

Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Johannes Peter Lemburg
aus Düsseldorf

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Feldhusen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. B. Corves
Tag der mündlichen Prüfung: 6. Februar 2009

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik

Band 6

Johannes Peter Lemburg

Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2009)

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8117-5

ISSN 1438-4930

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl und Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaus der RWTH Aachen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Feldhusen für die Begleitung meiner Arbeit, die durch sein Einwirken zu einem abgeschlossenen Werk wurde. Herrn Professor Corves danke ich für die Durchsicht dieser Arbeit, sowie Herrn Professor Jacobs für den Vorsitz während meiner Prüfung.

Für viele fruchtbare Diskussionen bedanke ich mich bei allen meinen Kollegen, die ebenso wie ich um die Wissenschaft bemüht sind. Vielen Dank an unsere Institutswerkstatt, Herrn Jansen, Herrn Bock und Herrn Gerards, die dafür sorgten, dass meine Konstruktionen nicht zu sehr abhoben.

Neben dem Studium an der RWTH Aachen wurde mein Verständnis der Technik sehr durch die Fliegerei in der Flugwissenschaftlichen Vereinigung Aachen e.V. gefördert. Mein Dank gilt meinem langjährigen Mentor Dieter Hohmann, der meine Einstellung zu Maschinen nachhaltig prägte.

Meinen Eltern danke ich, dass sie mir das Studium finanzierten. Wichtiger noch, sie zeigten mir, dass Lernen Spass macht. Die Grundlage für mein Studium und diese Arbeit schuf meine Mutter, indem sie mir geduldig das Lesen beibrachte.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
2	Motivation.....	16
2.1	Vernetzung von Prinzip und Gestalt	16
2.2	Dokumentationü18	
2.3	Wissensmanagement	21
2.4	Produktkomplexität	23
3	Semiotik.....	25
3.1	Semiotik allgemein	25
3.2	Semiotik der visuellen Kommunikation	29
3.2.1	Syntaktik	30
3.2.2	Semantik.....	32
3.2.3	Pragmatik	33
4	Konstruktionslehre.....	34
4.1	Konstruktionsprozess	34
4.2	Prinziplösung	36
4.3	Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen	40
5	Skizzen.....	46
5.1	Skizzenarten	47
5.2	Technische Darstellungen des Prinzips	48
5.3	Technische Zeichnung	52
5.4	Technische Illustration.....	54
5.5	Definition Prinziplösungsskizze	55
6	Semiotische Analyse von Prinziplösungsskizzen.....	58
6.1	Syntaktik	59
6.1.1	Wahrnehmungselemente	59
6.1.2	Figuren und Muster	59
6.1.3	Gegenstandsebene	61
6.1.4	Bilder	61
6.2	Semantik.....	62
6.3	Pragmatik	67
7	Schrittweise Gestaltsynthese.....	70
7.1	Ansatz.....	70
7.2	Hilfsmittel	71

1	Einleitung	7
	7.2.1	Regeln zur Anfertigung von Prinziplösungs-skizzen.....71
	7.2.2	Gestaltsymbole.....76
	7.2.3	Gestaltsichtweisen.....77
	7.3	Methodik81
8	Anwendung der schrittweisen Gestaltsynthese	84
	8.1	Analyse.....84
	8.1.1	Identifizieren84
	8.1.2	Schnittstellen85
	8.1.3	Prüfen85
	8.2	Synthese.....92
	8.2.1	Wirkfläche.....92
	8.2.2	Leitstützstruktur96
	8.2.3	Zusatzflächen98
9	Zusammenfassung und Ausblick	100
10	Literatur	103

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abhängigkeiten innerhalb eines Produkts.....	17
Abbildung 2: Gliederung eines Ventils in Gestaltungselemente /VDI04/	18
Abbildung 3: Produktinformationen /DIN90/.....	19
Abbildung 4: Informationen zu Schwerpunkten im Lebenszyklus /VDI06a/	19
Abbildung 5: Informationen zu Schwerpunkten im Lebenszyklus /DIN99/.....	20
Abbildung 6: Wissenstreppe nach North /NORT05/	22
Abbildung 7: Zustände komplexer Systeme /Schuh05/	23
Abbildung 8: Zusammenhang von Funktion und Gestalt	24
Abbildung 9: Kommunikationsmodell.....	25
Abbildung 10: Beispiele für Zeichenträger.....	26
Abbildung 11: Elemente des sprachlichen Zeichensystems.....	28
Abbildung 12: Informationsdichte von Bildern	28
Abbildung 13: Triadische Zeichenrelation.....	29
Abbildung 14: Syntaktik, Semantik und Pragmatik	30
Abbildung 15: Quali-, Sin- und Legizeichen /STER08/	31
Abbildung 16: Hervorhebung durch fehlerhaften Zeichengebrauch	32
Abbildung 17: Index, Ikon und Symbol	33
Abbildung 18: Allgemeiner Problemlöseprozess /FELD07/	34
Abbildung 19: Konstruktionsprozesse im Vergleich.....	35
Abbildung 20: Alternative Darstellung des Konstruktionsprozesses nach VDI 2221	36
Abbildung 21: Gestaltbeispiele	38
Abbildung 22: Prinzip	39
Abbildung 23: Funktionsintegrierte Gestaltung	39
Abbildung 24: Funktionsbeschreibung.....	42
Abbildung 25: Funktionen und Fachbegriffe	42
Abbildung 26: geometrische Sichtweise	43

1 Einleitung	9
Abbildung 27: Wirkflächen und Leiststützstruktur	43
Abbildung 28: Funktionskontakt	44
Abbildung 29: Umsetzungsbeispiel	44
Abbildung 30: Minimallösung	45
Abbildung 31: Bildliche Darstellungsarten	46
Abbildung 32: Strichzeichnungen	47
Abbildung 33: Beispiele zur Darstellung des Prinzips	48
Abbildung 34: Darstellung räumlicher Tiefe	49
Abbildung 35: Bedeutungsperspektive /FERG92/	50
Abbildung 36: Konzeptdarstellungen technischer Disziplinen	51
Abbildung 37: Vorentwurf und technischen Zeichnung /VIEB93/	52
Abbildung 38: Einsatzzweck von Skizzen	53
Abbildung 39: Nichtmaßstäbliche, gestaltliche Skizze /JUNG92/	54
Abbildung 40: Stilmittel der technischen Illustration /ITED07/	55
Abbildung 41: Kognitive Belastung aufgrund des verwendeten Mediums	56
Abbildung 42: teilgestaltet und symbolisch eindeutige Darstellung	57
Abbildung 43: Prinziplösungs-skizze	58
Abbildung 44: Analyseebenen der bildlichen Darstellung	59
Abbildung 45: Wahrnehmungselemente	59
Abbildung 46: Figuren und Muster	60
Abbildung 47: Gegenstände	61
Abbildung 48: Bildebene	62
Abbildung 49: Symbolische und ikonische Elemente /HOIS03/	63
Abbildung 50: Frühe Darstellungen der Kinematik /REUL75/	64
Abbildung 51: Darstellung von Kinematiken /VDI93b/	65
Abbildung 52: Mechanische Symbole /TJAL79/	66
Abbildung 53: Bedeutung von Linien der Strukturierungsebene	66
Abbildung 54: Ikonische und symbolische Elemente	67

Abbildung 55: Semiotisch wandelbares Zeichen	68
Abbildung 56: Zeichenreihenfolge	72
Abbildung 57: Aus dem Kontext rekonstruierbare Bedeutung	73
Abbildung 58: Konventionendefinition durch Legende	73
Abbildung 59: Layering durch Farbe und Superposition von Systemzuständen.	74
Abbildung 60: Small multiples.....	75
Abbildung 61: Grundlegende Symbolik für allgemeine Mechanik	76
Abbildung 62: Ästhetische Sichtweise	77
Abbildung 63: Bauteil Sichtweise.....	78
Abbildung 64: kinematisch äquivalente Gestaltstrukturen	78
Abbildung 65: Gestaltstruktur-Sichtweise	79
Abbildung 66: Wirkflächen- und Leitstützstruktur-Sichtweise	80
Abbildung 67: Gestalten	81
Abbildung 68: Schrittweise Gestaltsynthese.....	82
Abbildung 69: Systembetrachtung vgl. /ALEX64/	83
Abbildung 70: Flächenverbünde	84
Abbildung 71: Schnittstellen einer Wirkfläche.....	85
Abbildung 72: Eindeutigkeit	86
Abbildung 73: Gestaltungsgrundregel Sicher	86
Abbildung 74: Mögliche Leitstützstrukturen und resultierende Tragstruktur	88
Abbildung 75: Prinzip der Selbstverstärkung.....	89
Abbildung 76: Prinzip des Selbstschutz.....	90
Abbildung 77: Prinzip der fehlerarmen Gestaltung	91
Abbildung 78: Sichtweisenwechsel.....	92
Abbildung 79: Wirkflächenvariation	94
Abbildung 80: Variation der Leitstützstruktur	97
Abbildung 81: Multimediale Repräsentation des Prinzips.....	101
Abbildung 82: Wirkstrukturanalyse	102

1 Einleitung

„Der Teufel steckt im Detail.“ (Volksweisheit)

Problemstellung

Die Entwicklung technischer Systeme wird durch den Einsatz von Methoden und unter Anwendung von Grundlagenwissen zu einem planbaren Vorgehen, das ausgerichtet auf eine ideale Lösung sich dieser schrittweise nähert. Dazu beginnt der Konstruktionsprozess mit der Analyse der gegebenen Aufgabe und klärt möglichst vollständig die vorhandenen Restriktionen, Anforderungen und Wünsche. Auf Basis dieser Problembeschreibung wird die lösungsneutrale Funktionsstruktur generiert, deren einzelne Funktionen in der Prinziplösung durch die Wahl eines physikalischen Effekts, eines Materials als Effekträger sowie der qualitativen Parameter des Wirkorts umgesetzt werden.

Bis zu diesem Stadium der Produktentwicklung bleibt die Lösungsfindung auf einem abstrakten Beschreibungsniveau, das durch Weglassen unnötiger Details den Kern der Konstruktionsaufgabe greifbar macht und die Variation einer Lösung ermöglicht. Für die systematische Lösungsfindung, das Ausweiten des Lösungsfeldes und dessen Eingrenzung durch Bewertung und Auswahl nennt der Konstruktionsprozess unterschiedliche Methoden, so dass zum Ende der Konzeptphase die prinzipielle Lösung der Konstruktionsaufgabe feststeht. Diese abstrakte Lösung kann nun ausgeführt werden.

Die Konstruktionsmethodik nennt grundlegende Regeln, Prinzipien sowie zum Teil gegenläufige Richtlinien zur Gestaltung technischer Systeme. Diese Hilfsmittel beschränken sich darauf, eine gefundene Gestalt zu analysieren und zu bewerten. Der Zusammenhang von prinzipieller Lösung und Gestalt kann damit untersucht werden, der initiale Schritt zur Entstehung der Gestalt bleibt jedoch unbetrachtet. Die mit diesem Schritt verbundene Herausforderung ist, dass die bei der Abstraktion weggelassenen Details nun allesamt berücksichtigt werden müssen. Die Anzahl der mit der Gestalt verbundenen Anforderungen und Abhängigkeiten nimmt sprunghaft zu.

Als Hilfestellung zwischen der Prinzip- und der Gestaltsynthese bietet der Konstruktionsprozess nach VDI 2221 den Schritt des Gliederns in realisierbare Module. Durch Aufteilen der Gestaltungsaufgabe soll deren Bearbeitung vereinfacht werden. Dies ist möglich, soweit es die Abhängigkeiten innerhalb des zu konstruierenden Systems erlauben. Zu der Gestaltung innerhalb der Module kommt das von der Konstruktionslehre bereitgestellte Grundlagenwissen zum Einsatz. Durch Kombination bereits bekannter, bestenfalls standardisierter oder zugekaufter Teillösungen soll das Modul realisiert werden. Dieses Zusammensetzen stellt jedoch nur eine scheinbare

Vereinfachung des Problems dar, da auch die Schnittstellen dieser Lösungen gestaltet werden müssen und dabei wiederum neue Restriktionen einführen. Hier steckt der Teufel tatsächlich im Detail. Selbst wenn die möglichen Teillösungen im Einzelnen bekannt sind, ist die Gesamtlösung nicht ausreichend vorhersagbar.

An dieser Stelle ist der Mensch gefragt, dem es trotz der Unüberschaubarkeit der Kombinationsmöglichkeiten und selbst anhand unvollständiger Teillösungen möglich ist, eine Gesamtlösung zu finden. Die Vorgänge und Handlungen, die mit dieser Fähigkeit der Lösungsfindung zusammenhängen, sollen in dieser Arbeit näher betrachtet und eine Handlungsanweisung für ein zielgerichtetes und systematisches Vorgehen entwickelt werden.

Zielsetzung

Die Zielsetzung dieser Arbeit besteht in der Beschreibung eines allgemein anwendbaren Vorgehens, mit dem ein Konstrukteur durch den Syntheseschritt von der Prinziplösung zur Gestalt geleitet wird. Das Vorgehen soll mit der bereits bestehenden Konstruktionslehre vereinbar sein und die Gegebenheiten realer Konstruktionssituationen berücksichtigen. Letzteres bedeutet, nicht nur das zu konstruierende Objekt und seine Anforderungen, sondern auch den Menschen und seine Möglichkeiten zu betrachten.

Diese Sichtweise deckt Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit auf, zeigt aber auch das Potenzial, das in der Vielschichtigkeit und Flexibilität menschlichen Denkens liegt. Das Eingeständnis einer begrenzten kognitiven Leistungsfähigkeit führt zu dem Schluss, dass für eine erfolgreiche Konstruktionstätigkeit zusätzliche externe Hilfsmittel zwingend erforderlich sind. Der Vorgang des Konstruierens wird als ein kontinuierlicher Prozess verstanden, der aus dem Aufnehmen, Verarbeiten und Externalisieren von Informationen besteht. Um die Kontinuität des Prozesses zu gewährleisten, muss die konstruktive Tätigkeit der Gestaltsynthese in feine Schritte zu untergliedern sein, und die entstehenden Zwischenstände müssen externalisiert werden können. Ein Ziel der Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese ist daher im Begrenzen der kognitiven Belastung des Gestaltenden durch eine selbstgesteuerte adaptive Schrittweite und das ständige Erfassen der erzeugten Zwischenergebnisse zu sehen.

Aufbau der Arbeit

Um den Konstruktionsschritt der Gestaltsynthese erfassen zu können, bedarf es eines nachvollziehbaren systematischen Vorgehens, das die bestehende Aufgabe präzisiert und die verwendete Sprache sowie die herangezogenen Hilfsmittel definiert.

Ausgehend von unterschiedlichen Standpunkten werden im Anschluss an die Einleitung in Kapitel zwei die Motive für die Betrachtung der Grenze zwischen Prinzip und Gestalt ausgeführt. Dabei wird die durch den zunehmenden Rechneinsatz in der Konstruktionstätigkeit verursachte

Tendenz zu einer verstärkt gestaltzentrierten Sichtweise aufgedeckt. Prinzipielle, d. h. nicht explizit gestaltlich zu erfassende Aspekte des Produkts können dabei nicht optimal dokumentiert werden. Die tiefergehende Betrachtung der existenten Normen und Richtlinien der technischen Dokumentation zeigt, dass der bestehende Mangel durchaus erkannt wird, bisher jedoch keine Lösung in Form einer verbindlichen und brauchbaren Vorgehensweise zur Erfassung teilgestalteter technischer Konzepte bekannt ist.

Die Betrachtung von teilgestalteten Lösungen als Wissen, das als Ressource für unternehmensspezifische Strategien herangezogen werden kann, wird aus Sicht des Wissensmanagementansatzes ausgeführt, der darauf abzielt, implizites personengebundenen Wissen durch das Erfassen von Zeichen, Daten und Informationen als Grundlage für Wissen explizit und damit verfügbar zu machen. Die Notwendigkeit, die Zwischenschritte des Konstruktionsprozesses in expliziter Form zu erfassen, wird vor dem Hintergrund steigender Produktkomplexität verständlich. Diese äußert sich in einer komplizierten Gestalt oder führt auf Grund von Funktionsintegration zu einem nicht mehr eindeutigen Zusammenhang zwischen Prinzip und Gestalt. Letzteres bedeutet implizite Funktionszusammenhänge, die ohne expliziter Dokumentation der zugrunde liegenden Entstehungsprozesse zukünftige Innovationszyklen gefährden.

Die umfassende Dokumentation des Produktentstehungsprozesses erfordert die Fähigkeit auch Zwischenstände der Gestaltsynthese erfassen zu können, wozu die gezielte Betrachtung der verwendbaren Mittel und möglichen Ausdrucksweisen bekannt sein müssen. Zu diesem Zweck wird der Prozess der Gestaltsynthese als ein Kommunikationsvorgang definiert, bei dem der Gestaltende mit sich selbst oder mit weiteren Personen in Verbindung tritt und Informationen austauscht. Dieses Vorgehen entspricht dem Ansatz der Semiotik, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit als zweckmäßiges Werkzeug Anwendung findet, das ein Theoriemodell und eine präzise Nomenklatur zur Analyse von Kommunikationsvorgängen liefert.

Das dritte Kapitel liefert eine kurze Einführung in die Semiotik, um die in den nachfolgenden Kapiteln verwendeten Begriffe zu definieren. Das ursprünglich aus den Literaturwissenschaften entstandene Fachgebiet der Lehre der Zeichen erstreckt sich auch auf die visuelle Kommunikation, was die Semiotik für die Analyse der vorwiegend bildlichen Ausdrucksweise technischer Konzepte prädestiniert. Ihre Teilbereiche, die Semantik, Syntaktik und Pragmatik werden anhand von Beispielen näher erläutert.

Im vierten Kapitel werden die Inhalte der zu betrachtenden Kommunikation aus Sicht der Konstruktion untersucht, indem verschiedene Ausprägungen des Konstruktionsprozesses verglichen und deren Gemeinsamkeiten hinsichtlich des Übergangs vom Prinzip zur Gestalt sowie dessen iterativer Charakter herausgestellt werden. Es folgt die Bestandsaufnahme und

Eingrenzung des Begriffs der Prinziplösung und dessen Verdeutlichung anhand eines Beispiels. Als gedankliches Modell wird das Elementmodell der Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen zum Verständnis und der Dekomposition von Prinziplösungen eingeführt und ebenso mithilfe eines Beispiels ausgeführt.

Im fünften Kapitel wird der Begriff der Skizze als bildliches Ausdrucksmittel, welches nur eine niedrige kognitive Belastung verursacht, eingegrenzt. In diesem Zusammenhang werden verschiedene Skizzenarten und Darstellungsformen des technischen Prinzips aufgeführt und von den Begriffen technische Zeichnung und Illustration abgegrenzt. Das Kapitel schließt mit der hier verwendeten Definition des Begriffs der Prinziplösungsskizze.

Kapitel sechs führt die erläuterten Vorgehensweisen zusammen und überträgt die Mittel der Semiotik auf Prinziplösungsskizzen. Dabei wird auf vier unterschiedlichen Analyseebenen eine bildliche Darstellung auf ihre Bestandteile untersucht und es werden die verwendeten Mittel, die Bedeutung und die Kontextabhängigkeit der bildlichen Kommunikation dargestellt. Die Eignung von Prinziplösungsskizzen als einfach zu erstellende Strichzeichnungen zur Repräsentation teilgestalteter technischer Konzepte wird damit nachgewiesen.

Die Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese wird in Kapitel sieben beschrieben. Zur Erläuterung des Ansatzes werden die verwendeten Hilfsmittel aufgeführt, handwerkliche und inhaltliche Regeln zur Erstellung von Prinziplösungsskizzen aufgestellt, eine Symbolik zur Darstellung von Gestalt präzisiert sowie eine zweckmäßige Sichtweise zur Gestaltung technischer Objekte vorgeschlagen. Abschließend wird auf die allgemeine Vorgehensweise der Methodik eingegangen. Die Adaption der benutzerspezifischen Schrittweite durch eine opportunistische Herangehensweise und die Notwendigkeit systematischer Episoden in problematischen Konstruktionssituationen werden besprochen. Ein konkreter Vorgehensplan für den Durchlauf der kaskadierten systematischen Episoden wird dargelegt.

Im achten Kapitel wird die Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese ausgeführt und es werden Hinweise zu ihrer Anwendung vorgeschlagen. Da das alternativ gegebene opportunistische Vorgehen in einem Überspringen der Systematik besteht, vertieft die Ausführung dabei den systematischen Abschnitt der Methode. Schritt für Schritt wird der sich wiederholende Zyklus der Analyse- und Syntheseschritte nachvollzogen und auf die Gestaltungsgrundregeln und -prinzipien nach Pahl/Beitz angewandt. Die Schritte der Synthesephase, speziell die Wirkflächenvariation, aber auch die Erstellung von Wirkflächen, Leitstützstruktur und Zusatzflächen, werden im Detail ausgeführt.

Nach einer Zusammenfassung der vorgestellten Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese werden im Rahmen eines Ausblicks mögliche Potenziale für weiterführende Forschungsansätze herausgestellt.

2 Motivation

Die im Folgenden ausgeführte Argumentationskette zur Motivation der vorliegenden Arbeit beginnt mit der grundsätzlichen Feststellung von Abhängigkeiten innerhalb eines technischen Systems und der Art des Umgangs mit ihnen während des Produktentstehungsprozesses. Der Mangel einer verbindlichen Vorgehensweise im Umgang mit diesen Abhängigkeiten in der technischen Dokumentation, als Werkzeug zur Erfassung produktspezifischen Wissens, wird aufgeführt. Der Begriff Wissen und seine Grundlage, nämlich Zeichen, Daten und Informationen, werden dazu genauer betrachtet. Die Komplexität als systemimmanente Eigenschaft eines Produkts wird durch diese detaillierte Betrachtung offensichtlich, wodurch die Notwendigkeit einer expliziten Dokumentation begründet ist. Ohne die Fähigkeit jeden Zustand des Produktentstehungsprozesses präzise dokumentieren zu können, ist der erfolgreiche Umgang mit Wissen als Ressource nicht sichergestellt. Die Erfassung des Wissens hat daher an seiner Grundlage, den Zeichen, zu beginnen.

2.1 Vernetzung von Prinzip und Gestalt

Das im Verlauf des Konstruktionsprozesses entstehende technische System kann durch die Anforderungen, die Funktionsstruktur, die Prinziplösung und die Gestalt beschrieben werden, wobei in aufsteigender Reihenfolge der Konkretisierungsgrad der Lösung und damit deren Detailreichtum zunimmt. Die Elemente dieser unterschiedlich abstrakten Repräsentationsformen stehen für Systembestandteile, die miteinander durch Abhängigkeiten verbunden sind, welche nicht nur innerhalb der Abstraktionsstufen, sondern auch zwischen diesen existieren. Das Zusammenfassen ausgewählter Abhängigkeiten ermöglicht die Definition kontextspezifischer Sichtweisen auf das Produkt.

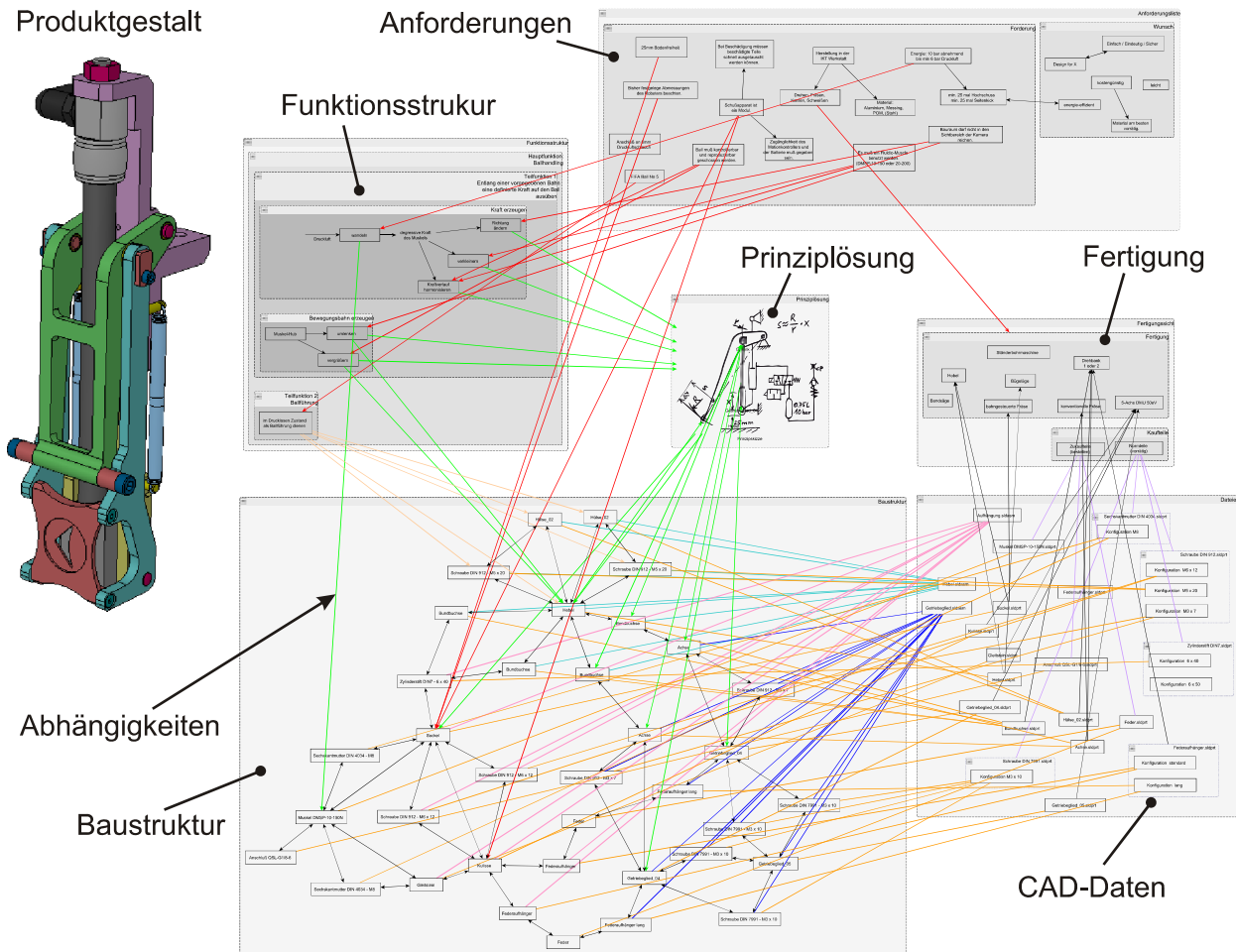


Abbildung 1: Abhängigkeiten innerhalb eines Produkts

Die ein Produkt charakterisierenden Abhängigkeiten bilden ein Netzwerk, welches nicht a priori eine spezielle Struktur aufweisen muss (Abbildung 1). Die Gliederung eines Produkts in eine hierarchische Struktur, wie dies in der Richtlinie VDI 2223 Methodisches Entwerfen technischer Produkte [VDI04] vorgeschlagen wird (Abbildung 2), kann nur gelingen, wenn aufgrund der Übersichtlichkeit einzelne Sichtweisen ausgeblendet werden. Diese Betrachtungsweise darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Abhängigkeiten weiterhin existieren und in irgendeiner Form erfasst werden müssen.

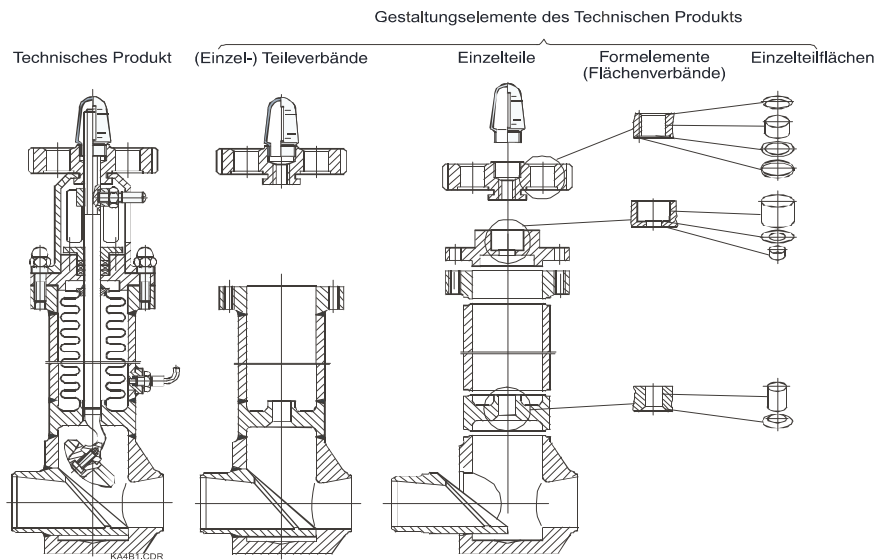


Abbildung 2: Gliederung eines Ventils in Gestaltungselemente /VDI04/

Die unterschiedlichen Sichtweisen erfordern jeweils entsprechende datentechnische Repräsentationen. So besteht u. a. die Notwendigkeit, als konzeptionelle Repräsentation des Produkts die Prinziplösung zur Speicherung von Informationen wählen und somit nicht nur das Ergebnis, sondern auch den Weg des Gestaltungsprozesses festhalten zu können. Die durchgängige Verwendung von 3-D-CAD und die Schwierigkeit, konzeptionelle Überlegungen kommunikations- und rechnergerecht zu repräsentieren, verleiten zu einem direkten Modellieren der Gestalt in einem frühen Stadium des Konstruktionsprozesses. Dabei bzw. dadurch verursacht wird der Übergang von der Prinziplösung zur fertigen Gestalt des Produkts häufig nur mangelhaft durch nicht rechentechnisch erfasste Handskizzen dokumentiert. Selbst die Richtlinie VDI 2209 3-D-Produktmodellierung [VDI06b] weist auf das notwendige Zusammenspiel von Handskizzen und 3-D-Modellierung hin:

„Funktionale und konstruktive Optimierungen lassen sich oft mit Hilfe von Handskizzen schnell und effektiv vornehmen. Die exakte Gestaltung und Detaillierung erfolgt dann am CAD-System.“

Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, welche Daten und Informationen in diesen Handskizzen enthalten sind und welches Wissen mit ihnen dokumentiert werden kann. Um den Geltungsbereich von Skizzen als Informationsträger eingrenzen zu können wird im Folgenden der Stand der Technik bezüglich technischer Dokumentation dargestellt und anschließend ihre Bedeutung im Rahmen des Wissensmanagements untersucht.

2.2 Dokumentation

Die technische Dokumentation /JUHL05/ betrachtet alle Lebensphasen eines Produkts und hat zum Ziel, vorab definierten Zielgruppen – ob sich diese innerhalb der Organisation finden oder es

sich um externe Kunden handelt – unmissverständliche Informationen über das Produkt zu übermitteln. Nach DIN 6789 Teil 2 /DIN90/ werden Produktinformationen in kommerzielle und technische Informationen und Letztere weiter in technologische, geometrische und organisatorische unterteilt (Abbildung 3).

Seite 2 DIN 6789 Teil 2

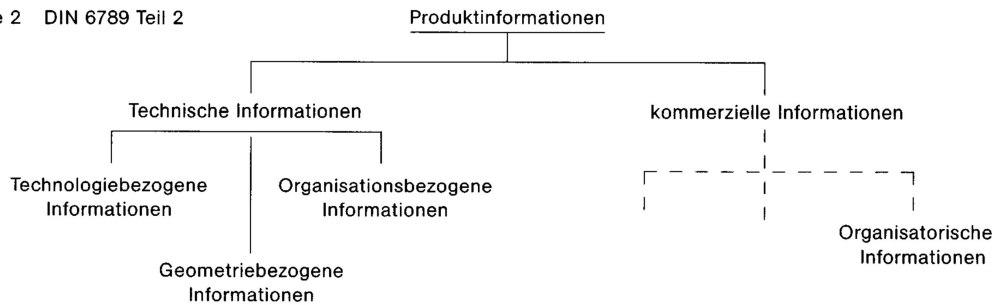


Abbildung 3: Produktinformationen /DIN90/

Die technische Produktdokumentation erfasst also nicht nur die Gestalt des Produkts, sondern auch ihrer Erzeugung und die Organisation der dazu nötigen Prozesse. Die im Verlauf der Norm festgelegte logische Unterteilung der technischen Dokumentation erlaubt jedoch keine Aussagen dahingehend, wie die konkrete Umsetzung der Dokumentation im Einzelnen vorzunehmen ist.

Produktionslebenszyklus	Aktivitäten	Information zu								
		Funktion	Sicherheit	Umwelt	Einkauf	Vertrieb	Fertigung	Prüfungen	Service	Entsorgung
1 Produktidee	Ziel: Lastenheft									
	1.1 Marktanalyse	x	x	x		x			x	x
	1.2 Kundenanforderung	x	x	x					x	x
	1.3 Schutzrechtauswertung	x	x							
	1.4 Marketingkonzept					x			x	x
	1.5 Risikobewertung	x	x	x		x	x	x	x	x
2 Konzept	Ziel: Pflichtenheft									
	2.1 Machbarkeitsstudie	x	x	x	x	x	x		x	x
	2.2 Qualitätssicherungskonzept	x			x		x		x	x
	2.3 Produktstruktur	x	x				x			x
3 Entwicklung Detailsysteme	Ziel: Freigabe Entwicklung Gesamtprojekt									
	3.1 Entwürfe	x								
	3.2 Konstruktionsunterlagen	x	x	x			x		x	
	3.3 Funktionsmuster	x					x			
	3.4 Fertigungsprozesse				x		x	x		
	3.5 Funktionsprüfungen									x
4 Entwicklung Gesamtprojekt	Ziel: Prototypfreigabe									
	4.1 Fertigungsunterlagen	x			x		x	x		
	4.2 Instandhaltung	x	x	x					x	x
	4.3 Fertigungsprozesse				x		x	x		x
	4.4 Anwendungsgerechte Funktionsprüfungen									x
	4.5 Zerlegungskonzept für Recycling		x	x					x	x
	4.6 Produktinformation	x	x	x					x	x
	4.7 Verkaufsunterlagen	x	x	x		x			x	

Abbildung 4: Informationen zu Schwerpunkten im Lebenszyklus /VDI06a/

Die Richtlinie VDI 4500 Technische Dokumentation /VDI06a/ unterscheidet zwischen interner und externer technischer Dokumentation. Erstere beinhaltet auch die Schritte der Planung und Entwicklung, ohne jedoch genau zu beschreiben, was unter Entwürfen zu verstehen ist. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, erläutert die Richtlinie, welche Informationen in welchen Phasen des Produktlebenszyklus vorliegen können (Abbildung 4). In Blatt 1 der Richtlinie wird auf das noch nicht fertiggestellte Blatt 4 verwiesen, auf welchem die Inhalte und Ausführungen der

Dokumentationsarten nebst Praxisbeispielen gezeigt werden sollen. Wann dieses veröffentlicht werden soll, ist nicht bekannt /VDI08/.

Die Norm DIN ISO 15226 Technische Produktdokumentation – Lebenszyklusmodell und Zuordnung von Dokumenten /DIN 99/ nennt diverse Aktivitäten, die in den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus stattfinden, definiert aber nicht, wie diese im Detail aussehen und welche Dokumente das Ergebnis dieser sind (Abbildung 5).

Seite 10
DIN ISO 15226 : 1999-10

Anhang B (informativ)

Beispiele

Tabelle B Beispiel für einen Produktlebenszyklus

Phasen	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
	Produktidee	Konzept- erarbeitung	Entwicklung	Konstruktion	Prototyp- phase	Produktion (Serien- fertigung)	Instandhaltung und Service	Entsorgung
Aktivitäten	1.1 Patentauswertung	2.1 Machbarkeitsstudie durchführen	3.1 Funktionspläne erstellen	4.1 Versuchsmodelle herstellen	5.1 Felderprobung durchführen	6.1 Materialfluß	7.1 Serviceleistungen erbringen	8.1 Recycling durchführen
	1.2 Datensammlung	2.2 Anforderungsheft erstellen	3.2 Entwürfe erstellen	4.2 Fertigungsunterlagen erstellen	5.2 Funktionsprüfungen durchführen	6.2 Einzelteilfertigung durchführen	7.2 Produktbeobachtung durchführen	8.2 Nicht recycelbare Bestandteile entsorgen
	1.3 Erstellen von Studien	2.3 Produktkonzept entwickeln	3.3 Detaillösungen erarbeiten	4.3 Design-Review durchführen	5.3 Überarbeitung der Fertigungsunterlagen	6.3 Qualitätskontrolle und -auswertung durchführen	7.3 Planmäßige Einarbeitung von Produktänderungen	8.3 Abtransport durchführen
	1.4 Marktstudien	2.4 Funktionskonzept entwickeln	3.4 Funktionsmuster erstellen	4.4 Handbücher erstellen	5.4 Zulassungsprüfungen durchführen	6.4 Montage durchführen	7.4 Wartung durchführen	8.4 Abbau und Demontage durchführen
	1.5 Abschätzen des Marktpotentials	2.5 Projektplanung durchführen	3.5 Produktstruktur festlegen	4.5 Beschaffung/Lieferbarkeit (verhandeln/bestellen)	5.5 Prototypprüfungen durchführen	6.5 Prüfungen durchführen (Kunde)	7.5 Reparaturen und Austausch	8.5 Nachweise über Entsorgung führen
	1.6 Kundenanforderungen feststellen	2.6 Qualitätssicherungskonzept entwickeln	3.6 Zuverlässigkeitsuntersuchung durchführen	4.6 Risikobewertung von Merkmalen (z. B. Maße)	5.6 Serienfertigung freigeben	6.6 Felderfahrung auswerten	7.6 Ersatzteillieferungen durchführen	
	1.7 Marketingkonzept erarbeiten	2.7 Verpackungskonzept entwerfen	3.7 Fertigungsprozesse planen	4.7 Verkaufsunterlagen prüfen	5.7 Lieferantefreigabe durchführen		7.7 Lieferstatistik führen	
Bedingungen für das Phasenende	Konzeptfreigabe	Entwicklungs- freigabe	Konstruktions- freigabe	Prototyp- freigabe	Produktions- freigabe	Liefer- freigabe	Entsorgungs- freigabe	

Abbildung 5: Informationen zu Schwerpunkten im Lebenszyklus /DIN99/

Die Richtlinie VDI 2209 3-D Produktmodellierung /VDI06b/ weist auf die Wichtigkeit der zum Aufbau wissensbasierter Systeme unabdingbaren Dokumentation des Produktmodellierungsprozesses hin. Dabei geht es um die Frage, warum etwas so und nicht anders gemacht wurde. Dieses Wissen ist bei dem derzeitigen Stand der Technik noch nicht effizient erfassbar.

Wie aus der Zusammenfassung der Normen und Richtlinien ersichtlich wird, wird die prinzipielle Notwendigkeit der Dokumentation der frühen Phasen des Konstruktionsprozesses erkannt, eine verbindliche Form bzw. Vorgehensweise, wie dies geschehen kann, existiert jedoch nicht. Das Kernproblem besteht darin, die Ergebnisse der Konzeptphase nahtlos mit den Modellen der Gestaltphase zu verknüpfen. Die Auswirkung des Fehlens einer standardisierten Erfassung sämtlicher Daten und Informationen, die während des Produktentstehungsprozesses anfallen, wird aus dem Blickwinkel des Wissensmanagement verständlich, wozu die Definition des Begriffs Wissen vorangestellt werden soll.

2.3 Wissensmanagement

Für den Begriff „Wissen“ finden sich in der Literatur unterschiedliche Definitionsansätze. Der Duden /DUDE07/ beschreibt ihn etwa wie folgt:

„Wis|sen, das; -s: a) Gesamtheit der Kenntnisse, die jmd. [auf einem bestimmten Gebiet] hat: [...] b) Kenntnis, das Wissen von etw.: [...]“

In dieser allgemeinen Definition wird auf die Personengebundenheit von Wissen hingewiesen, die sich auch in der ausführlicheren Begriffsbestimmung von Probst /PROB06/ wiederfindet:

„Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden.“

Die Personengebundenheit ist jedoch nicht zwangsläufig auf ein Individuum beschränkt, sondern kann sich auch auf Unternehmen, Organisationen oder kollektives Wissen beziehen. Unabhängig davon, ob Wissen mit einer oder mehreren Personen verknüpft ist, wird im Wissensmanagement weiter zwischen implizitem und explizitem Wissen unterschieden. Letzteres liegt bereits in einer grafischen oder sprachlichen Form codiert vor und kann kommuniziert werden, ist damit nicht an eine einzelne Person gebunden und kann leichter kommuniziert werden. Eine grundlegende Herausforderung des Wissensmanagements besteht in der Überführung von implizitem in explizites Wissen. Die Definition von Probst wird von North übernommen und in die sogenannte Wissenstreppe /NORT05/ integriert (Abbildung 6).

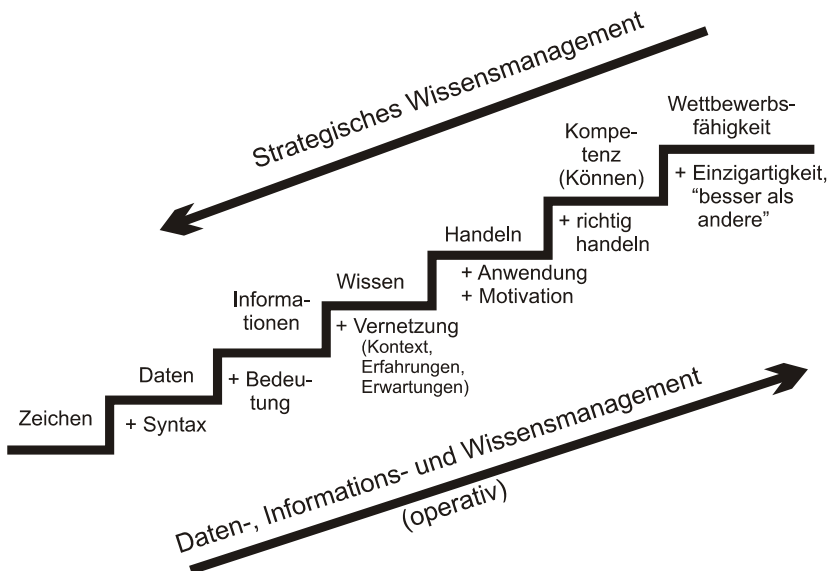


Abbildung 6: Wissenstreppe nach North /NORT05/

Zeichen, Daten und Informationen bilden laut North die Basis von Wissen, woraus sich schlussfolgern lässt, dass man zum Explizitmachen von Wissen zunächst in der Lage sein muss, die benötigten Daten zu erheben. Bei der Umsetzung dieser Sichtweise auf die Schritte des Konstruktionsprozesses, wird deutlich, dass bei den aufeinander aufbauenden, iterativen Schritten des Lösungsgenerierens und Bewertens, d. h. des Einengens des Lösungsfeldes, eine Vielzahl von Informationen generiert werden. Diesen Informationen wird meist wenig Beachtung geschenkt, da sie nicht direkt auf dem ausgewählten Lösungsweg bezogen sind, auf einem abstrakten Niveau liegen und selten vollständig ausgeführt sind.

Für den bewussten Umgang mit der Ressource Wissen und ihrem gezielten Einsatz z. B. für strategische Ansätze, wie die Absicherung eines Marktsegments durch Patente, wird die Erfassung dieser Zwischenschritte zur notwendigen Voraussetzung. Zur Erreichung dieses Ziels, muss eine Darstellungsform gefunden werden, die nicht nur prinzipielle und fertig gestaltete, sondern auch teilgestaltete Lösungen erfassen kann. Gerade teilgestaltete Lösungen, die nicht weiter ausgeführt, also verworfen wurden, stellen ein Mittel dar zur Dokumentation alternativer Lösungswege und damit ein betriebswirtschaftliches Gut, das erfasst und verarbeitet werden muss.

Die Basis eines erfolgreichen Wissensmanagements liegt damit in der detaillierten Betrachtung nicht nur der abschließenden Form eines Systems, sondern auch in den Zwischenschritten auf dem Weg dorthin sowie den dabei nicht vollends ausgeführten Alternativlösungen. Die Erfassung dieser Systemzustände bedarf der Fähigkeit auch die Zusammenhänge auf Ebene der Zeichen, Daten und Informationen präzise aufschlüsseln zu können und führt zu einer stärkeren Vernetzung dieser untereinander, was eine erhöhte Komplexität zur Folge hat.

2.4 Produktkomplexität

Unter Komplexität ist in der Produktentwicklung eine Systemeigenschaft zu verstehen, die in zunehmendem Maße in den Fokus des Managements rückt /SCHUH05/. Der Grad der Komplexität hängt dabei von der Anzahl und der Unterschiedlichkeit der Systemelemente und deren Beziehungen untereinander sowie von der Veränderlichkeit des Systems im Zeitverlauf ab. Schuh bezeichnet diese beiden Dimensionen von Komplexität mit Veränderlichkeit/Dynamik und Vielzahl/Vielfalt und spannt damit ein Feld von vier grundsätzlichen Systemtypen auf (Abbildung 7).

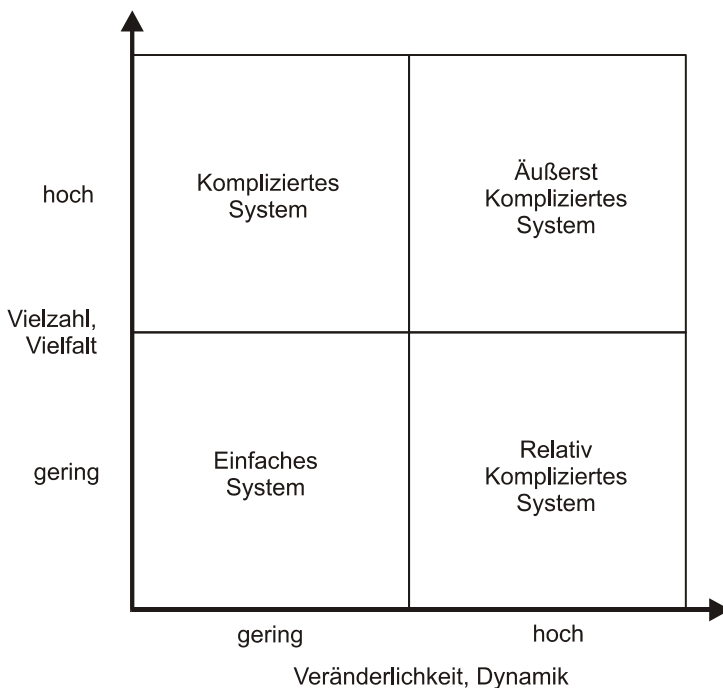


Abbildung 7: Zustände komplexer Systeme /Schuh05/

Komplexitätstreiber sind dabei unter anderem die Sortimentsbreite und die Erzeugniskomplexität, d. h. einerseits die Vielzahl an möglichen Produktvarianten und andererseits die Vielschichtigkeit der Abhängigkeiten innerhalb eines Produkts. Beide Faktoren wirken sich auf die Gestalt eines Bauteils oder einer Baugruppe aus.

Eine hohe Anzahl an Varianten wirkt sich auf die Gestaltstruktur aus, indem sie Baukasten-, Baureihen- oder eine Modulbauweise fordert, die mit einer erhöhten Anzahl von Schnittstellen einhergeht. Die Vielschichtigkeit der Abhängigkeiten innerhalb des Produkts muss bei einer eindeutigen Zuordnung von Funktion zur Gestalt a priori zu einer komplizierten Gestalt führen oder durch Funktionsintegration eine scheinbar einfache Gestalt generieren, die im Nachhinein keine eindeutigen Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden Funktionen zulässt.



Abbildung 8: Zusammenhang von Funktion und Gestalt

Dieser Umstand wird exemplarisch in Abbildung 8 anhand des Zusammenhangs der Gestaltung von Bedienelementen zu den von ihnen gesteuerten Funktionen verdeutlicht. Der mehrdeutige Zusammenhang von Bedienelement und Funktion führt zur nicht offensichtlichen Gebrauchseigenschaften /NORM02/ und erschwert damit auch die Produktinnovation.

Der bei einem äußerst komplizierten System nicht mehr in der Gestalt manifestierte Zusammenhang zwischen dieser und der ihr zugrunde liegenden Funktionen muss auf andere Weise explizit codiert werden, um bei der Entwicklung der nächsten Produktgeneration berücksichtigt werden zu können. Die Komplexität von Produkten, Produktpalette und -innovationen erfordert es, Eigenschaften, die über die Gestalt hinausgehen, aber dennoch Einfluss auf sie haben, beschreiben zu können.

Die vorangegangenen vier Unterkapitel verdeutlichen, daß die komplexen Zusammenhänge zwischen Prinzip und Gestalt bei dem gegebenen Stand der Technik von der technischen Dokumentation nicht ausreichend erfaßt werden. Das während der Gestaltung verwendete Wissen steht damit nicht in expliziter Form als betriebswirtschaftliche Ressource zur Verfügung. Um diesen Mangel zu beheben, werden in den folgenden Kapiteln zunächst die inhaltlichen und formalen Grundlagen geschaffen, wie die für die Gestaltung relevanten Informationen strukturiert sind und externalisiert werden können. Dazu wird die Semiotik als Werkzeug zum Verständnis bildlicher Kommunikation verwendet und anschließend auf Skizzen als grundlegende Ausdrucksweise im Gestaltungsprozess übertragen.

3 Semiotik

Die im vorhergehenden Kapitel vorgestellte Einteilung von Wissen hat als unterste Basis die Stufe der Zeichen und fällt damit in den Untersuchungsbereich der Semiotik – die Lehre von den Zeichen. Die Semiotik ist eng verbunden mit dem Begriff der Kommunikation, welche wiederum den Gebrauch von Zeichen beschreibt.

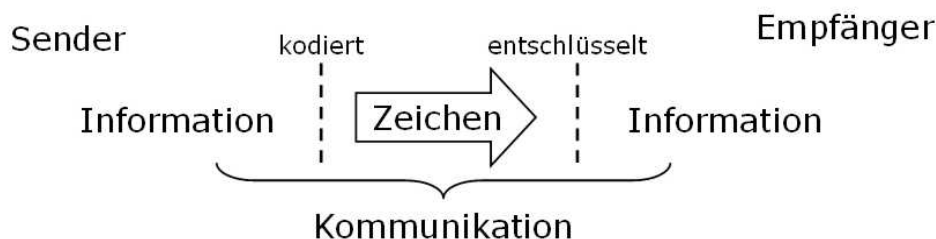


Abbildung 9: Kommunikationsmodell

Die Semiotik definiert sämtliche kulturellen Prozesse als Kommunikationsprozesse /ECO02, NOET85, TRAB96/ (Abbildung 9). Ob diese Definition auch auf vom Menschen erzeugte, technische Objekte, die primär eine bestimmte Funktion erfüllen, anwendbar ist, war einige Zeit Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen. Eine erste Umsetzung einer Techniksemiotik erfolgte in der Architektur /NORB65/, die Bauwerke zu Trägern von Aussagen macht. Die Frage, ob funktionale technische Objekte auch Zeichen sein können, ist für die vorliegende Arbeit nicht explizit von Belang, da nicht das zu konstruierende technische Objekt Gegenstand der semiotischen Betrachtung ist, sondern der Prozess, wie Informationen und abstraktes Wissen über dieses Objekt kommuniziert werden.

3.1 Semiotik allgemein

Im Folgenden wird eine kurze Zusammenfassung von in der Semiotik verwendeten Begriffen gegeben (vgl. /KARM07/).

Das grundlegende Element der Semiotik ist das Zeichen, auch Signifikat genannt, das als eine wahrnehmbare Entität definiert wird, die eine Bedeutung transportiert. Das Signifikat ist nicht zu verwechseln mit Signifikanten, den Zeichenträgern. Signifikanten können Wörter, Lautfolgen, Geräusche, Musik, optische Zeichen, Bilder, Film, Malerei, Plastik, Fernsehen, gestisch-mimische Zeichen, Körpersprache, Gesichtsausdruck oder Bewegungen sein.

In Abbildung 10 wird das Zeichen Hund anhand verschiedener Signifikanten repräsentiert.



Abbildung 10: Beispiele für Zeichenträger

Alle dargestellten Signifikanten, d. h. die Wörter, Zeichen, Bilder wie auch das Bell-Geräusch, können für das Konzept des Tieres Hund, des Signifikats, stehen.

Zwischen diesen Zeichen und dem realen Objekt kann eine Ähnlichkeitsbeziehung bestehen, die jedoch nicht zwingend vorhanden sein muss. Manche Zeichen, wie die schwarze Seitenprojektion in der Mitte von Abbildung 10, weisen Ähnlichkeit mit einem realen Hund auf, die Buchstabenfolge H-u-n-d dagegen ist vollkommen willkürlich mit dem Signifikat verbunden.

Die Besonderheit von Zeichensystemen besteht darin, dass nicht jedes Zeichen für sich gelernt wird, sondern zwischen den einzelnen Zeichen Relationen bestehen. Diese gegenseitigen Abhängigkeiten der Zeichen untereinander ermöglichen eine effizientere Übermittlung der Bedeutung und dienen dem Verständnis dessen, wie menschliches Denken, Lernen und Erkennen funktioniert.

Die Verbindungen der Zeichen untereinander ermöglichen, je nachdem wie sie miteinander kombiniert werden, einen Bedeutungswandel der einzelnen Zeichen. So hat das Zeichen „e“ für sich alleine keine Bedeutung. In Verbindung mit dem Zeichen „Hund“ jedoch überträgt es die Bedeutung des Plurals – in Hund/Hunde. Diese Eigenschaft gilt aber nicht immer. Der Buchstabe „e“ kann z. B. auch zwei völlig verschiedene Signifikate voneinander abgrenzen, wie z. B. „Laut“, das Geräusch, und „Laute“, das Instrument. Ebenso kann die Funktion, den Plural auszudrücken, durch einen anderen Buchstaben verwirklicht werden, wie z. B. das „n“ in Ente/Enten.

Die Relationen der Zeichen spielen auf verschiedenen Ebenen eine Rolle. Die Semiotik wird dazu in drei Bereiche, die Semantik, die Syntaktik und die Pragmatik unterteilt.

Der Bereich der Semantik betrachtet die Bedeutung des Zeichens. So ist der Satz „Der Hund zwitscherte und flog davon“ zwar grammatikalisch richtig. Jedem, der das Tier Hund kennt, ist jedoch klar, dass die Aussage des Satzes falsch ist. Das Wort „Hund“ als Zeichen für das Tier wird hier falsch verwendet, d. h., es liegt ein Bedeutungsfehler vor: Entweder bellt der Hund und läuft davon oder es ist ein anderes Tier, ein Vogel, gemeint.

Die Syntaktik definiert die formale Kombinatorik der Zeichen. Bei Wörtern erfolgt dies anhand grammatikalischer Regeln. Der Satz „Die Hund liefen über die Straße“ ist syntaktisch falsch. „Die“

und „liefen“ liefern den Hinweis auf die Pluralbildung, folglich müsste der Satz richtig „Die Hunde liefen über die Straße“ heißen. Die Bedeutung (Semantik) des Satzes bleibt davon unberührt, da der Fehler durch Rekombination behoben werden kann. Es wurde jedoch stillschweigend vorausgesetzt, dass hier nur ein Fehler existiert und nicht zwei Fehler vorliegen. Im letzteren Fall könnte der Satz auch „Die Hündin lief über die Straße“ heißen, was auch in semantischer Hinsicht einen Unterschied darstellen würde.

Die Pragmatik beschäftigt sich mit der Beziehung zwischen den Zeichen und dem Anwender, indem hier die Verwendung des Zeichens in einem gegebenen Kontext betrachtet wird. Der Satz „Der Hund kommt“ kann je nach Situation, in der er geäußert wird, unterschiedliche Bedeutung haben. So kann er z. B. informativ, appellativ oder auch falsch sein. Im ersten Fall will z. B. eine Familie einen Spaziergang unternehmen, alle warten vor dem Haus, nur der Hund fehlt noch. „Der Hund kommt“ stellt in diesem Fall eine rein informative Aussage dar. Schreien sich zwei Kinder diesen Satz zu, während sie einen Ball vom Nachbargrundstück holen, dann ist in dem Satz eine Warnung mit stark appellativem Charakter zu sehen. Bei der Frage nach dem Ja-Wort vor dem Traualtar fällt es schwer, eine Erklärung für die geäußerte Antwort „Der Hund kommt“ zu finden. Der Satz ist hier semantisch und syntaktisch richtig, jedoch pragmatisch falsch.

Die Bedeutung (Semantik) eines Zeichens kann nie allein durch das Zeichen selbst festgelegt werden; es ist immer die Relation zu anderen Zeichen (Syntaktik) sowie die Situation der Verwendung (Pragmatik) einzubeziehen.

Die Relation von Zeichen untereinander kann in zwei grundlegende Arten eingeteilt werden: Opposition, also Gegensatz, und Äquivalenz, also Gleichheit. Das in der deutschen Sprache verwendete Zeichen „Hund“ und das Zeichen „dog“ der englischen Sprache werden äquivalent verwendet, ein Tier kann sowohl als „Hund“ wie auch als „dog“ bezeichnet werden, während es sich bei der Betrachtung eines einzelnen Tieres niemals gleichzeitig sowohl um einen Hund als auch um eine Katze handeln kann. Die Zeichen „Hund“ und „Katze“ stehen hier zueinander in Opposition. Die miteinander vernetzten Relationen der Zeichen ermöglichen auf einer abstrakteren Stufe wiederum, die Zeichen „Hund“ und „Katze“ dem Zeichen „Tier“ unterzuordnen. Auf dieser Abstraktionsstufe sind sie wiederum äquivalent. Die Kategorien von Gleichheit und Gegensätzlichkeit stellen grundsätzliche Strukturen menschlichen Denkens dar und sind auf jeder Komplexitätsebene, auf der Sachverhalte beschrieben werden können, zu finden.

Die Einheiten der untersten Ebene eines Zeichensystems tragen für sich allein betrachtet keine Bedeutung. Bei Sprachen handelt es sich dabei um Phoneme, welche sich zu Morphemen, den kleinsten bedeutungstragenden Einheiten der Sprache, gruppieren. Ein oder mehrere Morpheme bilden ein Wort. Es ist zu beachten, dass Morpheme nicht das Gleiche wie Silben sind, da diese die Phoneme in Sprecheneinheiten, nicht in Sinneinheiten gruppieren (Abbildung 11). Eine

Gruppierung von Wörtern bildet ein Satzkonstitut, dieses wiederum Sätze und eine Gruppierung von Sätzen dann Texte.

Phonem	H-u-n-d-e	Bedeutungsfreie Elemente. Hier: Buchstaben.
Morphem	Hund-e	Substantiv + Plural. Bedeutungstragende Einheiten
Silbe	Hun-de	Nur Sprecheneinheiten
Wort	Hunde	Grammatische Einheit. Hier: Lexem: Hund
Satzkonstitute	Die Hunde - liefen - über - die Straße.	Wortgruppierungen
Satz	Die Hunde liefen über die Straße.	Folge zusammengehörender Wörter
Text	... um die Ecke. Die Hunde liefen über die Straße. Ich bremste, um ...	Zusammengehörende Äußerung

Abbildung 11: Elemente des sprachlichen Zeichensystems

Diese in sich verschachtelten Gruppierungen können auf bildliche Darstellungen übertragen werden. Dabei ergibt sich jedoch die Problematik, dass die Informationsdichte bei bildlichen Darstellungen höher als die bei Wörtern ist, was mit der Eigenschaft der Denotation und Konnotation zusammenhängt. Die Denotation beschreibt die nachweisbare Bedeutung, die Grundbedeutung, eines Zeichens, während die Konnotation subjektive Bedeutungen, auch Nebenbedeutung bzw. Assoziationen, umfasst.


		Denotation	Konnotation
Wort	Hund	Vier Beine; Fell; bellt.	Freund des Menschen. Manchmal gefährlich. Hunde, die bellen, beißen nicht.
Bild		Sitzender Hund mit hellem, nicht scheckigen Fell. Bellt momentan nicht. Zunge hängt heraus. Schlappohren ...	Sieht nicht gefährlich aus. Familienhund, wahrscheinlich ein Golden Retriever.

Abbildung 12: Informationsdichte von Bildern

Der Unterschied zwischen der Lautfolge „Hund“ und dem Bild besteht darin, dass mithilfe des Bildes zwangsläufig mehr Informationen übermittelt werden. Während die Lautfolge H-u-n-d auf einen laufenden, sitzenden und schlafenden Hund anwendbar ist, beschreibt das in Abbildung 12 dargestellte Bild eindeutig einen sitzenden Hund. Dieses Phänomen heißt nicht, dass Wörter weniger präzise sind als Bilder, sondern lediglich, dass die Intensität der Informationsübertragung geringer ist. Ein Umstand, der landläufig mit dem Spruch „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“ beschrieben wird.

Ein bedeutender Nachteil im Vergleich von Bild- und Wortaussagen ist, dass Bilder nicht ohne Weiteres Kausalität oder auch zeitliche und rhetorische Relationen vermitteln können. Während z. B. Kausalität bereits sprachlich durch den Satzbau in der Grammatik anhand der Beziehungen von Subjekt, Prädikat und Objekt vorgegeben wird, kann dies in bildlichen Aussagen oft nur durch Konventionen auf mehreren Bedeutungsebenen erreicht werden. So kann beispielsweise eine zeitliche Abfolge zwar durch eine Reihe von einzelnen Bildern, sog. „small multiples“ /TUFT90/, ausgedrückt werden, die Art, sie dann zu lesen, z. B. von links nach rechts oder umgekehrt, hängt jedoch von den Konventionen des Verwendungsumfelds, dem Interpretanten, ab.

3.2 Semiotik der visuellen Kommunikation

Die Theorien der Semiotik sind für sprachliche Zeichensysteme weitestgehend untersucht und definiert. Die Einteilung von Sprachen in Grundelemente, die auf verschiedenen Sprachebenen angeordnet werden, kann analog auch auf bildliche Inhalte übertragen werden /KROE87/. Die bereits genannten Elemente Phonem, Morphem, Wörter und Texte finden sich auf den sprachlichen Ebenen der Laute, Lautgestalten, Begriffe und Aussagen. Auf Bilder bezogen sind diese Ebenen die der Wahrnehmungselemente, die der Figuren und Muster, die der abgebildeten Gegenstände sowie die der Bilder. Eine Eigenschaft der sprachlichen wie auch bildlichen Zeichensysteme bezeichnet der Umstand, dass die Anzahl der Elemente und Kombinationsmöglichkeiten von Elementen auf den unteren Ebenen deutlich geringer als auf den höheren ist. Ein Umstand, der begründet, warum die Analyse von Zeichensystemen pragmatischerweise bei den Elementen der untersten Ebene beginnt.

Die triadische Zeichenrelation (Abbildung 13), die die Bedeutung eines Zeichens im Hinblick auf die verwendeten Mittel, die Relation zum bezeichneten Objekt und das Umfeld der Verwendung betrachtet, kann auch auf visuelle Kommunikation angewandt werden..

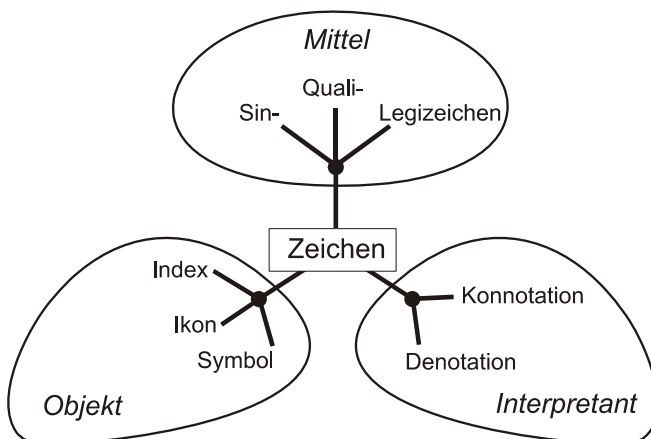


Abbildung 13: Triadische Zeichenrelation

Die Zeichenrelation beschreibt ein Zeichen aus der Sicht des verwendeten Mittels als Sin-, Quali- oder Legizeichen, aus der Sicht des Objekts als Index, Ikon oder Symbol sowie aus Sicht des Interpretanten durch die Denotation und Konnotation.

Im Zusammenhang mit diesen Definitionen entstehen mitunter Mehrdeutigkeiten durch den Gebrauch der Bezeichnungen in der Umgangssprache sowie alltagssprachliche Vereinfachungen des Sachverhalts. Der Interpretant wird häufig mit dem Interpreten, also dem Zeichenbenutzer, gleichgesetzt. Dies ist jedoch zu kurz gegriffen, da der Interpretant das gesamte System bezeichnet, mit dem das Zeichen in Verbindung steht, also auch die Situation der Zeichenverwendung, den semiotischen Kontext. In Bezug auf bildliche Darstellungen wird die Semiotik jedoch oft auf die Beziehung zwischen dem bezeichneten Objekt und dem Zeichen reduziert und mit der Semantik gleichgesetzt. Auch diese Vereinfachung ist nicht zweckmäßig.

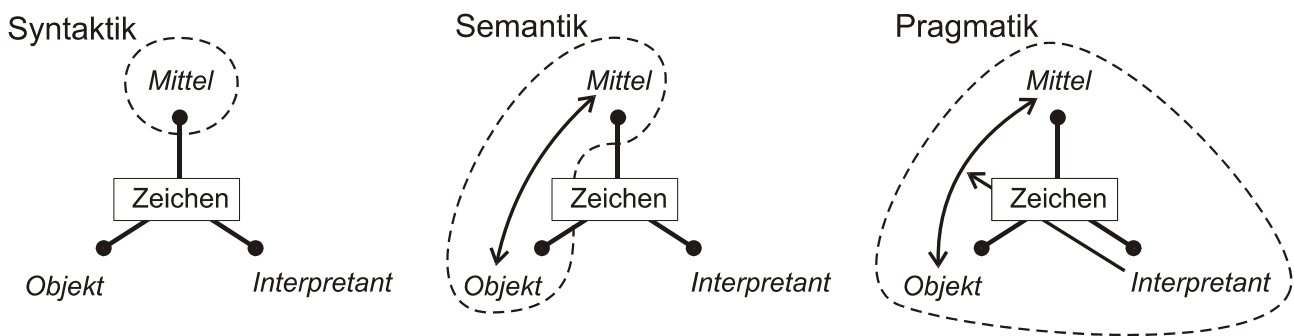


Abbildung 14: Syntaktik, Semantik und Pragmatik

Die Syntaktik bezeichnet das Untersuchungsgebiet der Semiotik, das sich mit den verwendeten Mitteln zur Kommunikation von Zeichen, d. h. der materiellen Seite des Zeichens, beschäftigt. Die Semantik betrachtet die Beziehung zwischen den Mitteln, die das Zeichen repräsentieren, und dem bezeichneten Objekt, dem Referens. Erst die Pragmatik untersucht die Verwendung des Zeichens innerhalb eines gegebenen Kontexts durch einen Zeichenbenutzer.

3.2.1 Syntaktik

Die Syntaktik, die sich mit den verwendeten Mitteln beschäftigt, ist die grundlegende Ebene, auf der sich bildliche Zeichen untersuchen lassen. Sie identifiziert die Elemente, aus denen sich eine bildliche Aussage zusammensetzt. Der Ansatz, diese Elemente in Punkt, Linie und Flächen einzuteilen, hat sich nicht als zweckmäßig erwiesen. Die Basis der Elemententeilung bilden Wahrnehmungseinheiten, wie sie durch die Wahrnehmungspsychologie beschrieben werden /KLOE81/. Die Syntaktik unterscheidet dabei zwischen Quali-, Sin- und Legizeichen, die sich auf den einzelnen Ebenen der bildlichen Aussagen wiederfinden.

Qualizeichen bezeichnen keine konkreten Objekte, sondern Klassen von diesen bzw. Möglichkeiten für diese. Für sich allein stellen sie keine Aussage dar. Erst in der Verbindung mit

einer Form geben diese Zeichen Auskunft über ein Objekt. Auf bildliche Darstellungen angewendet sind dies Farben, Texturen und Muster. Sinzeichen, abgeleitet von „singulär“, setzen das Vorhandensein von Qualizeichen voraus. Sinzeichen bezeichnen einzelne Objekte, indem sie durch Strukturierung den Qualizeichen eine konkrete Form geben. Legizeichen, so bezeichnet nach dem lateinischen Wort „Lex“ – das Gesetz –, beschreiben physisch begründete Wahrnehmungsgesetzmäßigkeiten oder erlernte Wahrnehmungskonventionen. Sie bezeichnen keine Objekte, sondern stellen Beziehungen zwischen diesen her. Häufig verwendete Legizeichen sind die Perspektive, Dichte und Gradienten. Folgendes Beispiel soll diese Zusammenhänge verdeutlichen.

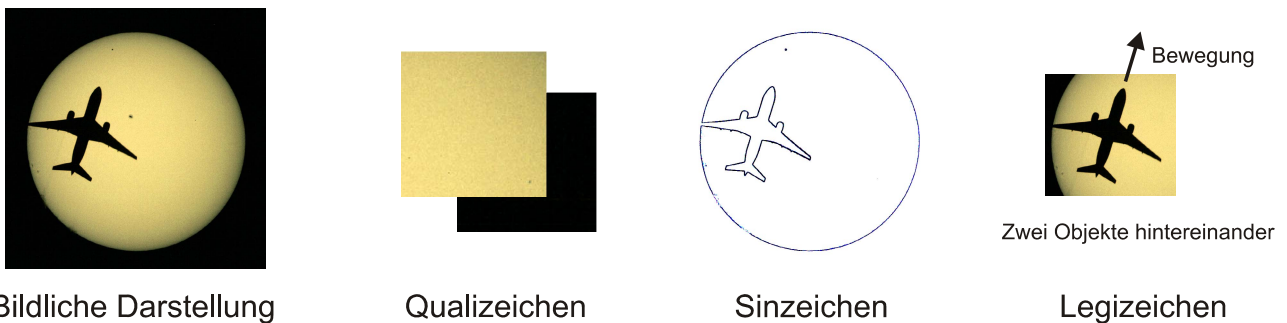


Abbildung 15: Quali-, Sin- und Legizeichen /STER08/

In der in Abbildung 15 gezeigten bildlichen Darstellung kommen auf der Texturebene lediglich zwei Wahrnehmungselemente als Qualizeichen vor, die Farben Schwarz und Beige. Auf der Strukturebene kann aufgrund des Helligkeitsunterschieds von diesen beiden Farben ein Umriss wahrgenommen werden, ein Sinzeichen. Die Struktur der Umrisslinie, die genau genommen eine einzelne durchgängige Linie bildet, weist einen kreisförmigen und einen mehrfach gezackten Abschnitt auf. Auf der Gegenstandsebene werden diese Abschnitte des Umrisses als zwei getrennte Gegenstände wahrgenommen. Dass, obwohl nur eine durchgängige Linie vorhanden ist, zwei voneinander unabhängige Umrisse erkannt werden, kann mithilfe der Gestalttheorie, speziell durch das Gesetz der Geschlossenheit, erklärt werden. So werden Linien, die ganz oder teilweise eine Fläche umschließen, eher als eine Einheit erfasst als nicht zusammengeschlossene Linien. Die Deutung, dass die eine Einheit ein Himmelskörper und die andere eine Silhouette eines Verkehrsflugzeugs darstellt, beruht jedoch bereits auf Konventionen, d. h. auf Wissen, das nicht in der bildlichen Darstellung vorhanden ist. Auch Legizeichen können auf der Gegenstandsebene identifiziert werden. Mit der Annahme, dass es sich bei der Silhouette um ein Flugzeug und einen Himmelskörper handelt, wird festgelegt, dass sich das Flugzeug zwischen dem Himmelskörper und dem Betrachter befindet und sich in eine bestimmte Richtung bewegt.

Die bisher getätigten Aussagen über die ikonische Darstellung in Abbildung 15 haben denotativen Charakter. Es können beliebig viele weitere konnotative Aussagen gemacht werden, z. B. dass die

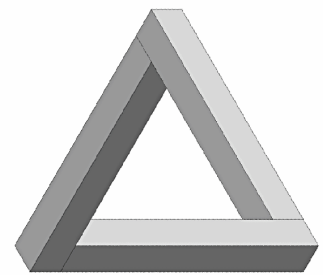
Silhouette eines Verkehrsflugzeugs auch für Fernweh stehen kann, doch soll diese Art der Deutungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter vertieft werden. Weitere denotative Aussagen über den in der Darstellung verkörperten Sachverhalt können diesem statischen Bild nicht entnommen werden. Dass es sich hier um ein zufällig das Bildfeld passierendes Flugzeug handelt und dass dieses Geschehen während des Merkurtransits am 7.2.2003 in der Stadt Moers beobachtet werden konnte, sind Informationen, die sich nur unter Verwendung weiterer Bedeutungsebenen oder anderer Darstellungsformen, wie z. B. einem begleitenden Text, vermitteln lassen.



Qualizeichen
falsche Farbe



Sinzeichen
ungewohnter Umriss



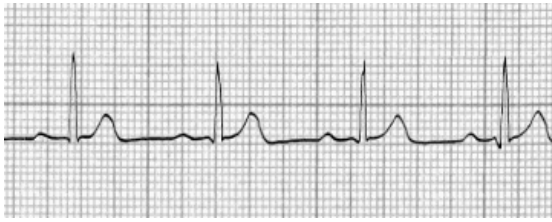
Legizeichen
Perspektivenfehler

Abbildung 16: Hervorhebung durch fehlerhaften Zeichengebrauch

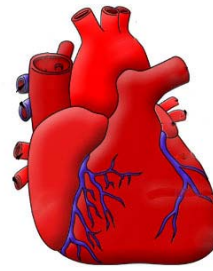
Quali-, Sin- und Legizeichen treten am stärksten in Erscheinung, wenn sie, z. B. als Blickfang in der Werbung, entgegen den Wahrnehmungsgesetzmäßigkeiten oder Konventionen angewendet werden. In Abbildung 16 werden Beispiele gezeigt, in denen je ein Quali-, Legi- oder Sinzeichen entgegen gängigen Konventionen und Erwartungen verändert wurde. Die Auffälligkeit fehlerhafter bildlicher Darstellungen spielt eine bedeutende Rolle in der bildlichen Kommunikation.

3.2.2 Semantik

Die Semantik, als Lehre der Bedeutung der Zeichen, untersucht die Relation von einem Zeichenobjekt und dem verwendeten Mittel und wird als indexalisch, ikonisch oder symbolisch klassifiziert. Ein Index beschreibt eine Beziehung zwischen Zeichen und bezeichnetem Objekt, bei der das Zeichen auf das Objekt verweist oder durch dieses verursacht wird. Ein ikonisches Zeichen beruht auf einer Ähnlichkeitsbeziehung zum Objekt. Ikone finden vielfach Verwendung zur Bezeichnung einer Klasse von mehreren realen Objekten, d. h. durch das Ikon wird die Gemeinsamkeit der benannten Objekte beschrieben (Abbildung 17).



Index



Ikön



Symbol

Abbildung 17: Index, Ikön und Symbol

Das Symbol bezeichnet eine konventionelle Verbindung zwischen Objekt und Zeichen, welche durch Übereinkunft festgelegt ist. Die Übereinkunft kann Prinzipien folgen, aber auch rein willkürlich festgelegt werden.

3.2.3 Pragmatik

Die Pragmatik beschreibt die Beziehung zwischen dem Interpreten, dem Objekt und den Mitteln. In diesem Zusammenhang wird zwischen der Denotation, d. h. der Hauptbedeutung des Zeichens, und der Konnotation, d. h. der Nebenbedeutung, der Assoziation oder der emotionalen Bedeutung des Zeichens, unterschieden. Der exakte Nachweis der Denotation bzw. die Feststellung, wo die Grenze zwischen Denotation und Konnotation zu ziehen ist, kann nicht ohne Informationen über den Interpretanten erfolgen.

Der Interpretant ist dabei nicht mit dem Interpret, dem eigentlichen Zeichenbenutzer, gleichzusetzen. Der Interpretant ist das System, in dem die Vermittlung der Bedeutung des Zeichens stattfindet, welches zumeist durch den Kontext, also die konkrete Situation der Zeichenverwendung, gebildet wird und damit vom Interpreten abhängig ist.

Zusammenfassend sind nun die Begriffe der Semiotik eingeführt, die ausgehend vom grundlegenden Kommunikationsmodell in den drei Teilbereichen Syntaktik, Semantik und Pragmatik den Zeichengebrauch in Relation zum bezeichneten Objekt, den verwendeten Mitteln und dem Interpretant hin betrachten. Diese Betrachtungsweise kann auch auf visuelle Kommunikation im Kontext der Gestaltsynthese angewendet werden, was in Kapitel 6 im Detail ausgeführt wird. Zuvor ist jedoch erst das „Was“ und das „Wie“ einzugrenzen. Im folgenden Kapitel wird dazu zunächst die Prinziplösung als Ausgangspunkt der Gestaltsynthese erläutert und in Kapitel 5 Skizzen als bildliche Ausdrucksform präzisiert.

4 Konstruktionslehre

4.1 Konstruktionsprozess

Der Prozess des Konstruierens ist Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen des Fachgebiets der Konstruktionslehre. Das Ziel dieser Bemühungen ist eine Methodik zum systematischen Vorgehen beim Konstruieren technischer Produkte, um diese vor dem Hintergrund zunehmender Komplexität weiter wettbewerbsfähig erzeugen zu können. Um dieses Ziel zu erreichen, wird der Konstruktionsprozess in Analogie zum allgemeinen Problemlösungsprozess (Abbildung 18) in einzelne, handhabbare Schritte unterteilt und es werden Methoden beschrieben, mit denen diese erfolgreich abgearbeitet werden können.

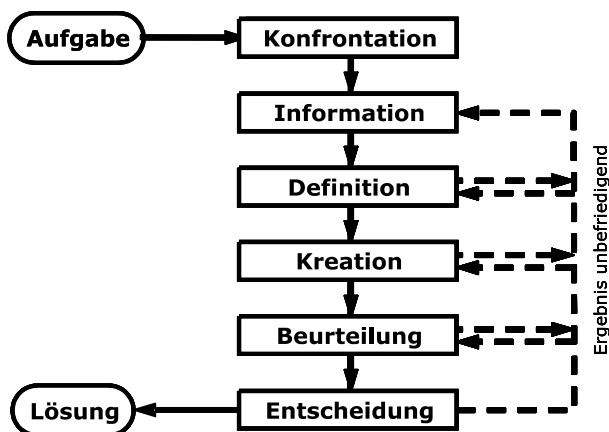


Abbildung 18: Allgemeiner Problemlöseprozess /FELD07/

Den Konsens der konstruktionstechnischen Forschungen stellt die Dachrichtlinie VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme /VDI93/ dar, deren Vorgehensweise weiter in den Richtlinien VDI 2222 Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien /VDI97/ und VDI 2223 Methodisches Entwerfen technischer Produkte /VDI04/ verfeinert wird.

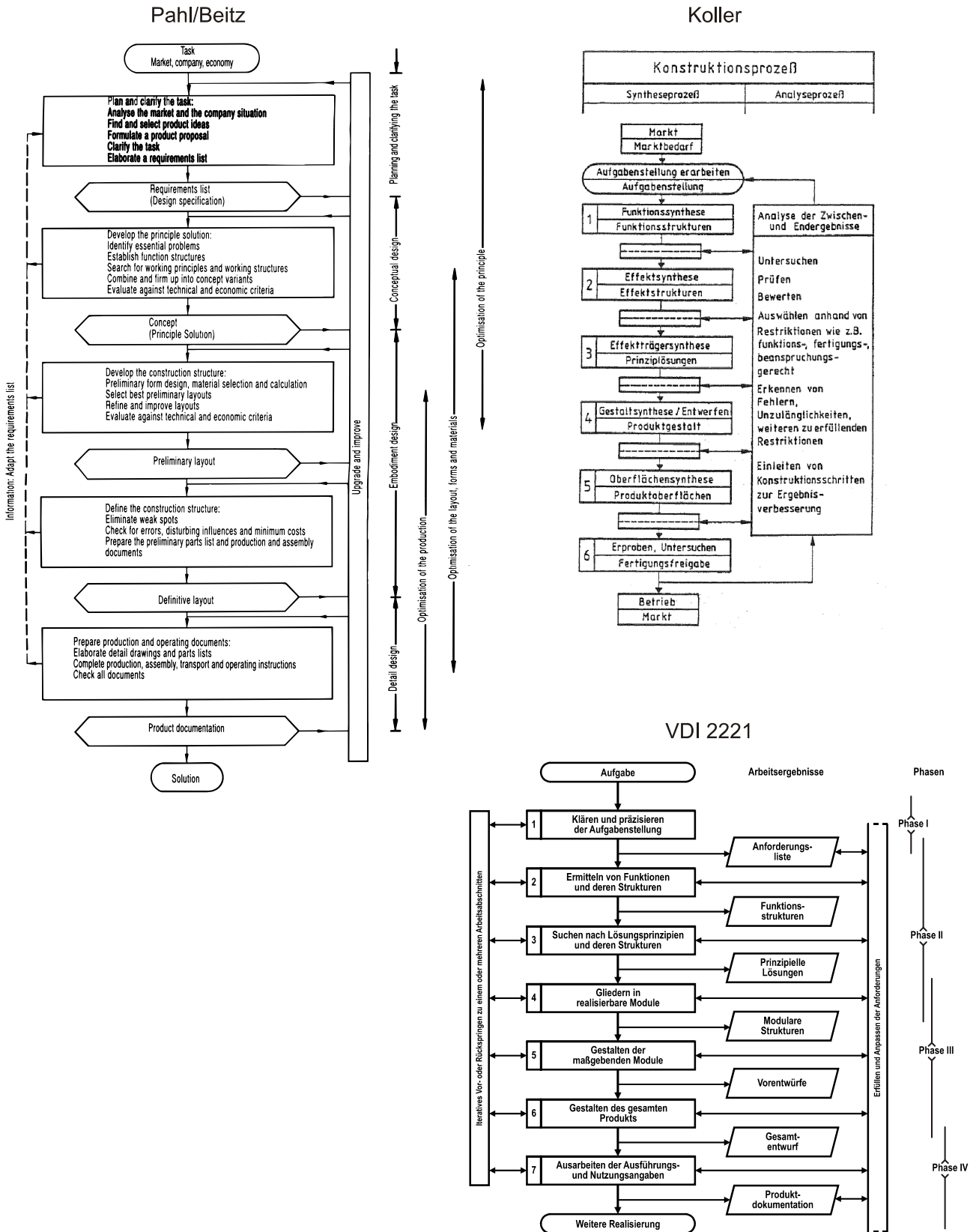


Abbildung 19: Konstruktionsprozesse im Vergleich

Werden der Konstruktionsprozess nach Richtlinie VDI 2221 und die detaillierter ausgeführten Prozesse nach Pahl/Beitz /PAHL06/ und Koller /KOLL94/ wie in Abbildung 19 gegenübergestellt,

so treten zwei für die vorliegende Arbeit relevante Gemeinsamkeiten hervor: zum einen die Unterscheidung in die Konzept- und Gestaltungsphase und zum anderen die Betonung eines iterativen Vorgehens (Abbildung 20).

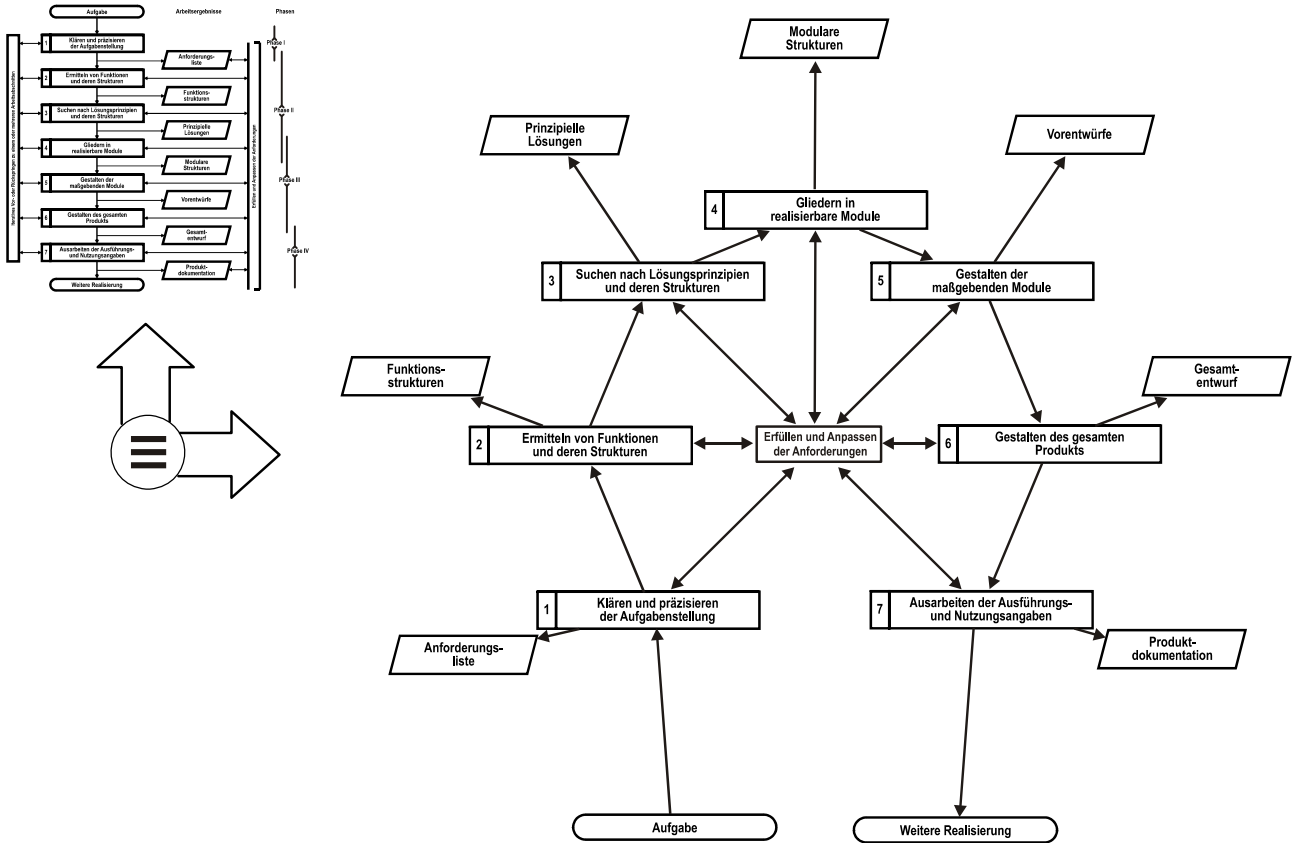


Abbildung 20: Alternative Darstellung des Konstruktionsprozesses nach VDI 2221

Die Bedeutung der Iteration wird noch deutlicher, wenn die einzelnen Schritte, in Abbildung 20 exemplarisch am Konstruktionsprozess nach VDI 2221 dargestellt, unter Beibehaltung aller Verbindungen umgestellt werden. Diese Darstellungsweise verdeutlicht, dass der Prozess des Konstruierens kein geradliniger Ablauf von der Aufgabe zur Lösung sein kann, sondern eine netzartige Struktur aufweist. Das Vor- und Zurückspringen zwischen den einzelnen Schritten und auch zwischen dem prinzipiellen Konzept und der Gestalt ist essenzieller Bestandteil des Prozesses – worauf im Folgenden noch gesondert eingegangen wird.

4.2 Prinziplösung

In der Literatur wird die Bedeutung der frühen Phasen des Konstruktionsprozesses für die Innovationshöhe eines neuen Produkts hervorgehoben /KROL01, ROTH82, FREN99/. Die Besonderheit dieser Phasen liegt einerseits in der höheren Flexibilität, die Art der Lösung zu beeinflussen, da in diesen Phasen nur wenige während der Detaillierung entstehende

Abhängigkeiten vorliegen, und andererseits in der daraus resultierenden Verantwortung im Hinblick auf die Auswirkungen auf alle nachgeschalteten Phasen des Prozesses.

Die Freiheit von Abhängigkeiten in der Konzeptphase, wie sie in den detailreicheren Gestaltungsphasen entstehen, kann bei näherer Betrachtung nicht uneingeschränkt aufrechterhalten werden. Richtig ist, dass sehr viele Anforderungen an ein Produkt und seine Gestalt aus nachgeschalteten Schritten, vor allem aus dem Fertigungsprozess, entstehen. Falsch ist jedoch die Annahme, dass die Gestalt erst ab der Phase der Gestaltsynthese festgelegt wird.

Es ist zu unterscheiden zwischen Abhängigkeiten, d. h. Anforderung und funktionalen Zusammenhängen, die durch das gewählte Lösungsprinzip determiniert sind, und denjenigen, die von der fertigungstechnischen Umsetzung bestimmt werden. Erstere sind bereits in der Prinziplösung festzulegen und dürfen nicht mehr durch nachfolgende Schritte modifiziert werden, ohne die Funktion zu kompromittieren. Diese Überlegungen können so weit getrieben werden, dass die „grundlegende Gestalt“ einer Lösung definiert werden kann als die Gestaltmerkmale, die unabhängig von der technischen Umsetzung nur durch den Funktionszusammenhang bestimmt werden.

Der Übergang von Prinzip zur Gestalt ist graduell. Um Prinziplösungen in jedem Stadium der Entstehung, d. h. auch teilgestaltete Lösungen, erfassen zu können, sollen in den folgenden Kapiteln Definitionen und mögliche Darstellungsformen für Prinziplösungen analysiert werden.

Was eine ausgestaltete Lösung ist, kann leicht beschrieben werden: Sie besteht aus materiellen Teilen, die eine äußere Erscheinung, eine Form, haben, sie kann gezeichnet und „in die Hand genommen“ werden. Doch was genau ist eine Prinziplösung?

Die Richtlinie VDI 2222 Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien /VDI97/ erläutert den Begriff „Prinzipielle Lösung“ wie folgt:

„Prinzipielle Lösungen beschreiben unscharfe bzw. grobe, aber funktionsbestimmende Vorstellungen zur Realisierung von Produkten und sind durch die Einbeziehung von Effekten gekennzeichnet.“

In dieser Definition wird die Eigenschaft „unscharf bzw. grob“ genannt, die im allgemeinen Sprachgebrauch mit Prinziplösungen verbunden wird. Diese Charakterisierung wird dem Phänomen Prinziplösung nicht gerecht, da „unscharf“ im Sinne von vage einen nicht exakten Zustand beschreibt. Dies gilt jedoch nur für schlecht ausgeführte Prinziplösungen. In den folgenden Ausführungen wird gezeigt, dass Prinziplösungen zwar häufig nur Teile einer Gesamtlösung beschreiben und in diesem Sinn nicht vollständig sind, diese aber absolut präzise beschreiben können und auch müssen.

Die Konstruktionstechnik definiert die Prinziplösung als das grundlegende Konzept eines technischen Gebildes, das sich aus dem physikalischen Effekt, dem Effekträger (Material) und den qualitativen Gestaltparametern des Wirkortes zusammensetzt PAHL06/.

Diese deduktive Definition des Begriffs „Prinziplösung“ ist recht abstrakt. Was eine Prinziplösung ausmacht, kann jedoch auch induktiv, durch Vergleich und Subtraktion von Eigenschaften, eingegrenzt werden. Hierbei wird mittels Mustererkennung und Kategoriebildung vom Besonderen, d. h. von einzelnen konkreten Lösungen, auf das Allgemeine, das zugrundeliegende Konzept, geschlossen. Dieser Ansatz eignet sich besonders deshalb, weil eine präzise Sprache zur Beschreibung der abstrakten Begriffe der Definition bisher noch nicht erstellt ist, wohl aber die Möglichkeit besteht, konkrete Lösungen darzustellen.

Im Folgenden wird aus Beispielen von Hämmern durch Subtraktion die Prinziplösung eines Hammers entwickelt. Man stelle sich verschiedene Hämmer vor z. B. einen kleinen Metallhammer, wie ihn Ärzte zum Reflextest benutzen, bis hin zu einem Vorschlaghammer (Abbildung 21).



Abbildung 21: Gestaltbeispiele

Was ist allen diesen Hämmern gemeinsam? Vergleicht man die Hämmer und lässt alles, was sie voneinander unterscheidet, also z. B. die Farbe, das Material, die Größe, die Form oder Zusatzfunktionen, weg, so bleibt die Prinziplösung eines Hammers übrig: ein Gewicht am Ende einer Stange mit Griff (Abbildung 22). Das Gewicht hat eine spezielle Fläche, die zur Übertragung des Impulses der Masse dient.

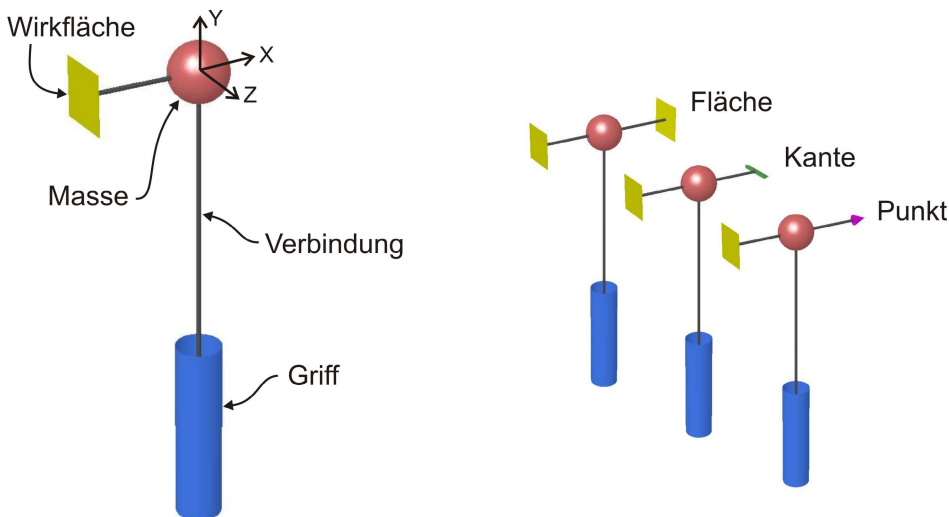


Abbildung 22: Prinzip

Bei genauem Hinsehen fällt auf, dass alle gezeigten Hämmer zwei dieser Wirkflächen aufweisen. Diese kann flächig, eine Kante oder eine Spitze sein. Die Wahl der verwendeten Fläche bestimmt die Intensität der Impulsweitergabe an der Auftreffstelle. Gibt es auch Hämmer mit drei oder mehr Flächen? – Nein, weil der Hammer dann in der XY-Ebene nicht mehr symmetrisch wäre und beim Auftreffen kippen würde. Dies ist auch der Grund, warum ein Hammer in Richtung der Z-Achse sehr schmal ist, während er in X- und Y-Richtung beliebige Dimensionen aufweist.

Es ist ersichtlich, dass selbst ein einfacher Hammer auf vielen Überlegungen basiert, die implizit in den Gestaltmerkmalen verkörpert sind. Während man diese bei einem Hammer recht einfach aus der Gestalt rekonstruieren kann, so ist dies bei einem komplizierten Bauteil nicht mehr ohne Zusatzinformationen möglich.

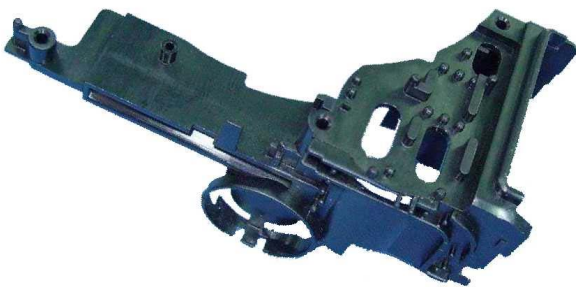


Abbildung 23: Funktionsintegrierte Gestaltung

Welche Überlegungen sind in die Gestalt des Bauteils in Abbildung 23 eingeflossen? Muss es so aussehen, wie es aussieht? Sind hier eventuell Fehler eingebaut, oder kann man das nicht auch einfacher machen? Besonders bei Konstruktionen, die fertigungstechnisch optimiert wurden, d. h. bei denen viele Funktionen und damit auch Wirkflächen in einem Teil zusammengefasst sind, kann

man nicht mehr eindeutig von der Gestalt auf das darin verkörperte Prinzip schließen. Die technische Dokumentation beschreibt nur die für die Produktentstehung, d. h. in erster Linie für die Fertigung, relevanten Aspekte des Teils, nicht jedoch das Prinzip der Konstruktion, welches erklärt, warum das Teil so und nicht anders aussieht. Dieser Mangel ist insofern nicht problematisch, da dieses Wissen im Kopf des Konstrukteurs (und nur dieser benötigt dieses Wissen) vorhanden ist. Im Zuge des Collaborative Engineerings entsteht jedoch die Notwendigkeit, auch dieses Wissen explizit und damit handhabbar zu machen.

Der Sinn von Prinziplösungen besteht darin, dass man von ihnen ausgehend sehr einfach neue, konkrete Lösungen generieren kann. Ist das Prinzip eines Hammers extrahiert und von allen unnötigen Details befreit, können einzelne Gestaltmerkmale variiert werden, um neue Hammer-Lösungen zu generieren. In diesem Beispiel wurde das gedankliche Konzept der Wirkfläche benutzt, welches im Folgenden präzisiert wird.

4.3 Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen

Das Elementmodell „Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen“ wird von Mathiesen /MATT02/ beschrieben. Mit dieser Modellvorstellung wird das kleinste Grundelement eines jeden technischen Systems auf der Basis des funktionalen Zusammenhangs definiert – eine Sichtweise, die nicht nur zur Analyse technischer Systeme vorteilhaft ist, sondern sich auch für die Synthese dieser anbietet. Die Besonderheit dieser Sichtweise liegt in der Möglichkeit, die Gestalt eines Bauteils oder einer Baugruppe aufzubrechen und entsprechend ihrem Zweck zu bewerten.

Die Kernbegriffe des Modells „Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen“ sind /MATT02/:

- Wirkfläche (WF): Wirkflächen sind feste Oberflächen von Körpern oder generalisierte Grenzflächen von Flüssigkeiten, Gasen oder Feldern, die dauernd oder zeitweise im Kontakt zu einer weiteren Wirkfläche stehen und am Energie-, Stoff- und Informationsaustausch des technischen Systems beteiligt sind.
- Begrenzungsfläche (BF): Begrenzungsflächen sind feste Oberflächen von Körpern oder generalisierte Grenzflächen von Flüssigkeiten, Gasen oder Feldern, die nie Wirkflächen sind.
- Wirkflächenpaare (WFP): Wirkflächenpaare werden aus genau zwei Wirkflächen gebildet, die zeitweise, ganz oder teilweise, in Kontakt stehen und zwischen denen Energie, Stoff und Information übertragen wird.
- Funktionskontakt (FK): Der Funktionskontakt ist der Teil des Wirkflächenpaares, in dem aktuell die Wechselwirkung stattfindet.

- Leitstützstruktur (LSS): Leitstützstrukturen sind Volumina von Körpern, Flüssigkeiten, Gasen oder felddurchsetzte Räume, die genau zwei Wirkflächenpaare verbinden und dauernd oder zeitweise eine Leitung von Energie, Stoff oder Information zwischen den Wirkflächen eines Körpers, einer Flüssigkeit, eines Gases oder eines Feldes ermöglichen.
- Tragstruktur (TS): Die Tragstruktur ist die Menge aller möglichen Leitstützstrukturen.
- Reststruktur (RS): Reststrukturen sind Volumina von Körpern, Flüssigkeiten, Gasen oder felderfüllte Räume, die nie Tragstruktur werden.
- Wirkstruktur (WS) Die Wirkstruktur ist die Menge aller Wirkflächen und Leitstützstrukturen eines technischen Systems, eines technischen Teilsystems oder eines Bauteils.

Das Modell der Wirkflächen und Leitstützstrukturen basiert auf drei Grundhypothesen /MATT02/:

- Grundhypothese I: Jedes Grundelement eines technischen Systems erfüllt seine Funktion durch eine Wechselwirkung mit mindestens einem anderen Grundelement. Die eigentliche Funktion – und damit die gewünschte Wirkung – wird erst durch den Kontakt einer Fläche mit einer anderen Fläche möglich. Diese Flächen sind Wirkflächen und bilden zusammen ein Wirkflächenpaar.
- Grundhypothese II: Die Funktion eines technischen Systems oder eines technischen Teilsystems wird grundsätzlich über mindestens zwei Wirkflächenpaare und eine sie verbindende Leitstützstruktur verwirklicht. Funktionsbestimmend sind dabei allein die Eigenschaften und Wechselwirkungen der beiden Wirkflächenpaare und der sie verbindenden Leitstützstruktur. Spielen Felder für die Funktionserfüllung eine Rolle, so ist die Wechselwirkung der Leitstützstruktur des Feldes mit mindestens zwei weiteren Leitstützstrukturen zusätzlich funktionserfüllend.
- Grundhypothese III: Jedes System, das Funktionen erfüllt, besteht aus den Grundelementen Wirkflächenpaar und Leitstützstruktur, die in beliebiger Anzahl, Anordnung und Form auftreten können. Ein Wirkflächenpaar setzt sich aus genau zwei Wirkflächen zusammen.

Auch bei dieser Modellvorstellung ist die deduktive Herleitung wenig anschaulich, weshalb auch dieses anhand eines Beispiels erläutert werden soll. Betrachtet wird der Vorgang des Käseschneidens mithilfe eines einfachen Messers (Abbildung 24). Durch das Ausüben von Druck auf den Griff bzw. den Rücken der Messerklinge (Kraft F) dringt diese in den Käselaub ein und spaltet ihn. Da Käse einen relativ niedrigen Elastizitätsmodul E aufweist, aber recht klebrig ist, d. h. einen hohen Reibungsbeiwert μ hat, verformen sich der Käse und damit auch die Schnittebene beim Schneiden und es bleibt Käse an der Klinge zurück.

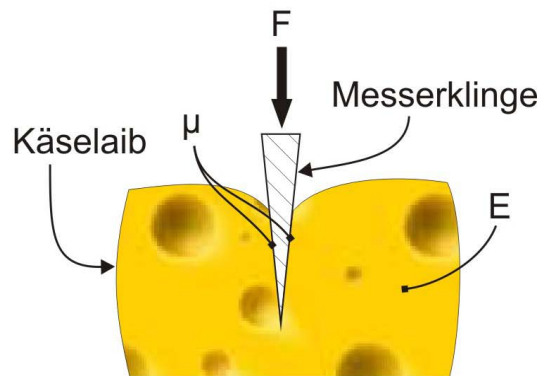


Abbildung 24: Funktionsbeschreibung

Um diesen Vorgang zu verstehen und konstruktiv optimieren zu können, muss das System Käse – Messer differenziert werden. Da er der Ursprung des Systems ist, ist der Käse dabei als Konstante zu setzen. Es soll schließlich weder Brot noch Stein oder Holz geschnitten werden, sondern ausschließlich Käse. Das Messer hingegen ist eine Variable und kann zur näheren Betrachtung in folgende Bestandteile untergliedert werden.

Aus funktionaler Sicht haben sich mit der Entwicklung des Messers Fachbegriffe etabliert (Abbildung 25).

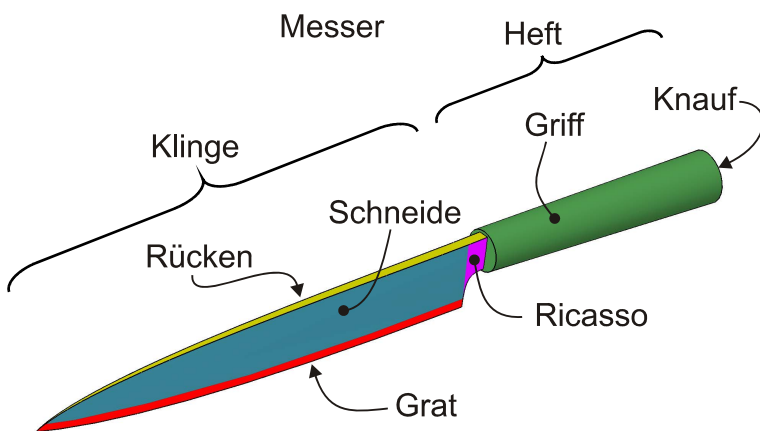


Abbildung 25: Funktionen und Fachbegriffe

Geometrisch betrachtet, z. B. zur Darstellung in einem CAD-Programm, besteht das Messer aus Punkten, Kanten, Flächen und Volumen (Abbildung 26):

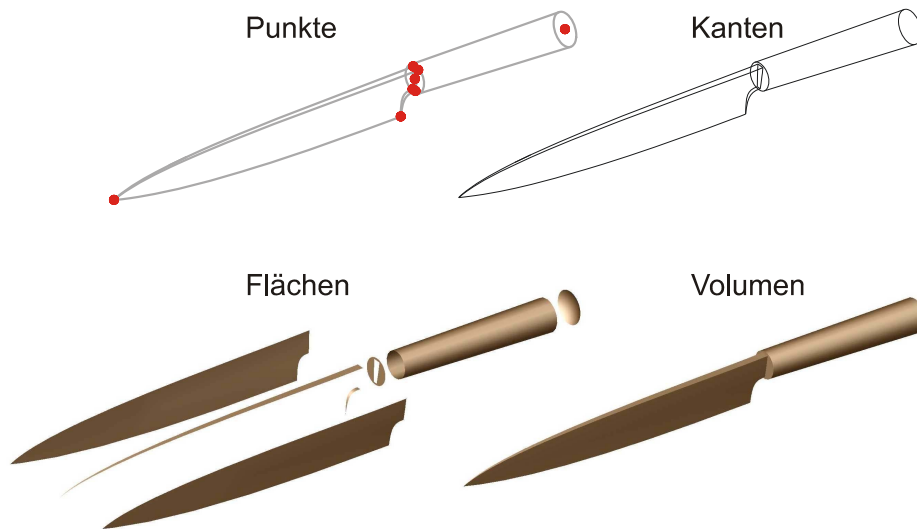


Abbildung 26: geometrische Sichtweise

Aus konstruktiver Sicht lässt sich das Messer in Wirk- (WF) und Begrenzungsflächen (BF) sowie Leitstütz- (LSS) und Reststrukturen (RS) gliedern.

Bei dieser Sichtweise wird die Verknüpfung von Funktion und Gestalt zugrunde gelegt. Zur Analyse eines technischen Gegenstandes kann zu jedem Element gefragt werden, ob es einen Zweck erfüllt und, wenn ja, welchen. Elemente, d. h. in erster Linie Flächen, die eine Funktion übernehmen, sind untereinander durch die Leitstützstruktur verbundene Wirkflächen. Hat eine Fläche keine Funktion bzw. kann dieser keine zugeordnet werden, so stellt sie eine Begrenzungsfläche dar. Begrenzungsflächen schließen einen Körper, der durch seine Wirkflächen definiert ist, nach außen hin ab. Volumina, die keine Leitstützstruktur sind, werden Reststruktur genannt.

Das Messer kann folgendermaßen betrachtet werden: Der Zweck des Messers ist das Schneiden, welches durch die Klinge erfolgt. Der Griff, wenngleich recht praktisch, ist zum Schneiden nicht zwingend erforderlich. Er hat dieselbe Funktion wie der Messerrücken. Die Klinge lässt sich nun in die sie begrenzenden Flächen zerlegen (Abbildung 27).

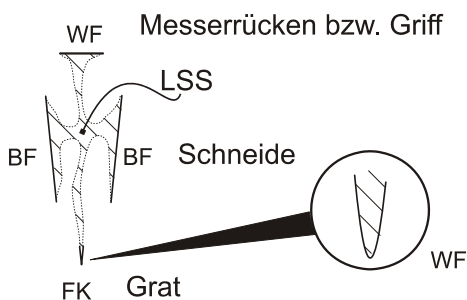


Abbildung 27: Wirkflächen und Leiststützstruktur

Der eigentliche Funktionskontakt ist der Grat der Klinge, der zum Schneiden verwendet wird. Messerrücken bzw. der Griff bilden die Wirkfläche, über die der zum Schneiden nötige Anpressdruck bzw. die Schneidkraft in die Klinge eingeleitet wird. Die Leitstützstruktur überträgt die Kraft von der Wirkfläche zum Funktionskontakt (Grat). Damit ist die Hauptfunktion des Messers erfüllt.

Die Flächen der Schneide sind im Rahmen dieser Deutung des Messers lediglich Begrenzungsflächen, die verhindern, dass die Leitstützstruktur nicht „ausläuft“. Diese Sichtweise ist selbstredend zur Modellbildung stark vereinfacht. Auch den Schneideflächen kommt bei Schneidvorgängen, bei denen die Schnittflächen gespalten werden müssen, eine Funktion zu. Die Gestaltung der Schneideflächen, d. h. der Schliff der Klinge, ist eine Kunst für sich.

Im speziellen Fall des Käseschneidens haben die Schneideflächen nicht nur keine Funktion, sie sind aufgrund der hohen Reibung des Käses sogar eher störend. Man kann sie daher auch als Wirkflächen mit einer unerwünschten Funktion definieren (Abbildung 28).

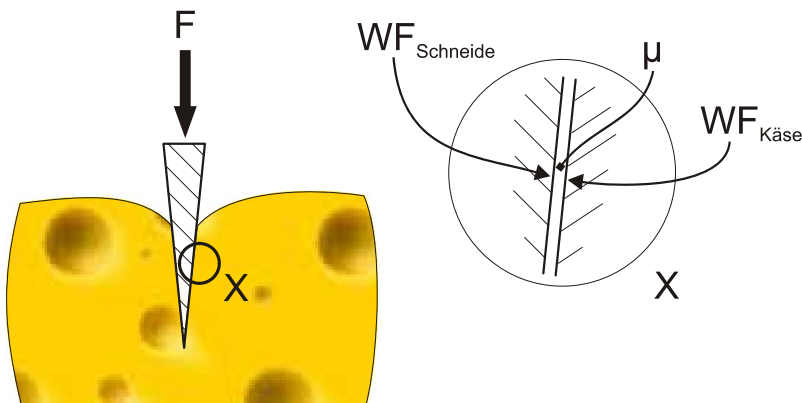


Abbildung 28: Funktionskontakt

Um diese unerwünschte Funktion zu eliminieren, kann einer der sie bestimmenden Faktoren verändert werden. Da es keinen Sinn ergibt, den Käse wegzulassen, muss entweder die Wirkfläche der Schneide oder die Reibung minimiert werden. Für beides finden sich bereits realisierte Lösungen (Abbildung 29).



Abbildung 29: Umsetzungsbeispiel

Die Reduktion auf die minimal notwendigen Flächen, d. h. die Realisierung dessen, nur den Funktionskontakt zu erhalten, führt zu der ebenfalls bereits realisierten Gestalt des Schneidebogens (Abbildung 30).

Käseharfe
Schneidebogen

Draht

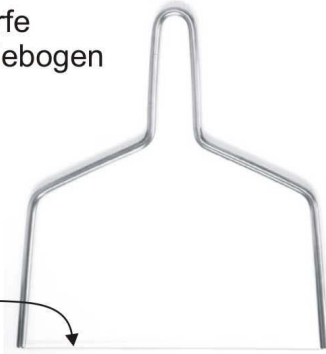


Abbildung 30: Minimallösung

Die in den vorherigen Absätzen dargebotene Erläuterung von Wirkflächen und Leitstützstrukturen wird in diesem Zusammenhang analysierend eingesetzt. Das gegebene System wird abstrahiert, um Zusammenhänge und Freiräume für neue Lösungen zu erkennen. Das Konzept von Wirkflächen und Leitstützstrukturen kann auch zur Synthese von neuen Lösungen angewendet werden, was in Kapitel 7.4 erfolgt.

5 Skizzen

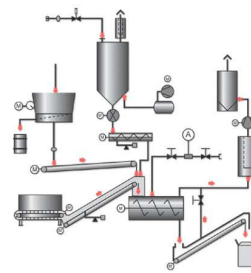
In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Begriffe der Semiotik vorgestellt und die Prinziplösung als Ausgangspunkt der Gestaltsynthese erläutert. Damit sind eine adäquate Ausdrucksweise und die Präzision des betrachteten Problems gegeben. Im nächsten Schritt tritt die Skizze als Dokumentationsform während des Entwerfens in den Fokus, bevor die Ergebnisse dieser Betrachtungen in Kapitel 6 zusammengeführt werden.



Gemälde



Fotografie



Computergrafik



Freihandskizze

Abbildung 31: Bildliche Darstellungsarten

Für den Begriff „Skizze“ existiert in der Literatur keine eindeutige Definition. Es gibt Architektur-, Freihand- und technische Skizzen, Scribble, Doodle und Studien, um nur einige der zum Teil synonym verwendeten Begriffe aufzuführen (Abbildung 31). Landläufig wird unter einer Skizze eine händisch erstellte Strichzeichnung auf Papier verstanden. Verglichen etwa mit dem technischen Zeichnen sind wenige Konventionen zur Erstellung von Skizzen bekannt. So wird der Begriff häufig mit dem kreativen Generieren von vagen bzw. unfertigen Ideen in Verbindung gebracht. Um ihn für den Gebrauch in der vorliegenden Arbeit zu definieren, soll er im Folgenden zunächst aus verschiedenen Blickrichtungen beleuchtet werden.

Eine erste Übersicht darüber, was unter dem Begriff „Skizze“ zu verstehen ist, kann dem Duden in der Ausgabe als Universalwörterbuch /DUDE07/ und dem Synonymwörterbuch /DUDE06/ entnommen werden:

Universalwörterbuch:

Skiz|ze, die; -, -n [ital. schizzo, eigtl. = Spritzer (mit der Feder), lautm.]:

1. mit groben Strichen hingeworfene, sich auf das Wesentliche beschränkende Zeichnung [die als Entwurf dient].

2. a) kurzer, stichwortartiger Entwurf; Konzept: die S. einer Rede; b) kurze, sich auf das Wesentliche beschränkende [literarische] Darstellung, Aufzeichnung.

Synonymwörterbuch:

Skizze

1. [Umriss]zeichnung; (veraltet): Abriss[zeichnung].
2. Entwurf, Exposé, Konstruktion, Konzept, Muster, Plan, Rohentwurf, Rohfassung, Skizzierung, Studie, Überblick, Übersicht; (schweiz.): Sudel; (bildungsspr.): Konzeption, Konzeptualisierung, Projektierung.

5.1 Skizzenarten

Das Merkmal, das allen Skizzenarten gemeinsam ist und sich in sämtlichen Disziplinen wiederfindet, ist die Erzeugung der Skizze als Strichzeichnung. Auch wenn durch Schraffur ein flächiger Dichtegradient erzeugt wird, durch welchen Schattierungen dargestellt werden können, bleibt die Skizze im Gegensatz zu einem Gemälde oder einem fotografischen Abbild eine Komposition aus Strichen.

Neben den verschiedenen Stilrichtungen und Einsatzzwecken in den unterschiedlichen Disziplinen der Kunst, Architektur und Technik können Strichzeichnungen nach der in ihnen enthaltenen Informationsdichte eingeteilt werden (Abbildung 32).

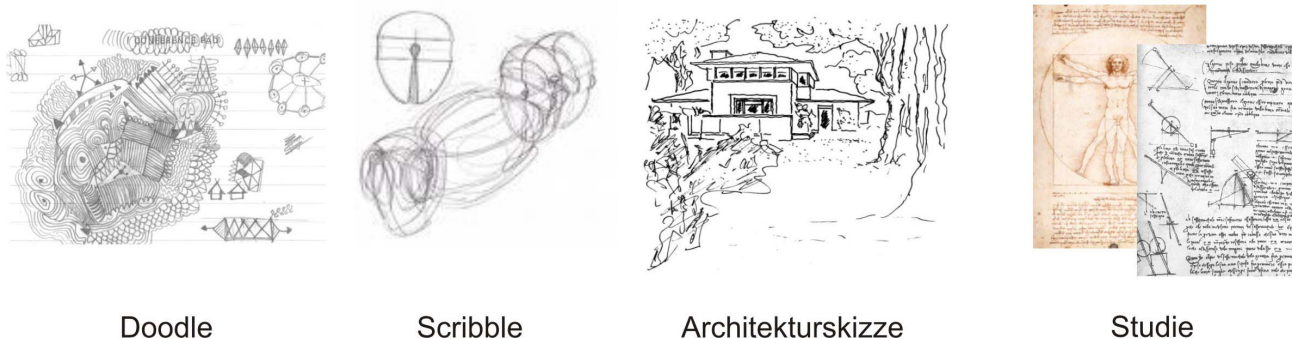


Abbildung 32: Strichzeichnungen

Nahezu informationsfrei ist das Doodle, auch Krakelei genannt, das oft ohne Intention und unbewusst im Rahmen einer Nebenbeschäftigung hergestellt wird. Das Scribble, eine flüchtig erstellte Zeichnung, die der Formfindung dient, beinhaltet bereits Informationen über die Gestalt des dargestellten Objekts. Eine Architekturskizze – oder auch Bauzeichnung – dient dem Entwurf, weist Eigenschaften wie Reduktion und Abstraktion auf und verwendet konventionelle Stilmittel, wie z. B. die Perspektive, um mehrere Objekte und ihre Relation zueinander darzustellen. Die Studie als eine Bezeichnung für Skizze in den bildenden Künsten verwendet neben bildlichen Darstellungen auch Text, um visuell nicht zu vermittelnde Inhalte zu erläutern /ROBI92/.

5.2 Technische Darstellungen des Prinzips

Die Richtlinie VDI 2222 Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien /VDI97/ nennt als mögliche Darstellungsformen eines technischen Prinzips:

- Weitgehend standardisierte symbolhafte Skizzen, z. B. in der Getriebetechnik
- Völlig freie Strichskizzen als Abstraktion realer Gebilde
- 3D-Freihandskizzen
- Unmaßstäbliche Grobentwürfe, z. B. auch unter Einsatz von vergrößerten oder verkleinerten Anteilen vorhandener Zeichnungen
- In vorhandene Zeichnungen eingetragene Änderungen (mit und ohne CAD)

Die hier genannten Eigenschaften werden im Folgenden im Einzelnen aufgeführt, um die verwendeten Stilmittel und ihre Eignung zur Verdeutlichung technischer Sachverhalte zu erörtern. Ohne den Begriff der Skizze im Kontext der Konstruktionstechnik bisher präzise definiert zu haben, lassen sich Beispiele finden, in denen offensichtlich prinzipielle, d. h. noch nicht vollständig ausgearbeitete oder abstrahierte Lösungen dargestellt werden /BRED03, BROW05/.

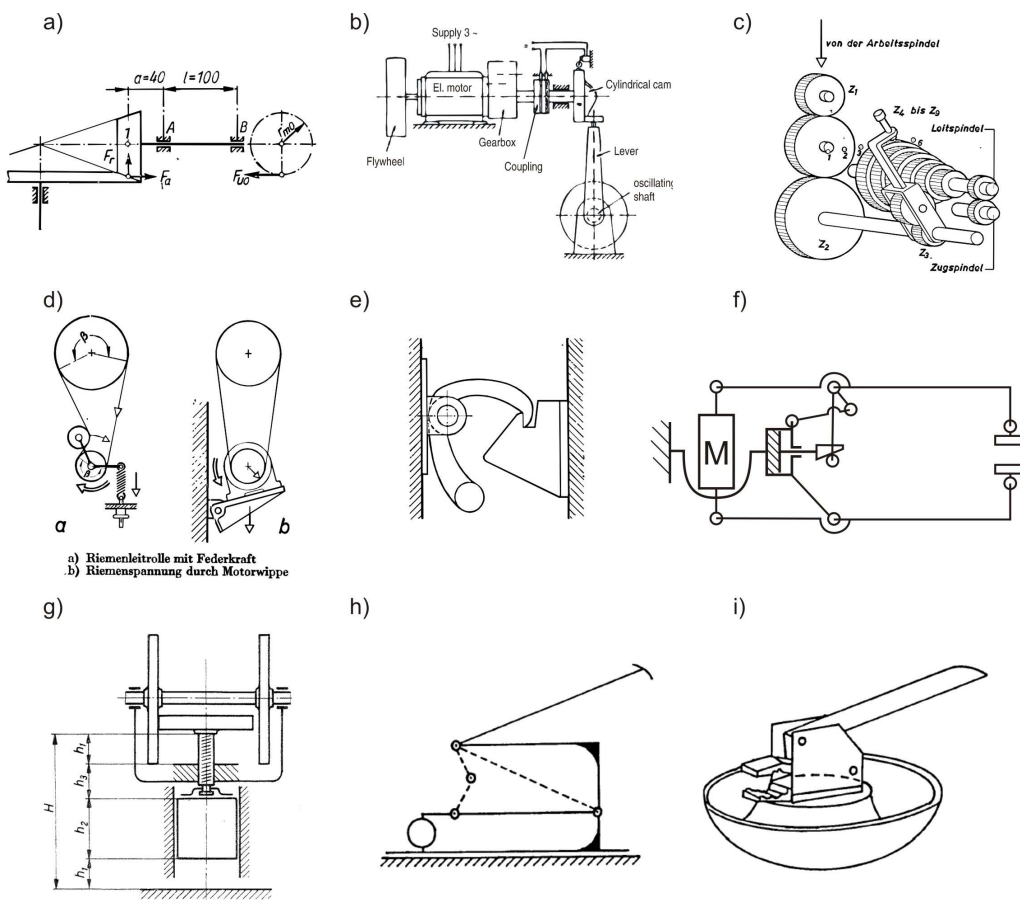


Abbildung 33: Beispiele zur Darstellung des Prinzips

Anhand der in Abbildung 33 aufgeführten Beispiele lassen sich Gemeinsamkeiten und unterscheidende Merkmale identifizieren, nach denen sie kategorisiert werden können.

Technische Darstellungen von prinzipiellen Sachverhalten weisen immer einen abstrakten Charakter auf. Sie verdeutlichen den gegebenen Sachverhalt einerseits durch Weglassen nicht relevanter Details sowie nur ausschnittweiser Darstellung und andererseits durch Abstraktion. Durch diese Weglassung und dieses Vereinfachen wird offensichtlich, dass sie nie vollständige Informationen über den gegebenen Sachverhalt liefern, sondern nur einzelne Aspekte betonen.

Die augenfälligste Gemeinsamkeit ist die, dass alle Darstellungen Strichzeichnungen sind. Alle Elemente, seien es Symbole, Gestaltmerkmale oder Begleittexte, sind durch Striche und nicht durch flächigen Farbauftrag dargestellt. Flächige Texturierungen werden durch Schraffuren oder durch Ausfüllen einzelner Bereiche bewirkt. Eine weitere Gemeinsamkeit besteht darin, dass nicht nur Objekte dargestellt, sondern diverse Symbole und Wörter zur Veranschaulichung und Erklärung des abgebildeten Sachverhalts verwendet werden.

Ein bedeutsames Unterscheidungsmerkmal ist die Darstellung räumlicher Ausdehnung durch die Wahl der Perspektive. Die meisten Darstellungen sind zweidimensional. Perspektivische Darstellungen bedienen sich, sowohl bei prinzipiellen als auch gestaltlichen Aspekten, einfach anzufertigender Perspektivearten, d. h. Parallelprojektionen, wie der isometrischen Kavaliersperspektive (Abbildung 34). Die handwerklich schwieriger anzufertigenden Zentralperspektiven mit ein bis drei Fluchtpunkten sind in technischen Prinzipdarstellungen selten anzutreffen.

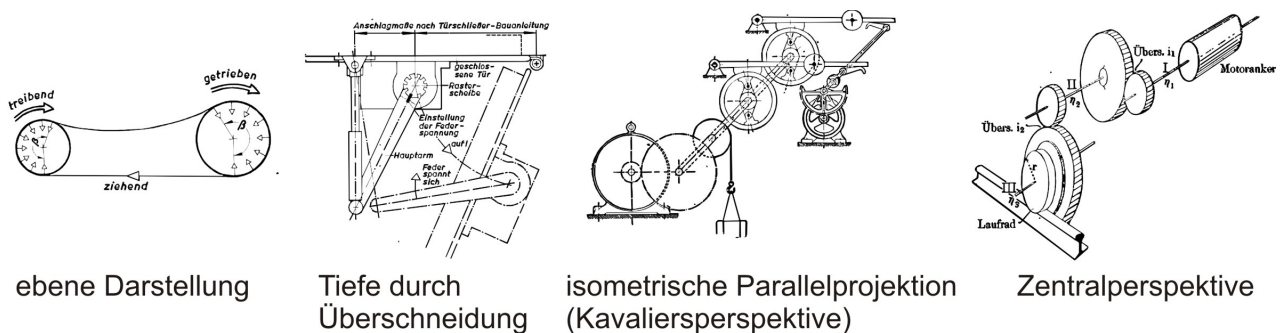


Abbildung 34: Darstellung räumlicher Tiefe

In Bezug auf Perspektiven kann danach unterschieden werden, ob die räumliche Tiefe für den dargestellten Sachverhalt eine Rolle spielt oder ob es sich nur um ein ebenes Problem handelt. Im ersten Fall muss räumliche Tiefe nicht durch eine Zentralperspektive, sondern kann auch durch gegenseitige Überdeckung von Objekten in einer zweidimensionalen Ansicht ausgedrückt werden.

Das Stilmittel der atmosphärischen Perspektive, bei dem entfernte Objekte kontrastärmer und heller dargestellt werden, wird in Darstellungen des technischen Prinzips nicht verwendet und bleibt solchen mit flächigem Farbauftrag vorbehalten.

Eine heutzutage wenig gebräuchliche Form stellt die Bedeutungsperspektive dar, die bereits in der altägyptischen Kunst und deren Anwendung bis in die Spätgotik zu finden ist. Mit der Entdeckung der Gesetzmäßigkeiten von Perspektive und Raum in der Renaissance hat die Verwendung der Bedeutungsperspektive, von Ausnahmen wie dem Gebiet der Ikonenmalerei abgesehen, an Bedeutung verloren. Ihre Ausdrucksweise besteht darin, bedeutungsvolle Einheiten im Bild anders darzustellen als weniger bedeutsame. Vornehmlich wirkt sich dies auf dargestellte Personen aus, die je nach Status unterschiedlich groß gemalt werden.

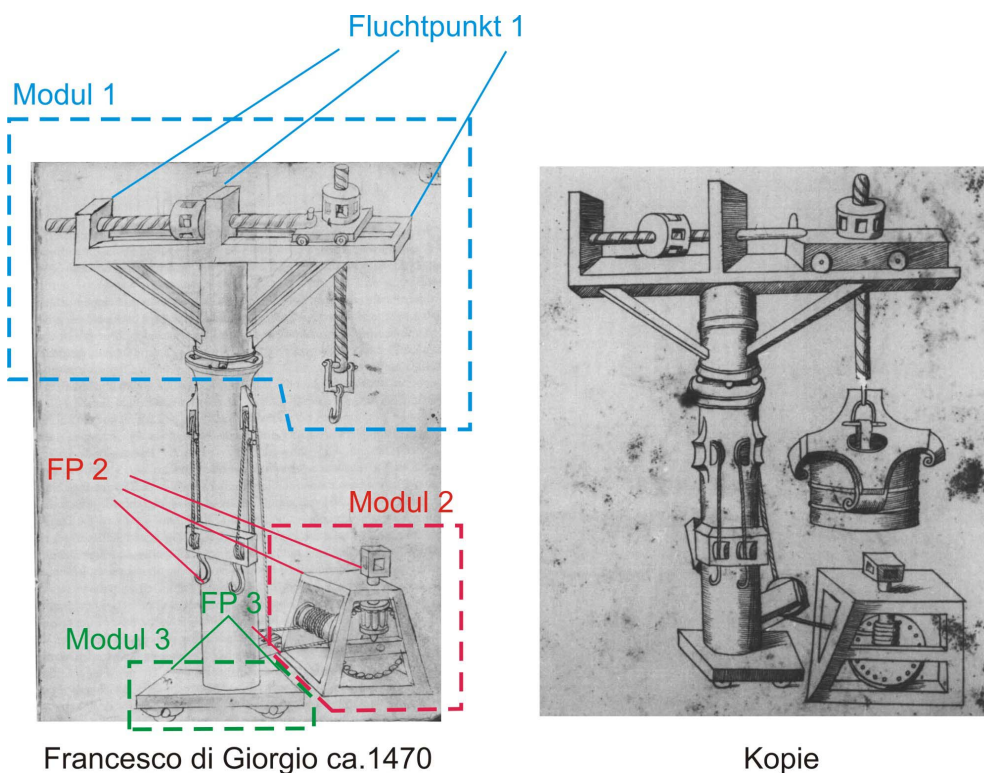


Abbildung 35: Bedeutungsperspektive /FERG92/

Es finden sich aber auch interessante Beispiele für Darstellungen technischer Gebilde, denen durch entsprechende Wahl der Perspektive eine zusätzliche Bedeutungsebene verliehen wird. Die heutzutage ungewohnte Verwendung der Perspektive in der Zeichnung eines Hebezeugs von Francesco di Giorgio (Abbildung 35) ist nicht zwingend als fehlerhaft einzustufen, wie dies in ihrer Kopie zweifellos der Fall ist. Die Perspektivenwahl hebt die Zusammengehörigkeit einzelner Elemente zu Modulen hervor, wobei jedes Modul mit einer eigenen Perspektive von einer vorteilhaften Seite gezeigt wird. Di Giorgio schafft es dadurch, in einer einzigen Ansicht alle relevanten Gestaltungsmerkmale seiner Lösung zu kommunizieren, und erzielt auf diese Weise eine hohe Informationsdichte.

Technische Darstellungen des Prinzips können neben der Art der Perspektive auch nach dem Grad der Abstraktion eingeteilt werden. Die Abstufungsmöglichkeiten reichen dabei von rein symbolischen bis hin zu gestaltlichen Darstellungen, wobei mehrere dieser Stufen auch innerhalb ein und derselben Darstellung vorkommen können. Abbildung 36 zeigt Funktions-, Prinzip- und Gestaltdarstellungen von Beispielen aus den technischen Disziplinen der Fluidtechnik, Elektrotechnik und Mechanik.

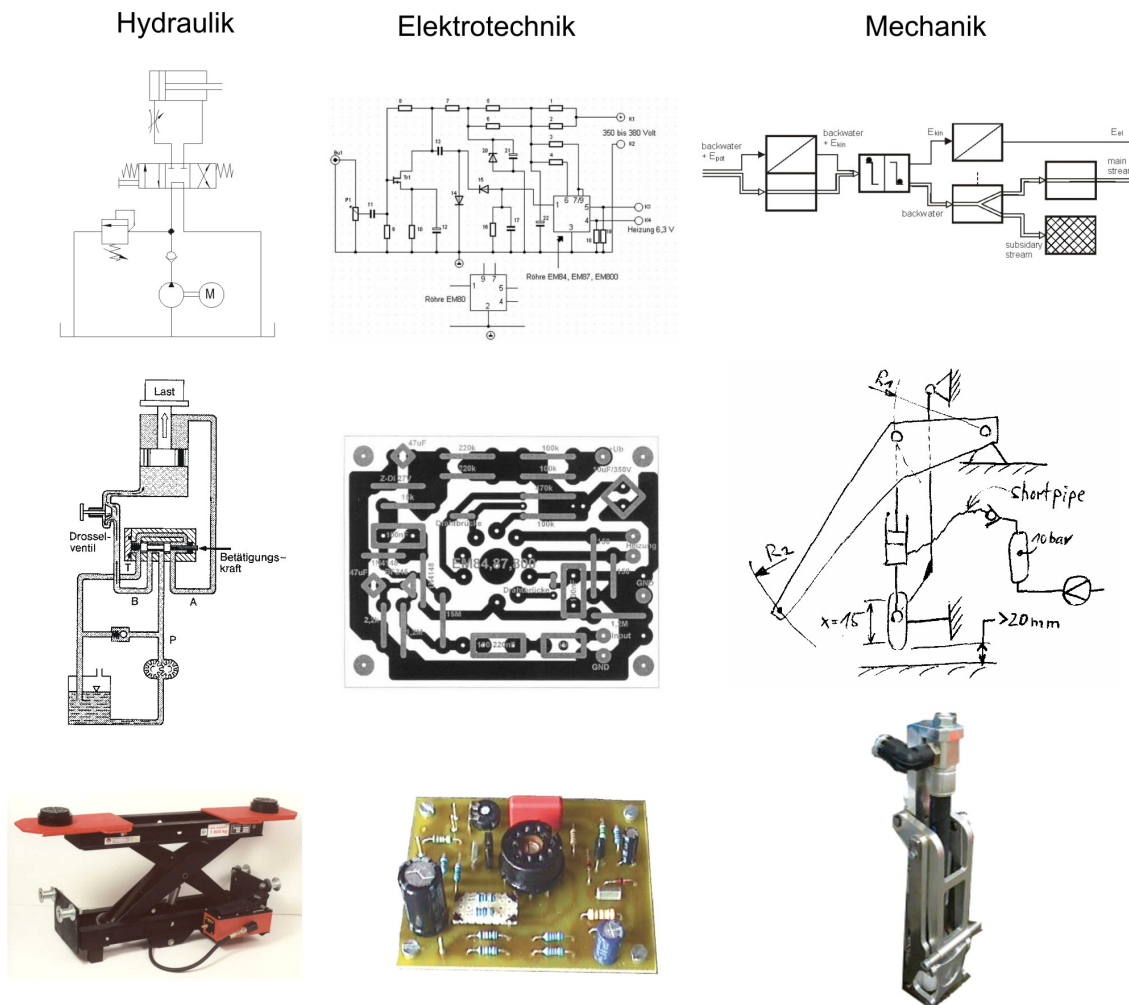


Abbildung 36: Konzeptdarstellungen technischer Disziplinen

Auf der Ebene der Funktionsstruktur bzw. dem Schaltplan finden sich in allen drei Disziplinen Konventionen über die Verwendung von Symbolen. Dies ist deshalb möglich, da die Anzahl der denkbaren Funktionen und Bauteile (nicht deren Kombinationsmöglichkeiten) auf dieser höchsten Abstraktionsstufe begrenzt ist. Die Konventionen werden in Normen über grafische Symbole und Sinnbilder sowie Richtlinien zu deren Anwendung festgehalten /DIN03b, DIN98, DIN07, DIN78, DIN79, DIN97/.

Es existiert eine Reihe technisch relevanter Informationen, die sich nicht auf räumliche Begebenheiten wie Gestalt oder Baustruktur beziehen. Diese Informationen werden durch Wörter, mathematische Formeln, Tabellen oder Nomo- bzw. Diagramme dargestellt und kommuniziert. Sie bestimmen Gesetzmäßigkeiten und Anforderungen, die zusätzlich in Skizzen eingefügt werden können. Für eine detaillierte Betrachtung über die zugrunde liegenden Vorgehensweisen sei auf die weiterführende Literatur verwiesen /BERT74, TUFT90, TUFT97/

5.3 Technische Zeichnung

Neben Prinzipdarstellungen muss in technischen Disziplinen auch die Gestalt von Bauteilen und -gruppen dargestellt und kommuniziert werden können. Für diesen Einsatzzweck sind die Darstellungsart der technischen Zeichnung und die technische Illustration entwickelt worden.

Der Zweck einer technischen Zeichnung besteht in einer präzisen und eindeutigen Dokumentation von technischen Gebilden für die spätere Verwendung, vornehmlich im Rahmen der Fertigung /DIN99, VDI06a/. Um dies zu erreichen, muss die Sprache einer technischen Zeichnung absolut eindeutig und die dargestellten Informationen müssen vollständig und allumfassend sein. Diese Forderung erklären die notwendige hohe Standardisierung der Bildsprache, die in der Norm DIN ISO 128 Technische Zeichnungen /DIN03/ festgelegt ist. Als Beispiel sei die präzise definierte Verwendung von Strichstärken genannt, bei der z. B. dicke Volllinien für Körperkanten, dünne Strichlinien für unsichtbare Körperkanten und Strichpunktlinien für Mittellinien oder Symmetrieachsen stehen. Diese eindeutig festgelegte Sprache bewirkt, dass technische Zeichnungen eine hohe Informationsdichte aufweisen, führt jedoch auch dazu, dass diese nur von entsprechend ausgebildeten Personen gelesen werden können.

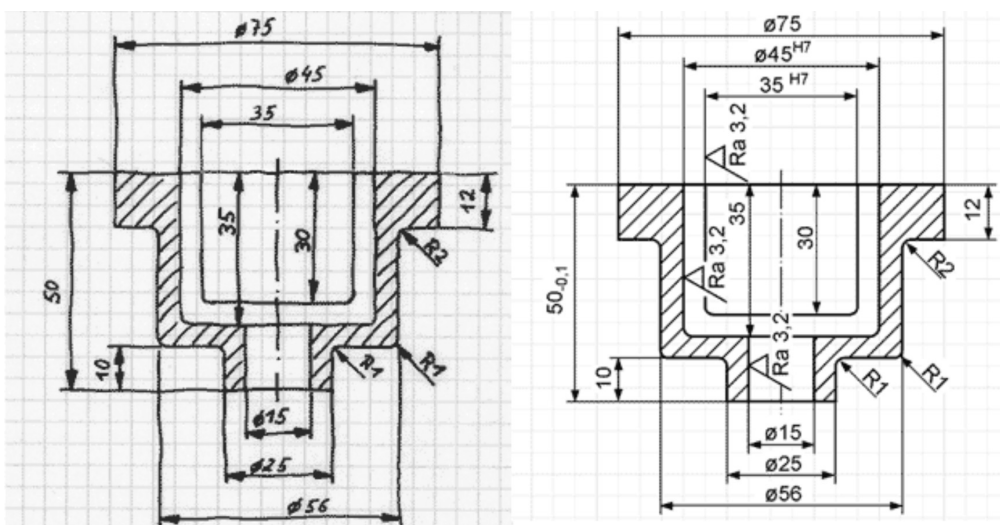


Abbildung 37: Vorentwurf und technische Zeichnung /VIEB93/

Die Bezeichnung „Vorentwurf“ wird von Viebahn /VIEB93/ synonym für „Skizzen“ verwendet und lässt sich darauf zurückführen, dass Vorentwürfe ebenfalls händisch erstellte Strichzeichnungen sind (Abbildung 37). Sie weisen jedoch Eigenschaften der technischen Zeichnung auf, was sie von Skizzen unterscheidet. Bei diesen handelt es sich um die Darstellung reiner Gestalt, die bereits quantitativ festgelegt ist, und die Verwendung derselben Stilmittel und Konventionen, wie sie in technischen Zeichnungen zu finden sind. Im Grunde stellt ein vollständig ausgeführter Vorentwurf bereits eine technische Zeichnung dar und muss daher von der Skizze unterschieden werden.

Ferguson /FERG92/ weist auf den Einsatzzweck von Skizzen in der Technik als einen weiteren klassifizierenden Unterschied hin. Auch er nennt die Klasse des Vorentwurfs und unterscheidet diesen von der Denkskizze und der sprechenden Skizze (Abbildung 38).

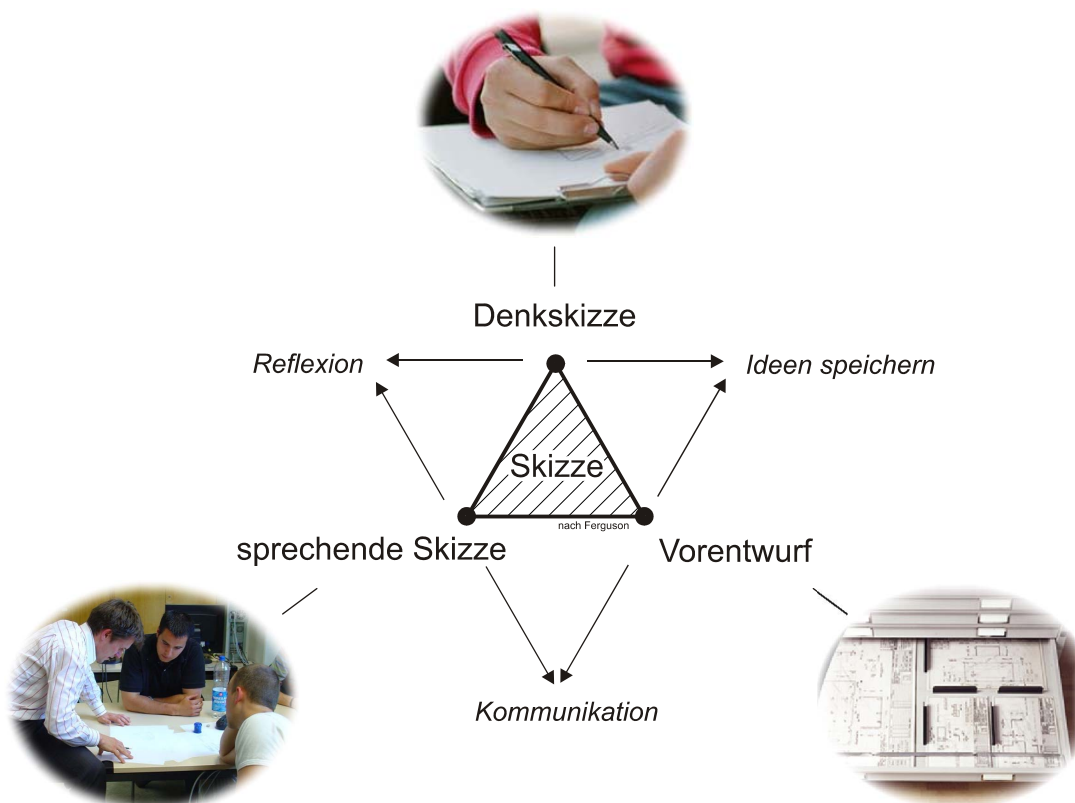


Abbildung 38: Einsatzzweck von Skizzen

Die Denkskizze wird vom Autor im Selbstdialog erstellt. Sie externalisiert nichtverbale Konzepte und fixiert flüchtige Gedanken, weshalb sie einerseits zum Speichern von Ideen und andererseits zur Reflexion unfertiger Gedanken verwendet wird. Die sprechende Skizze hingegen wird zur Kommunikation eingesetzt. Sie bedarf grundsätzlich einer Erläuterung und hat situativen Charakter, so dass ihre Aussage nach Beenden der Kommunikationssituation hinfällig wird. Der Vorentwurf enthält mehr Details als die Denk- und die sprechende Skizze, ist oft maßhaltig und stellt damit eine Vorstufe zur technischen Zeichnung dar. Seine Hauptaufgabe besteht im

Speichern von Wissen, wodurch er eine langfristige Kommunikation mit unbestimmten Empfängern ermöglicht.

Die Verwendung von Skizzen zur direkten zwischenmenschlichen Kommunikation von technischen Sachverhalten wird von Richter betont /RICH87, JUNG92/. Richter entwickelt ein Skizzierverfahren, das auf der Verwendung von händisch erstellten, explizit nicht maßstäblichen, aber gestaltlichen Darstellungen beruht (Abbildung 39). Das Ziel dieses Verfahrens besteht unter anderem darin, durch eine schnelle und sichere Kommunikation Missverständnisse hinsichtlich der konstruktiv erreichbaren Ziele zu vermeiden.

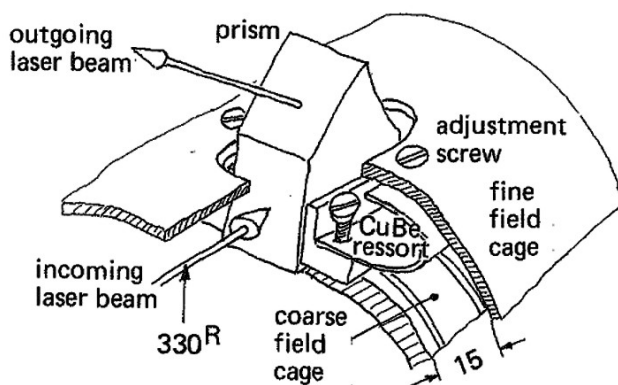
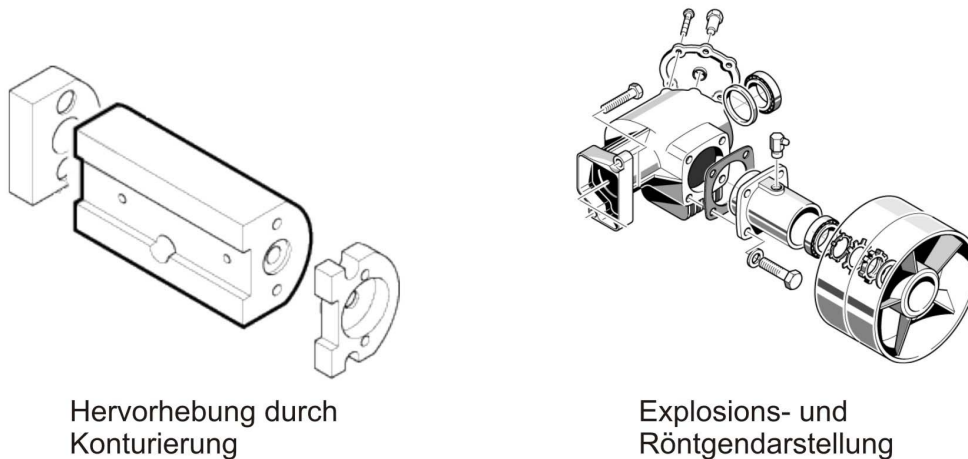


Abbildung 39: Nichtmaßstäbliche, gestaltliche Skizze /JUNG92/

Richter empfiehlt, bei der Anfertigung der Skizzen eine gleichmäßige Informationsdichte anzustreben, was durch „sinnvolle Verzerrung“ erreicht werden soll. Dieses Stilmittel kann als eine Art der Bedeutungsperspektive verstanden werden, bei der zugunsten der Übersichtlichkeit auf die Information über die maßstäbliche Proportion verzichtet wird.

5.4 Technische Illustration

Die technische Illustration unterscheidet sich von der technischen Zeichnung insbesondere im Hinblick auf den Zweck, dem die Darstellung dient. Technische Illustrationen werden zum Erklären bereits bestehender Sachverhalte herangezogen, indem einzelne Attribute eines Objekts hervorgehoben werden, auch wenn dafür andere Informationen unterdrückt oder weggelassen werden müssen. Häufig wird der Kontext des darzustellenden Objekts ansatzweise gezeigt. Technische Illustrationen verwenden Stilmittel, wie beispielsweise Strichstärken, anders als technische Zeichnungen, indem hier die Linienstärken zur Kontrasterzeugung und nicht zur Klassifizierung von Objektattributen genutzt werden /DUFF04/. Die Verwendung solcher Stilmittel ist nicht in demselben Maße durch Konventionen, wie Normen und Richtlinien, festgelegt und obliegt teilweise dem persönlichen Empfinden des Autors.



Hervorhebung durch
Konturierung

Explosions- und
Röntgendarstellung

Abbildung 40: Stilmittel der technischen Illustration /ITED07/

Die Darstellungsarten von technischen Illustrationen werden selten in der Konzeptphase vorgefunden, da ihre Erstellung zu aufwendig ist. So ist beispielsweise die Erzeugung von Explosions- und Röntgen-Darstellungen (Abbildung 40) sehr zeitaufwendig und damit hinsichtlich des situativen Gebrauchs zur Kommunikation oder der Kreation von neuen Ideen ungeeignet.

5.5 Definition Prinziplösungsskizze

Fasst man die Erkenntnisse der vorangegangenen Kapitel zusammen, so ergibt sich ein heterogenes Bild, was die allgemeine Verwendung von Skizzen betrifft. Für den Bereich der Konstruktion lassen sich jedoch Gemeinsamkeiten ableiten, die in folgender Definition verdichtet werden:

Definition

Eine Prinziplösungsskizze ist eine einfach zu erstellende Strichzeichnung zur Repräsentation einzelner Aspekte eines teilgestalteten technischen Konzepts.

Im Folgenden werden die dieser Definition gemäß wesentlichen Eigenschaften einer Prinziplösungsskizze beleuchtet:

„Einfach zu erstellen“ bedeutet, dass die Stil- und Herstellungsmittel eine niedrige kognitive Belastung beim Autor erzeugen, vergleichbar der Strategie der kognitiven Ökonomie zur Reduzierung der beanspruchten Mentalkapazität bei Entwicklungstätigkeiten, wie sie von Hacker beschrieben wird /HACK02/. Eine möglichst niedrige kognitive Belastung beim Skizzieren ist essenziell, um ausreichend Ressourcen für eine kreative Lösungsfindung oder situative Kommunikation bereitzustellen.

Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Wahl der Hilfsmittel zur Erstellung der Skizzen zu: Einfache Herstellungsmittel sind Medien, deren Umgang intuitiv ist und keinen Konventionen

folgen muss, wie dies bspw. bei der Verwendung von Stift und Papier oder Tafel und Kreide der Fall ist.

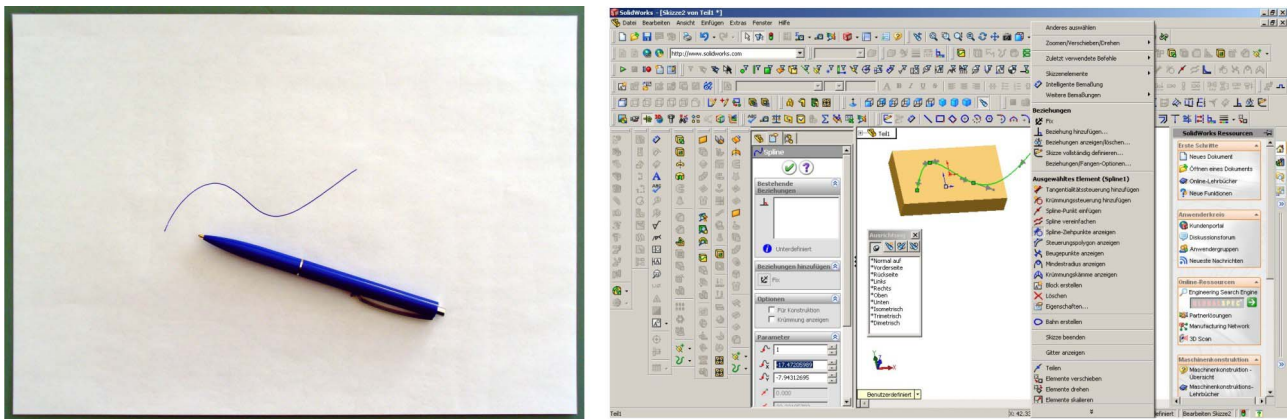


Abbildung 41: Kognitive Belastung aufgrund des verwendeten Mediums

Je mehr Aufmerksamkeit für die Bedienung der Medien bzw. zum Erlernen des Umgangs mit ihnen aufgewendet werden muss, desto weniger Kapazität steht dem Autor zur Verarbeitung des eigentlichen Vorgangs des Externalisierens eines Gedankens zur Verfügung. Abbildung 41 stellt zwei Möglichkeiten, einen Spline zu skizzieren, gegenüber. Während beim Gebrauch von Stift und Papier alle Handlungsoptionen offensichtlich und überschaubar sind, verstecken sich die möglichen Befehle bei der Verwendung eines CAD-Programms in diversen Menüeinträgen. Nicht alle der 421 in diesem Beispiel eingeblendeten Schaltflächen werden im Rahmen der Bearbeitung eines Splines benötigt – 158 sind in dem gegebenen Kontext inaktiv und nur 21 werden von dem Programm zur direkten Anwendung im Kontextmenü vorgeschlagen. Norman /NORM93/ beschreibt diese Zusammenhänge als versteckte Komplexität, welche eine Reflexion des Benutzers voraussetzt und damit nur für vergleichende und analysierende, nicht aber für kreierende Tätigkeiten zu empfehlen ist.

„Strichzeichnung“: Die vorangegangenen Überlegungen gelten auch für die verwendeten Stilmittel. Die Darstellung räumlicher Gegenstände erfordert nicht zwingend gestalterisch anspruchsvolle Stilmittel wie die Zentralperspektive oder eine Schattierung. Ebenso ist die Verwendung von Farbe und Texturierung nur ein optionales Hervorhebungsmittel und nicht zwingend erforderlich, um die Aussage eines technischen Prinzips zu codieren. Eine Ausweitung auf technisch aufwendigere und potenziell ausdrucksstärkere Hilfsmittel wie z. B. Farbe, Animationen oder dreidimensionale virtuelle Darstellungen kann, muss aber nicht erfolgen.

„Einzelne Aspekte“ hebt die Unvollständigkeit von Prinzipiellösungsskizzen hervor, da diese sich darauf beschränken, das zur Erläuterung eines Gedankens Notwendige darzustellen. Mit dieser Unvollständigkeit geht eine Mehrdeutigkeit einher, die durchaus gewollt sein kann, um in dem kreativen Prozess der Lösungsfindung nur die bereits fertiggedachten Ideen festlegen zu müssen.

„Teilgestaltet“ beschreibt den Grad der Fertigstellung der Lösung, der, lediglich mit den qualitativen Gestaltparametern des Wirkorts, graduell von der Prinziplösung in die fertige Gestalt des Bauteils oder der Baugruppe überführt wird. Dabei werden die Gestaltelemente und die Gestaltstruktur einzelner oder mehrerer Teile stückweise konkretisiert, bis die Lösung ausreichend beschrieben ist, wobei die Vollständigkeit der Darstellung im Gegensatz zur technischen Zeichnung nicht vorgeschrieben ist.

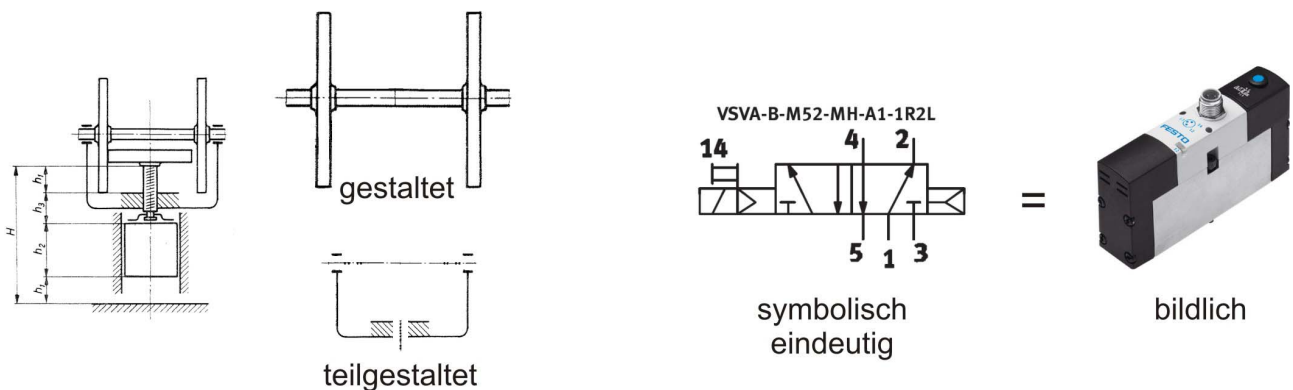


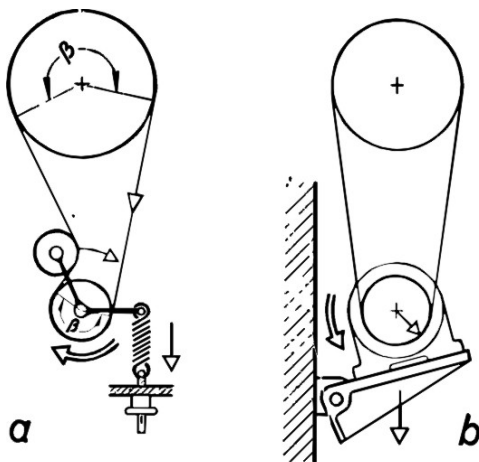
Abbildung 42: teilgestaltete und symbolisch eindeutige Darstellung

Mit dem Term „teilgestaltet“ ist nicht der Abstraktionsgrad der Darstellung einer Prinziplösungsskizze gemeint. Dieser ist unabhängig von der Fertigstellung der Gestalt des repräsentierten technischen Objekts. So kann durchaus eine symbolisch abstrakte Darstellung eine vollkommen eindeutig beschriebene Lösung repräsentieren (Abbildung 42). Es besteht zudem die Möglichkeit, durch die Wahl eines hohen Abstraktionsgrades eine gewollte Mehrdeutigkeit zu erreichen, um wie durch eine beabsichtigte Unvollständigkeit die zu früh erfolgte Festlegung auf eine spezifische Lösung zu vermeiden.

6 Semiotische Analyse von Prinziplösungskizzen

Das Ziel dieser Arbeit ist die Formulierung eines allgemein anwendbaren Vorgehens zur Gestaltsynthese. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden in den vorangegangenen Kapiteln die grundlegenden Begriffe der Semiotik erklärt, die Prinziplösung als Ausgangspunkt der Gestaltsynthese erörtert und der Begriff der Skizzen eingegrenzt und für den Geltungsbereich dieser Arbeit definiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Betrachtungen zusammengeführt, um eine präzise bildliche Ausdrucksweise als Grundlage für die Dokumentation in der Gestaltsynthese zu entwickeln.

Die in Kapitel 3.2 dargestellte Anwendung der Semiotik auf bildliche Darstellungen wird im Folgenden auf Prinziplösungskizzen übertragen. Dabei zeigt sich, dass sich durch die vorangegangene Definition der Prinziplösungsskizze im Vergleich zu beliebigen bildlichen Darstellungen einige Vereinfachungen ergeben, die eine semiotische Analyse erleichtern. Hilfreich sind hier die Beschränkung der Hilfsmittel auf Strichdarstellungen sowie der bekannte technische Kontext in dem Prinziplösungsskizzen verwendet werden.



- a) Riemenleitrolle mit Federkraft
- b) Riemenspannung durch Motorwippe

Abbildung 43: Prinziplösungskizze

Die Analyse wird anhand der Dekomposition einer beispielhaften Prinziplösungsskizze vorgenommen. Die in Abbildung 43 gezeigte Skizze stellt zwei Riemenantriebe gegenüber, die unterschiedliche Prinziplösungen zum Spannen des Riemen verwenden. Diese Beispielskizze wurde gewählt, da sie, wie im Verlauf der Analyse offenkundig wird, Eigenschaften unterschiedlicher Darstellungsarten des technischen Prinzips in sich vereint.

6.1 Syntaktik

Die Syntaktik beschäftigt sich mit den verwendeten Mitteln zur Kommunikation von Zeichen, d. h. der materiellen Seite des Zeichens. Dazu werden zunächst die Analyseebenen definiert und auf jeder dieser Ebenen werden mögliche Elemente identifiziert, aufgelistet und in Quali-, Sin- und Legizeichen eingeteilt. Es wird der Code, d. h. die Regeln, analysiert, nachdem größere Zeichenkomplexe gebildet werden.

Die Analyseebenen der bildlichen Darstellung lassen sich analog zur Sprachwissenschaft folgendermaßen definieren (Abbildung 44).

Schrift	Sprache	Bilder
Phonem	Laute	Wahrnehmungselemente (Texturierung)
Morphem	Lautgestalten	Figuren und Muster (Strukturierung)
Worte	Begriffe	abgebildete Gegenstände (Realisierung)
Texte	Aussagen	Bilder (Relativierung)

Abbildung 44: Analyseebenen der bildlichen Darstellung

6.1.1 Wahrnehmungselemente

Auf der Ebene der Wahrnehmungselemente finden sich aufgrund des Charakters einer Strichzeichnung nur drei Elemente: uni Weiß, uni Schwarz und schwarze Linien. Das Element uni Schwarz kommt in dieser Skizze allerdings nur in den Pfeilspitzen der linken oberen Riemenscheibe vor. Es ist offensichtlich, dass die Farbe Weiß dem Hintergrund, d. h. der Zeichenfläche, zuzuordnen und ebenso wie die hier verwendete Farbe Schwarz austauschbar ist, sofern zwischen beiden Farben genügend Kontrast besteht, der als Legizeichen definiert werden kann. Auf dieser untersten Analyseebene ergeben sich die in Abbildung 45 dargestellten Zeichen.



Abbildung 45: Wahrnehmungselemente

6.1.2 Figuren und Muster

Die Wahrnehmungselemente gruppieren sich auf der Ebene der Figuren und Muster zu den kleinsten sinntragenden Einheiten, analog den Morphemen in der Sprachwissenschaft. Da Prinziplösungs-skizzen per Definition Strichzeichnungen sind, müssen auf der Ebene der Figuren und Muster die Gesetze der Gestalttheorie angewendet werden.

Die Gestalttheorie definiert den Begriff „Gestalt“ als von der Umgebung abgehobene und zusammengehörige Wahrnehmungsinhalte. Die Gestalt ist eine transponierbare Einheit, d. h., sie bleibt bestehen, auch wenn sie durch verschiedenste Mittel ausgedrückt wird. Die Gestaltgesetze beschreiben, nach welchen Regeln menschliche Sinnesorgane Gestalt interpretieren (vgl. /KROE81/).

Es existieren folgende Gesetze:

- Gleichheit: Ähnliche Elemente werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- Nähe: Nahe beieinander liegende Elemente werden gruppiert.
- durchgehende Kurve (Prägnanz): Das Auge sucht nach einer möglichst einfachen Form.
- gemeinsames Schicksal: Elemente mit gleicher Bewegung werden als zusammengehörig empfunden.
- Geschlossenheit (Konturgesetz): Linien, die eine Fläche umschließen werden eher als Einheit aufgefasst.
- Symmetrie: Symmetrische Elemente werden zusammengefasst.
- Erfahrung: Dinge von denen der Betrachter bereits weiß, dass sie zusammengehören, werden leichter als miteinander verbunden erkannt.

Das Gesetz der Erfahrung unterscheidet sich von den übrigen dadurch, dass es auf dem Wissen des Betrachters gründet und damit individuell ist. Dieses Gesetz bekommt in der Gegenstandsebene besonderes Gewicht.

Bei der Anwendung der Gestaltgesetze ist zu beachten, dass diese selten allein wirken. Auch auf dieser Analyseebene lassen sich wieder Quali-, Sin- und Legizeichen identifizieren (Abbildung 46).

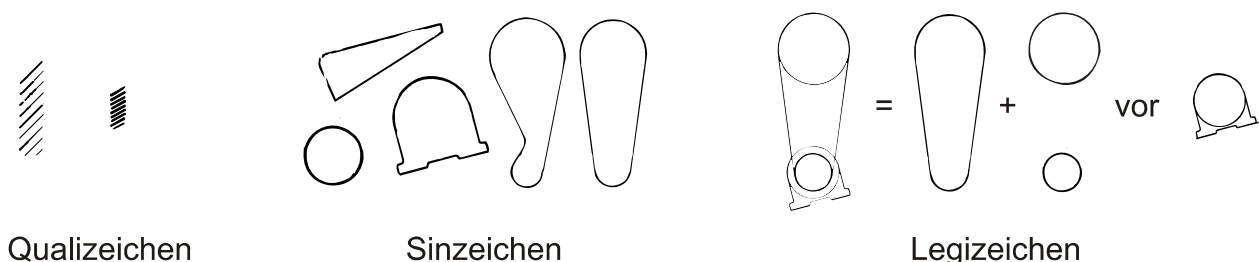


Abbildung 46: Figuren und Muster

Bei Qualizeichen auf der Ebene der Texturierung handelt es sich um Schraffuren, die gemäß dem Gesetz der Gleichheit und dem der Nähe als Einheiten erkannt werden. Speziell im Fall der vorliegenden Skizze ist es auf dieser Ebene noch irrelevant, was die Schraffur darstellt. Daher ist hier die Schraffur der Wand, gleichbedeutend mit den schraffurähnlichen Linien der Schraubenfeder, nur eine Art flächenfüllende Anordnung von Linien. Die Sinzeichen dieser Ebene

sind Formen, die sich meist aufgrund des Gestaltgesetzes der durchgehenden Kurve und der Geschlossenheit ergeben. Als Legizeichen fungiert die Perspektive, die im vorliegenden Fall durch Überlappung von Elementen ausgedrückt wird.

6.1.3 Gegenstandsebene

Ab der Gegenstandsebene werden aus der Menge der erkannten Wahrnehmungselemente sowie Figuren und Muster unter Einbeziehung des Betrachterwissens Gruppierungen gebildet, die Gegenstände beschreiben. Die bisher nur als kreisrunde Flächen identifizierten Elemente werden nun als rotierende Objekte eingestuft (Abbildung 47). Auch kann nun ein Bedeutungsunterschied in den Schraffuren erklärt werden.

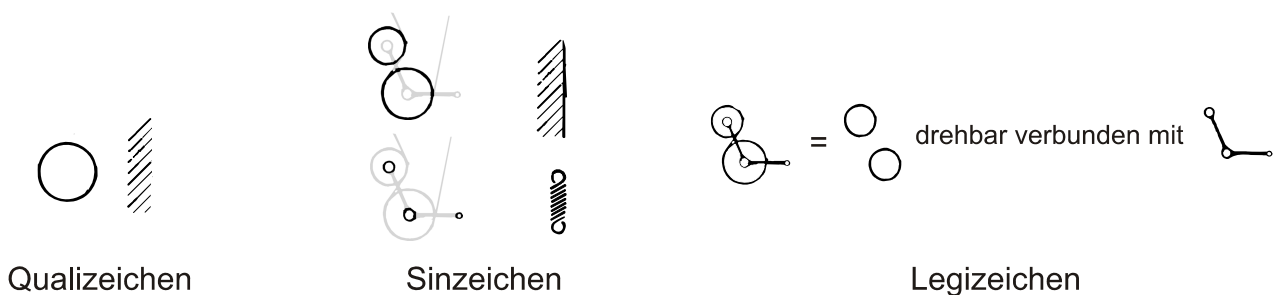


Abbildung 47: Gegenstände

Qualizeichen stellen in dieser Ebene Schraffuren und Umrisslinien dar, wie z. B. Kreise, die als Grundlage der Bildung von singulären Gegenstandsobjekten dienen, diese aber noch nicht selbst festlegen. Sinzeichen hingegen beschreiben einzelne Objekte. Je nach Anordnung und Ausführung können Kreise nun als Gegenstände, etwa als Riemenscheibe oder Achse, wahrgenommen werden. Der bisher nicht erkennbare Unterschied der Schraffuren löst sich nun auf. Die Schraffur der Wand ist flächig und läuft nach links hin aus, während die Schraffur der Zugfeder ein klar abgegrenztes Teil beschreibt. Legizeichen sind Beziehungen der einzelnen Objekte, die im Gegensatz zu den Regeln der tieferen Ebenen nicht auf Wahrnehmungseigenschaften beruhen. Hier kann die Eigenschaft der Rotation genannt werden, die den verschiedenen kreisförmigen Objekten gemein ist.

6.1.4 Bilder

Auf der Bildebene werden die dargestellten Objekte zueinander in Relation gesetzt und damit eine oder mehrere Aussagen getätigt (Abbildung 48).

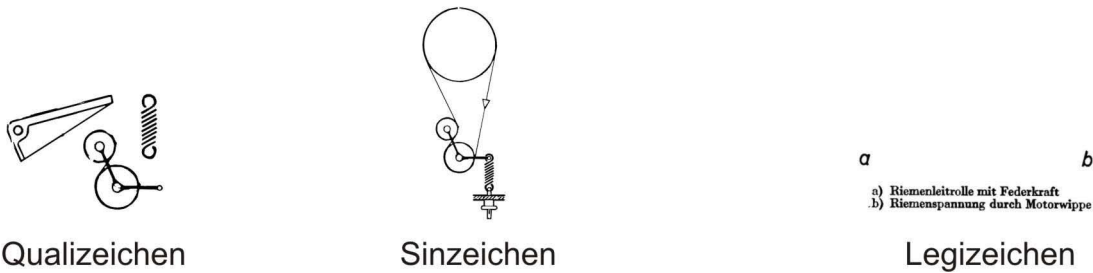


Abbildung 48: Bildebene

Die Objekte der Gegenstandsebene sind nun die Elemente, die zueinander in Beziehung gesetzt werden und dadurch Aussagen ermöglichen. Die einzelnen Elemente sind hier Qualizeichen, aus denen sich beliebige Gruppierungen, und damit Aussagen, ableiten lassen. Auf dieser Ebene stellen die Gruppierungen die Sinzeichen dar, die als ein einzelner Zusammenhang identifiziert werden können. Im vorliegenden Beispiel kann die Grundaussage des Bildes, das Gegenüberstellen zweier Ausführungen, abgeleitet werden, ohne die Bedeutung der dargestellten technischen Lösung zu betrachten. Die Oppositionsrelation wird durch Legizeichen, in diesem Fall die Aufzählungszeichen, verstärkt bzw. erläutert.

6.2 Semantik

Die Semantik, d. h. die Relation zwischen bezeichnetem Objekt und dem Mittel, kann in Bezug auf Prinziplösungs-skizzen weitgehend eingegrenzt werden, da der Zweck einer solchen als Externalisierung eines mentalen Modells bekannt ist. In der Verwendung einer Prinziplösungs-skizze als Repräsentation eines technischen Konzepts wird bereits deutlich, dass es sich um eine symbolische oder ikonische und nicht um eine indexalische Relation handelt.

Die beiden Extreme, zwischen denen sich Prinziplösungs-skizzen bewegen, sind auf der einen Seite symbolische Darstellungen, wie die Funktionsstruktur oder Schaltpläne, und auf der anderen Seite weitestgehend ikonische technische Zeichnungen. Diese enthalten, wie alle Darstellungen technischer Sachverhalte, symbolische Elemente, was im Fall der technischen Zeichnung an den Beschränkungen der verwendeten Medien liegt.

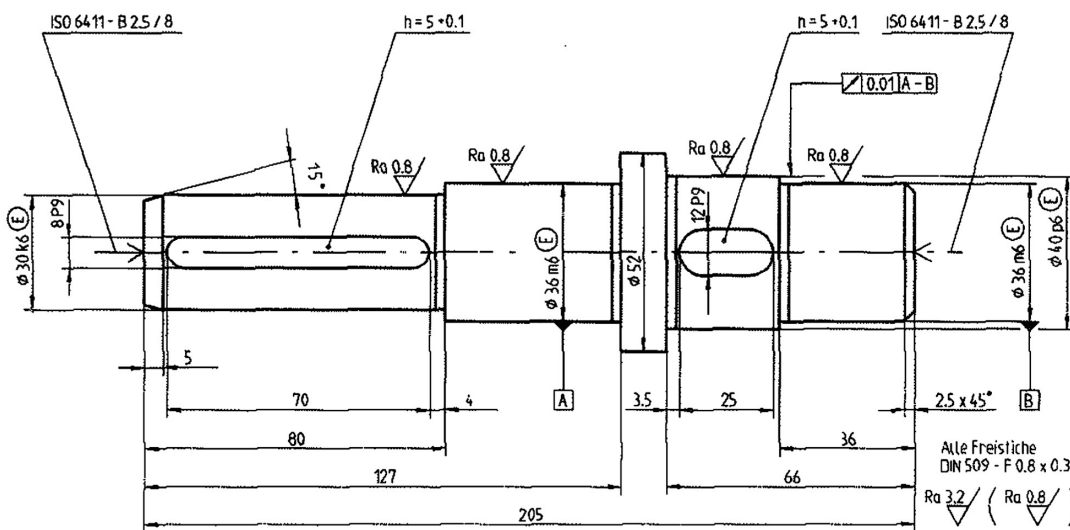


Abbildung 49: Symbolische und ikonische Elemente /HOIS03/

Alle Gestaltmerkmale, die sich nicht durch grafische Mittel sinnvoll ausdrücken lassen, werden in genormten Symbolen codiert (Abbildung 49). Dabei handelt es sich vornehmlich um Oberflächenangaben, Maß- sowie Form- und Lagetoleranzen, weil alle diese Gestaltmerkmale um Größenordnungen zu fein für eine ikonische Darstellung sind. Ebenso werden zugunsten der Übersichtlichkeit und einer effizienteren Zeichnungserstellung Vereinfachungen vorgenommen, indem auf ikonische Darstellungen von Gestaltelementen wie Zentrierbohrungen und Freistrichen verzichtet wird, da ihre Gestalt durch die Angaben der Zeichnungsnorm vollständig und eindeutig festgelegt ist. In einer maßstäblichen technischen Zeichnung wären die reinen Maßangaben ohne Toleranz im Prinzip nicht zwingend erforderlich, da die Inkonzistenz der Darstellung bereits die Dimension des dargestellten Körpers vermittelt. Diese vermeintliche Doppelkodierung der Dimension wird durch die Konvention vermieden, dass in technischen Zeichnungen nicht nachgemessen werden darf. Die ikonische Darstellung der Gestalt eines Bauteils dient daher nur der Kodierung der qualitativen Gestalt und nicht der exakten Festlegung von Werten.

Prinziplösungen, die einen weitgehend gestalteten Aspekt eines technischen Objekts beschreiben, verwenden oft Stil- und Ausdrucksmittel technischer Zeichnungen. Der Übergang zum Vorentwurf und letztendlich zur Zeichnung ist fließend. Die in Prinziplösungen verwendeten Symbole können aber auch aus anderen Bereichen der Technik entliehen werden oder selbstdefiniert sein, was die Gefahr birgt, die Konventionen der technischen Zeichnung zu kompromittieren – die Skizzen können missverständlich werden.

Prinziplösungsskizzen müssen aus semantischer Sicht den Übergang von einer abstrakten Lösungsstufe, die rein symbolisch beschrieben wird, zu der konkreten, ikonisch repräsentierten Gestalt abdecken können, um als Hilfsmittel zur Gestaltsynthese dienen zu können. Aus dieser

Anforderung und dem gegebenen technischen Kontext wird offensichtlich, dass zur Erstellung von Prinziplösungs-skizzen auf die Palette der konventionell festgelegten Symbole der Funktionssynthese und der Zeichnungsnormung sowie den Ausdrucksmitteln der ikonischen Repräsentationen des technischen Zeichnens zurückgegriffen wird. Dabei zeigt sich das Unvermögen der Ausdrucksmittel technischer Zeichnungen, funktionale Zusammenhänge zu verdeutlichen, was darin begründet liegt, dass für diese nicht festgelegt ist, wie eine Teilgestalt dargestellt werden kann. Selbstverständlich ist der funktionale Zusammenhang, der dem dargestellten Objekt innewohnt, in einer technischen Zeichnung ebenso implizit vorhanden, es mangelt ihr jedoch an stilistischen Möglichkeiten, das zugrunde liegende Prinzip zu betonen. Technische Zeichnungen kommunizieren ausschließlich das Ergebnis des Gestaltungsprozesses, keine Zwischenergebnisse.

Neben dem Gebrauch von Schriftzeichen ist die Verwendung von visuellen Symbolen zur Repräsentation von Objekten von jeher üblich, wenngleich die mit ihnen verbundenen Konventionen einem stetigen Wandel unterliegen /SHEP71, AICH77, DREY72/. Für die symbolische Darstellung technischer Objekte ist eine hohe Präzision und Eindeutigkeit der Aussage erforderlich, weshalb für einzelne Disziplinen, wie beispielsweise die Fluiden- oder Meerestechnik, strengere Konventionen in Form von Normen getroffen wurden /DIN78, DIN79, DIN97, DIN98, DIN03b, DIN07, WOLF99, ARNE63/. Allen diesen Konventionen ist gemeinsam, dass sie nur Symbole für ganze Objekte oder Teilprozesse festlegen, nicht aber die Gestalt eines Objekts aufbrechen und auf diese Weise einer schrittweisen Synthese zugänglich machen.

In der Getriebelehre werden Symbole zur Beschreibung der Kinematik verwendet /KERL07/. Die Kinematik als das Zusammenspiel mehrerer miteinander in Kontakt stehender starrer Körper erfordert zumindest die Darstellung der Gestaltstruktur dieser Teileverbände.

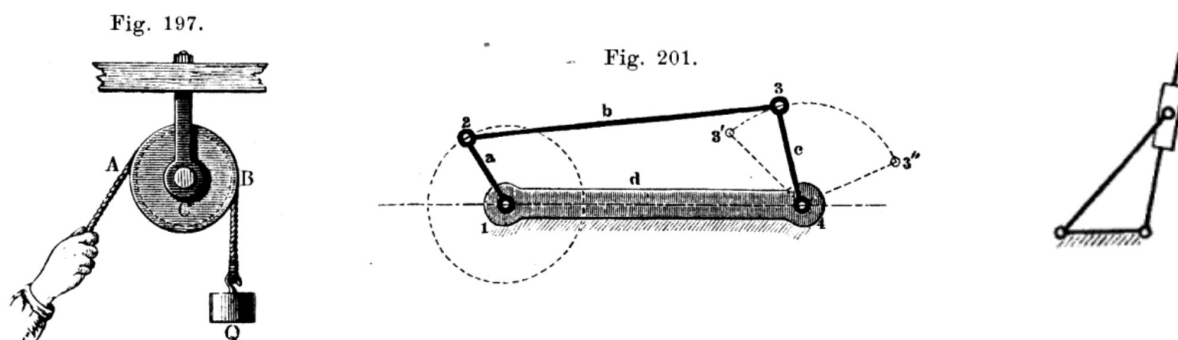


Abbildung 50: Frühe Darstellungen der Kinematik /REUL75/

Seit den Anfängen der Getriebelehre wurden, ausgehend von mathematischen Berechnungen, anhand von Modellen oder deren ikonischer Darstellungen kinematische Zusammenhänge dargestellt (Abbildung 50). Bereits Reuleaux /REUL75/ verwendet eine zum Teil symbolische

Bildsprache, die bis heute in ähnlicher Form in Gebrauch ist, bisher jedoch nicht präzise definiert wurde /VDI93b/ (Abbildung 51).

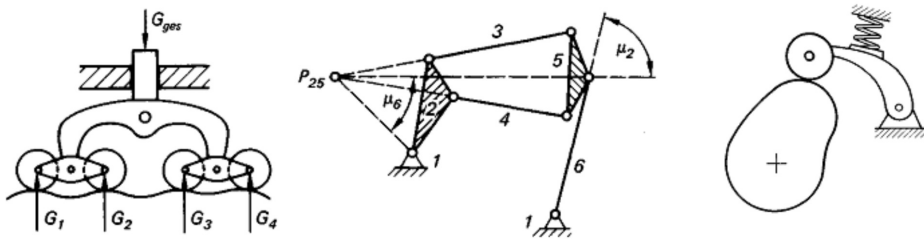


Abbildung 51: Darstellung von Kinematiken /VDI93b/

Diese Ungenauigkeit stellt in der Disziplin der Getriebetechnik aber keinen Mangel dar, da für den spezifischen Kontext der Kinematik nur die Struktur sowie ihre Dimensionierung und nicht die Gestaltung der einzelnen Bauteile von Belang ist.

Tjalve /TJAL79/ geht über die Strukturdarstellungen der Kinematik hinaus und definiert eine Symbolik, die auch gestaltliche Aspekte sowie einfache und in Prinziplösungsskizzen wiederkehrende mechanische Objekte definiert. Tjalves Symboldefinition (Abbildung 52) ist jedoch nicht vollständig und auch nicht eindeutig, da manche Symbole alternative Darstellungen aufweisen, während andere lediglich aus bereits festgelegten Symbolen zusammengesetzt sind. Dieser Umstand lässt sich damit erklären, dass es in Tjalves Werk nicht primär um die Symboldefinition geht.

Mechanical Symbols	SYMBOLS 3.2				
	1 Mechanical symbols	2 Hydraulic and pneumatic symbols	3 Electrical/electronics symbols	4 System symbols	5 Drafting conventions
Frame			Screw pair		Representation in space
Shaft, beam, bar, etc.			Follower pairs (examples)		
Bearings, turning pairs			Rigid link		
			Mass		
Ball and socket			Spring		
Sliding pair			Damper		

Abbildung 52: Mechanische Symbole /TJAL79/

Um die Bedeutung der Symbole für eine teilgestaltliche Darstellung definieren zu können, ist die Unterscheidung der Zeichenebenen hilfreich. Auf der untersten Ebene der Texturierung werden lediglich Wahrnehmungselemente unterschieden, denen analog zu Phonemen laut Definition keine Bedeutung zukommt.

Auf der Ebene der Figuren und Muster finden sich analog den Morphemen erste bedeutungstragende Elemente. Geht es um die Darstellung der reinen Gestalt, sind dies Linien, die auf zwei Arten verwendet werden: einerseits als strukturverbindende und andererseits als gestaltbegrenzende Linien (Abbildung 53).

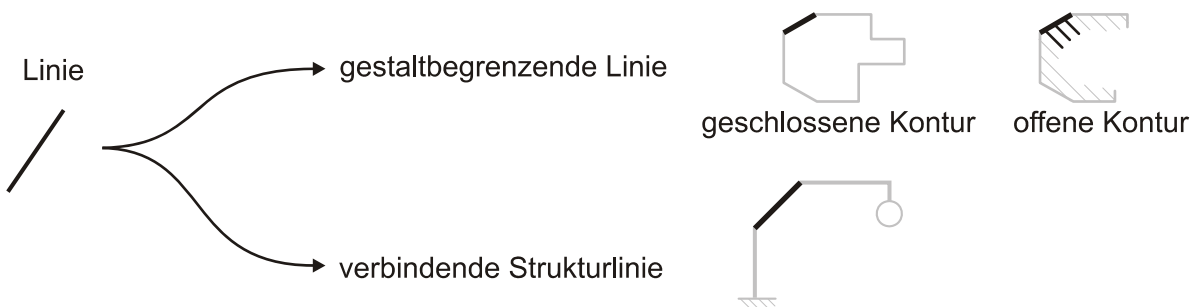


Abbildung 53: Bedeutung von Linien der Strukturierungsebene

Um gestaltbegrenzende Linien bei teilgestalteter, d. h. offener Gestalt von Strukturlinien unterscheiden zu können, wird auf der Innen- bzw. Materialseite eine Schraffur an die Linie angesetzt. Die von der Schraffur bedeckte Fläche beschreibt den Bereich, der bereits sicher als Innenraum festgelegt werden kann.

Die Gegenstandsebene ermöglicht die Definition ganzer Teile, Objekte und Gegenstände. Hier wird der Unterschied zwischen ikonischen und symbolischen Repräsentationen deutlich (Abbildung 54). Die überwiegende Zahl der Zeichen hat ikonischen Charakter, der sich darin äußert, dass die dargestellten Elemente einige Eigenschaften des repräsentierten Objekts beibehalten, während die symbolischen Elemente rein willkürlich festgelegt sind.



Abbildung 54: Ikonische und symbolische Elemente

Ohne Betrachtung des Kontexts kann die Unterscheidung zwischen ikonischen und symbolischen Elementen auf der Gegenstandsebene zu einem Informationsverlust oder zu Mehrdeutigkeiten führen. So kann aus der Darstellung der Feder in Abbildung 54 entnommen werden, dass diese eine Zug- und nicht eine Druckfeder sein soll. Ob jedoch die Länge, der Durchmesser oder die Windungsanzahl von Belang sind, kann ohne den Kontext oder einen direkten Vergleich mit einer weiteren Feder nicht bestimmt werden.

Die Bildebene setzt die einzelnen Elemente der Gegenstandsebene zueinander in Beziehung und tätigt damit eine oder mehrere Aussagen. Der grundlegende Bedeutungszusammenhang zum Verständnis und zur Synthese von Gestalt auf dieser Ebene ist das Funktionsmodell der Wirkflächen und Leitstützstrukturen, welches in Kap. 4.3 vorgestellt wurde. Dieses löst sich von der Idee einzelner Bauteile, die in Bauteilstrukturen zusammenwirken und ermöglicht damit die Betrachtung von Wirkzusammenhängen zu einem Zeitpunkt, zu dem noch keine vollständigen Teile vorhanden sind. Auch wenn im Verlauf der Gestaltung selbstverständlich vollständig gestaltete Bauteile entstehen müssen, so ermöglicht das Modell der WFP&LSS vorerst die gedankliche Flexibilität, um die Gestalt während der Synthese variieren zu können.

6.3 Pragmatik

Erst die gemeinsame Betrachtung von Syntaktik, Semantik und Pragmatik erlaubt es, die Gesamtheit eines Zeichens zu erfassen. Zur Festlegung der Grenze zwischen Denotation und Konnotation ist in der Pragmatik das Wissen um den Kontext, in dem der Zeichengebrauch stattfindet, unerlässlich. Ferguson /FERG92/ beschreibt drei Kontexte, in denen Prinziplösungs-skizzen verwendet werden (Abbildung 38). Ihnen ist gemein, dass zur eindeutigen

und effizienten Kommunikation des technischen Sachverhalts günstigerweise nur Aussagen mit denotativem Charakter verwendet werden, da Nebenbedeutungen zu unterschiedlichen Interpretationen des Sachverhalts und damit zu Missverständnissen führen können.

Zwei Gründe verursachen Mehrdeutigkeiten und Nebenbedeutungen in Skizzen: zum einen ein nicht übereinstimmender Kontext beim Codieren und Decodieren der Aussage und zum anderen die Unvollständigkeit der Skizze an sich.

Der erste Fall tritt bei der sprechenden Skizze und dem Vorentwurf ein, wenn Sender und Empfänger voneinander abweichende Konventionen verwenden, d. h. eine unterschiedliche Sprache sprechen. Diese Situation ist insofern kritisch, da beide Seiten der Meinung sind, die Aussage richtig verstanden zu haben, ohne zu merken, dass Differenzen bestehen.

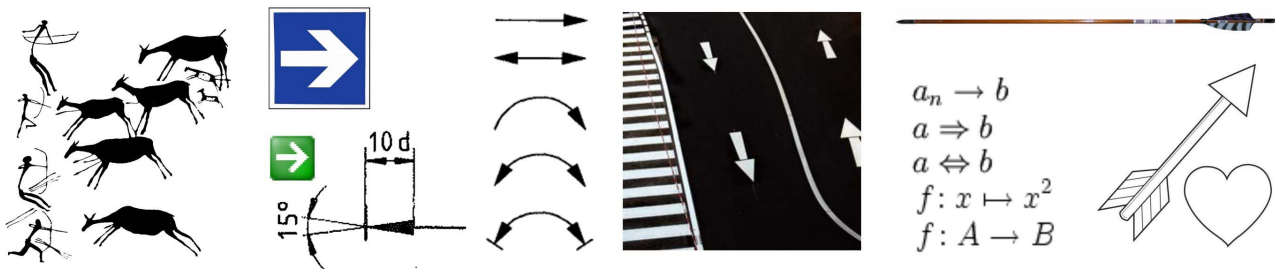


Abbildung 55: Semiotisch wandelbares Zeichen

Ein Beispiel für die Schwierigkeit der Festlegung einer präzisen Bedeutung ist die Verwendung des Pfeilsymbols (Abbildung 55). Der Pfeil als Zeichen erscheint nicht nur in Bildern, Texten und Formeln, sondern vermittelt auch zwischen diesen /SCHM03, AICH77/. Neben mannigfaltigen historischen Bedeutungen kann in Bezug auf technische Sachverhalte die ganz allgemeine Aussage gemacht werden, dass Pfeile dazu verwendet werden, auf ein Objekt hinzuweisen, eine gerichtete Beziehung zwischen zwei Objekten anzuzeigen, zu sequenzieren oder eine Bewegung anzudeuten. Die Präzisierung der Bedeutung kann nur unter Zuhilfenahme einer Legende, d. h. einer situativen Konvention, erfolgen. Fehlt diese, kann der Betrachter aus den verschiedenen Bedeutungen nur anhand des Kontexts die vermeintlich richtige auswählen, da in entsprechenden Normen /DIN98, DIN07, DIN03b, DIN02b, DIN02c/ zwar die Darstellung der Pfeile, aber nur ein Bruchteil der möglichen Verwendungsarten festlegt ist.

Das angesprochene Problem differenter Konventionen kommt bei Denkskizzen nicht vor, da hier Sender und Empfänger ein und dieselbe Person sind.

Der zweite Grund für die Entstehung von Konnotationen in einer Prinziplösungs-skizze ist in ihrer Unvollständigkeit zu suchen, d. h., wenn mehr in sie hinein interpretiert werden kann, als nachweisbar gezeichnet ist. Dieser Zustand stellt bei der sprechenden Skizze kein gravierendes Problem dar, da hier eine Rückkopplung von Sender und Empfänger besteht. Sobald der Sender meint, eine vollständige denotative Aussage gemacht zu haben, diese aber vom Empfänger nicht

verstanden wird, kann dieser seine Verständnisschwierigkeit signalisieren. Für den Vorentwurf, bei dem Sender und Empfänger zeitlich getrennt voneinander sind und somit keine Rückkopplung besteht, ist die Unvollständigkeit einer Prinziplösungskizze ein nicht zu lösendes Problem. Die Denkskizze hingegen profitiert von dem Zustand, dass die Unvollständigkeit zu einer Mehrdeutigkeit führt. Während der Synthese einer Lösung bilden die bisher fixierten Elemente die denotative Aussage, während all das, was noch nicht skizziert ist, potenziell möglich ist. Die Anzahl der möglichen Lösungsalternativen definiert den Raum der konnotativen Aussagen. Gerade bei der Synthese von neuen Lösungen ist diese Art der Unbestimmtheit der Kreativität förderlich /ADAM86/.

Zusammengefasst sind nun die Grundlagen zur Formulierung des Vorgehens zur schrittweisen Gestaltsynthese gegeben. Mit dem Elementemodell der Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen als mentales Modell für den Konstruktionsschritt von der Prinziplösung zur Gestalt und mit der Semiotik als Werkzeug zur Deutung der teils symbolischen und teils gestaltlichen Darstellungen in Prinziplösungskizzen kann jeder beliebig Zustand der Lösung bei der Gestaltung dokumentiert werden. Die Fähigkeit jeden Zwischenschritt erfassen zu können ist notwendige Voraussetzung für ein schrittweises Vorgehen, da durch Externalisieren und Fixieren das bisher Erreichte offenkundig gemacht wird und damit Kapazitäten zur weiterführenden Lösungsfindung geschaffen werden.

7 Schrittweise Gestaltsynthese

Die in diesem Kapitel entwickelte schrittweise Gestaltsynthese basiert auf der Idee, durch ein kleinschrittiges Vorgehen möglichst viel mentale Kapazität für das Synthetisieren der Gestalt zu nutzen. Die Voraussetzung hierfür ist die Fähigkeit, jeden noch so kleinen Gestaltungsschritt dokumentieren zu können, wozu die in den vorangegangenen Kapiteln eingeführten Begriffe und Sichtweisen Verwendung finden. Im Folgenden wird der Ansatz, die verwendeten Hilfsmittel sowie die Methodik selbst ausgeführt.

7.1 Ansatz

In der Literatur finden sich diverse Ansätze zur Erfassung des Prozesses der Gestaltsynthese. Grundsätzlich kann die Grenze zwischen Prinzip und Gestalt von Seiten der abstrakten Funktion oder von den konkreten Fertigungsmöglichkeiten her betrachtet werden, obgleich selbstverständlich bei jedem der Vorgehen beide Seiten, die Funktion und die Realisierbarkeit, berücksichtigt werden müssen.

Koller /KOLL94/ beschreibt den systematischen Weg, eine Aufgabenstellung auf abstrakter Ebene zu analysieren, um dann lösungsneutral eine Funktionsstruktur zu generieren. Die gewählten Funktionen werden in der Prinzipsynthese durch den physikalischen Effekt und den Effekträger verwirklicht. Erst nach diesem Schritt wird die Gestalt in der qualitativen und quantitativen Gestaltsynthese unter Berücksichtigung fertigungstechnischer Restriktionen entworfen.

Diametral zu dem Vorgehen Kollers beschreibt Hoenow /HOEN04/, sinngemäß auch Bode /BODE96/, ein Vorgehen, bei dem ausgehend von der fertigungstechnischen Umsetzung Gestaltelemente zu einer Lösung kombiniert werden, die eine vorgegebene Funktion ermöglicht.

Koller und Hoenow stellen bei ihrem Vorgehen das zu konstruierende Produkt in den Mittelpunkt der Betrachtung und definieren einen entsprechenden Prozess. Hacker /HACK02/ relativiert beide Ansätze, indem er den Konstrukteur und seine limitierenden kognitiven Ressourcen betont. Er zeigt, dass Menschen beim Konstruieren weder arbeitsschrittrein, d. h. gemäß den Schritten des Konstruktionsprozesses, noch teilaufgabenrein, d. h. im Sinne eines systematischen Bearbeitens der voneinander abgrenzbaren Teilprobleme, vorgehen. Hacker beschreibt die Entwicklungstätigkeit als ein opportunistisches Vorgehen mit systematischen Episoden, eine Mischstrategie, die sich aus dem Prinzip der kognitiven Ökonomie ableiten lässt. Die kognitive Ökonomie gebietet, möglichst geringe Anforderungen an die intellektuellen Bearbeitungsoperationen und das Arbeitsgedächtnis zu stellen.

Das von Hacker untersuchte reale Vorgehen beim Konstruieren besteht demnach aus zwei Strategien. Der vorrangig verwendete Ansatz ist eine Mustererkennung, bei der, basierend auf Erfahrung, bereits gelöste Teilprobleme wiedererkannt und zu einer Gesamtlösung kombiniert werden. Diese Strategie garantiert zwar nicht die beste Lösung, ermöglicht aber ein schnelles und damit effizientes Vorgehen und schränkt die Größe des sonst unüberschaubaren Lösungsraumes ein. Nur wenn dieses Vorgehen nicht zum Erfolg führt, weil die Kombination der Teillösungen zu komplex ist, nicht funktioniert oder nicht alle Teillösungen vorhanden sind, wird die zweite Strategie angewendet, im Rahmen derer das Problem durch Abstraktion und Analyse erörtert und eine mögliche Lösung synthetisiert wird. Es wird so lange systematisch vorgegangen, bis sich erneut eine Situation ergibt, die für das opportunistische Vorgehen geeignet scheint.

7.2 Hilfsmittel

Das Konzept der kognitiven Ökonomie, angewendet auf die Situation der Gestaltsynthese, fordert die Einfachheit der verwendeten Mittel. Aus diesem Umstand leiten sich Ratschläge zum Erstellen von Prinziplösungsskizzen und zweckdienliche Sichtweisen auf die Gestalt einer Konstruktion ab.

7.2.1 Regeln zur Anfertigung von Prinziplösungsskizzen

Die im Folgenden aufgeführten allgemeinen Regeln zum Anfertigen von Prinziplösungsskizzen werden in der Literatur übereinstimmend genannt /TJAL79, JUNG92, VIEB93/.

Handwerkliche Regeln

- Üben, üben, üben

Ausnahmslos alle Autoren betonen das Üben der Grundfertigkeiten des Zeichnens. Zu diesen gehört eine flüssige und lockere Motorik, die sichere Handhabung der Zeichenwerkzeuge und der Blick für Verhältnisse und Proportionen.

- Freihandzeichnen

Die Verwendung von Lineal und Zirkel, wie beim technischen Zeichnen, ist nicht empfehlenswert, da diese Hilfsmittel nur zu einer unnötigen Genauigkeit verleiten und zu einer Zwanghaftigkeit in der Anwendung führen.

- Leere Zeichenfläche

Einfaches weißes Papier ist zur Lösungsfindung besser geeignet als kariertes oder liniertes, da die vorgegebenen Linien ablenken und eine unnötige Präzision erzwingen.

- Neuanfang

Es wird empfohlen, eine Skizze mehrfach neu zu beginnen, nicht zu viel zu radieren oder auszubessern, da Nachbessern dazu verleitet, an einem Versuch, d. h. auch an der Lösung, festzuklammern. Zudem mindert häufiges Ausbessern die Lesbarkeit.

Inhaltliche Regeln

Die Regeln des Zeichnungshandwerks lassen sich um Darstellungsregeln ergänzen, die speziell im Kontext der Prinziplösungsskizze Anwendung finden:

- Flexibilität durch Präzision

Bei der Synthese von Gestalt ist es von hoher Bedeutung, nur das zu zeichnen, was explizit festgelegt ist. Alle nicht dargestellten Details fördern die Kreativität, indem sie die Freiheit ermöglichen, alternative Lösungen zu sehen. Speziell für eine Wirkfläche bedeutet dies, dass nur eine Linie platziert wird, nicht aber ihr Anfang und ihr Ende festgelegt werden. Die in Kap 6.1.2 eingeführten *Gestaltgesetze /KLOE81/* beschreiben die Tendenz, einen kontinuierlichen Linienverlauf erzeugen zu wollen, d. h., der Zeichner neigt dazu, eine Linie an einer bereits bestehenden anzusetzen. Dieses Vorgehen ist zu vermeiden, da aneinandergrenzende Wirkflächen meistens nicht funktional miteinander in Verbindung stehen.

- Funktionales Vorgehen

Das Festlegen der Gestalt erfolgt, indem von einer Wirkfläche entlang der Leitstützstruktur zur korrespondierenden Wirkfläche vorgegangen wird und nicht durch sequenzielles Aneinanderketten benachbarter Flächen, bis die Gestaltkontur geschlossen ist (Abbildung 56).

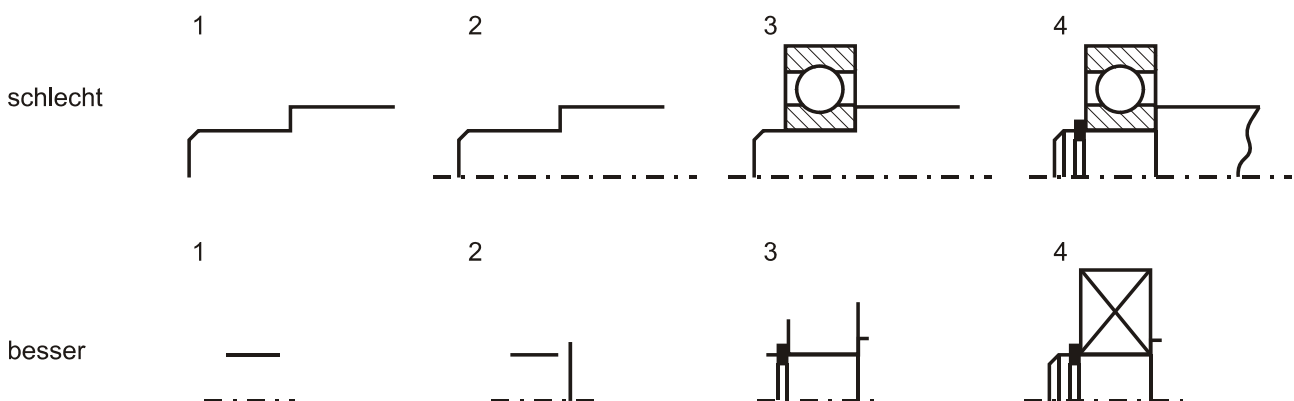


Abbildung 56: Zeichenreihenfolge

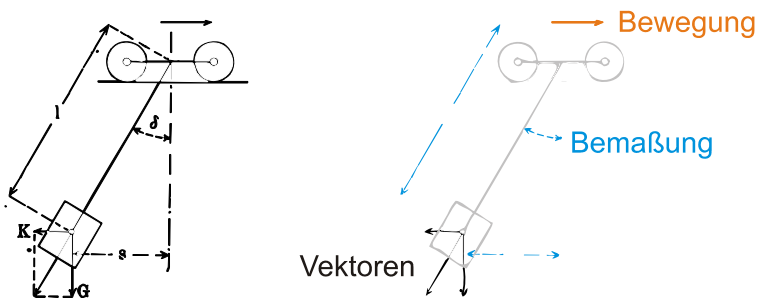
- Konsistenz der Konventionen

Die Verwendung von Konventionen erstreckt sich in erster Linie auf Stilmittel der Darstellung und die Verwendung von Symbolen. Oberste Priorität hat dabei die Konsistenz

der Anwendung, da ein Wechsel der Darstellungsart nicht als Fehler oder als beabsichtigt erkannt werden kann. Dies ist eine Folge der flexiblen, dafür nicht eindeutigen und allumfassenden Darstellungsarten in Prinziplösungsskizzen. Beispielsweise ist die willkürliche Verwendung von Strichstärken in einer technischen Zeichnung als Fehler zu erkennen, während dies in einer Skizze auch Absicht sein kann.

- Kennzeichnen der Konventionen

Bei konsistenter Anwendung von Konventionen ist die explizite Angabe der verwendeten Stilmittel zwar hilfreich, jedoch meist nicht erforderlich, da diese aus dem Kontext ableitbar sind (Abbildung 57). Dieser Umstand gilt nicht für die verwendeten Symbolzeichen (Abbildung 58). Sofern es sich um ikonische Zeichen handelt, kann ihre Bedeutung im Zusammenhang mit dem Kontext teilweise identifiziert werden. Handelt es sich um symbolische, d. h. willkürlich festgelegte Zeichen, so ist ihre explizite Definition in Form einer Legende unerlässlich.



aus dem Kontext
erkennbare Bedeutung

Abbildung 57: Aus dem Kontext rekonstruierbare Bedeutung

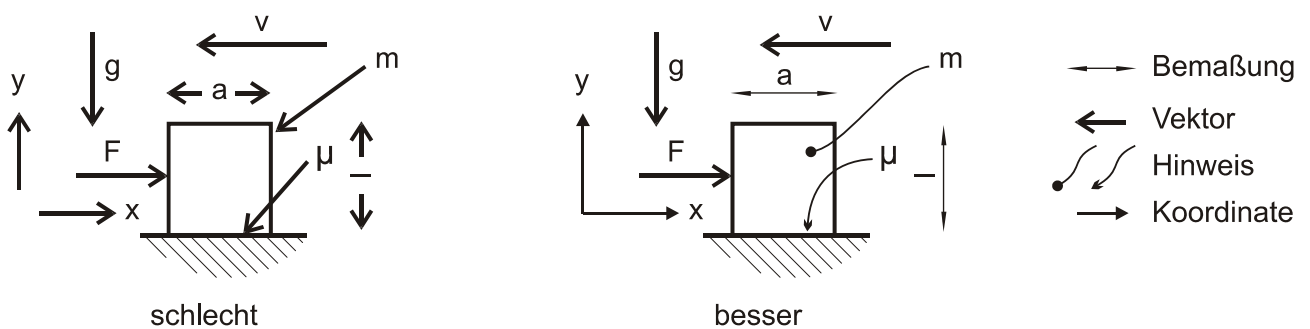


Abbildung 58: Konventionendefinition durch Legende

Spezielle Stil- und Darstellungsmittel

Neben den aufgeführten handwerklichen und inhaltlichen Regeln sind speziell folgende Stilmittel hilfreich, um die funktionalen Zusammenhänge von vorgestaltlichen Prinzipiellösungsskizzen auszudrücken:

- Superposition und Layering

Das Prinzip der Superposition ist in der Technik, vor allem der Mechanik, bekannt. Es bezeichnet die Überlagerung mehrerer voneinander unabhängiger Systemzustände, die zur besseren Analyse separiert betrachtet werden. Eng verwandt mit dem Prinzip der Superposition ist das des Layerings, das in technischen Zeichnungen angewendet wird. Hierbei werden Zeichnungselemente auf gemeinsamen Layern (engl.: Schichten) gruppiert und können dadurch einfacher gehandhabt werden (Abbildung 59). Aufgrund der Gesetzmäßigkeiten der Gestaltwahrnehmung neigen Menschen dazu, Elemente mit gemeinsamen visuellen Eigenschaften zu gruppieren. Diese Fähigkeit kann zur Erhöhung der Übersichtlichkeit oder zum Separieren von verschiedenen Systemzuständen genutzt werden. In diesem Zusammenhang ist Farbe ein stark wahrgenommenes Ausdrucksmittel, weshalb die Verwendung von Farbe in Strichzeichnungen mit Bedacht vorgenommen werden will.

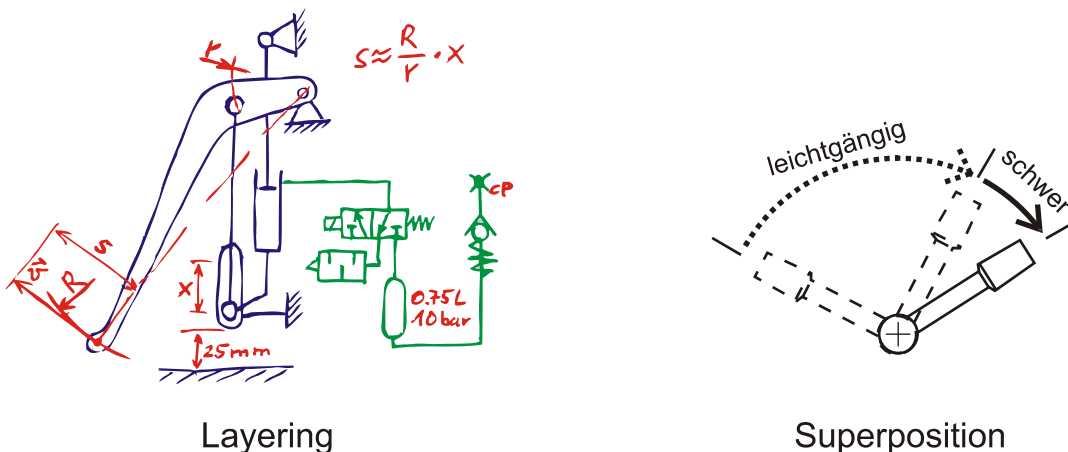


Abbildung 59: Layering durch Farbe und Superposition von Systemzuständen.

- Zeitlicher Verlauf und Bewegung

Bei Strichzeichnungen handelt es sich in der Regel um statische Ausdrucksformen, was an der Beschränktheit der verwendeten Medien, wie beispielsweise Papier, liegt. Diese Beschränkung ist aus Sicht der kognitiven Belastung bei der Erstellung der Skizze zu begrüßen, im Rahmen der Darstellung von zeitlichen Abläufen oder Bewegungen jedoch hinderlich. Hier kommt das Stilmittel der „small multiples“ /TUFT90/ zum Einsatz (Abbildung 60). Es besteht aus der Aneinanderreihung mehrerer ähnlicher Abbildungen, um durch

direkten Vergleich ein schnelles Erfassen der Veränderung zu ermöglichen. Die Reihenfolge der einzelnen Bilder wird entweder durch Zeiteinheiten oder eine zusätzliche Variable, z. B. eine Nummerierung, sequenziert.

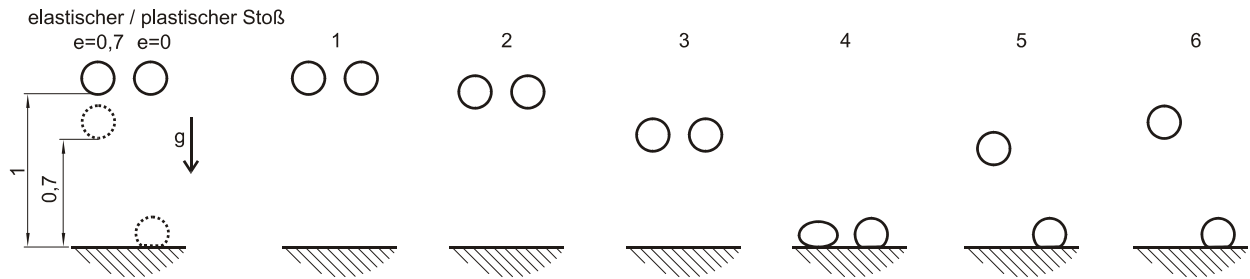


Abbildung 60: Small multiples

7.2.2 Gestaltsymbole

Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 6.2 lassen sich Symbole für Prinziplösungs-skizzen der allgemeinen Mechanik definieren. Die in Abbildung 61 aufgeführten Symbole können miteinander kombiniert als Grundlage für selbstdefinierte komplexere Symbole, als auch zur Darstellung von Gestalt dienen.

Grundlegende Symbolik für allgemeine Mechanik

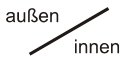
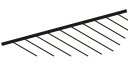
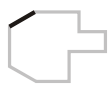

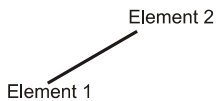



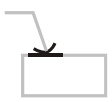
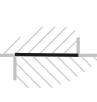











	Element	Beispiel
Gestalt	begrenzende Linie  	 geschlossene Kontur  offene Kontur
Struktur	verbindende Linie 	
Wirkflächen-paar	berührende Linien 	  
Verbindung	starr Berührung von Linienendpunkten  	 Lager
	Drehgelenk ○ Drehschub- gelenk ≡≡≡	 Gelenk  Kugelgelenk  Zahnrad  Lagerung  axial fixiert 
Eigenschaften Werte	Buchstaben, Ziffern. Worte, Text, Formeln	 Reibung  Elastizität

Abbildung 61: Grundlegende Symbolik für allgemeine Mechanik

7.2.3 Gestaltsichtweisen

Im Folgenden werden verschiedene Sichtweisen vorgestellt, die im Zusammenhang mit der Formfindung bzw. der Grenze zwischen Prinzip und Gestalt Verwendung finden. Nicht alle Sichtweisen sind gleichermaßen empfehlenswert im Sinne einer systematischen Gestaltsynthese.

Ästhetik

Die ästhetische Sichtweise (Abbildung 62) sucht die Form eines Objekts vom Vagen zum Konkreten, was sich auch in der Darstellungsart des Scribbles äußert. Sie findet Anwendung in der Kunst oder dem Design, wenn die Anmutung des zu kreierenden Objekts im Vordergrund steht.

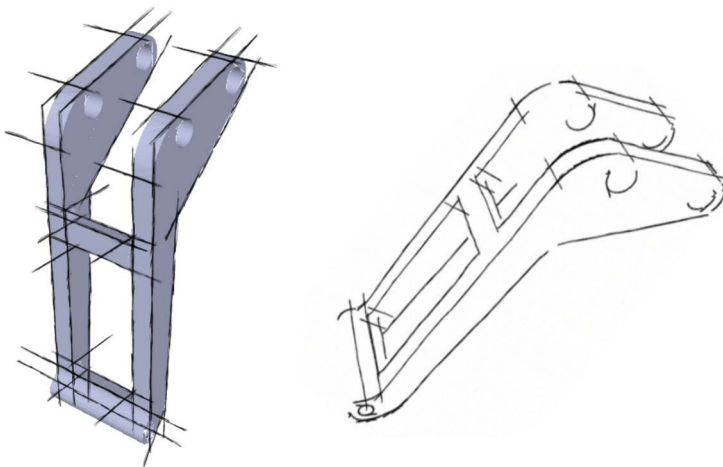


Abbildung 62: Ästhetische Sichtweise

Diese Sichtweise ist keinesfalls negativ zu bewerten, stellt jedoch für den Schritt der Gestaltsynthese aus einer vorgegebenen Prinziplösung ein ineffizientes Werkzeug dar, da sie dazu verleitet, von außen nach innen zu konstruieren. Die Anmutung, sofern sie als Anforderung an ein zu konstruierendes Objekt gestellt wird, ist eine gestaltübergreifende Restriktion, die sich selten auf konkrete Bedingungen für die Eigenschaften einer einzelnen Wirkfläche herunterbrechen lässt. Selbstverständlich empfiehlt es sich, neben der funktions- und wirkflächenzentrierten Sicht die Anmutung der entstehenden Gestalt im Auge zu behalten.

Bauteilsicht

Bei der Betrachtung bzw. Analyse einer bereits bestehenden Gestalt eines technischen Objekts liegt der Ansatz nahe, diese in ihre einzelnen Teile zu zerlegen.

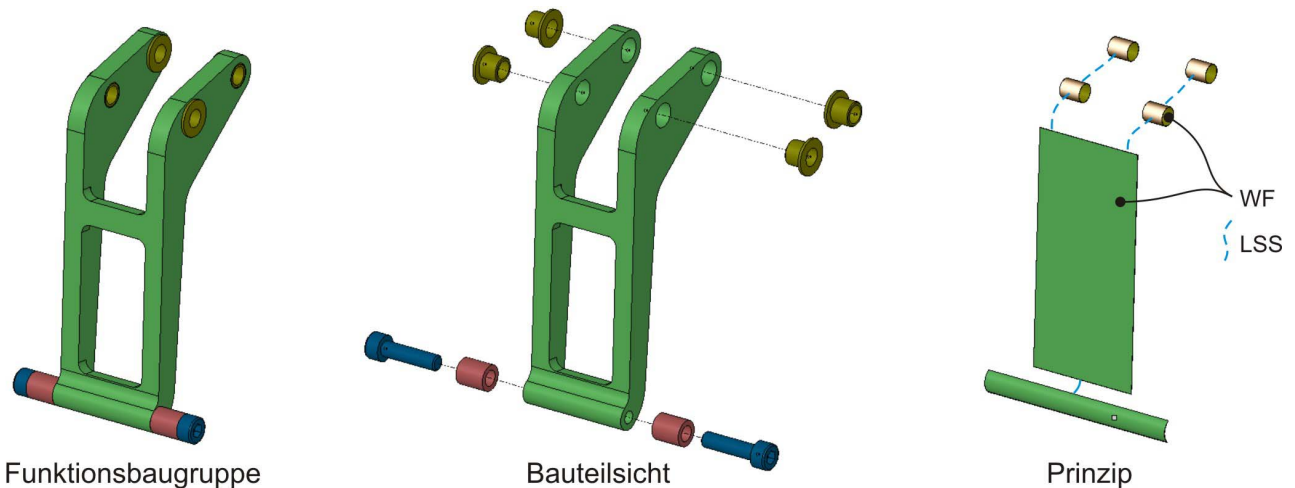


Abbildung 63: Bauteil Sichtweise

Diese bauteilzentrierte Sicht (Abbildung 63) kann jedoch in die Irre führen, wenn es sich bei dem Objekt um eine Baugruppe handelt, in der die einzelnen Teile arbeitsteilig eine gemeinsame Funktion erfüllen. Das hier verwandte Prinzip der Aufgabenteilung bei gleicher Funktion kann durch verschiedenste, auch durchaus untergeordnete und austauschbare Anforderungen motiviert sein.

Weist die Gestalt einer Baugruppe stetig aneinandergrenzende Oberflächen einzelner Bauteile auf, ist dies ein Indiz dafür, dass die bauteilzentrierte Sichtweise kritisch zu hinterfragen ist.

Gestaltstruktur

Die Gestaltstruktur (Abbildung 64) beschreibt die Verbindung der Gestaltelemente eines technischen Systems und kann auf unterschiedlichen Komplexitätsstufen, von der System- über die Baugruppen- bis zur Bauteilebene, angewandt werden. Auf der Bauteilebene ist sie damit vergleichbar mit der Wirkstruktur nach der Definition des Elementmodells der Wirkflächen und Leitstützstrukturen. Diese Sichtweise ist im Rahmen der Analyse eines bestehenden technischen Systems hilfreich, zumal die Gestalt unter Vernachlässigung stofflicher Eigenschaften abstrahiert wird.

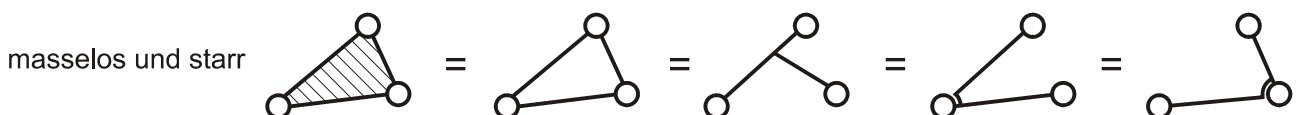


Abbildung 64: kinematisch äquivalente Gestaltstrukturen

Die Gestaltstruktur-Sichtweise ist ferner Grundlage einer kinematischen Betrachtung, die zur Analyse Vereinfachungen vornimmt, vor allem dahingehend, dass die Struktur als masselos und starr angenommen wird. Aus diesen Annahmen leitet sich ab, dass die Kinematik nicht die aus der

Bewegung resultierenden Kräfte betrachtet, sondern nur an der Bewegung der Systemelemente im Raum interessiert ist.

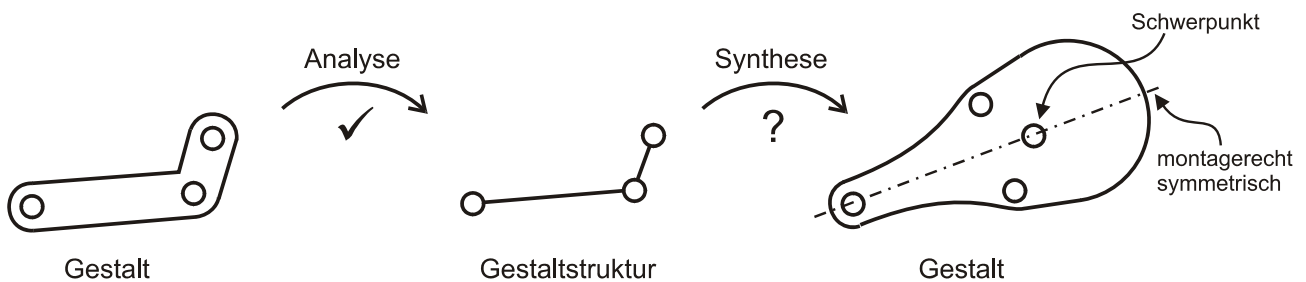


Abbildung 65: Gestaltstruktur-Sichtweise

Die Gestaltstruktur-Sichtweise ist häufig diejenige, mit der eine Prinziplösung erstellt wird. Sie sollte jedoch aufgegeben werden, sobald die Gestalt aus dem Prinzip synthetisiert wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass in der Gestaltsynthese zusätzlich zur Kinematik alle weiteren Anforderungen Einfluss auf die Gestalt ausüben und die Kinematik im Sinne einer möglichst wertfreien und neutralen Einstellung zum Gestaltungsergebnis nicht zwingend die Ausgangsbasis für die Gestalt darstellen muss (Abbildung 65). Es handelt sich hierbei um ein Henne-Ei-Problem: Ist die Gestaltstruktur analysierend eine Eigenschaft der Gestalt oder ist sie synthetisierend die Grundlage für diese? Die Gestaltstruktur-Sichtweise ist auf jeden Fall ein nützliches Hilfsmittel zur Analyse von bereits Gestaltetem.

Wirkflächen und Leitstützstruktur

Das mentale Modell der Wirkflächen und Leitstützstrukturen ermöglicht eine Sichtweise, bei der jedes einzelne Element der Bauteilgestalt, je nach betrachtetem Kontext, bestimmte Funktionen übernimmt und Schnittstellen zu anderen Elementen aufweist (Abbildung 66). Das kleinste Element eines technischen Systems ist dabei die Wirkfläche, die beim Analysieren als Wirkflächenpaar und beim Synthetisieren als Wirkfläche mit Leitstützstruktur betrachtet wird.

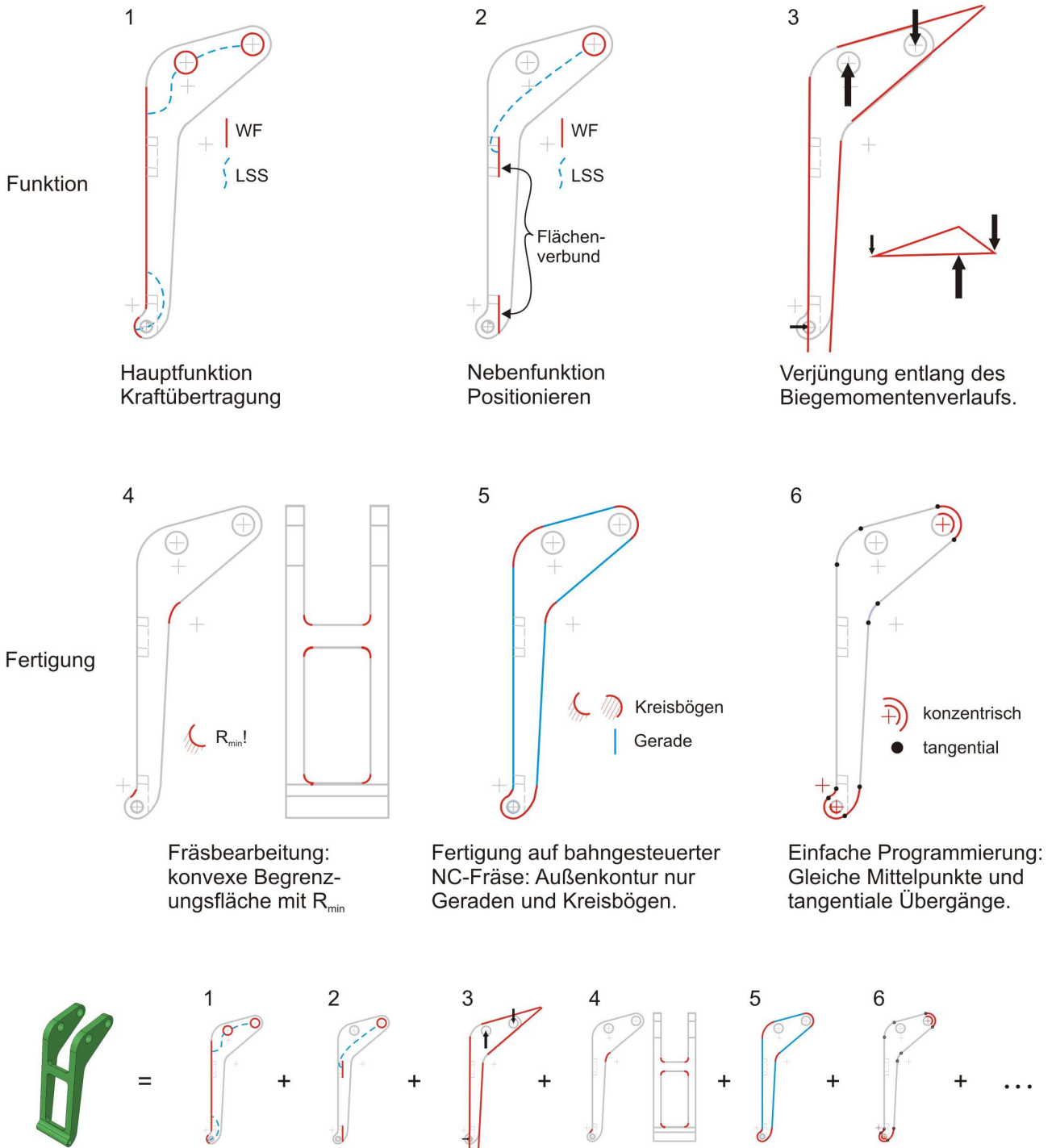


Abbildung 66: Wirkflächen- und Leitstützstruktur-Sichtweise

Die gleichwertige Betrachtung von Energie-, Stoff- und Informationsflüssen in der Leitstützstruktur und deren Austausch über Wirkflächenpaare bilden die Grundlage für diese allgemeine Betrachtungsweise, die alle bisher vorgestellten Sichtweisen als mögliche Sonderfälle dieser einschließt. Die separiert betrachteten Wirkungszusammenhänge ermöglichen die schrittweise Gestaltung der einzelnen Wirkflächen. Die Superposition dieser einzelnen Zusammenhänge ergibt letztendlich die fertige Gestalt des technischen Systems.

7.3 Methodik

Die Ausführungen der vorangegangenen Kapitel bilden die Grundlage für die folgende Methodik zur Synthese der Gestalt. Abbildung 67 zeigt den Ablauf innerhalb des Arbeitsabschnitts 5 „Gestalten der maßgebenden Module“ des generellen Vorgehens zum Entwickeln nach VDI 2221.

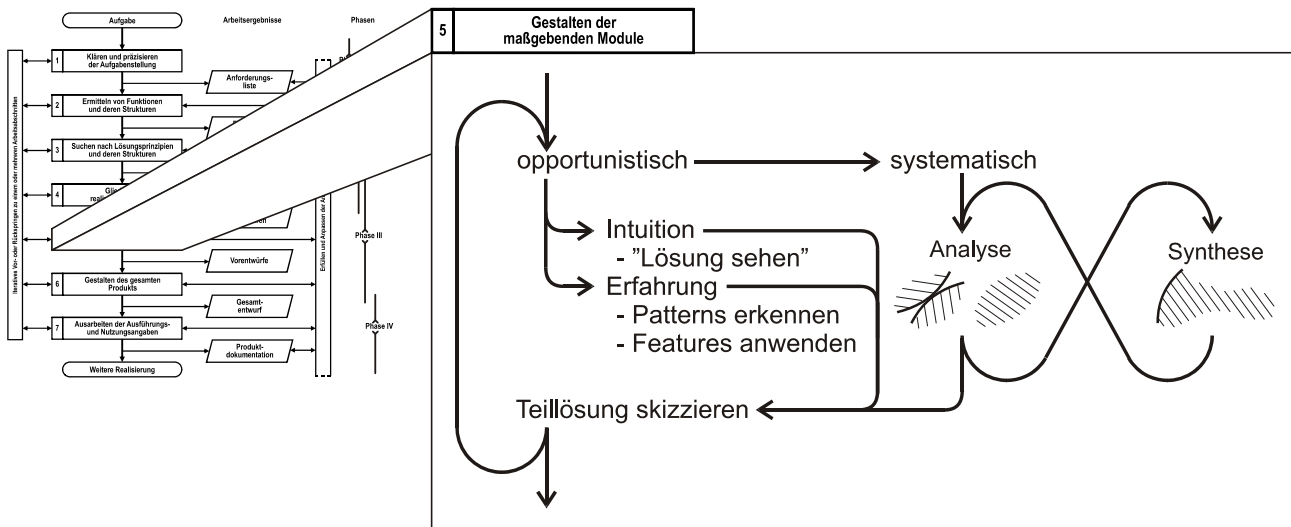


Abbildung 67: Gestalten

Die Gestaltung der maßgebenden Module gliedert sich in zwei kaskadierte Schleifen, die des opportunistischen und alternativ die des systematischen Vorgehens. Da die maßgebenden Module sinnvoller Weise nicht weiter in voneinander unabhängige Teile zerlegt werden sollen, handelt es sich bei dieser Gestaltungsaufgabe um ein komplexes Problem, für das keine vorgeschriebene Vorgehensweise existiert. Diese Tatsache spiegelt sich in der ersten Schleife wider. Das opportunistische Vorgehen besteht darin, entweder mittels Erfahrung gewonnene Muster /ALEX77, ALEX79/ zu erkennen oder aufgrund einer nicht näher spezifizierten Intuition direkt Teillösungen zu sehen. Nur in dem Fall, dass nicht genügend Teillösungen gefunden werden oder diese in sich inkompatibel sind, tritt die untergeordnete Schleife des systematischen Vorgehens in Aktion.

Die Schleife des systematischen Vorgehens unterscheidet sich von der des opportunistischen Vorgehens dadurch, dass sie Teilprobleme auf einer niedrigeren Komplexitätsstufe bearbeitet sowie sehr viel schneller und häufiger durchlaufen wird. Dabei wechseln sich Analyse und Syntheseschritte ab, bis das vorerst nicht offensichtlich lösbare Teilproblem abgearbeitet ist. Im Anschluss wird wieder auf einer komplexeren Stufe überprüft, ob neue Muster gesehen werden können; der Ablauf wiederholt sich, bis das gesamte Modul fertiggestaltet ist.

Den detaillierten Vorgang der schrittweisen Gestaltsynthese veranschaulicht Abbildung 68. Der Kern des Vorgehens besteht in einem andauernden Wechsel der Sichtweise während Analyse und Synthese. Das grundlegende Vorstellungsmodell ist das der Wirkflächenpaare und

Leitstützstrukturen, jedoch wird während der Analyse als kleinstes Element, das Wirkflächenpaar mit dem Funktionskontakt und während der Synthese eine einzelne Wirkfläche mit der ihr verbundenen Leitstützstruktur, betrachtet.

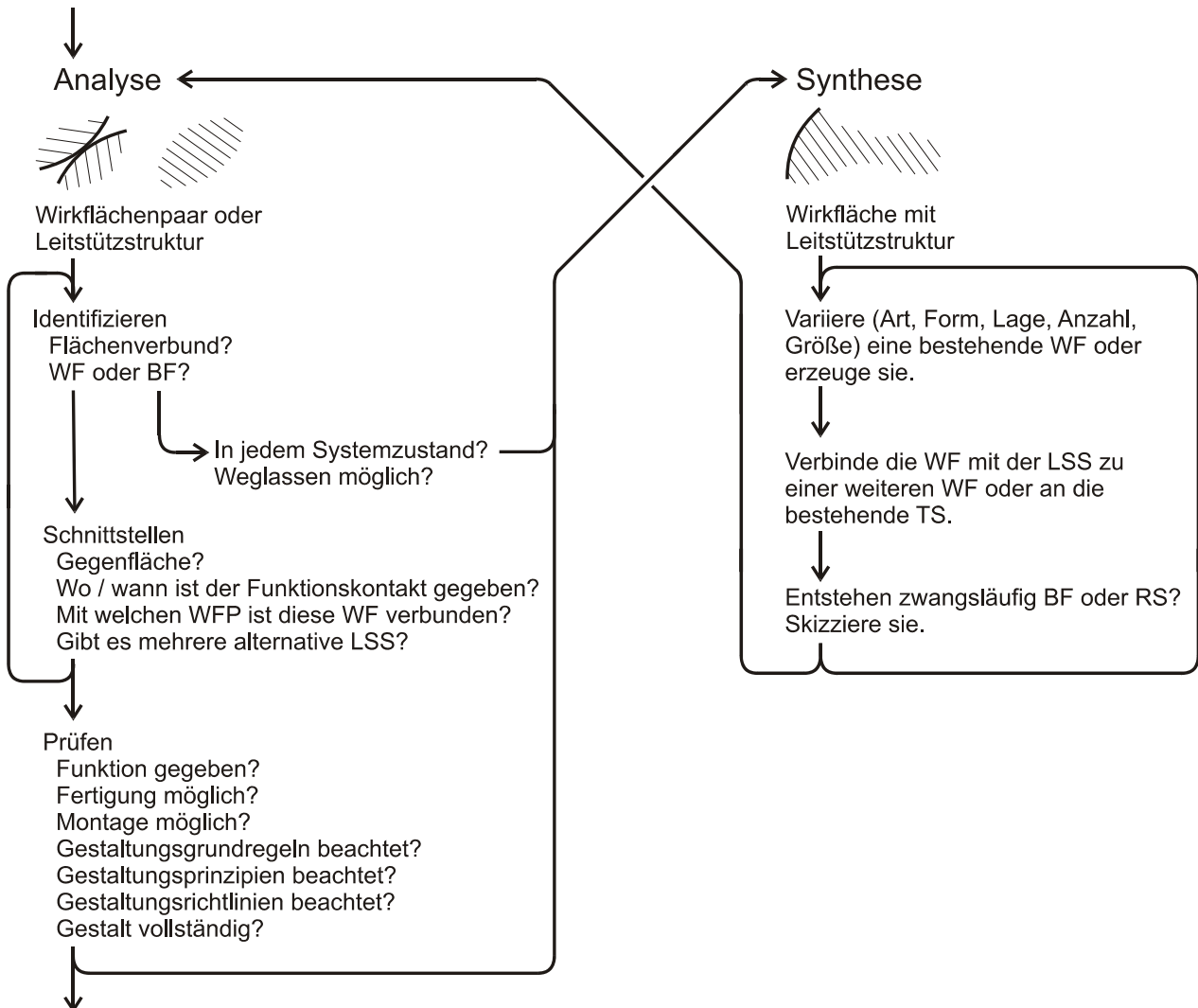


Abbildung 68: Schrittweise Gestaltsynthese

Der ständige Sichtweisenwechsel ist von elementarer Bedeutung, da durch ihn die Komplexität der Betrachtungsebene gesteuert wird. Bei der Analyse steht das Verständnis der funktionalen Zusammenhänge im Vordergrund. Es werden Wirkflächenpaare oder ganze Verbünde von diesen identifiziert, ihre Schnittstellen sowohl räumlich als auch abhängig von möglichen Systemzuständen betrachtet, und abschließend wird die Funktionalität sowie Gestaltungsprinzipien geprüft.

Während der Synthese ist es aufgrund der limitierten kognitiven Ressourcen des Kreierenden erforderlich, die Betrachtungsweise auf einen eingeschränkteren Bereich zu fokussieren, da nun Bestehendes variiert oder Neues kreiert werden muss. Diese Fokussierung hilft, die Anzahl der möglichen Gestaltungsalternativen einzuschränken und die Komplexität der zu beachtenden

Restriktionen und Abhängigkeiten zu verringern. Auf diese Weise wird vermieden, dass vor lauter Abhängigkeiten kein Lösungsansatz gesehen wird oder aufgrund der Vielzahl an Entscheidungsalternativen eine Blockade entsteht.

Mit zunehmender Gestaltung des Moduls wird die Schleife des systematischen Vorgehens wiederholt und immer schneller durchlaufen. Es ist durchaus üblich, dass einzelne Wirkflächen mehrfach variiert werden, da sie aufgrund multipler Abhängigkeiten auch von übergeordneten Gesichtspunkten beeinflusst werden. Das Kreieren einer Wirkfläche geschieht meist, um eine Funktion zu realisieren. In der anschließenden Analyse werden ihr dann Restriktionen auferlegt, die von der immer anzuwendenden Fertigungs- und Montagegerechtigkeit bis hin zu komplexen Abhängigkeiten wie beispielsweise Instandhaltungs-, Kriech-, Relaxations- oder Recyclinggerechtigkeit reichen.

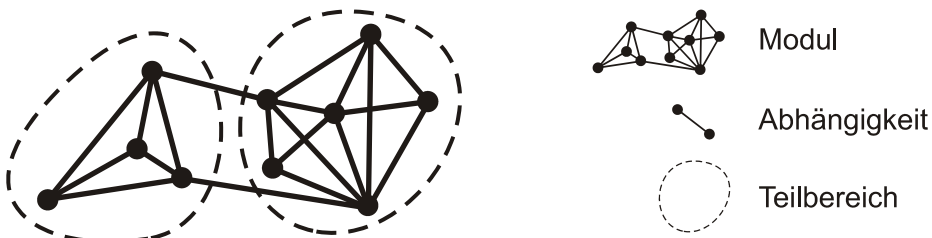


Abbildung 69: Systembetrachtung vgl. /ALEX64/

Die fortwährende Auseinandersetzung mit der Gestalt des Moduls und das wiederholte Variieren und Analysieren der Wirkflächen führt dazu, dass sich bei dem Gestaltenden ein Muster des Systemverhaltens bilden kann, das die Basis seiner Intuition bildet. Das Prinzip dieser Exploration des Systemverhaltens wird von Alexander /ALEX64/ beschrieben (Abbildung 69). Während erfolgreiche Syntheseschritte wenig über das System lehren, helfen eher missglückte Variationen, die Abhängigkeiten innerhalb eines Systems und vor allem Teilbereiche komplexerer Abhängigkeitsvernetzung zu erkennen. Dieses systemspezifische Wissen bildet bei wiederholter Anwendung den Grundstock der konstruktiven Erfahrung.

8 Anwendung der schrittweisen Gestaltsynthese

Die Anwendung der Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese erfordert eine eingehende Betrachtung der einzelnen Schritte und ihrer Besonderheiten. Im folgenden Kapitel wird dazu jeder Punkt des in Abbildung 68 dargestellten Vorgehens ausgeführt und erläutert.

8.1 Analyse

8.1.1 Identifizieren

Um eine Wirkfläche isoliert betrachten zu können, muß diese zunächst identifiziert werden, was zunächst eine triviale Aufgabe zu sein scheint. Neben offensichtlichen Abhängigkeiten zu benachbarten Flächen ist darauf zu achten, ob die betrachtete Fläche Teilfläche eines Flächenverbundes (Abbildung 70) ist, dem übergeordnete Restriktionen auferlegt sind, die weder im Kontext des Moduls noch bei der Betrachtung einer einzelnen Fläche offensichtlich werden.

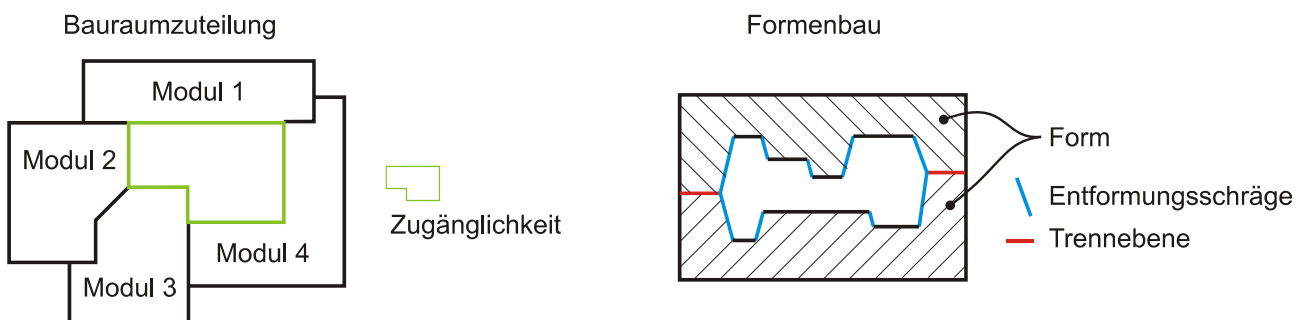


Abbildung 70: Flächenverbünde

Daher ist präzise zu unterscheiden, welchen Geltungsbereich die Eigenschaftsparameter einer Wirkfläche haben und ob sie von Restriktionen außerhalb des Modulkontexts determiniert werden. Letzteres widerspricht zwar der Grundidee eines Moduls, in Verbindung mit partiellen Anforderungslisten und impliziten Forderungen handelt es sich aber um ein in realen Anwendungsfällen anzutreffendes Problem.

In diesem Zusammenhang ist die Modellvorstellung der Eltern-Kind-Beziehungen und der Eigenschaftsvererbung hilfreich, die in der objektorientierten Softwareprogrammierung angewandt wird und gleichzeitig die Grundlage parametrischer Computer-aided-Design-Modellierer darstellt.

8.1.2 Schnittstellen

Bei der Betrachtung der direkten Schnittstellen einer identifizierten Fläche ist auf verschiedene bzw. wechselnde Systemzustände zu achten. Wann ist der Funktionskontakt gegeben? Ist die Fläche zu jeder Zeit Begrenzungs- oder Wirkfläche?

Zur Schnittstellenanalyse von Wirkflächen bietet sich die Szenariotechnik an, die aufzeigt, wie sich die Funktionsweise ändert, wenn die Fläche fehlt, mangelhaft gefertigt, abnutzt oder beschädigt wird.

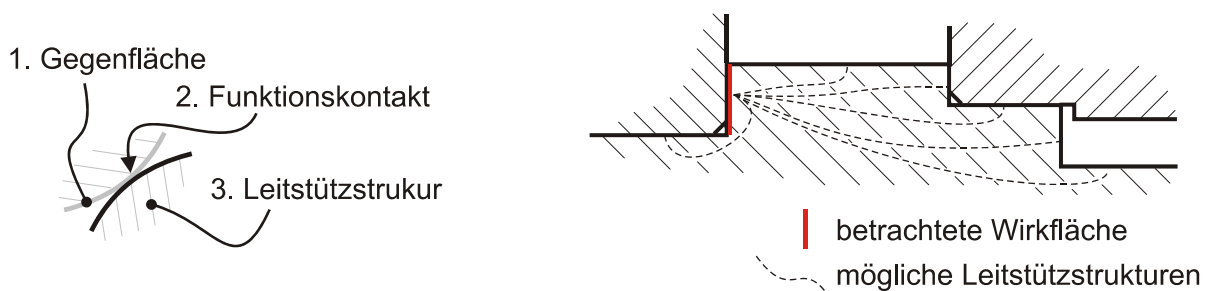


Abbildung 71: Schnittstellen einer Wirkfläche

Es ist zu fragen, mit welchen Wirkflächenpaaren die betrachtete Wirkfläche in Kontakt steht. Sind alternative Leitstützstrukturen denkbar? Bei diesem Vorgehen sollen nicht nur offensichtlich sinnvolle Verbindungen betrachtet werden, sondern auch nicht zweckdienliche, die beispielsweise in außergewöhnlichen Systemzuständen vorkommen können. Im Zweifel ist es hilfreich, stichprobenartig willkürliche Verbindungen zu zeichnen (Abbildung 71) und diese mittels Szenariotechnik zu überprüfen.

8.1.3 Prüfen

Es ist empfehlenswert, zum Prüfen während der Gestaltung eine Reihenfolge der Gestaltungsprinzipien anzuwenden, auch wenn in der fertigen Gestalt alle durch die Anforderungen festgelegten Prinzipien umgesetzt werden müssen.

Die für alle Wirkflächen stets gültigen Prüfkriterien sind Funktionalität, Fertigbarkeit und Montierbarkeit, da bei Verletzung einer dieser Kriterien die Wirkfläche entweder keinen Sinn ergibt oder das reale Bauteil nicht existieren kann. Zudem sind diese drei Kriterien in der Anwendung als qualitatives Ausschlusskriterium leicht zu prüfen.

Gestaltungsgrundregeln

Die Prüfung der Gestaltungsgrundregeln Eindeutig und Sicher ist bei der fokussierten Betrachtung eines einzelnen Wirkflächenpaares präzise möglich, für die Grundregel Einfach sei auf den Syntheseschritt der Wirkflächenvariation verwiesen.

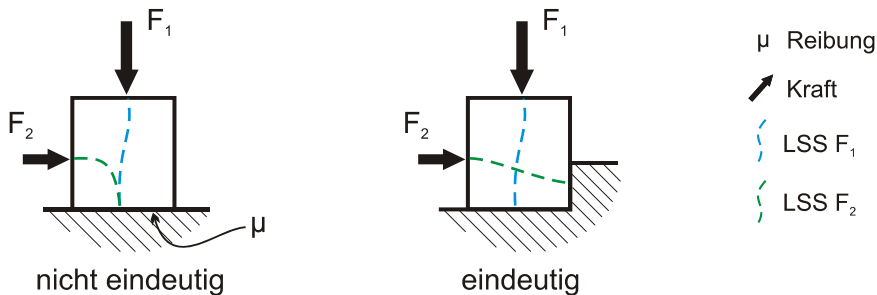


Abbildung 72: Eindeutigkeit

Die Eindeutigkeit der gesamten Konstruktion steht und fällt mit den funktionalen Verbindungen der Wirkflächenpaare (Abbildung 72). Sind alternative Leitstützstrukturen vorhanden, ist die Grundregel der Eindeutigkeit kompromittiert und der Grundstein für ein komplexes Verhalten des Gesamtsystems gelegt. Der Begriff „eindeutig“ ist für diese Analyse zu präzisieren. Die Zuordnung von Wirkflächenpaaren zueinander durch Leitstützstrukturen muss in beliebiger Richtung eindeutig, d. h. bijektiv, erfolgen können.

In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass sich eine funktionsintegrierte Bauweise nur auf die Bauteilebene bezieht. Werden die Funktionen mehrerer Bauteile in ein einzelnes zusammengefasst, so muss die eindeutige Zuordnung von der Funktion zur Wirkfläche beibehalten werden. Die Integration von mehreren Funktionen und damit mehreren Leitstützstrukturen in eine Fläche ist zu vermeiden!



Abbildung 73: Gestaltungsgrundregel Sicher

Die grundlegende Ebene der unmittelbaren Sicherheitstechnik stellt die Bauteilzuverlässigkeit dar, welche maßgeblich von der Gestalt des Bauteils und somit von seinen Wirkflächenpaaren und deren Verbindungen abhängt. Die Prüfung der Gestaltungsgrundregel Sicher erfolgt, indem die Parameter und die Schnittstellen einer Wirkfläche variiert werden. Geht die Funktionalität der Wirkfläche dabei verloren, sind die Gestaltung und die Bauteilzuverlässigkeit als nicht sicher einzustufen. Diese Prüfung hat insbesondere im Hinblick auf geometrische und physikalische Eigenschaften zu erfolgen. Erstere betreffen Fertigungstoleranzen und den Verschleiß und Letztere die Adhäsion, z. B. bei Klebungen, oder die Reibung (Abbildung 73). Zusätzlich muss der Einfluss der Leitstützstruktur auf die Funktionalität des Wirkflächenpaares berücksichtigt werden.

Es ist zu prüfen, ob sich die Leitstützstruktur aufgrund von Elastizität unter Last verformen und so die Lage der betrachteten Wirkfläche variieren kann.

Gestaltungsprinzipien

Die Konstruktionslehre nach Pahl/Beitz /PAHL06/ nennt fünf Hauptgestaltungsprinzipien:

- Prinzip der Kraftleitung
- Prinzip der Aufgabenteilung
- Prinzip der Selbsthilfe
- Prinzip der Stabilität und Bistabilität
- Prinzip der fehlerarmen Gestaltung

Diese Prinzipien und die ihnen untergeordneten Teilprinzipien lassen sich unter Zuhilfenahme des gedanklichen Modells der Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen präzise deuten und schrittweise überprüfen.

Den Kern der Überlegungen bilden ein Wirkflächenpaar und seine Eigenschaften sowie die möglichen Leitstützstrukturen. Für jede Wirkflächenpaarung muss geprüft werden, was sie an Energie, Stoff oder Information austauschen kann. Dies in Kombination mit der Frage, wohin die bestehende Wirkstruktur die von der Wirkfläche übertragenen Energie-, Stoff- oder Informationsflüsse leiten kann, d. h., welche Leitstützstrukturen denkbar sind, lässt einen schrittweise generierten und nachvollziehbaren Schluss auf das mögliche Systemverhalten zu.

Kraftleitung

Im Rahmen der Überprüfung der Kraftleitung ist zu fragen, welche Kraftkomponenten von einer Wirkflächenpaarung übertragen werden können (Abbildung 74). Dies sind im Allgemeinen Druckkräfte entgegen der Normalenrichtung der Wirkfläche, bei Anwesenheit des physikalischen Effekts der Reibung Schub- und bei Adhäsionseffekten auch Zugkräfte. Nun können nacheinander alle möglichen Leitstützstrukturen zu anderen Wirkflächenpaarungen auf Funktionalität geprüft werden. Ist eine zweite Wirkflächenpaarung in der Lage, die betrachtete Kraftkomponente aufzunehmen, so ist die dazu verwendete Leitstützstruktur existent, andernfalls ist sie zu verwerfen.

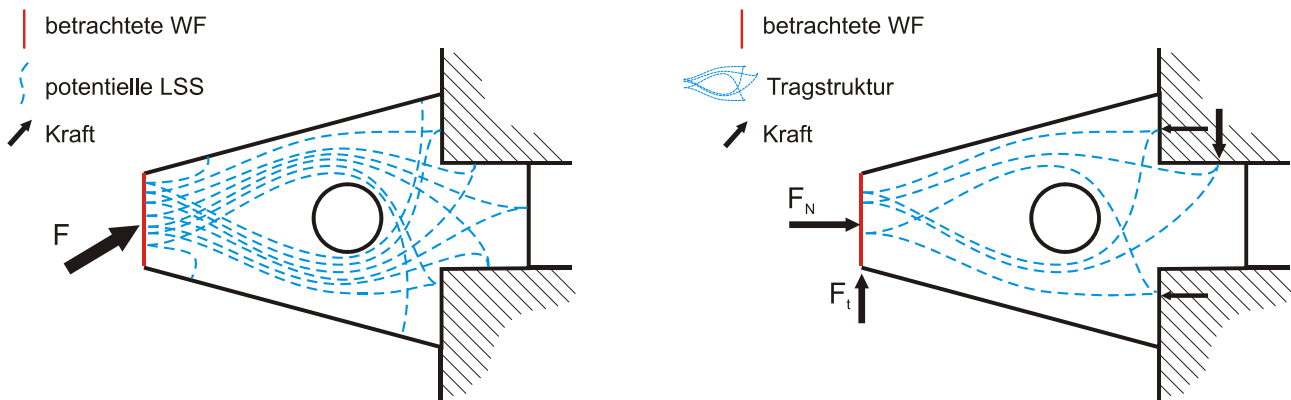


Abbildung 74: Mögliche Leitstützstrukturen und resultierende Tragstruktur

Auf Basis dieser Überlegungen können die identifizierten Leitstützstrukturen, die für diese Betrachtung in Summe die Tragstruktur bilden, auf ihre Eigenschaften hin untersucht werden. Im Sinne des Prinzips des Kraftflusses und der gleichen Gestaltfestigkeit ist auf eine gleichmäßige Verteilung und Dichte der Leitstützstrukturen, die in diesem Zusammenhang ähnlich der Kraftflusslinien verwendet werden, zu achten. Querschnittsprünge oder Richtungswechsel in der Tragstruktur sind zu vermeiden. Für eine präzisere Betrachtung müssen die Kraftlinien quantifiziert werden. Dieses Vorgehen beruht zu weiten Teilen auf Erfahrung, da hierzu unter anderem die Verformung der Gestalt aus den entstehenden Reaktionskräften berücksichtigt und realistisch eingeschätzt werden muss.

Im Sinne des Prinzips der kurzen und direkten Kraftleitung ist zu gewährleisten, dass die Tragstruktur nur aus möglichst kurzen und geradlinigen Leitstützstrukturen besteht. Das Prinzip der abgestimmten Verformung wiederum erfordert eine quantifizierte Betrachtung der Kraftlinien. Eine rudimentäre Vorstellung des möglichen Systemverhaltens kann durch das Gedankenexperiment gewonnen werden, dass das betrachtete Bauteil aus elastischem Material besteht und sich vornehmlich entlang der identifizierten Leitstützstruktur staucht bzw. dehnt. Diesen Überlegungen ist jedoch bei komplexeren Systemen mit gesunder Skepsis zu begegnen.

Das Prinzip des Kraftausgleichs versucht, das betrachtete System zu seiner Umgebung hin kräftefrei zu gestalten, indem innere Kräfte durch Ausgleichselemente oder symmetrischen Aufbau kompensiert werden. Dieses Prinzip lässt sich mithilfe der Betrachtung der Leitstützstrukturen gut überprüfen, da diesem zufolge die Tragstruktur ebenfalls gänzlich innerhalb des Systems liegen und symmetrisch sein muss.

Aufgabenteilung

Das Prinzip der Aufgabenteilung gliedert sich in die Teile Aufgabenteilung bei unterschiedlicher und bei gleicher Funktion. Beide Teilprinzipien lassen sich auf unterschiedlich komplexen Stufen

eines technischen Systems anwenden und gelten sowohl für Baugruppen, Bauteile als auch für einzelne Wirkflächen.

Auf der Betrachtungsstufe der Wirkflächen ist die Aufgabenteilung bei unterschiedlicher Funktion gleichzusetzen mit der Forderung nach Eindeutigkeit und hat damit oberste Priorität beim Gestalten. Unterschiedliche Funktionen auf einer Wirkfläche zu vereinen, führt unweigerlich zu komplexem Systemverhalten.

Die Aufgabenteilung bei gleicher Funktion wird bei technischen Systemen zur Leistungssteigerung oder zur Erhöhung der Sicherheit durch Redundanz eingesetzt. Auf der Systemebene der Wirkflächen ist dieses Prinzip kritisch zu hinterfragen, da es zwangsläufig auf Mehrfachpassungen hinausläuft, die erhöhte Anforderungen an die Fertigungstoleranzen und die Leitstützstruktur stellen. Letzterer kommt im Falle einer Mehrfachpassung die zusätzliche Funktion des Wegausgleichs zu, durch den die unweigerlichen Fertigungstoleranzen kompensiert werden – eine Funktion, die häufig bereits bei marginaler Variation der Wirkflächen ihre Grenzen erreicht.

Selbsthilfe

Das Prinzip der Selbsthilfe kann selbstverstärkend, selbstausgleichend oder selbstschützend ausgeführt werden. Allen drei Teilprinzipien ist gemeinsam, dass ihre grundlegende Funktionalität auf der Betrachtungsebene der Wirkflächen begründet ist.

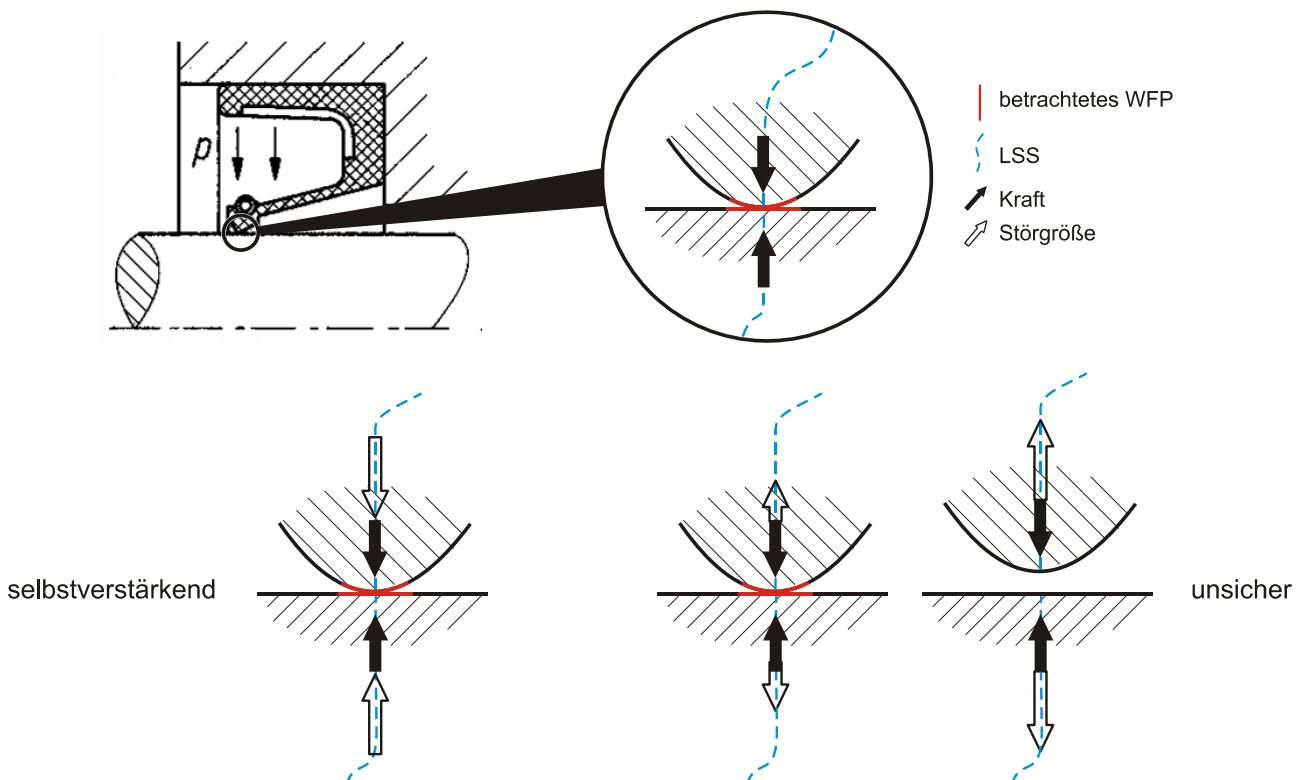


Abbildung 75: Prinzip der Selbstverstärkung

Zur Prüfung der Selbstverstärkung sind die Wirkflächenpaare an den Schnittstellen der betrachteten Systemkomponenten, d. h. Baugruppen und -teile, daraufhin zu untersuchen, ob der Funktionskontakt des Wirkflächenpaars bei Variation der übertragenen Stoff-, Energie- oder Informationsflüsse immer gegeben ist oder ob er ab einem bestimmten Punkt aufgehoben wird (Abbildung 75). Letzteres ist der Fall, wenn eine vektorielle Störgröße entgegen der gewünschten Größe der Hauptfunktion gerichtet ist.

Beim Prinzip des Selbstaustauschs werden mehrere miteinander gekoppelte Störgrößen so zueinander in Beziehung gesetzt, dass sie sich gegenseitig aufheben. Wie auch bei dem Prinzip der Selbstverstärkung hängt dies von der Summe der vektoriellen Größen ab, die an einer Wirkflächenpaarung angreifen. Für das Prinzip der Selbstverstärkung müssen diese gleichgerichtet mit der Hauptgröße sein, für das Prinzip des Selbstaustauschs müssen sich alle Störgrößen gegenseitig tilgen.

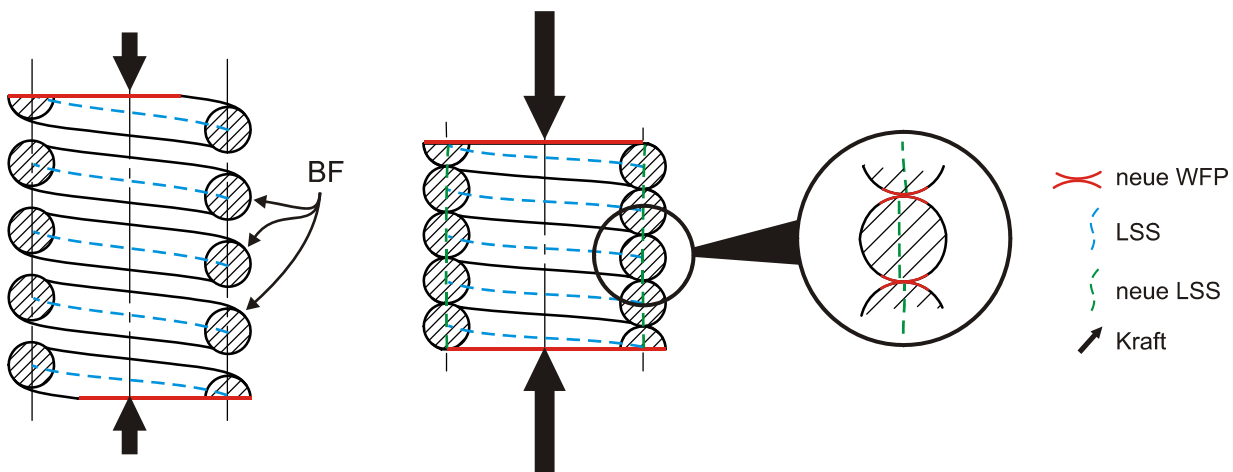


Abbildung 76: Prinzip des Selbstschutzes

Das Prinzip des Selbstschutzes (Abbildung 76) weicht von den beiden bisher genannten Prinzipien ab, da hier nicht nur eine quantitative Änderung von vektoriellen Größen, sondern auch eine qualitative Änderung der Wirkstruktur vorliegt. Diese äußert sich darin, dass zum Selbstschutz zusätzliche Funktionskontakte gebildet werden, indem sich bisherige Begrenzungsflächen zu Wirkflächenpaarungen zusammenschließen und so neue Leitstützstrukturen möglich werden.

Stabilität und Bistabilität

Bei Betrachtung auf Wirkflächenebene lässt sich das Prinzip der Stabilität auf dieselben Umstände zurückführen wie das Prinzip der Selbsthilfe, speziell der Selbstverstärkung. Um einen stabilen Systemzustand herbeizuführen, müssen die Zustände, d. h. alle vektoriellen Größen, an der Wirkflächenpaarung stets qualitativ gleich bleiben. Können qualitative Änderungen aufgrund quantitativer Variationen herbeigeführt werden (Abbildung 75), ist das System als nicht stabil einzustufen.

Durch eine quantitative Variation eine qualitative Änderung an den Zuständen der Wirkflächenpaarung hervorzurufen, wird beim Prinzip der Bistabilität aktiv genutzt, um die Wirkstruktur des Systems zu verändern. Durch geeignete Abhängigkeiten der Einflussgrößen können sich so zwei oder mehrere Systemzustände wechselnd einstellen. Je nach Detaillierungsgrad können dabei nicht nur die stabilen Systemzustände, sondern auch Zwischenzustände im Hinblick auf ihre Wirkstruktur betrachtet werden.

Der Kern der Stabilitätsprinzipien wie auch der Selbsthilfeprinzipien besteht in der Frage, ob die quantitative Änderung einer Einflussgröße eine qualitative Änderung der Zustände an einer Wirkflächenpaarung hervorrufen kann oder nicht.

Fehlerarme Gestaltung

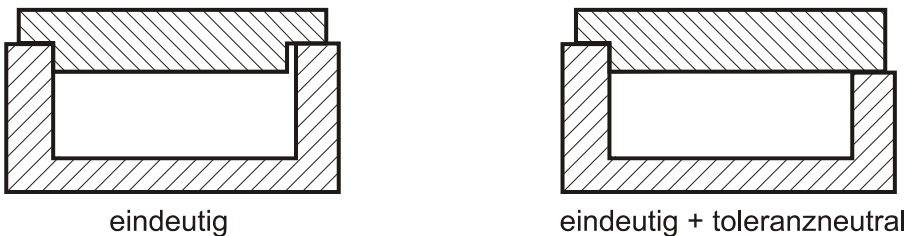


Abbildung 77: Prinzip der fehlerarmen Gestaltung

Das Prinzip der fehlerarmen Gestaltung (Abbildung 77) fordert eine einfache Bau- bzw. Wirkstruktur und ebensolche Bauteile. Es verweist auf das Prinzip des Kraftausgleichs und betont die Gestaltungsgrundregel Einfach. Auf Wirkflächenebene kann das Vorliegen einer fehlerarmen Gestaltung überprüft werden, indem einzelne Wirkflächen und Leitstützstrukturen drastisch variiert werden. Dieses Verfahren entspricht der Prüfung der Gestaltungsgrundregel Sicher (Abbildung 73), nur dass die möglichen Szenarien nicht nur die Fertigung, sondern vor allem auch den Gebrauch einschließen. Eine fehlerarme Gestaltung strebt die Unabhängigkeit von jeglichen Toleranzen an, was eine Verletzung der Fertigungstoleranzen durch Fertigungsfehler oder unsachgemäßen Gebrauch verhindert.

8.2 Synthese

In der Synthese wechselt die Betrachtungsweise vom System zu einer Wirkfläche mit angehängter Leitstützstruktur, während bei der Analyse Wirkflächenpaare bzw. eine oder mehrere Leitstützstrukturen, d. h. die Tragstruktur, im Mittelpunkt stehen (Abbildung 78). Dieses „Hineinzoomen“ in das System erfüllt den Zweck, die Komplexität der Zusammenhänge zu reduzieren.

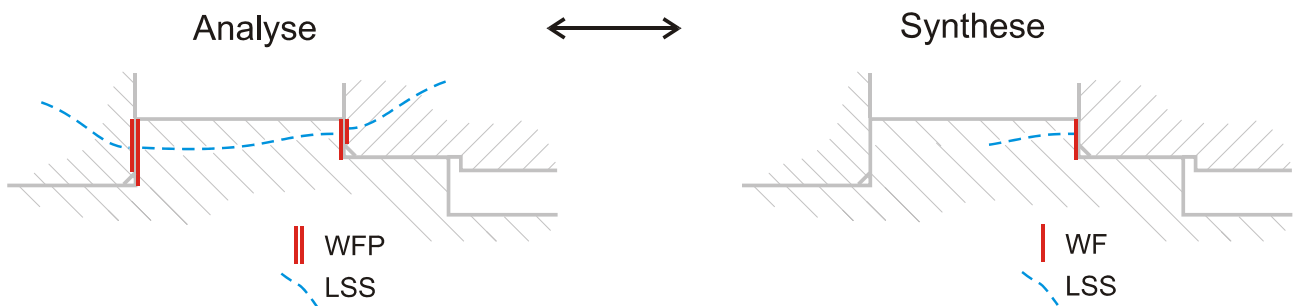


Abbildung 78: Sichtweisenwechsel

Die Schritte in der Synthese sind so gewählt, dass das Kreieren möglichst einfach gehalten und ein „Verzetteln“ oder eine Blockade aufgrund zu vieler Handlungsoptionen eingeschränkt wird.

Aus der Reduktion von Abhängigkeiten zur Vereinfachung der Kreationsschritte folgt, dass in diesen nur exakt dasjenige erstellt wird, was gewollt ist, und nicht unbeabsichtigt implizite Eigenschaften festgelegt werden, die im weiteren Verlauf zusätzliche Restriktionen einführen und damit die Komplexität erhöhen. Das Ziel ist dabei, nur so viel wie unbedingt nötig festzulegen, um die Nachvollziehbarkeit der Auswirkungen auf das Gesamtsystem in anschließenden Analyseschritten zu erleichtern und möglichst viel Freiraum für weitere Syntheseschritte zu erhalten.

8.2.1 Wirkfläche

Vor der Erzeugung einer neuen Wirkfläche ist zu prüfen, ob diese nicht aus einer bereits bestehenden Fläche abgeleitet werden kann. Dies geht selbstverständlich nicht, solange erst wenig gestaltet ist, da in diesem Zustand entweder noch keine Flächen vorhanden oder die bestehenden bereits mit einer Funktion belegt sind. Sie können nicht variiert werden, ohne deren Funktion oder die Gestaltungsgrundregel Eindeutig zu kompromittieren. Wann, d. h. in welchem Systemzustand, welche Fläche eine Wirk- oder Begrenzungsfläche darstellt, muss aus den vorangegangenen Analyseschritten bekannt sein.

Die hier vorgeschlagene Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese soll bewirken, dass der Konstrukteur zu jeder Zeit die vollständige inhaltliche Kontrolle über das von ihm kreierte System behält. Sind ihm Abhängigkeiten innerhalb des Systems oder Auswirkungen seiner Veränderungen

nicht bewusst, so kann auch das zukünftige Verhalten des Gesamtsystems nicht mehr vorhergesagt werden. Zwei Hauptprobleme können zu solch einem Zustand führen: ein Fehler während der übergeordneten opportunistischen oder eine lückenhaft durchgeführte Analyse in der systematischen Gestaltungsphase. Ersteres passiert im Rahmen eines intuitiven Vorgehens bei gleichzeitig mangelnder Erfahrung, wenn vermeintliche Lösungen gesehen werden, ohne alle mit ihnen verbundenen Implikationen vergegenwärtigt zu haben. Sofern diese vollständig durchgeführt wird, kann solch ein Fehler durch die Analyse durchaus aufgedeckt werden, weshalb ein systematisches Vorgehen zweckmäßig ist.

Durch das Festlegen von Wirkflächen und Leitstützstrukturen entstehen zwangsläufig Begrenzungsflächen und Reststrukturen, was beispielsweise auf fertigungstechnische Gründe zurückzuführen ist /MATT02/. Je mehr Flächen vorhanden sind, desto eher kann eine Funktion einer bereits bestehenden Begrenzungsfläche zugeordnet werden, ohne dass eine neue Fläche erstellt werden muss. Eine schwerlich empirisch nachprüfbar Konstruktionsweisheit besagt, dass der Konstrukteur bei einer guten Konstruktion Wirkflächen geschenkt bekommt. Damit soll ausgedrückt werden, dass sich jede neu hinzukommende Funktion im Konstruktionsverlauf einer in sich stimmigen Lösung bei zunehmender Festlegung der Gestalt ohne weiterführende Komplikationen integrieren lässt, was letztendlich zu einer einfachen Gestalt führt.

Das Gegenteil einer einfachen Gestalt ist eine „verbastelte“ Konstruktion, bei der für jede Funktion nicht nur eine Wirkfläche, sondern auch neue Begrenzungsflächen und Reststrukturen erstellt werden müssen. Die steigende Anzahl von Flächen führt zu mehr meist fertigungstechnisch begründeten Abhängigkeiten. Diesen Komplikationen kann nur mithilfe zusätzlicher Schnittstellen begegnet werden, die wiederum selbst aus Wirkflächenpaaren bestehen. Werden im Verlauf der Gestaltung die Abhängigkeiten und Interferenzen zwischen den Flächen zunehmend komplexer, liegt der Fehler meist in der nicht stimmigen Prinziplösung. Auch durch eine noch so gute Gestaltung kann eine prinzipiell fehlerhafte Lösung nicht verbessert werden.

Zur Variation einer Wirkfläche nennt die Konstruktionslehre nach Pahl/Beitz fünf Alternativen, nämlich Art, Form, Lage, Anzahl und Größe. Diese Alternativen werden in den folgenden Abschnitten sowie in Abbildung 79 einzeln besprochen und dargestellt.

Art

Die Variation der Wirkflächenart ist während der Gestaltsynthese unüblich, da diese Eigenschaft der Wirkfläche eng mit dem umgesetzten physikalischen Effekt, also mit dem Prinzip, zusammenhängt. Sie sollte bereits während der Suche nach Lösungsprinzipien variiert werden. Soll die Wirkflächenart dennoch verändert werden, ist zu beachten, dass manche der möglichen mechanischen, physikalischen oder chemischen Eigenschaften fertigungstechnisch nur durch eine Beschichtung oder eindringende Oberflächenbehandlung mit einer diskreten Schichtdicke erzeugt

werden können. In einem solchen Fall ist zu prüfen, ob die veränderte Oberflächenschicht selbst als Leitstützstruktur mit einer zur ursprünglichen Oberfläche hin gerichteten Wirkfläche betrachtet werden muss.

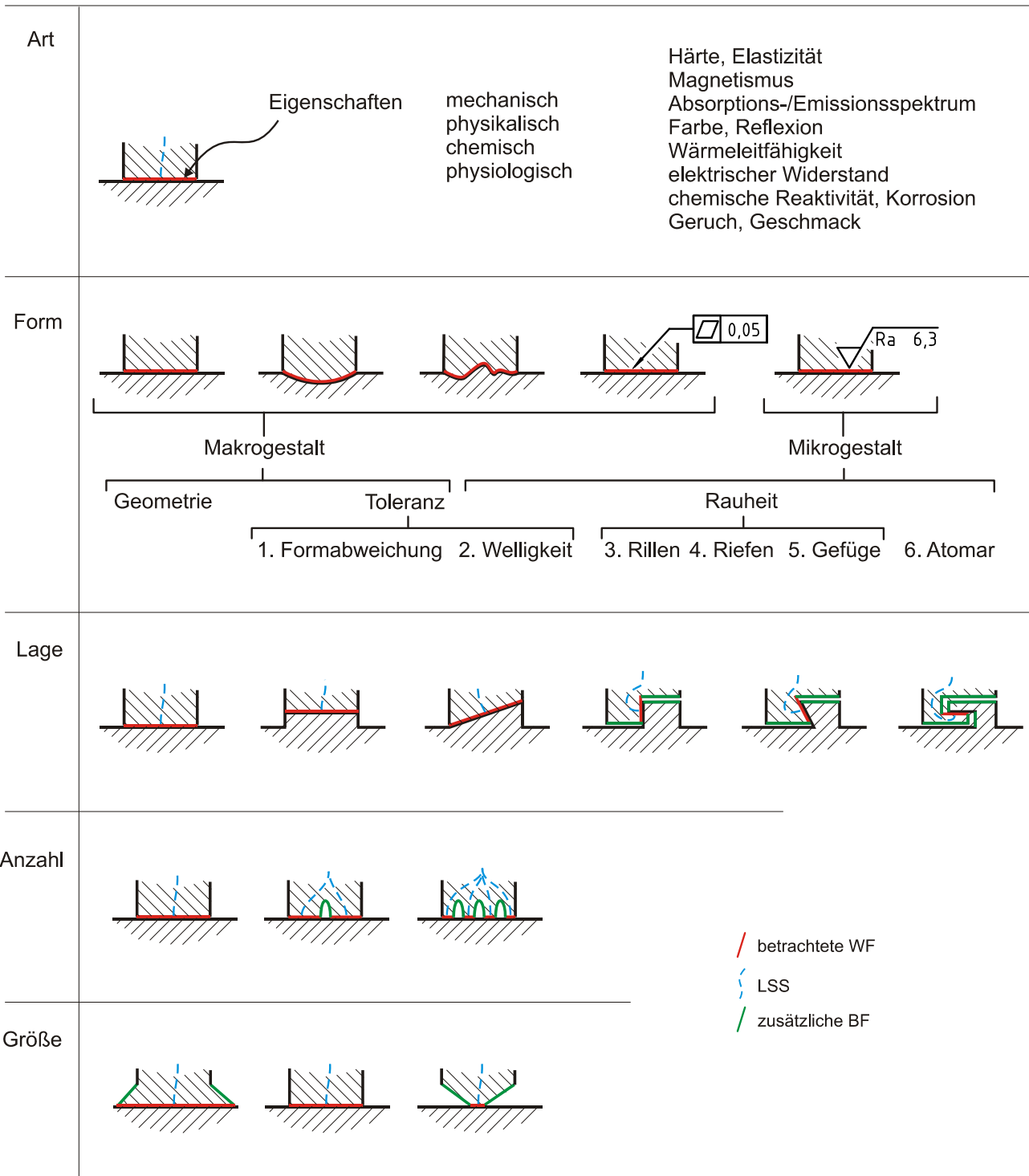


Abbildung 79: Wirkflächenvariation

Form

Die Form einer Wirkfläche kann in verschiedenen Größenordnungen beeinflusst werden. Im Maschinenbau hat sich, ausgehend von den fertigungstechnischen Gegebenheiten, das Vorgehen etabliert, die Form in die theoretisch exakte Geometrie und Oberflächenabweichungen einzuteilen. Die beim Gestalten offensichtlich primäre Aufgabe liegt in der Festlegung der grundlegenden Geometrie, die sich ganz allgemein in analytisch genau beschreibbare Regelformen, wie Gerade, Kreis, Ellipse etc., oder Freie, d. h. Unregelmäßige, aufteilt. Nicht so offensichtlich, meist für die Funktionalität der Wirkflächenpaarung aber ebenso wichtig, ist die Festlegung der Toleranzen und der Mikrogestalt. Auch wenn diese als unerwünschte Abweichungen betrachtet werden, müssen sie aktiv gestaltet und explizit genannt werden.

Lage

Der Lagevariation von Wirkflächen kommt während der Gestaltsynthese eine große Bedeutung zu, da mit ihr die eigentliche geometrische Form, die Gestalt, am stärksten beeinflusst wird. Die Lage der Wirkfläche wird durch die Position ihrer Grenzen sowie ihren Normalenvektor bestimmt. In einer zweidimensionalen Skizze bedeutet dies, dass die Wirkfläche durch den Anfangs- und Endpunkt einer Linie sowie die Seite, auf der sich die Leitstützstruktur befindet, definiert ist. Bei der Variation dieser Parameter ist die Form der Fläche konstant zu halten. Besondere Beachtung muss dem Umstand zuteilwerden, dass sich bei der Lagevariation qualitative Änderungen der angrenzenden Flächen ergeben können. Dies kann dazu führen, dass diese Flächen entweder ihre Form ändern oder neue Begrenzungsflächen eingeführt werden müssen. Bei einer Formvariation der angrenzenden Flächen ist deren Funktionalität erneut zu prüfen.

Anzahl

Die reine Variation der Wirkflächenanzahl ist kritisch zu betrachten, da diese zwangsläufig auf eine Mehrfachpassung herausläuft. Die Erhöhung der Wirkflächenanzahl ist eine Umsetzung des Prinzips der Aufgabenteilung bei gleicher Funktion. Diese erfordert zusätzlich, dass die Leitstützstruktur die Aufgabe des Wegausgleichs übernimmt, damit die einzelnen Wirkflächenpaare gleichmäßig in Kontakt kommen können.

Größe

Die Variation der Wirkflächengröße scheint trivial zu sein, jedoch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass durch die Größenvariation die Abhängigkeiten zu den angrenzenden Flächen geändert werden. Analog zur Variation der Lage ist zu prüfen, ob die angrenzenden Flächen in ihrer Form verändert werden dürfen oder ob neue Begrenzungsflächen eingeführt werden müssen.

Kann eine Wirkfläche nicht aus einer bestehenden Begrenzungsfläche umdefiniert bzw. durch Variation aus einer solchen geschaffen werden, so muss sie erzeugt werden. Dazu müssen dieselben Eigenschaften bestimmt werden, wie sie für die Variation zur Verfügung stehen. Dabei ist zu beachten, dass nur die unbedingt nötigen Eigenschaftsparameter festgelegt werden. Konkret bedeutet dies, dass jeweils nur eine einzelne Linie, nicht mehrere, gezeichnet wird. Diese sind so kurz zu zeichnen, dass weder Anfangs- noch ihr Endpunkt an ein anderes Element stoßen oder implizit dessen Position festlegen. Dieses Vorgehen erfordert Übung, da aufgrund der Gestaltgesetze der menschlichen Wahrnehmung die Tendenz besteht, konsistente, d. h. vollständige und miteinander verbundene Formen zu erzeugen. Benachbarte Flächen als voneinander unabhängige Funktionsflächen zu betrachten, ist ein künstliches Gedankenmodell, das erlernt werden muss.

8.2.2 Leitstützstruktur

Nachdem eine Wirkfläche variiert oder erzeugt wurde, muss sie durch mindestens eine Leitstützstruktur mit der bereits bestehenden Konstruktion verbunden werden. Um diesen Syntheseschritt möglichst einfach zu halten, wird nur die Verbindung eingezeichnet, die beabsichtigt ist. Die Betrachtung der alternativ möglichen Leitstützstrukturen erfolgt nicht in diesem Schritt, sondern erst im nächsten Analysezyklus, da anderenfalls von der eigentlichen Synthese abgewichen wird, bevor diese durch Hinzufügen eventueller Randbedingungen, d. h. zusätzlich einzuführender Begrenzungsflächen, abgeschlossen ist.

Die Definition der Leitstützstruktur spricht ihr die Leitung von Energie, Stoff oder Information zu, woraus sich die grundlegende Restriktion ableitet, dass sie nur passende Wirkflächenpaare verbinden kann und hierdurch ihre Eigenschaften festgelegt werden. Besteht bis dahin keine Möglichkeit, zu der die neu kreierte Leitstützstruktur führen kann, so ist sie freistehend zu belassen. Auch hier gilt, dass nur so viel wie unbedingt nötig festgelegt wird. Der nächste Analysezyklus wird diesen unfertigen Zustand wieder aufgreifen und eine erneute Variation oder Kreation auslösen.

Als Leitstützstrukturen kommen Festkörper, Flüssigkeiten, Gase oder felddurchsetzte Räume in Betracht. Diese sehr weitgreifende Definition ist im Rahmen einer funktionalen Analyse eines Systems erforderlich und hilfreich, für das Kreieren einer Bauteilgestalt wird sie allerdings oft auf Festkörper, d. h. Material, eingeschränkt. Die Variation der Leitstützstruktur unterscheidet sich von der Variation von Wirkflächen in der Anzahl der beeinflussbaren Parameter. Während bei Wirkflächen Art, Form, Lage, Anzahl und Größe variiert werden können, steht für die direkte Variation der Leitstützstruktur nur die Variation der Art zur Verfügung (Abbildung 80).

Die Wahl eines zur Leitung von Energie, Stoff oder Information geeigneten Materials führt zwangsläufig zur Festlegung der mechanischen Eigenschaften der Leitstützstruktur, welche die Stützfunktion der Leitstützstruktur beeinflussen, durch die die verbundenen Wirkflächen in ihrer Position gehalten werden. Eine nahezu immer zu berücksichtigende Eigenschaft stellt die Elastizität bei Betrachtung der Kraftleitung dar. Sie ist dafür verantwortlich, dass einzelne Wirkflächen aufgrund von Verformung hinsichtlich ihrer Lage variieren. Ob dies Folgen für die Funktion der verbundenen Wirkflächenpaarung hat, ist im Rahmen der Analyseschritte zu prüfen.

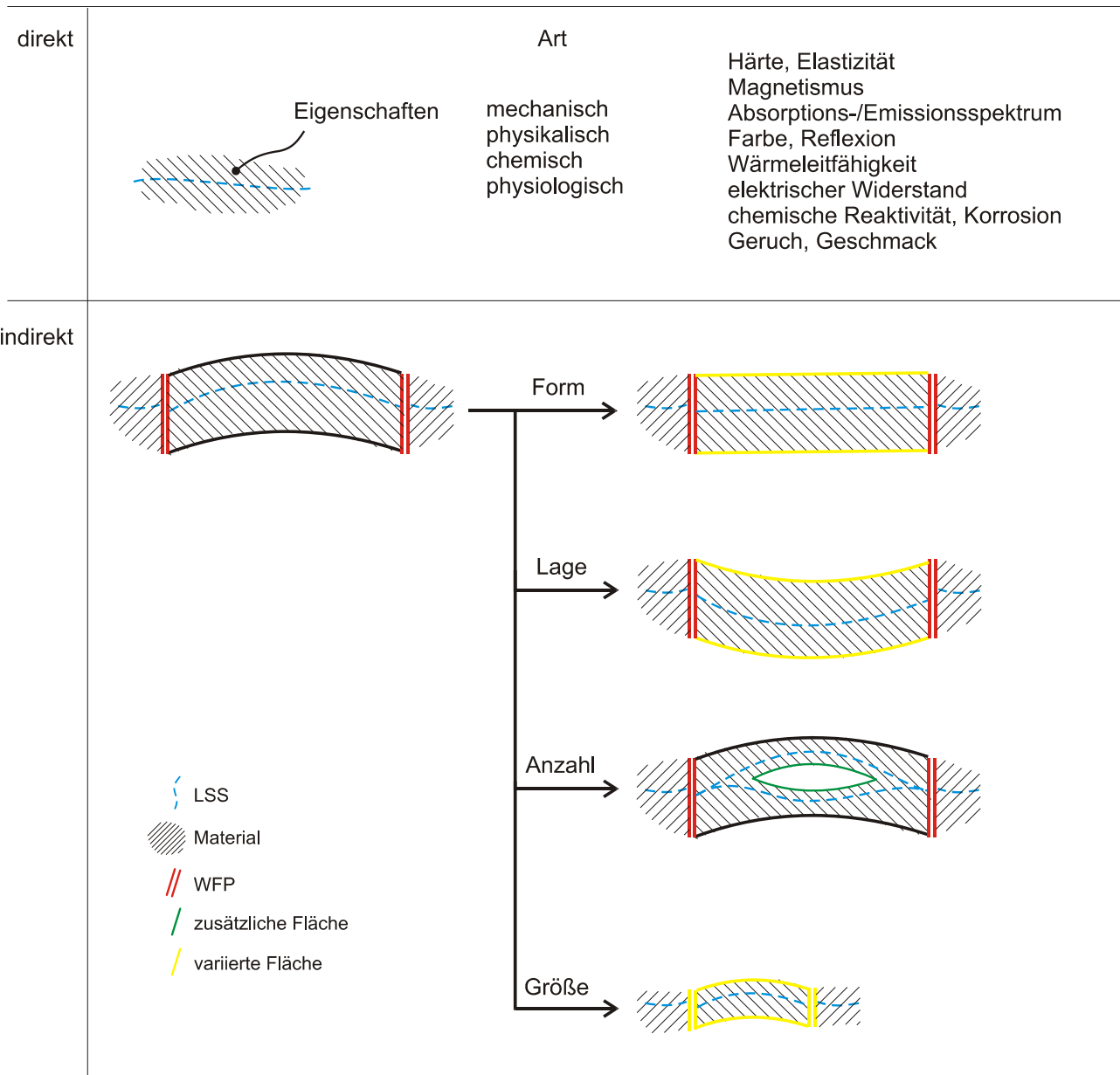


Abbildung 80: Variation der Leitstützstruktur

Die Variation der Form, Lage und Größe der Leitstützstruktur ist nur indirekt durch die Variation der sie einhüllenden Wirk- und Begrenzungsflächen möglich. Die Variation der Anzahl kann erfolgen,

indem zusätzliche Verbindungen zwischen Wirkflächenpaaren durch neue Flächen erzeugt werden.

Soll das Prinzip der Kraftleitung berücksichtigt werden, ist im Sinne einer kurzen und direkten Kraftleitung eine möglichst geradlinige und mit der Wirkungslinie der Kraft kongruente Leitstützstruktur zu zeichnen. Um das Prinzip des Kraftausgleichs zu verwirklichen, muss die neu entstehende Leitstützstruktur eine Symmetrie aufweisen und vollständig innerhalb des zu erzeugenden Systems verbleiben. Das Prinzip der abgestimmten Verformung lässt sich nicht allein durch die Betrachtung einer einzelnen Leitstützstruktur beurteilen; hier ist der relative Vergleich von mindestens zwei Leitstützstrukturen erforderlich, wie er in den Analyseschritten vorgenommen wird.

8.2.3 Zusatzflächen

Sowohl die Variation als auch die Kreation einer Wirkfläche können das zwangsweise Entstehen von zusätzlichen Begrenzungsflächen oder Reststrukturen erfordern. Spätestens wenn alle Funktionen der Prinziplösung in der Wirkstruktur umgesetzt sind, muss die Gestalt geschlossen werden, um als realer Körper existieren zu können. Die Realisierung der Gestalt beinhaltet immer die Schritte der Fertigung und der Montage. Ist das Fertigungsverfahren zu dem Zeitpunkt der Gestaltsynthese noch nicht festgelegt, schränkt dies die Gestaltungsfreiheit stark ein. In diesem Fall können lediglich die Wirkflächen und die Tragstruktur definiert werden. Eine vollständige, geschlossene Gestalt kann nur dann entstehen, wenn diese ausschließlich aus Wirkflächen besteht, was im Sinne der Gestaltungsgrundregel Einfach wünschenswert, in der Realität aber schwer zu erreichen ist.

Sind zusätzliche Begrenzungsflächen aus fertigungs- oder montagetechnischen Gründen vorgesehen, so sind diese direkt im Anschluss an die Variation oder Erzeugung einer Wirkfläche miteinzuzichnen. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass innerhalb eines Durchlaufs der schrittweisen Gestaltsynthese nur die funktionserzeugende Wirkfläche und die mit ihr notwendigerweise verbundene Leitstützstruktur und die entsprechenden Zusatzflächen geschaffen werden. Nach diesem Schritt erfolgt ein neuer Durchlauf der Analyseschritte, um die Auswirkung dieser Synthese auf das Gesamtsystem zu überprüfen. Die Betrachtung von Zusatzflächen ist der letzte Schritt in dem Ablaufschema der schrittweisen Gestaltsynthese.

In diesem Kapitel wurde Punkt für Punkt ein Durchlauf der schrittweisen Gestaltsynthese (Abbildung 68) erörtert. Ein solcher Durchgang gliedert sich in einen Analyse- und einen Syntheseschritt, wobei ein Wechsel der Betrachtungsweise vorgenommen wird. Bei der Analyse werden Wirkflächenpaare und die sie verbindenden Leitstützstrukturen betrachtet, während der Syntheseschritt einzelne Wirkflächen mit angrenzender Leitstützstruktur fokussiert. Durch das

Reduzieren der komplexen Gestaltfindung auf einzelne Flächen kann die Abfolge von Analyse und Synthese mit geringer kognitiver Last und damit schnell durchlaufen werden. Die Zwischenergebnisse der einzelnen Syntheseschritte können unter Beachtung der in Kapitel 6 gewonnenen Erkenntnisse präzise dokumentiert werden.

Die schrittweise Gestaltsynthese ist ein Vorgehen, das komplexe Gestaltungsaufgaben in handhabbare Teilaufgaben zerlegt und durch kontinuierliches Externalisieren erreichter Zwischenstände die Reflexion dieser ermöglicht.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die Methodik der schrittweisen Gestaltsynthese basiert auf der Feststellung, dass die Schritte des Konstruktionsprozesses, speziell der Schritt der Gestaltsynthese, durch die kognitiven Leistungen menschlichen Denkens limitiert werden. Diesen Grenzen steht die Fähigkeit der effizienten Mustererkennung gegenüber, die es ermöglicht, komplexe Situationen effizient zu beurteilen und gezielt Handlungsoptionen aus einer ansonsten unüberschaubaren Anzahl an Möglichkeiten zu wählen.

Aus dem Eingeständnis dieser Grenzen folgt die Einsicht, dass zusätzliche externe Hilfsmittel das Konstruieren nicht nur erleichtern, sondern zwingend erforderlich sind. Eine Voraussetzung ist dabei, daß die Hilfsmittel selbst die kognitiven Ressourcen nicht zu sehr beanspruchen, da dies zulasten des eigentlich beabsichtigten Problemlösens geht. Die Methodik ist daher auf eine einfache Repräsentationsform der während ihrer Durchführung entstehenden Zwischenzustände angewiesen.

Prinziplösungsskizzen, als einfach zu erstellende Strichzeichnungen, stellen die adäquaten Mittel zum Repräsentieren der einzelnen Aspekte des bei der Gestaltsynthese prozessierten technischen Konzepts dar. Das Externalisieren von teilgestalteten Ergebnissen ist ein Kommunikationsvorgang, der vom Konstrukteur ausgeht und entweder mit ihm selbst oder mit weiteren Personen stattfindet. Die Kommunikation erfolgt dabei als ein Austausch von Informationen, die in Zeichen codiert werden. Für eine präzise Informationsvermittlung müssen die verwendeten Symbolzeichen und ihre mehrschichtige Anwendung wahrnehmbar und deutbar sein, wobei das Wissen über das Instrumentarium der Semiotik hilfreich ist.

Der eigentliche Ablauf der Methode ist ein kaskadiertes Vorgehen, bei dem der Konstrukteur selbst die Schrittweite und -geschwindigkeit vorgibt. In einem übergeordneten opportunistischen Zyklus werden direkt erkannte Teillösungen der Gestaltungsaufgabe erfasst. Dieses Vorgehen trägt der Konstruktionserfahrung und der Intuition Rechnung und erlaubt eine effiziente Annäherung an die eigentlichen aufgabenspezifischen Problembereiche, die im untergeordneten systematischen Zyklus in ihre kleinsten Einheiten zerlegt werden.

Der systematische Zyklus besteht aus mehrfach schnell durchlaufenen Analyse- und Syntheseschritten, denen das gedankliche Modell der Wirkflächen und Leitstützstrukturen zugrunde liegt, wobei der ständige Wechsel der Sichtweise den Kern des systematischen Vorgehens darstellt. In der Analyse werden Wirkflächenpaare oder die Leitstützstruktur betrachtet, während die Synthese eine einzelne Wirkfläche mit angehängter Leitstützstruktur fokussiert. Die Variation oder Synthese von Wirkflächen wendet dabei die Mittel der Konstruktionslehre an, wie

auch die Analyse sich der Gestaltungsgrundregeln und -prinzipien bedient. Dieses bedarfsspezifische, kleinschrittige Vorgehen begünstigt ein schnelles Bearbeiten der einzelnen Schritte und verhindert eine Blockade aufgrund zu komplexer Problemstellungen oder zu vieler Handlungsoptionen.

Die in der vorliegenden Arbeit verfolgten Ansätze und die aus ihnen gewonnenen Erkenntnisse zeigen Potenziale für die weiterführende Forschung auf. So lässt sich der Ansatz, das Externalisieren von Zwischenergebnissen der Gestaltsynthese als Kommunikationsvorgang zu betrachten, auf einen personell und zeitlich größeren Kontext ausdehnen. Darunter kann verstanden werden, dass diese Zwischenergebnisse nicht nur situativ während der eigentlichen Gestaltung Verwendung finden, sondern der Dokumentation des eigentlichen Konstruktionsprozesses als Grundlage dienen. In diesem Kontext ist die kognitive Belastung bei der Erzeugung der Repräsentationsform kein limitierender Faktor mehr, wodurch die Verwendung komplex zu erstellender, aber weniger abstrakter Darstellungsformen möglich wird.

Die in der Methodik verwendete Symbolik für Gestaltdarstellungen lässt sich in diesem Sinne ohne Einschränkungen auf Computer als multimediales Darstellungsmedium übertragen (Abbildung 81). Auf diese Weise können räumliche, zeitliche und kausale Abhängigkeiten, die in einer statischen Strichzeichnung eine mehrschichtige Codierung erfordern, naturgetreuer repräsentiert werden. Allen voran ist hier die räumliche Ausdehnung realer Körper zu nennen, die sich nur durch Anwendung erlernter Konventionen zweidimensional darstellen lässt. Aber auch die animierte Repräsentation zeitlicher Abläufe oder die Möglichkeit, durch Interaktivität kausale Zusammenhänge erfahrbar zu machen, sprechen für den Einsatz multimedialer Techniken.

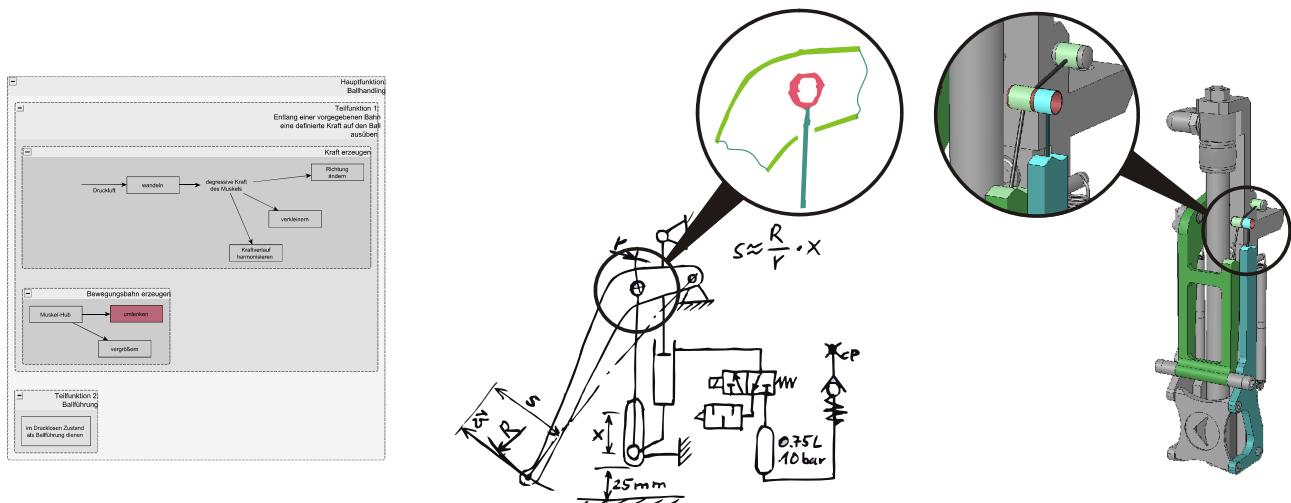


Abbildung 81: Multimediale Repräsentation des Prinzips

Dass diese Techniken nach dem Verständnis der vorliegenden Arbeit aufgrund ihrer Erstellungskomplexität für kreative Syntheseschritte ungeeignet sind, besagt nicht, dass sie nicht

im Rahmen der Analyse zweckdienlich wären. Diese Überlegung führt zu dem Ansatz, die Analysetätigkeit durch Automatismen systematisch vorzubereiten und multimedial zu dokumentieren.

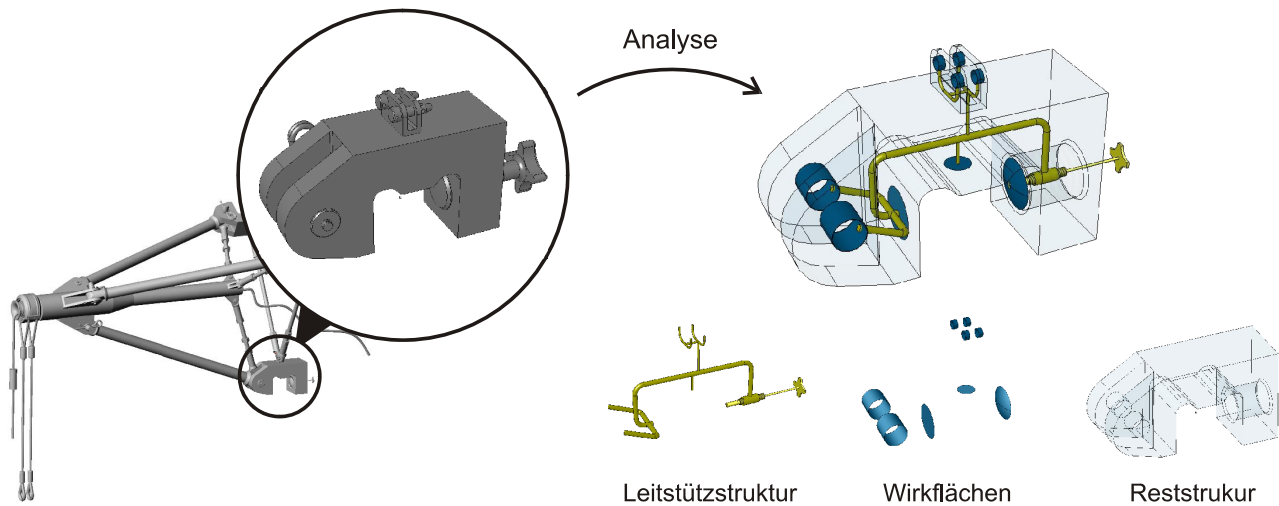


Abbildung 82: Wirkstrukturanalyse

Denkbar ist ein Tool, das die konstruktionstechnische Analyse unterstützt, indem es aus gegebenen CAD-Daten die möglichen Leitstützstrukturen extrahiert und visualisiert (Abbildung 82). Der dazu verwendete Algorithmus kann von bestehenden Bauteilkontakten einer Baugruppe ausgehen, um Wirkflächenpaarungen zu identifizieren. Der Qualitätsprüfung der Gestaltsynthese kann dabei der Vergleich der extrahierten Wirkstruktur mit der beabsichtigten Prinziplösung dienen. Ohne den direkten Vergleich mit der Prinziplösung kann die Gestaltung auf die Einhaltung der Gestaltungsgrundregeln hin überprüft werden, indem die eindeutige Zuordnung der Wirkflächen zueinander überprüft oder die Relation von Wirkflächen zu Begrenzungsflächen als Maß für die Einfachheit der Konstruktion bestimmt wird.

Mit der in dieser Arbeit vorgestellten Methodik zur schrittweisen Synthese von Gestalt in Verbindung mit multimedialen Hilfsmitteln zur Dokumentation auch der Zwischenergebnisse des Entwicklungsprozesses ist ein Weg geschaffen für die durchgängige explizite Erfassung der ganzen Bandbreite konstruktiven Wissens.

10 Literatur

- ADAM86 Adams J.: Conceptual Blockbusting. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- AICH77 Aicher O.: Zeichensysteme der visuellen Kommunikation. Stuttgart: Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, 1977.
- ALEX64 Alexander C.: Notes on the Synthesis of Form. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1964.
- ALEX77 Alexander C.: A Pattern Language. New York: Oxford University Press, 1977.
- ALEX79 Alexander C.: The Timeless Way of Building. New York: Oxford University Press, 1979.
- ARNE63 Arnell A.: Standard Graphical Symbols. New York: McGraw-Hill, 1963.
- BERT74 Bertin J.: Graphische Semiologie. Berlin: Walter de Gruyter, 1974.
- BODE96 Bode E.: Konstruktionsatlas. Darmstadt: Verlag Vieweg, 1996.
- BRED03 Bredekamp H.: Bildwelten des Wissens. Berlin: Akademie Verlag, 2003.
- BROW05 Brown H.: 507 Mechanical Movements. New York, Dover Publications, 2005.
- DIN02b DIN ISO 128-30: Technische Zeichnungen: Allgemeine Grundlagen der Darstellung. Berlin: Beuth-Verlag, 2002.
- DIN02c DIN EN 80416: Allgemeine Grundlagen für grafische Symbole auf Einrichtungen. Teil 2: Form und Anwendung von Pfeilen. Berlin-Wien-Zürich: Beuth-Verlag, 2002.
- DIN03 DIN ISO 128-1: Technische Zeichnungen: Allgemeine Grundlagen der Darstellung. Berlin: Beuth-Verlag, 2003.
- DIN03b DIN EN 80416: Allgemeine Grundlagen für graphische Symbole. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 2003.
- DIN07 DIN ISO 1219: Fluidentechnik - Graphische Symbole und Schaltpläne. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 2007.
- DIN78 DIN 41609: Graphische Symbole für Druckluftschaltpläne. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1978.

- DIN79 DIN 2481: Wärmekraftanlagen - Graphische Symbole. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1979.
- DIN90 DIN 6789: Dokumentationssystematik. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1990.
- DIN97 DIN 60617: Graphische Symbole für Schaltpläne. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1997.
- DIN98 DIN 85005: Graphische Symbole für Technische Dokumentation. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1998.
- DIN99 DIN ISO 15226: Technische Produktdokumentation. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1999.
- DREY72 Dreyfuss H.: Symbol Sourcebook. New York: McGraw-Hill, 1972.
- DUDE06 Duden: Das Synonymwörterbuch. Ein Wörterbuch sinnverwandter Wörter. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag, 2006.
- DUDE07 Duden: Deutsches Universalwörterbuch, 6. überarbeitete Auflage. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag, 2007.
- DUFF04 Duff J.: The Complete Technical Illustrator. New York, McGraw-Hill, 2004.
- ECO02 Eco U.: Einführung in die Semiotik. München: Wilhelm Fink Verlag, 2002.
- FELD07 Feldhusen J.: Konstruktionslehre I. Vorlesungsunterlagen, Aachen 2007.
- FERG92 Ferguson E.: Engineering and the Mind's Eye. Cambridge: MIT Press, 1992.
- FREN99 French M.: Conceptual Design, 3rd. Ed. London: Springer-Verlag, 1999
- HACK02 Hacker W.: Denken in der Produktentwicklung. Zürich: Rainer Hampp Verlag, 2002.
- HOEN04 Hoenow G.: Entwerfen und Gestalten im Maschinenbau. München, Wien, Hanser-Verlag, 2004.
- HOIS03 Hoischen H.: Technisches Zeichnen, 29. Auflage. Berlin: Cornelsen Verlag, 2003.
- ITED07 URL: <http://www.itedo.com/> [letzter Abruf am 25.10.2007].
- JUHL05 Juhl D.: Technische Dokumentation. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- JUNG92 Jung A.: Genaue Maschinen, Geräte und Instrumente. Renningen, Expert-Verlag GmbH, 1992.
- KARM07 Karmasin H.: Produkte als Botschaften, 4. Auflage. Landsberg am Lech:

- mi-Fachverlag, Redline GmbH, 2007.
- KERL07 Kerle H.: Einführung in die Getriebelehre. Analyse und Synthese ungleichmäßig übersetzender Getriebe, 3. Auflage. Wiesbaden: Teubner Verlag, 2007.
- KLOE81 Klöckner I.: Produktgestaltung. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1981.
- KOLL94 Koller R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau, 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- KROE87 Kroehl H.: Communication Design 2000. Zürich, ABC Verlag, 1987.
- KROL01 Kroll E., Condoor S., Jansson D.: Innovative Conceptual Design. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- MATT02 Matthiesen S.: Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementemodells Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme. Karlsruhe: Institut für Produktentwicklung Karlsruhe Universität Karlsruhe, 2002.
- NOET85 Nöth W.: Handbuch der Semiotik, Stuttgart: J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, 1985.
- NORB65 Norberg-Schulz C.: Logik der Baukunst. Berlin, Frankfurt, Wien: Ullstein, 1965.
- NORM02 Norman D.: The Design of Everyday Things. New York: Basic Books, 2002.
- NORM93 Norman D.: The Things That Make Us Smart. New York: Basic Books, 1993.
- NORT05 North K.: Wissensorientierte Unternehmensführung, 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler-Verlag, 2005.
- PAHL06 Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.: Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Methoden und Anwendung, 7. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- PROB06 Probst G.: Wissen managen, 5.Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2006.
- REUL75 Reuleaux F.: Lehrbuch der Kinematik: Theoretische Kinematik : Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 1875.
- RICH87 Richter, W.: Gestalten nach dem Skizzierverfahren. Konstruktion 39 H.6, Springer-Verlag, 1987.
- ROBI92 Robin H.: Die wissenschaftliche Illustration. Basel: Birkhäuser Verlag, 1992.

- ROTH82 Roth K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Bd.2, 1.Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 1982.
- SCHM03 Storrer A.: Pfeilzeichen: Formen und Funktionen in alten und neuen Medien. Erschienen in: Schmitz U.: Wissen und neue Medien. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, 2003.
- SCHU05 Schuh G.: Produktkomplexität managen, 2. Auflage. München, Wien: Hanser Fachbuchverlag, 2005.
- SHEP71 Shepherd W.: Shepherd's Glossary of Graphic Signs and Symbols. London: J.M. Dent & Sons Ltd., 1971.
- STER08 URL: <http://www.sternwarte-moers.de/Presse/presse.html> [letzter Abruf am 2.2.2008].
- TJAL79 Tjalve, E.: Engineering Graphic Modelling. London: Butterworth & Co Ltd., 1979.
- TRAB96 Trabant J.: Elemente der Semiotik. Tübingen: A. Francke Verlag, 1996.
- TUFT90 Tuft E.: Envisioning Information. Connecticut: Graphics Press, 1990.
- TUFT97 Tuft E.: Visual Explanations: Images and Quantities, Evidence and Narrative. Connecticut: Graphics Press, 1997.
- VDI03 Richtlinie VDI 2218: Feature-Technologie. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 2003.
- VDI04 Richtlinie VDI 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 2004.
- VDI06a Richtlinie VDI 4500: Technische Dokumentation. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 2006.
- VDI06b Richtlinie VDI 2309: 3-D-Produktmodellierung. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 2006.
- VDI08 URL: <http://www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/ekv/organisation/11854/> [letzter Abruf am 26.2.2008].
- VDI93 Richtlinie VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1993.
- VDI93b Richtlinie VDI 2127: Getriebetechnische Grundlagen. Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag, 1993.

-
- VDI97 Richtlinie VDI 2222: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Berlin – Wien
 – Zürich: Beuth-Verlag, 1997.
- VIEB93 Viebahn U.: Technisches Freihandzeichnen, Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- WOLF99 Wolff D.: Drafting Symbol Sourcebook. New York: McGraw-Hill, 1999.

Lebenslauf

Johannes Peter Lemburg

Geboren am 15. Januar 1973 in Düsseldorf

- | | |
|-------------------|---|
| 8/1979 – 6/1983 | Katholische Grundschule Kaarst |
| 8/1983 – 6/1992 | Quirinus-Gymnasium Neuss, Abitur |
| 6/1992 – 10/1993 | befreit vom Wehrdienst (dritter Sohn) |
| 10/1993 – 12/2002 | Studium des Maschinenbaus an der
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Vertiefungsrichtung Konstruktionstechnik |
| 12/2002 – 3/2008 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der RWTH Aachen
Lehrstuhl und Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des
Maschinenbaus (IKT), Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Feldhusen |
| seit 4/2008 | Senior Researcher am Deutschen Forschungszentrum für
künstliche Intelligenz GmbH Bremen, Forschungsbereich Robotik |