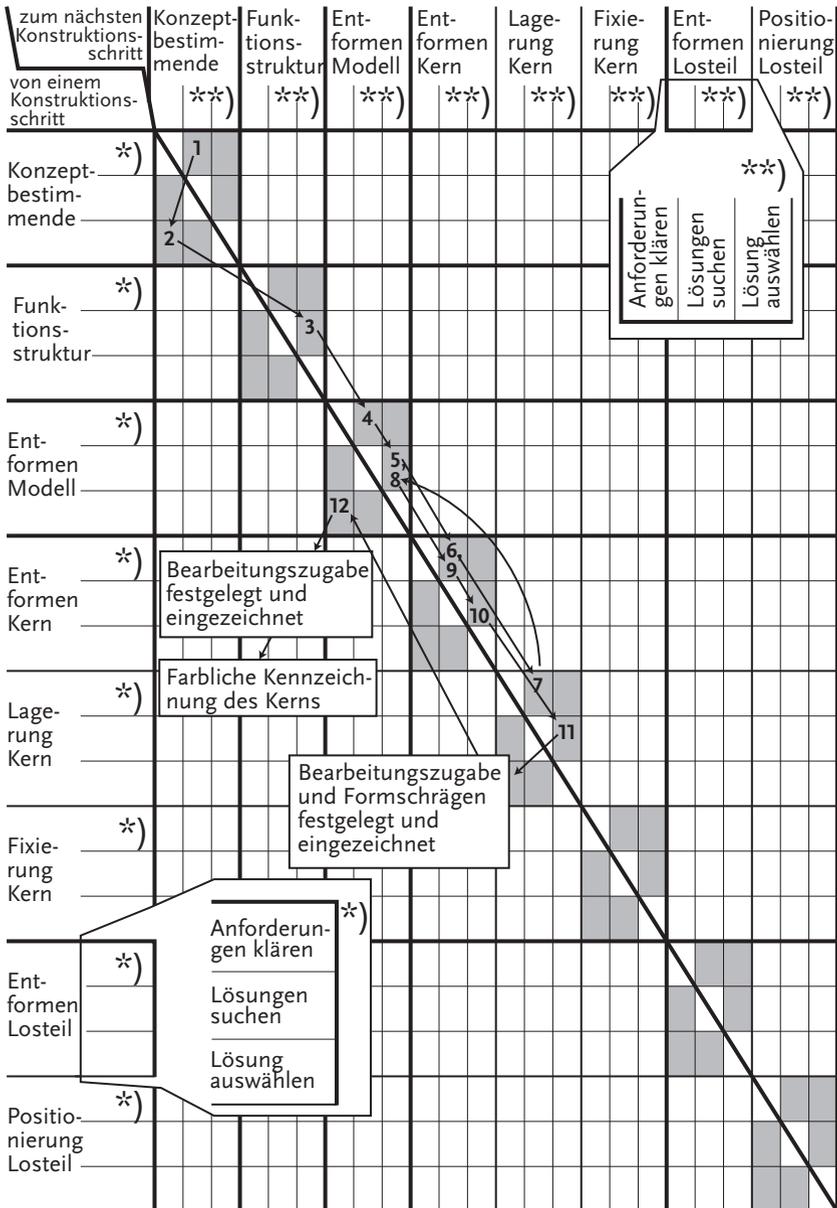


Anlage 17.17 Ergebnis der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C

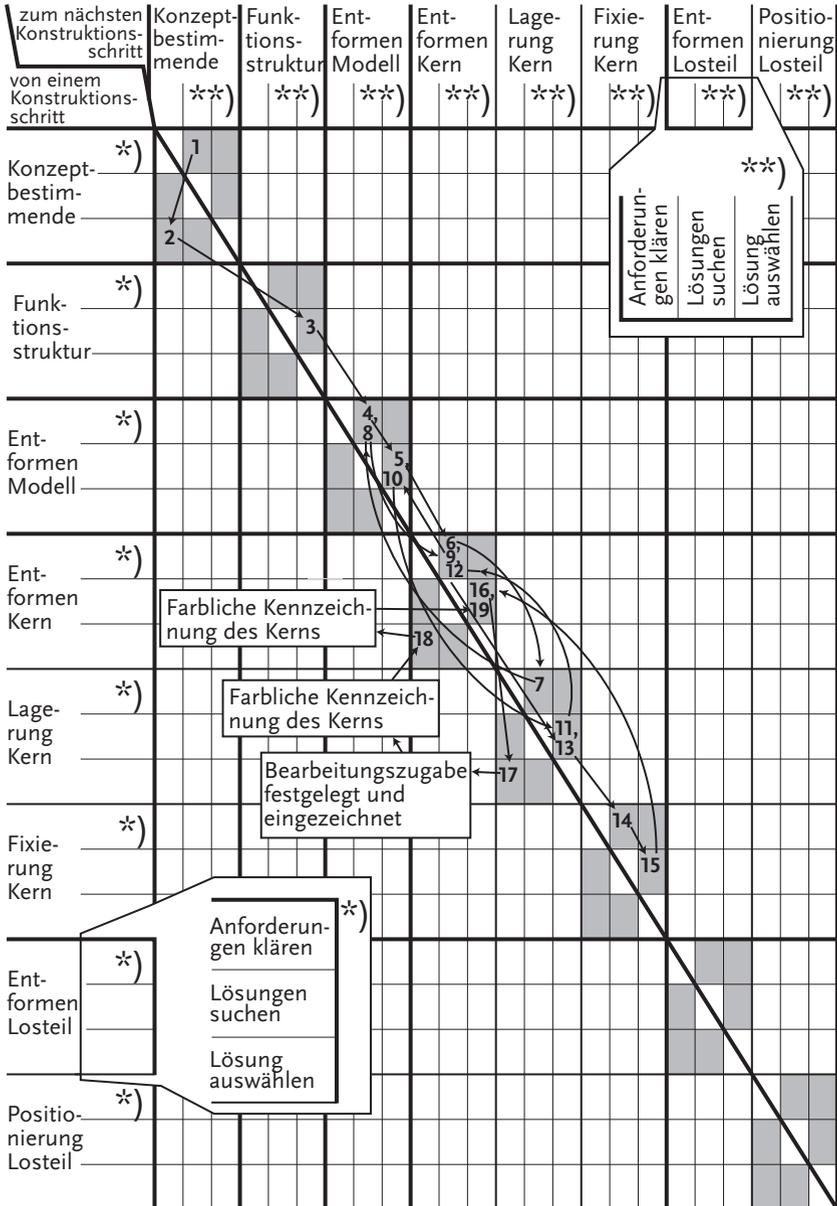
Bezeichnung des Gussstückes: Haube (Roller/Heidler 1989, S. 76)
 Werkstoff des Gussstückes: EN-GJL-200 (GG-20)
 Gussstückzahl: 20
 Formverfahren: Hand- oder Maschinenformverfahren – steht derzeit noch nicht fest!
 Modellgüte: H 1



Anlage 17.18 Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C



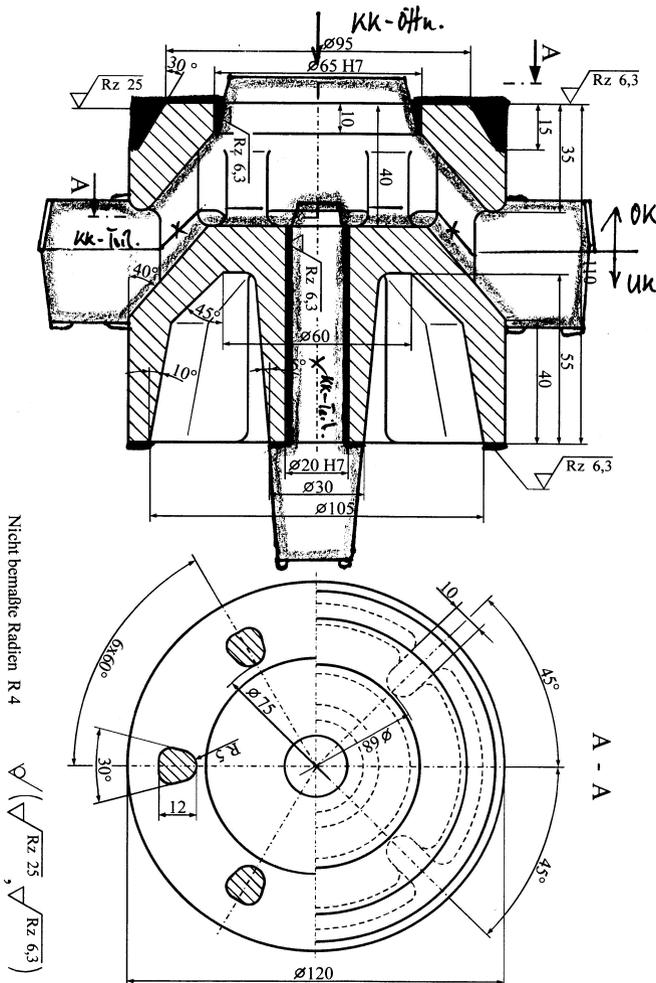
Anlage 17.20 Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C



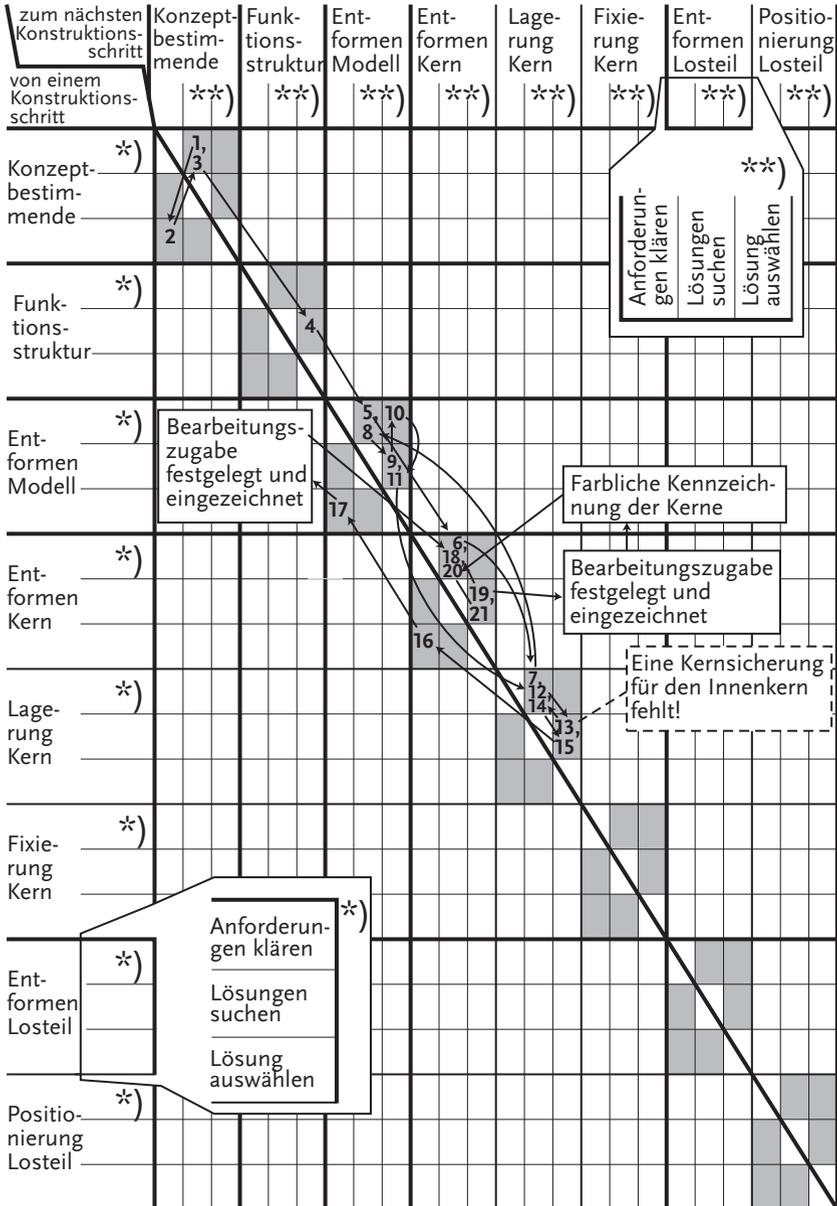
Anlage 17.21 Ergebnis der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C

Bezeichnung des Gussstückes: Saugkorb (Roller/Heidler 1989, S. 59)
 Werkstoff des Gussstückes: EN-GJS-400 (GGG-40)
 Gussstückzahl: 8
 Formverfahren: Handformverfahren
 Modellgüte: H 1

Anmerkung: Die Bohrung $\varnothing 20$ H7 soll **nicht** vollgegossen werden!

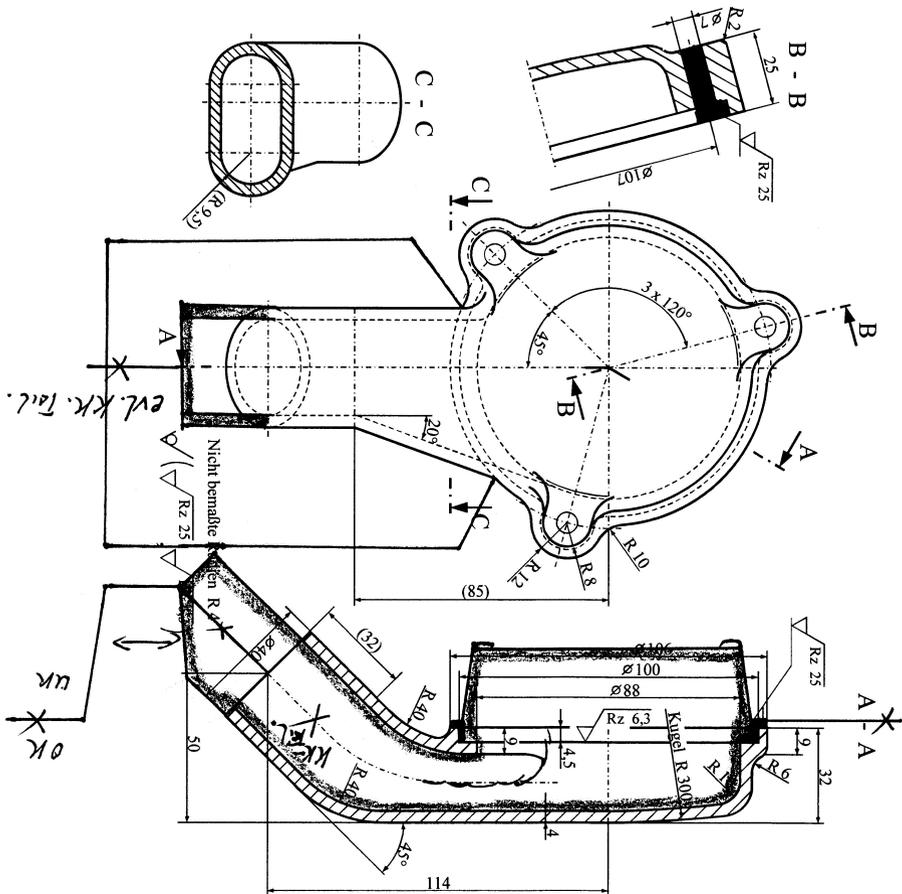


Anlage 17.22 Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C

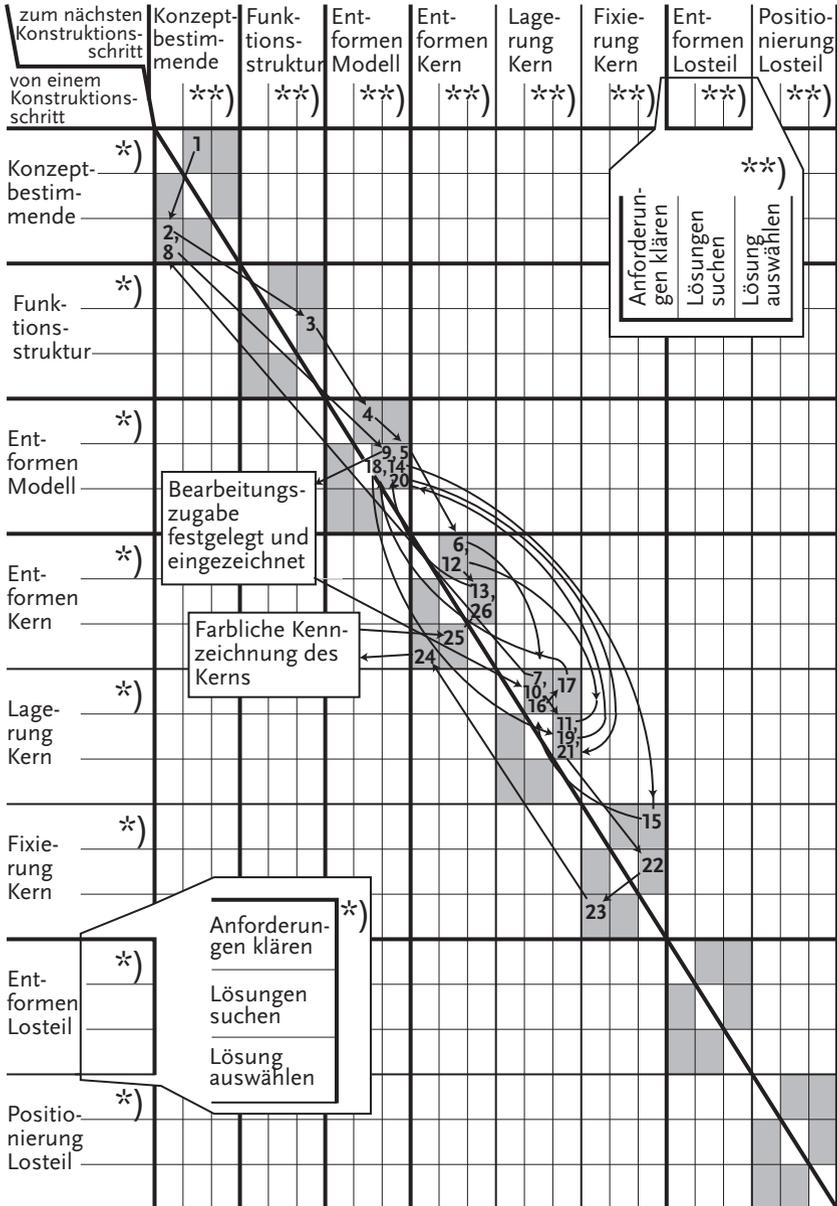


Anlage 17.23 Ergebnis der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C

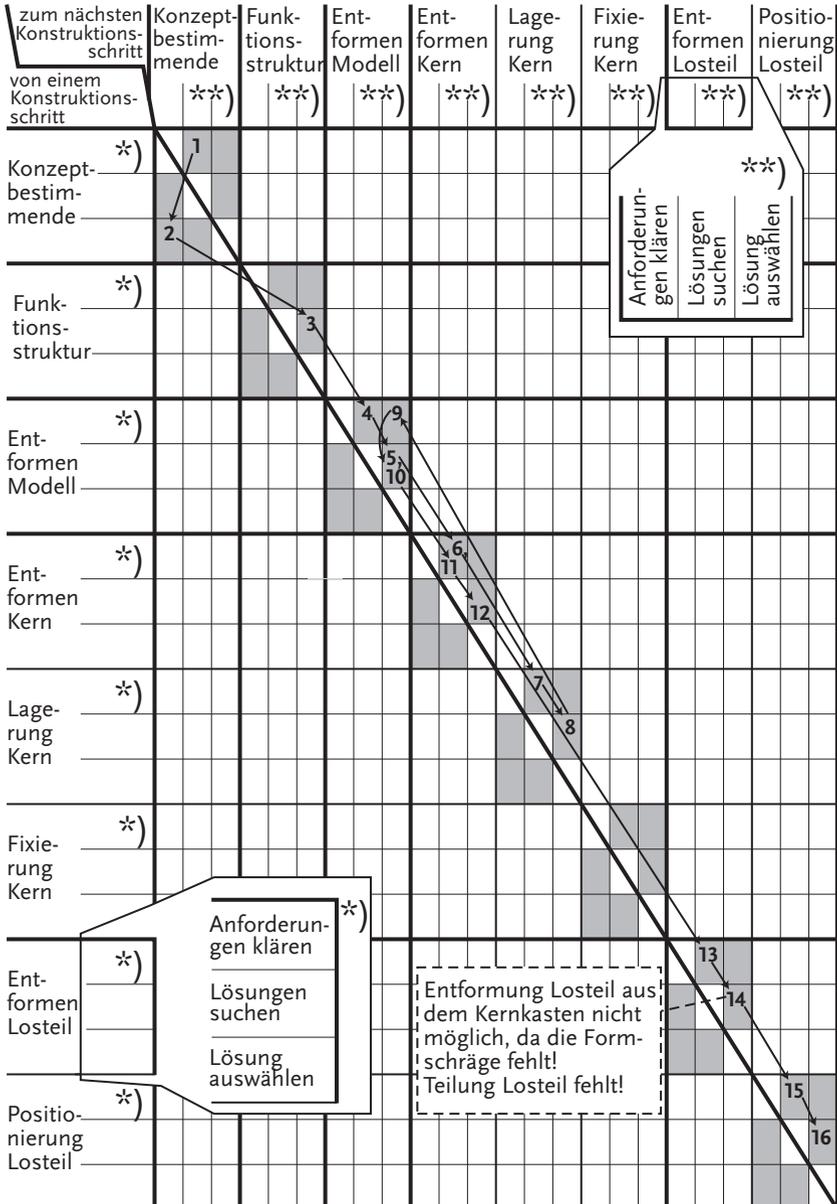
Bezeichnung des Gussstückes: Deckel (Roller/Heidler 1989, S. 65)
 Werkstoff des Gussstückes: EN AC-ALSi12 (G-ALSi12)
 Gussstückzahl: 500
 Modellart: Modellplatteneinrichtung
 Modellgüte: K 1



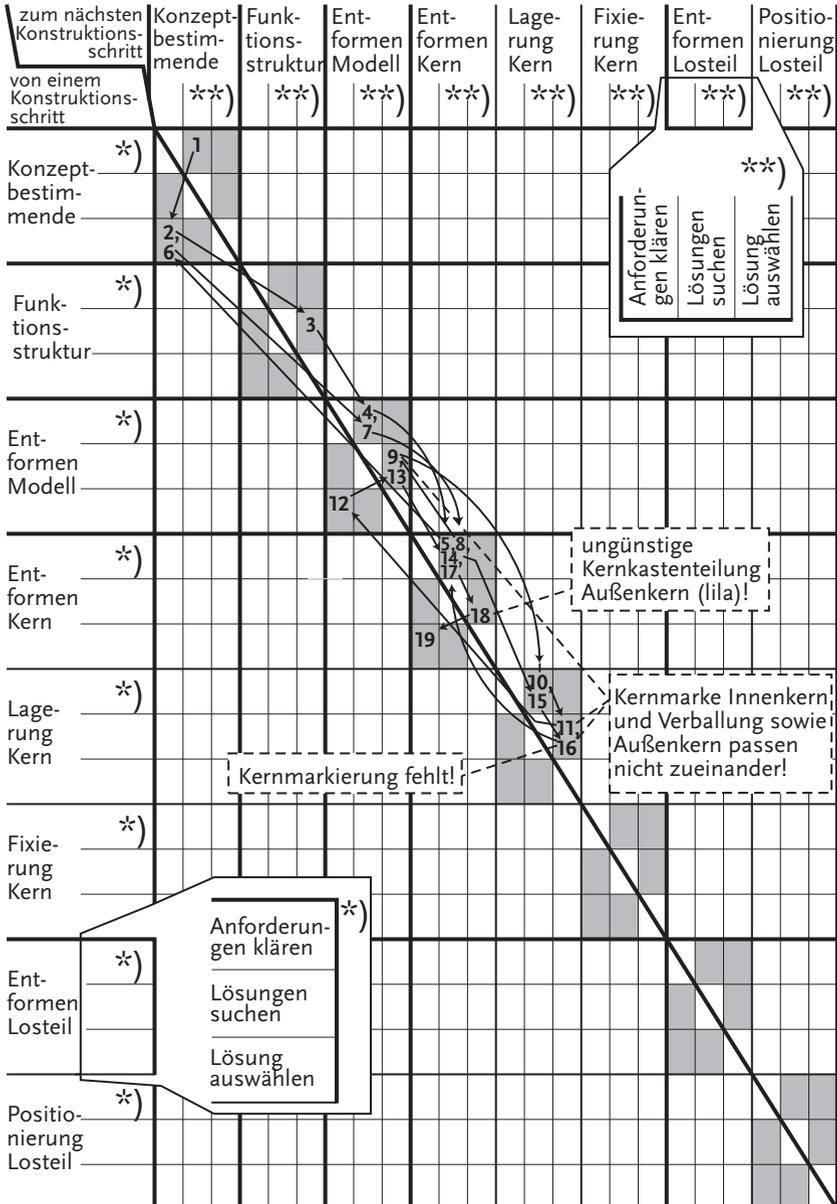
Anlage 17.24 Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson C



Anlage 17.26 Realmatrix der 1. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D



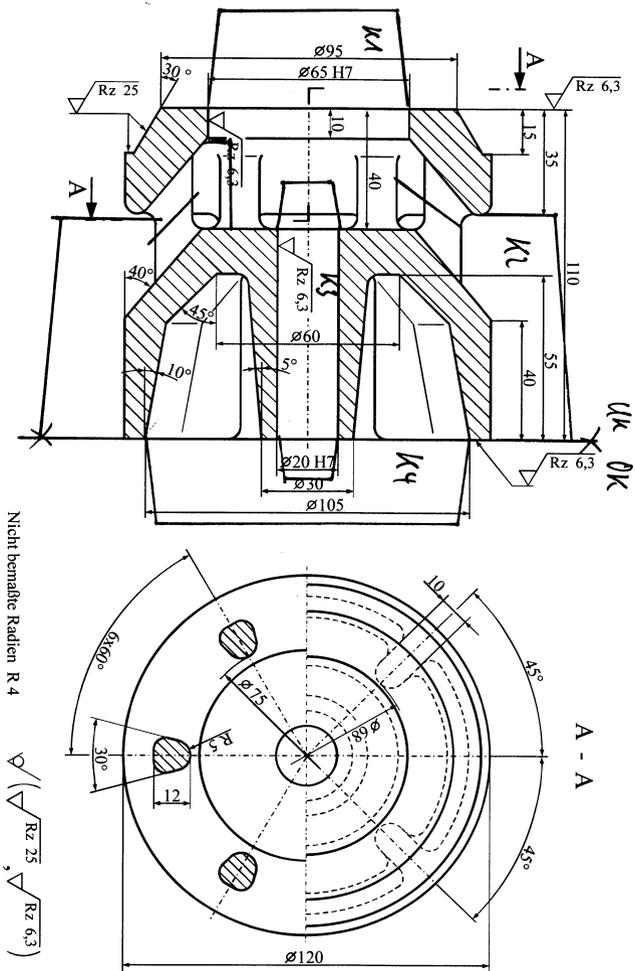
Anlage 17.28 Realmatrix der 2. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D



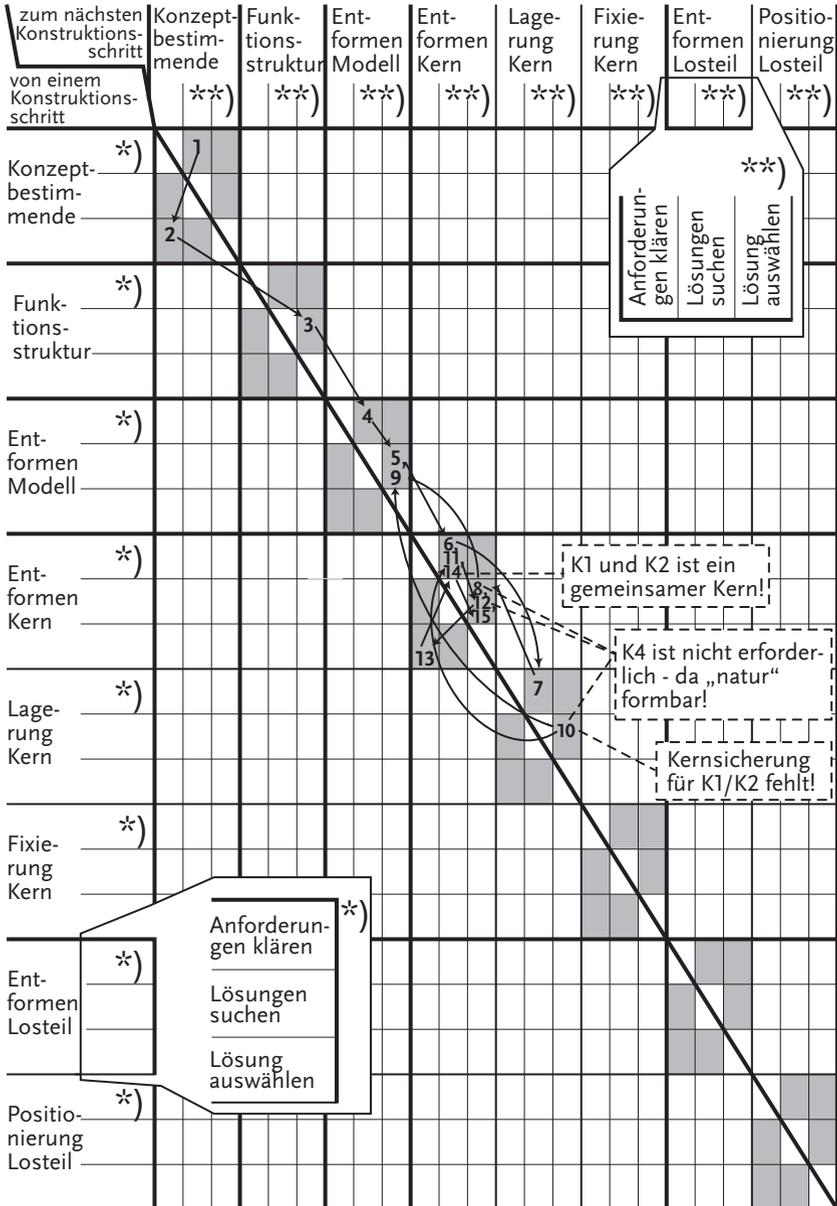
Anlage 17.29 Ergebnis der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D

Bezeichnung des Gussstückes: Saugkorb (Roller/Heidler 1989, S. 59)
 Werkstoff des Gussstückes: EN-GJS-400 (GGG-40)
 Gussstückzahl: 8
 Formverfahren: Handformverfahren
 Modellgüte: H 1

Anmerkung: Die Bohrung $\varnothing 20$ H7 soll **nicht** vollgegossen werden!

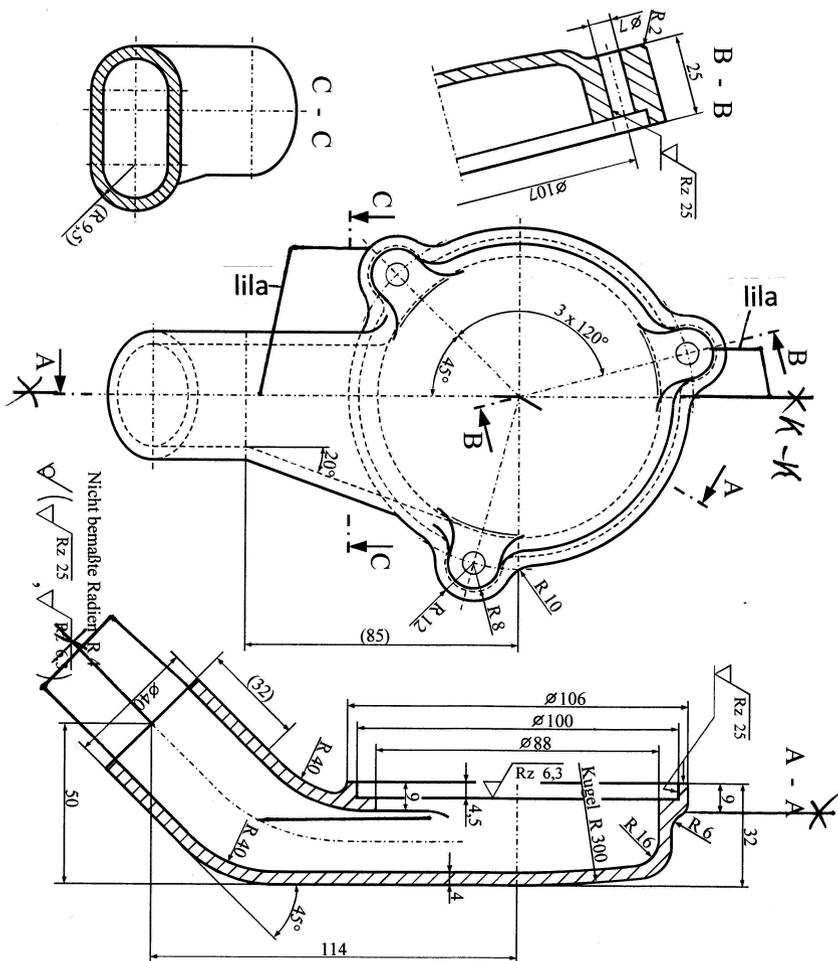


Anlage 17.30 Realmatrix der 3. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D

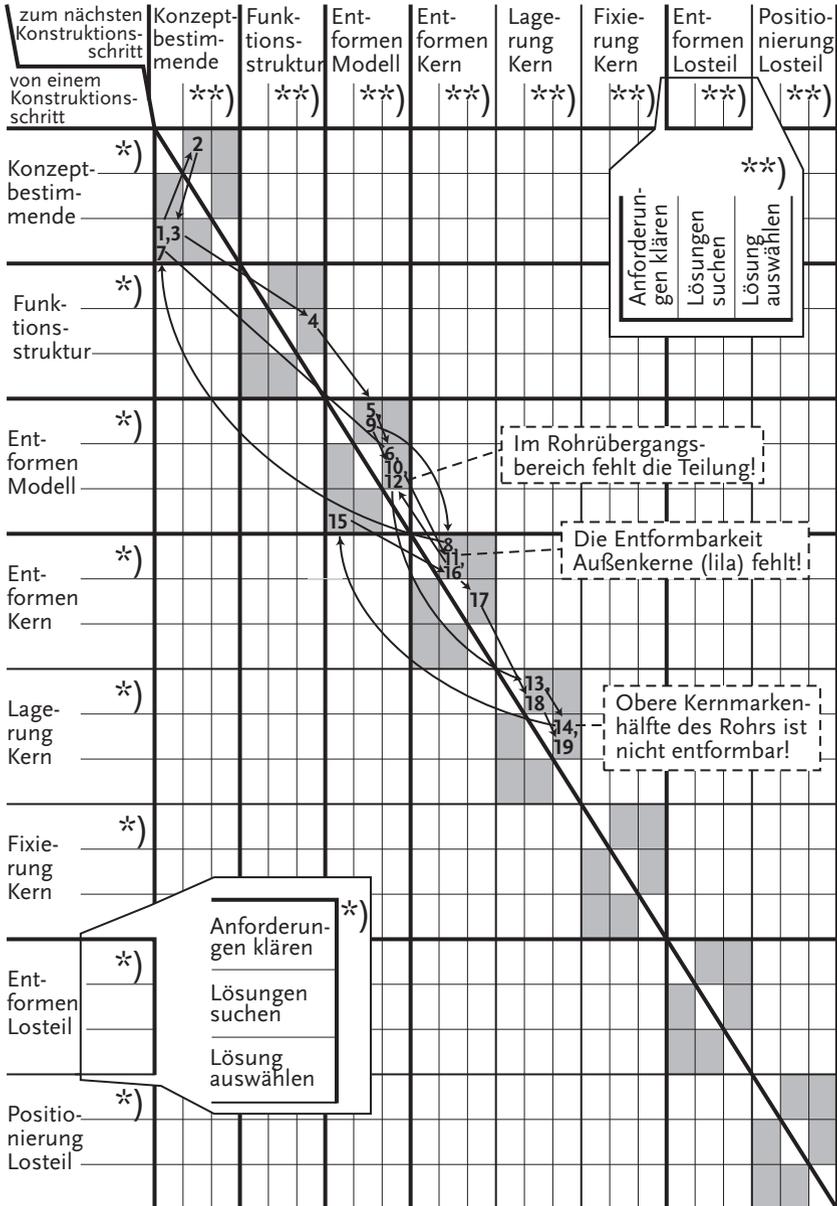


Anlage 17.31 Ergebnis der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D

Bezeichnung des Gussstückes: Deckel (Roller/Heidler 1989, S. 65)
 Werkstoff des Gussstückes: EN AC-ALSi12 (G-ALSi12)
 Gussstückzahl: 500
 Modellart: Modellplatteneinrichtung
 Modellgüte: K 1



Anlage 17.32 Realmatrix der 4. Konstruktionsaufgabe von Versuchsperson D



Anlage 18 Vorgehensweise bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen (Neumann 2006, S. 21–22)

Handreichung für die Versuchspersonen

- 1) Erstellen Sie eine Modellplanungsskizze!
 - 1.1) Legen Sie mehrere mögliche Teilungsvarianten für das Modell und gegebenenfalls für den Kernkasten fest!
 - 1.2) Erstellen Sie Bewertungskriterien mit entsprechender Gewichtung!
 - 1.3) Bewerten Sie die einzelnen Teilungsvarianten!
 - 1.4) Entscheiden Sie sich begründet für eine Teilungsvariante!
 - 1.5) Arbeiten Sie die ausgewählte Teilungsvariante mit Modellzugaben aus!
 - Bearbeitungszugaben mit deren Höhe und Abrundung,
 - Formschrägen mit deren Größe und Nennmaßbezug,
 - Radien/Hohlen sowie
 - Schwindmaß (nur Richtwert).
 - Die Modellzugaben werden mithilfe der DIN EN 12890 sowie Tabellen und Faustformeln aus dem Fachbuch (Roller 2006) quantitativ festgelegt.*
 - 1.6) Überprüfen Sie die Modellplanungsskizze hinsichtlich
 - form-, gieß-, putz- und bearbeitungsgerechter Ausführung sowie
 - zeichentechnischer Richtigkeit (VDG-Merkblatt M150)!
- 2) Erstellen Sie eine Modellplanungszeichnung!

Anlage 19 Zusammenfassung der Personenmerkmale der Versuchspersonen

Versuchsperson A

Alter: 42 Jahre

Ausbildung: Technischer Modellbaufacharbeiter

Anzahl der selbstständig durchgeführten Modellkonstruktionen: > 500

Anzahl der Berufsjahre: 20 Jahre

Dauer und Art der Tätigkeit:

- 20 Jahre Konstruktion und Fertigung von Gießerei-Modelleinrichtungen

Versuchsperson B

Alter: 56 Jahre

Ausbildung: Technischer Modellbaumeister und
4 Semester FH-Studium „Produktionstechnik“

Anzahl der selbstständig durchgeführten Modellkonstruktionen: > 20.000

Anzahl der Berufsjahre: 31 Jahre

Dauer und Art der Tätigkeit:

- 31 Jahre Kalkulation und Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen

Versuchsperson C

Alter: 58 Jahre

Ausbildung: Technischer Modellbaumeister

Anzahl der selbstständig durchgeführten Modellkonstruktionen: > 20.000

Anzahl der Berufsjahre: 35 Jahre

Dauer und Art der Tätigkeit:

- 10 Jahre Konstruktion und Fertigung von Gießerei-Modelleinrichtungen
- 25 Jahre Kalkulation und Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen

Versuchsperson D

Alter: 77 Jahre

Ausbildung: Technischer Modellbaumeister und Maschinenbautechniker

Anzahl der selbstständig durchgeführten Modellkonstruktionen: > 20.000

Anzahl der Berufsjahre: 45 Jahre

Dauer und Art der Tätigkeit:

- 10 Jahre Konstruktion und Fertigung von Gießerei-Modelleinrichtungen
- 5 Jahre Gießereileiter
- 30 Jahre Kalkulation und Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen

Anlage 20 Zusammenfassung des Befragungsbogens

Fühlten Sie sich zu Beginn der Untersuchung ausgeruht und leistungsfähig.

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	+	++	+	++

Arbeiten Sie normalerweise unter starkem Termindruck, d. h. gibt es Zeitvorgaben, wenn Sie eine Arbeits- bzw. einen Konstruktionsauftrag erhalten?

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	++	++	++	++

Meine Arbeitsfähigkeit wurde durch die Beobachtungssituation stark beeinträchtigt.

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	-	--	-	-

Wenn ich versuche, laut zu denken, lenkt mich das von der Arbeit ab.

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	--	--	-	-

Entsprechen die Aufgabenstellungen aus der Untersuchung Aufgaben aus der Berufspraxis?

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	++	+	++	++

Ich fand die Aufgabenstellung ziemlich schwierig.

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	0	--	--/-	+

Meine gefundenen Lösungen sind optimal.

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	+	+	+	+

Legende:

trifft vollkommen zu

++

+

0

-

trifft überhaupt nicht zu

--

Haben Sie eine konstruktionsmethodische Ausbildung? (*ja / nein*)

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	nein	nein	nein	nein

Wurden in Ihrer Berufsausbildung zum Technischen Modellbauer Konstruktionsaufgaben durchgeführt?

a) im Betrieb (*ja – wie viele? / nein / kann mich nicht mehr erinnern*)

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	ja	ja	ja	nein
Anzahl	50	?	?	0

b) in der Berufsschule (*ja – wie viele? / nein / kann mich nicht mehr erinnern*)

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	ja	ja	ja	ja
Anzahl	15 - 20	?	?	ca. 10

Wurden die Konstruktionsaufgaben selbstständig erarbeitet (1), vom Ausbilder vorgemacht (2) oder vom Berufsschullehrer vorgemacht (3)?

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	1, 2 und 3	1	1, 2 und 3	2 und 3

Sind Sie sich zum damaligen Zeitpunkt im Einzelnen der Schrittfolgen bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen bewusst gewesen?

(*ja / nein / kann mich nicht mehr erinnern*)

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	ja	ja	ja	?

Wurden in Ihrer Ausbildung zum Technischen Modellbaumeister Konstruktionsaufgaben in der Meisterschule durchgeführt?

(*ja – wie viele? / nein / kann mich nicht mehr erinnern*)

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	keine	Selbststudium	ja	ja
Anzahl		?	ca. 20	ca. 20

Wurden die Konstruktionsaufgaben selbstständig erarbeitet (1) oder vom Dozenten vorgemacht (2)?

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	keine	1	1	1

Sind Sie sich zum damaligen Zeitpunkt im Einzelnen hinsichtlich der Schrittfolgen bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen bewusst gewesen – siehe Handreichung?

(ja / nein / kann mich nicht mehr erinnern)

Versuchsperson	A	B	C	D
Beurteilung	keine	ja	ja	ja

Anmerkung:

Die Beurteilung erfolgte auf der Basis der Handreichung (siehe Anlage 18) „Vorgehensweise bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen“.

Anlage 21 Übersicht Bearbeitungsdauer

	Vp A	Vp B	Vp C	Vp D
1. Konstruktionsaufgabe	7:40 min	6:30 min	9:50 min	5:10 min
2. Konstruktionsaufgabe	9:25 min	keine komplette Videoaufnahme	21:25 min	12:10 min
3. Konstruktionsaufgabe	14:55 min	5:55 min	16:05 min	16:45 min
4. Konstruktionsaufgabe	15:50 min	6:20 min	18:40 min	11:05 min

Anmerkungen:

Vp A, B und D Konzeptphase

Vp C Vorentwurfsphase – daher auch deutlich erhöhter Zeitbedarf!

Anlage 22 Codierleitfaden für die experimentelle Felduntersuchung

Codierregel für die Zelle mit dem Übergang vom „Lösungen suchen“ zur „Lösung auswählen“ der Funktionsstruktur:

a) Definition des hypothetischen Konstruktionsübergangs:

- l) Bei der Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen sind hinsichtlich der nachgelagerten Fertigungsprozessstufen bestimmte Sachsystemfunktionen und deren Sachsystemrealisierungen sowie deren Zusammenhänge zu berücksichtigen bzw. zu integrieren (siehe Abb. 4-4, Abb. 4-5 und Abb. 4-6), d. h. dass für jeden Konstruktionsauftrag eine auftragsbezogene Funktionsstruktur entwickelt werden muss.

b) Ankerbeispiele:

- l) Welche funktionalen Zusammenhänge und deren Sachsystemrealisierungen sind hinsichtlich der nachgelagerten Fertigungsprozessstufen für diese Konstruktionsaufgabe erforderlich?
Welche Systemelemente sind in welcher Relation für die Entformbarkeit notwendig?
Anzumerken ist, dass das Aufstellen der Funktionsstruktur mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließlich interpretiert werden muss, da es sich nach meiner Einschätzung um implizites Wissen handelt. Deutlich verstärkt wird dieser Aspekt durch die stark eingeschränkte Aufgabenstellung (nur die Elementarfunktion „Entformen“) – daher ist mit einer expliziten Nennung der Funktionszusammenhänge nicht zu rechnen!

c) Codierregel:

- l) Wenn der Funktionszusammenhang der Elementarfunktion „Entformen“ nicht explizit genannt wird, dann erfolgt die Zuordnung zu Beginn jeder Konstruktionsaufgabe in die Zelle mit dem Übergang von „Funktionsstruktur, Lösungen suchen“ zur „Funktionsstruktur, Lösung auswählen“ (siehe Abb. 5-8, Zelle mit der Nummer „3“).

Codierregeln für die Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Anforderungen klären“ unterhalb der Matrixdiagonalen:

a) Definitionen der hypothetischen Konstruktionsübergänge:

- II) Die Gussstückgeometrie ist vorgegeben, d. h. eine konzeptbestimmende Anforderung, die im konstruktionsmethodischen Sinn als ein Rückwärtsschreiten einzuordnen ist. Ein Vorwärtsschreiten wäre hinsichtlich der Gussstückgeometrie bei der parallelen – Simultaneous Engineering typischen (Abb. 2-3) – Konstruktion- bzw. Projektplanung der Fall.
- III) Am Ende des abgeschlossenen Lösungsfindungsprozesses – dies gilt auch bei Teilaufgaben – erfolgt nochmals ein Prüfvorgang mit den gegebenen Anforderungen. Dies ist aus konstruktionsmethodischer Sicht ein rückwärtsschreitender Konstruktionsschritt.

b) Ankerbeispiele:

- II) Wie sieht die vorgegebene Geometrie des Gussstückes aus?
- III) Habe ich wirklich alle Anforderungen erfüllt?

c) Codierregeln:

- II) Wenn das gedankliche Vorstellen der vorgegebenen Gussstückgeometrie explizit genannt wird oder dies implizit (immer) zu Beginn der Konstruktionsaufgabe der Fall ist, dann erfolgt die Zuordnung in die Zelle mit dem Übergang von „Konzeptbestimmende Lösung auswählen“ zum „Konzeptbestimmende Anforderungen klären“ (siehe Abb. 5-8, Zelle mit der Nummer „2“).
- III) Wenn der Lösungsfindungsprozess abgeschlossen ist und anschließend nochmalig – ausgehend von der festgelegten Lösung – rückwärtsschreitende Prüfvorgänge hinsichtlich der Anforderungen durchgeführt werden, dann erfolgt die Zuordnung in den Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Anforderungen klären“ (siehe Abb. 5-8, beispielsweise die Zelle mit den Nummern „15“ und „18“).

Codierregeln für die Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Lösungen suchen“ unterhalb der Matrixdiagonalen:

a) Definitionen der hypothetischen Konstruktionsübergänge:

- IV) Die vorgegebene Gussstückgeometrie wird aus Gründen der Entformbarkeit der Gießerei-Modelleinrichtung verändert bzw. modifiziert.
- V) Am Ende des abgeschlossenen Lösungsfindungsprozesses erfolgt nochmals, ausgehend von einer schon ausgewählten Lösungsvariante, die Suche nach weiteren Lösungsvarianten. Dies ist aus konstruktionsmethodischer Sicht ein rückwärtsschreitender Konstruktions-schritt.

b) Ankerbeispiele:

- IV) Ich ziehe die Gussstückgeometrie an dieser Stelle an!
- V) Ich habe mich zwar für eine Lösungsvariante entschieden, aber gibt es, ausgehend von dieser Lösung, noch weitere, eventuell bessere Lösungsvarianten?

c) Codierregeln:

- IV) Wenn Lösungsmöglichkeiten für die Änderung der vorgegebenen Gussstückgeometrie aus Gründen der Entformbarkeit von der Versuchsperson gesucht werden, dann erfolgt die Zuordnung in die Zelle mit dem Übergang von „Konzeptbestimmende Lösung auswählen“ zum „Konzeptbestimmende Lösungen suchen“ (siehe Abb. 5-8, Zelle mit der Nummer „16“).
- V) Wenn der Lösungsfindungsprozess abgeschlossen ist und anschließend nochmalig rückwärtsschreitend weitere Lösungsvarianten – ausgehend von der festgelegten Lösung – gesucht werden, dann erfolgt die Zuordnung in den Zellen mit dem Übergang von „Lösung auswählen“ zum „Lösungen suchen“ (siehe Abb. 5-8, beispielsweise die Zelle mit der Nummer „20“).

Codierregel für die Zellen mit dem Übergang vom „Lösungen suchen“ zum „Anforderungen klären“ unterhalb der Matrixdiagonalen:

a) Definition des hypothetischen Konstruktionsübergangs:

VI) Am Ende des abgeschlossenen Lösungsfindungsprozesses erfolgt nochmals ausgehend von einer schon ausgewählten Lösungsvariante und der daraus resultierenden Suche nach weiteren Lösungsvarianten das nochmalige Klären der Anforderungen. Dies ist aus konstruktionsmethodischer Sicht ein rückwärtsschreitender Konstruktionsschritt.

b) Ankerbeispiel:

VI) Ich habe mich zwar für eine Lösungsvariante entschieden, aber gibt es, ausgehend von dieser Lösung, noch weitere, eventuell bessere Lösungsvarianten, und welche Anforderungen werden an diese gestellt?

c) Codierregel:

VI) Wenn der Lösungsfindungsprozess abgeschlossen ist und anschließend nochmalig rückwärtsschreitend weitere Lösungsvarianten – ausgehend von der festgelegten Lösung – gesucht werden und bei der Suche die Anforderungen nochmals geklärt werden, dann erfolgt die Zuordnung in den Zellen mit dem Übergang vom „Lösungen suchen“ zum „Anforderungen klären“.

Berufsbildung, Arbeit und Innovation

Dissertationen/Habilitationen

Eine grundlegende Tätigkeit im Technischen Modellbau der Fachrichtung Gießerei ist die Konstruktion von Gießerei-Modelleinrichtungen. Besonders die fertigungsgerechte Gestaltung von Gussstücken stellt hohe Anforderungen an die in diesem Prozess tätigen Fachkräfte.

In der Fachliteratur wird das für diese Tätigkeit erforderliche Konstruktionswissen allerdings nur sehr unzureichend dargestellt. Durch das Fehlen geeigneter Modellvorstellungen und Handlungsanweisungen für das akademische und nicht akademische Personal werden berufliche Ausbildung und beruflicher Unterricht erheblich erschwert.

In der vorliegenden Arbeit wird in einem interdisziplinären Zugriff untersucht, welche Wissensbestände für den Konstruktionsprozess von Gießerei-Modelleinrichtungen von Bedeutung sind.

Der Autor liefert wichtige Ergebnisse für

- die Kompetenzpräzisierung im Gießerei-Modellbau speziell im Bereich des Urformwerkzeugbaus,
- die Gestaltung von didaktischen Modellbildungsprozessen und
- die fachwissenschaftliche Modellierung von Konstruktionsprozessen.

Dr. Uwe Neumann

ist Berufsschullehrer in den Bereichen Modell- und Formenbau (Teamleiter Norddeutsche Fachklasse) und Fertigungstechnik an der BBS Alfeld.

Er hat eine Berufsausbildung zum Technischen Modellbauer absolviert und war mehrere Jahre bei einem namenhaften Modell- und Formenbauer als Ingenieur tätig.

