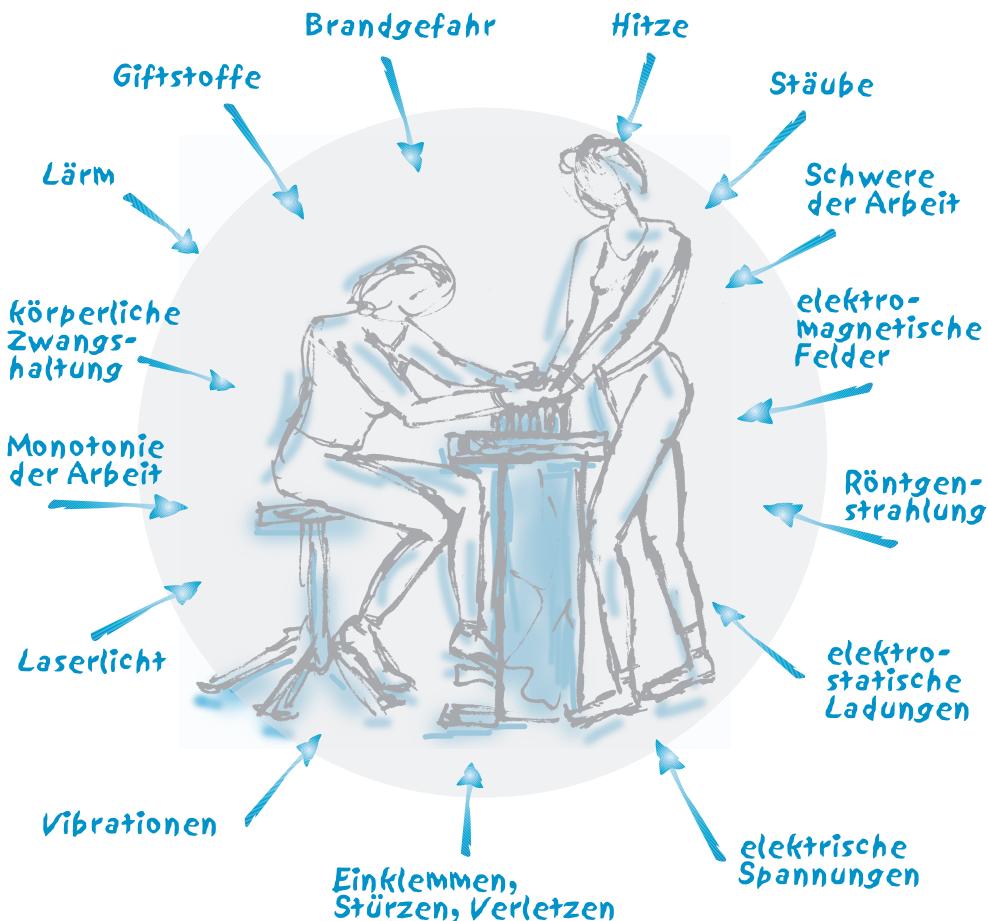


KONSTRUKTIONSLEHRE MASCHINENBAU



Zum Nachdenken:

Belastungen und Gefahren am Arbeitsplatz



Bürgerliches Gesetzbuch (BGB):

§ 618 [Schutzworschriften]

Der Dienstberechtigte hat Räume, Vorrichtungen oder Gerätschaften, die er zur Verrichtung der Dienste zu beschaffen hat, so einzurichten und zu unterhalten und Dienstleistungen, die unter seiner Anordnung oder seiner Leitung vorzunehmen sind, so zu regeln, dass der Verpflichtete gegen Gefahr für Leben und Gesundheit soweit geschützt ist, als die Natur der Dienstleistung es gestattet.



Bibliothek des technischen Wissens

Rolf Kümmerer
Michael Dambacher
Andreas Hartmann
Wolfgang Schäfer

Dietmar Schmid
Burkhard Heine
Hans Kaufmann

Markus Bürger
Wolfgang Rimkus
Rupert Zang

Konstruktionslehre

Maschinenbau

6., überarbeitete und erweiterte Auflage, mit CD

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,
Düsselberger Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 14009

Die Autoren, mit den Arbeitsschwerpunkten im Buch:

Rolf Kümmerer, Dr.-Ing., Prof., Aalen: *Konstruktionsmethodik und Konstruktionssystematik, Entwerfen und Gestalten*

Dietmar Schmid, Dr.-Ing., Prof., Essingen: *Einzelbeiträge in allen Kapiteln*

Markus Bürger, Dipl.-Ing. (FH), Studiendirektor, Schwetzingen: *Maschinenelemente*

Michael Dambacher, Dipl.-Ing., Studiendirektor, Aalen: *Festigkeitslehre*

Rupert Zang, Dr.-Ing., Prof., Großostheim: *Geometrische Produktspezifikation GPS*

Wolfgang Schäfer, Dr. rer. nat., Bermatingen: *Kunststoffgerechte und FVK-gerechte Gestaltung*

Burkhard Heine, Dr. rer. nat. Prof., Aalen: *Werkstoffvorauswahl*

Wolfgang Rimkus, Dr. Dipl.-Ing. (FH), Aalen: *Computer und Konstruktion*

Andreas Hartmann, Dipl.-Ing., Stadtbergen: *Rapid Prototyping, FMEA*

Hans Kaufmann, Dipl.-Ing. (FH), Studiendirektor, Aalen: *Pneumatik und Hydraulik*

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Schmid, Essingen

Bildbearbeitung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar
Agathe Schmid-König, Technische Illustration und Gestaltung, 64668 Rimbach

Betreuung der Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Dem Buch wurden die neuesten Ausgaben der Normen und Gesetze zugrunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die Normblätter selbst und die amtlichen Gesetzestexte. Wie in Lehrbüchern üblich, werden etwa bestehende Patente, Gebrauchsmuster oder Warenzeichen meist nicht erwähnt. Das Fehlen eines solchen Hinweises bedeutet daher nicht, dass die dargestellten Produkte davon frei sind. Die Bilder sind von den Autoren entworfen bzw. entstammen aus deren Arbeitsumfeld. Soweit Bilder, insbesondere Fotos, einem Copyright Dritter unterliegen, sind diese mit dem ©-Symbol und dem Urhebernamen versehen und im Quellenverzeichnis aufgelistet.

6. Auflage 2019

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-1888-5

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden. Zu beachten sind die rechtlichen Hinweise bezüglich der CD-Nutzung (siehe CD selbst).

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: SKF, Göteborg: Skizze eines Wälzlagers von Sven Wingquist, um 1907

Druck: optimal media GmbH, 17207 Röbel/Müritz

Vorwort

Die Konstruktionslehre ist die *Königsdisziplin* der Technik. Die Konstruktion einer Maschine oder Anlage definiert die Eigenschaften, die prinzipiellen Herstellungsverfahren, den Gebrauch, die Umweltbeziehungen und nicht zuletzt die Kosten. Eine gute Konstruktion ist die Voraussetzung für einen Produkterfolg.

In diesem Buch wird der Leser und Lernende eingeführt in das *methodische und systematische Konstruieren*, mit Anleitung zum intuitiven Herangehen an die Aufgabenstellungen, zum Auswählen und zum Bewerten von Lösungsideen und Lösungen, jeweils unterlegt mit einer Vielzahl von Beispielen und Übungen.

Im Kapitel *Entwerfen und Gestalten* werden alle wichtigen Gesichtspunkte einer Konstruktionsaufgabe, ausgehend von den generellen Gestaltungsgrundlagen und den fertigungsorientierten Gestaltungsprinzipien, der Bauteiltolerierung bis hin zu allen anderen Eigenschaften einer Konstruktion, wie z. B. Ergonomie, Umwelt und Sicherheit, ausführlich behandelt.

Das Kapitel *Maschinenelemente* bringt dann eine Vielzahl von bekannten Einzellösungen und Normteilen, aus denen sich Konstruktionen zusammensetzen. Hier findet man in systematischer Aufreihung die Bauteile, die, meist technisch abgesichert, als Zukaufteile in Konstruktionen integriert werden können.

Der *Computer in der Konstruktion* ist zu einem Elementarwerkzeug geworden und befruchtet in vielfältiger Weise die Konstruktionsaufgaben. Er ist unabdingbar für Recherche, Zeichnungserstellung, Berechnung, Archivierung, Präsentation und Kommunikation. In diesem Sinne wird eine Übersicht gegeben. Für die kreative Gestaltung und Problemlösung, also für den eigentlichen Erfindungsvorgang beim Konstruieren, ist der Computer wenig hilfreich, sogar eher hinderlich.

Zum Verständnis konstruktiver Ausgestaltungen, zur Berechnung von Einzelementen, zum Abstrahieren von Zusammenhängen und zum Vermeiden von „Kardinalfehlern“ sind Kenntnisse in der *Festigkeitslehre* unabdingbar. Die Festigkeitslehre ist oft ein eigenständiges Lehrgebiet, häufig ist sie aber auch integriert in andere Fächer, wie z. B. der Technischen Mechanik oder der Konstruktionslehre. Damit der Leser des Buches zumindest die wichtigsten festigkeitsrelevanten Beziehungen zur Hand hat, ist dem Buch eine *Kleine Festigkeitslehre* angehängt.

Zielgruppen für das Buch sind Techniker und Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau, Produktionstechnik und Mechatronik, sowie all jene, die sich mit technischen Gestaltungen auseinandersetzen, wie z. B. Studierende des Design, des technischen Vertriebs und der Wirtschaftsingenieurwissenschaften.

Die vierfarbige Ausgestaltung des Buches ist für ein Konstruktionslehrebuch ungewöhnlich. Sie ist aber für unsere Zielsetzung notwendig. Konstruktionslehre darf eben kein graues, abstraktes, von Zahlen und schwarzen Strichen geprägtes Lehrgebiet sein, sondern ihr gehört als wichtigste Technikdisziplin die allerbeste Ausstattung, um die Nutzer zu kreativem Gestalten anzuregen, sie zu beflügeln und ihnen die schon bekannten Lösungen und Maschinenelemente in anschaulicherster Weise aufzuzeigen. So findet man in diesem Buch auch sehr viele Fotografien und mehrfarbige Zeichnungen.

Die **6. Auflage** wurde erheblich erweitert. Neu ist ein umfangreiches Kapitel **Geometrische Produktspezifikation GPS**. GPS ist weit mehr als „nur Symbolsprache“ für die Zeichnungserstellung. Es ist die Basis für ein Toleranzmanagementsystem. Des Weiteren gibt es, neben vielen Einzelverbesserungen, weitere neue Kapitel: **Korrosionsschutzgerechtes-Gestalten, Kunststoffgerechtes-Gestalten, FVK-gerechtes Gestalten, Bolzen und Stifte, Thermische Aktoren**.

Die Benennungen, Formelzeichen und bildlichen Darstellungen im Kapitel 8 (Dynamische Beanspruchung, Schwingfestigkeitsversuch, S. 522ff) wurden an die aktuelle Norm DIN 50100: 2016-12 angepasst. So heißt es nun z. B. „Langzeitfestigkeit“ statt wie bisher „Dauerfestigkeit“.

Inhaltsverzeichnis			
1 Konstruktionsmethodik und Konstruktionssystematik	9		
1.1 Einleitung	9	1.8.3.5 Grundsatz der Unabhängigkeit 66	
1.1.1 Begriffe, Definitionen	9	1.8.3.6 Grundsatz der Dezimaldarstellung 66	
1.1.2 Geschichtliche Entwicklung	12	1.8.3.7 Grundsatz der Standardfestlegung 66	
1.2 Vorgehensplan beim systematischen Konstruieren	16	1.8.3.8 Grundsatz der Referenzbedingungen 67	
1.3 Analyse der Aufgabenstellung	18	1.8.3.9 Grundsatz des starren Werkstücks 67	
1.3.1 Anforderungsliste	20	1.8.3.10 Grundsatz der Dualität 67	
1.3.2 Kern der Aufgabe, Problemkern, Gesamtfunktion	23	1.8.3.11 Grundsatz der Funktionsbeherrschung 68	
1.3.3 Aufgliedern der Gesamtfunktion in Teilfunktionen	25	1.8.3.12 Grundsatz der allgemeinen Spezifikation 68	
1.3.4 Darstellung des Problemkerns	25	1.8.3.13 Grundsatz der Verantwortlichkeit 68	
1.4 Systematische Lösungssuche	26	1.8.4 Dimensionelle Bauteiltolerierung 69	
1.4.1 Bemerkungen zur Methodik und zum Denkprozess	26	1.8.4.1 Lineare Größenmaße 69	
1.4.2 Methoden zur Ideenfindung	29	1.8.4.2 Winkelgrößenmaße 73	
1.4.3 Problemlösungs-Sitzungen	30	1.8.4.3 Abstände 74	
1.4.4 Einzelne Methoden	30	1.8.5 Geometrische Bauteiltolerierung 76	
1.4.4.1 Brainstorming	30	1.8.5.1 Grundlagen der Form- und Lagetolerierung 76	
1.4.4.2 Brainwriting-Methoden	32	1.8.5.2 Merkmale der Toleranzzone 80	
1.4.4.3 Morphologischer Kasten	35	1.8.5.3 Toleriertes Geometrieelement 81	
1.4.4.4 Verwendung von Katalogen	37	1.8.5.4 Beziehe und Bezugssysteme 82	
1.5 Bewertung und Auswahl	41	1.9 FMEA – Failure Mode and Effect Analysis	89
1.5.1 Allgemeines zum Wertbegriff	41	1.9.1 Die Auswirkungen von Fehlern 89	
1.5.2 Bewertungskriterien	44	1.9.2 Durchführung einer Konstruktions-FMEA 90	
1.5.3 Bewertungsverfahren	45	1.10 Von der Konstruktion zur Fertigung	93
1.5.3.1 Rangfolgeverfahren	45	1.10.1 Stücklisten und Erzeugnisgliederung 94	
1.5.3.2 Klassenbildung, Notengebung	45	1.10.2 Erzeugnisstrukturierung 97	
1.5.3.3 Punktebewertungen	45	1.10.3 Teileverwendungsachweis 98	
1.5.3.4 Punktebewertung nach Wertefunktionen	47	1.10.4 Nummernsysteme 99	
1.5.3.5 Nutzwertanalyse	47	1.10.5 Sachmerkmale und Relationsmerkmale 100	
1.5.3.6 Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225	49		
1.6 Darstellung von Lösungsideen während der Lösungssuche	52	2 Entwerfen und Gestalten	101
1.7 Übungen und Beispiele zur Lösungssuche	55	2.1 Prinzipielles Vorgehen	101
1.8 Die Geometrische Produktspezifikation GPS	61	2.2 Allgemeine Gestaltungsgrundlagen	102
1.8.1 Einleitung	61	2.2.1 Gestaltungsgrundregeln 102	
1.8.2 Aufbau des ISO-GPS-Normensystems	62	2.2.2 Allgemeine Gestaltungsregeln 106	
1.8.2.1 Hintergrund	62	2.2.2.1 Grundforderungen bei der Gestaltung 106	
1.8.2.2 Zielsetzung	63	2.2.2.2 Einfache Gestaltungselemente und Formelemente 106	
1.8.2.3 Spezifikation und Verifikation	63	2.2.2.3 Prinzip der konstanten Wandstärke 108	
1.8.2.4 GPS-Normenmatrix	63	2.2.2.4 Prinzip der Kraftleitung – Der Kraftfluss 110	
1.8.2.5 Rechtsverbindlichkeit von Normen	64	2.2.2.5 Wirkung von Kerben auf den Kraftfluss 111	
1.8.3 Konzepte, Prinzipien und Regeln	64	2.2.2.6 Berücksichtigung der Gefügestruktur bei Umformverfahren 115	
1.8.3.1 Grundsatz des Aufrufens	64	2.3 Gestaltungsrichtlinien	116
1.8.3.2 Grundsatz der Normenhierarchie	64	2.3.1 Festigkeitsgerechtes Gestalten 116	
1.8.3.3 Grundsatz der bestimmenden Zeichnung	65	2.3.1.1 Gestaltung bei Zugbeanspruchung 118	
1.8.3.4 Grundsatz des Geometrieelementes	65	2.3.1.2 Gestaltung bei Druckbeanspruchung 118	
		2.3.1.3 Gestaltung bei Biegebeanspruchung 119	
		2.3.1.4 Gestaltung bei Schubbeanspruchung 120	
		2.3.1.5 Gestaltung bei Torsionsbeanspruchung 120	
		2.3.1.6 Gestaltung bei zusammengesetzter Beanspruchung 121	
		2.3.2 Werkstoffgerechtes Gestalten 123	
		2.3.2.1 Allgemeines 123	
		2.3.2.2 Einteilung der Werkstoffe 125	
		2.3.2.3 Metallische Werkstoffe 126	

2.3.2.4 Polymere (Kunststoffe)	129	2.3.10.5 Geprüfte Sicherheit.	252
2.3.2.5 Keramiken und Gläser	131	2.3.10.6 EU-Maschinenrichtlinie.	253
2.3.2.6 Verbundwerkstoffe	132	2.3.10.7 Europäische Sicherheitsnormen	256
2.3.2.7 Werkstoffe für den Leichtbau.	134	2.3.11 Umweltgerechtes Gestalten.	259
2.3.2.8 Praktische Werkstoffwahl	135	2.3.11.1 Lärm	259
2.3.3 Fertigungsgerechtes Gestalten	136	2.3.11.2 Vibration.	265
2.3.3.1 Gussgerechtes Gestalten	140	2.3.11.3 Recyclinggerechte Konstruktion	268
2.3.3.2 Schweißgerechtes Gestalten	152	2.3.12 Transportgerechtes und lager- gerechtes Gestalten	271
2.3.3.3 Lötgerechtes Gestalten.	169	2.3.13 Formgerechtes und ästhetisches Gestalten	273
2.3.3.4 Klebegerechtes Gestalten.	175		
2.3.3.5 Schmiedegerechtes Gestalten.	179		
2.3.3.6 Zerspangerechtes Gestalten.	186		
2.3.3.7 Vorrichtungsgerechtes Gestalten.	194	3 Maschinenelemente	275
2.3.3.8 Blechgerechtes Gestalten	197		
2.3.3.9 Korrosionsschutzgerechtes Gestalten.	203	3.1 Einführung	275
2.3.4 Kunststoffgerechte Gestaltung	205	3.2 Achsen und Wellen	276
2.3.4.1 Allgemeines.	205	3.2.1 Übersicht	276
2.3.4.2 Grundregeln	207	3.2.2 Formgebung	280
2.3.4.3 Belastungsgerecht und werkstoffgerecht.	208	3.3 Naben und Verbindungen zu Wellen	283
2.3.4.4 Integralbauweise.	210	3.3.1 Die Nabe	283
2.3.4.5 Funktionsintegration.	211	3.3.2 Welle-Nabe-Verbindungen (WNV).	284
2.3.4.6 Multimaterialbauteile	214	3.3.2.1 Kraftschlüssige WNV	285
2.3.4.7 Werkzeuge	216	3.3.2.2 Formschlüssige WNV	290
2.3.4.8 Fügeverfahren	217	3.3.2.3 Stoffschlüssige WNV	294
2.3.4.9 Maßhaltigkeit.	218	3.4 Drehlager und Führungen.	295
2.3.4.10 Recyclinggerecht.	220	3.4.1 Wälzlager	296
2.3.5 FVK-gerechte Gestaltung	221	3.4.1.1 Einführung	296
2.3.5.1 Werkstoffeigenschaften	221	3.4.1.2 Bezeichnungen	297
2.3.6 Kostengerechtes Gestalten.	223	3.4.1.3 Lagerarten (Auswahl)	299
2.3.6.1 Allgemeines.	223	3.4.1.4 Einsatz	302
2.3.6.2 Kostenbegriffe.	224	3.4.1.5 Reibung und Schmierung.	302
2.3.6.3 Relativkosten	225	3.4.1.6 Einbau und Ausbau.	305
2.3.6.4 Konstruktionskosten	227	3.4.1.7 Passungen beim Einsatz von Wälzlagern	306
2.3.6.5 Materialkosten.	227	3.4.1.8 Gestaltung	307
2.3.6.6 Fertigungskosten.	228	3.4.1.9 Lagerluft und Betriebsspiel	309
2.3.7 Automatisierungsgerechtes Gestalten	229	3.4.1.10 Steifigkeit.	310
2.3.7.1 Allgemeines.	229	3.4.1.11 Lebensdauer und Tragfähigkeit	311
2.3.7.2 Automatisierungsgerechte Gestaltung	230	3.4.1.12 Lebensdauerberechnung	312
2.3.8 Montagegerechtes und demontage- gerechtes Gestalten	232	3.4.2 Hydrodynamische Lager	317
2.3.8.1 Allgemeines.	232	3.4.2.1 Einführung.	317
2.3.8.2 Montage.	232	3.4.2.2 Werkstoffe und Bauformen	318
2.3.8.3 Demontage	234	3.4.2.3 Normung, Ausführungsformen und Einbau	319
2.3.8.4 Rationalisierung	234	3.4.2.4 Wartungsfreie Trockenlaufgleitlager	321
2.3.8.5 Gestaltung	235	3.4.3 Hydrostatische Gleitlager	323
2.3.9 Ergonomiegerechtes Gestalten	237	3.4.4 Aerostatische Lager (Luftlager)	324
2.3.9.1 Der Mensch ist das Maß.	237	3.4.5 Magnetlager	325
2.3.9.2 Methodik zur Ergonomie	241	3.4.6 Führungen	326
2.3.9.3 Gestaltung von Griffen, Stellteilen und Bediengeräten	242	3.4.6.1 Allgemeine Anforderungen	326
2.3.9.4 Projektbeispiel PHG	244	3.4.6.2 Wälzführungen	327
2.3.10 Sicherheitsgerechtes Gestalten von Maschinen	245	3.4.6.3 Hydrodynamische Führungen	329
2.3.10.1 Bauteilversagen und mangelnde Stabilität.	246	3.4.6.4 Hydrostatische Führungen	331
2.3.10.2 Ungeschützt bewegte Maschinenteile.	249	3.4.6.5 Aerostatische Führungen	334
2.3.10.3 Teile mit gefährlicher Oberfläche.	252	3.4.6.6 Magnetische Führungen.	334
2.3.10.4 Transportmittel und bewegte Arbeitsmittel	252	3.5 Dichtungen.	335
		3.5.1 Allgemeines.	335
		3.5.2 Statische Dichtungen	336

3.5.2.1	Unlösbar und bedingt lösbar Dichtungen	336	3.9.4.2	Zahnradgeometrie geradverzahnter Stirnräder	405
3.5.2.2	Lösbare Berührdichtungen	337	3.9.4.3	Schrägverzahnungen	409
3.5.3	Dynamische Dichtungen	341	3.9.4.4	Schneckenverzahnungen	410
3.5.3.1	Berührungsdiichtungen	341	3.9.4.5	Kegelradverzahnung	411
3.5.3.2	Berührungslose Dichtsysteme	345	3.9.4.6	Innenverzahnung	412
3.5.3.3	Hermetische Abdichtungen	347	3.9.4.7	Schraubradverzahnung	414
3.6	Technische Federn	348	3.9.4.8	Zahnradwerkstoffe und ihre Behandlung	414
3.6.1	Physikalische Grundlagen	348	3.9.4.9	Belastungen am Zahnuß und Modulauswahl	415
3.6.2	Einteilung	350	3.9.4.10	Getriebestufung und Zähnezahlauswahl	416
3.6.3	Anwendung	351	3.9.4.11	Getriebeart und Konstruktion	417
3.6.4	Technische Grundlagen	352	3.9.4.12	Schaltgetriebe	419
3.6.4.1	Schraubenfedern	352	3.9.4.13	Getriebebeispiele	420
3.6.4.2	Tellerfedern und Wellenfedern	353	3.9.5	Getriebe mit ungleichförmigen Bewegungen	423
3.6.4.3	Blattfedern	354	3.9.5.1	Kurbelgetriebe	423
3.6.4.4	Drehstabfedern	354	3.9.5.2	Getriebe mit aussetzender Bewegung	424
3.6.4.5	Spiralfedern	354	3.9.6	Getriebe für Linearbewegungen	425
3.6.4.6	Ringfedern	355	3.9.6.1	Lineare Zugmittelgetriebe	425
3.6.4.7	Gasdruckfedern	355	3.9.6.2	Zahnstange-Ritzel-Trieb	426
3.6.4.8	Luftfedern	356	3.9.6.3	Gewindetrieb	427
3.6.4.9	Gummifedern, Elastomerfedern	356	3.9.6.4	Schnecken-Zahnstangen-Trieb	431
3.6.1.10	Memory-Metallfedern	357			
3.6.1.11	Integration einer Federfunktion	357			
3.7	Schrauben, Bolzen, Stifte	358	4	Antriebe	432
3.7.1	Schrauben	358	4.1	Einführung und Übersicht	432
3.7.1.1	Einführung	358	4.1.1	Fluidtechnik	432
3.7.1.2	Kenngrößen und Ausführungsformen	359	4.1.2	Elektrische Antriebstechnik	432
3.7.1.3	Sicherung von Schraubenverbindungen	362	4.2	Pneumatik	433
3.7.1.4	Verschraubung von Blechen	364	4.2.1	Drucklufterzeugung	433
3.7.1.5	Schraubenmontage	365	4.2.2	Druckluftnetz	434
3.7.1.6	Festigkeitsgerechte Verschraubung	366	4.2.3	Ventile	434
3.7.1.7	Die Vorspannung	368	4.2.4	Aktoren	435
3.7.1.8	Dynamische Belastung	374	4.3	Hydraulische Anlagen	438
3.7.1.9	Scherbelastung von Passschrauben	375	4.3.1	Physikalische Grundlagen	439
3.7.2	Bolzen	376	4.3.1.1	Hydrostatik	439
3.7.3	Stifte	378	4.3.1.2	Hydrodynamik	440
3.8	Kupplungen	379	4.3.2	Komponenten	441
3.8.1	Allgemeines	379	4.3.3	Aktoren	442
3.8.2	Nichtschaltende Kupplungen	380	4.3.4	Hydrospeicher	444
3.8.2.1	Starre Kupplungen	380	4.4	Elektrische Antriebe	445
3.8.2.2	Ausgleichende Kupplungen	381	4.4.1	Rechnerische Grundlagen	445
3.8.3	Schaltende Kupplungen und Bremsen	388	4.4.2	Erste Orientierung	447
3.8.3.1	Selbsttätige Schaltkupplungen	388	4.4.3	Drehstromantriebe am Drehstromnetz	449
3.8.3.2	Fremdbetätigte Kupplungen	389	4.4.3.1	Allgemeines	449
3.9	Getriebe	391	4.4.3.2	Drehstrom-Asynchronmotoren (ASM)	452
3.9.1	Allgemeine kinematische Eigenschaften	392	4.4.3.3	Energieeffizienz	453
3.9.2	Zugmittelgetriebe	397	4.4.4	Drehstromantriebe mit Umrichter	454
3.9.2.1	Allgemeines	397	4.4.5	Direktantriebe, Linearmotoren	456
3.9.2.2	Riementriebe	398	4.4.6	Kleinmotoren	459
3.9.3	Stufenlos verstellbare Getriebe	402	4.4.7	Schrittmotoren	460
3.9.3.1	Umschaltungsgtriebe	402	4.4.8	Piezooktoren	460
3.9.3.2	Reibradgetriebe	403			
3.9.3.3	Wälzgetriebe	403			
3.9.3.4	Hydrodynamischer Wandler	404			
3.9.4	Zahnräder und Zahnrädergetriebe	405			
3.9.4.1	Zahnräder und Zahnrädpaaarungen	405	4.5	Thermische Aktoren	462

5	Computer und Konstruktion	463		
5.1	CAD-Systeme	463	5.3	Zulässige Biegespannung
5.1.1	Entwicklung	463	6	Beanspruchung auf Schub
5.1.2	Der CAD-Arbeitsplatz	464	6.1	Schubspannung
5.1.3	Arten von CAD-Systemen	465	6.2	Schubmodul
5.1.4	Werkzeuge und Begriffe	467	6.3	Zulässige Schubspannung
5.2	Konstruktions-automatisierung	470	7	Beanspruchung auf Torsion
5.2.1	Knowledge Based Engineering (KBE)	470	7.1	Torsionsspannung
5.2.2	Eltern-Kind-Beziehungen	471	7.2	Torsionsmoment
5.3	Produktdatenmodell	472	7.3	Zulässige Torsionsspannung
5.4	Schnittstellen	472	8	Dynamische Beanspruchung
5.5	Baugruppe	476	8.1	Schwingende Beanspruchung
5.6	Top-Down und Bottom-Up	478	8.2	Spannungsermittlung
5.7	Bionik	479	8.3	Zug-Druck-Wechselfestigkeit
5.7.1	Topologieoptimierung	480	8.4	Langzeitfestigkeit
5.7.2	Gestaltoptimierung	481	8.5	Zulässige Spannung
5.8	Simulationswerkzeuge	483	9	Kerbwirkung
5.9	Virtualisierung	485	9.1	Spannungskonzentration
5.9.1	Stereoskopische Betrachtung	485	9.2	Statische Beanspruchung
5.9.2	Virtual Reality mit VR-Brille	485	9.3	Formzahl
5.9.3	Virtual Environments (VE)	485	9.4	Festigkeitsverhalten unter Kerbwirkung
5.9.4	Anwendung von VE-Systemen	488	9.5	Kerbschlagbiegeversuch
5.10	3D-Druck – Additive Fertigung	489	10	Wärmespannungen
5.10.1	Körperliche Modelle (Rapid Prototyping)	489	10.1	Wärmeausdehnungskoeffizient
5.10.2	Endprodukte (Rapid Manufacturing)	490	10.2	Wärmedehnung
5.10.3	Werkzeuge und Vorrichtungen (Rapid Tooling)	491	10.3	Einachsiger Spannungszustand
5.10.4	Innovation in der Konstruktionstechnik	491	10.4	Mehrachsiger Spannungszustand
5.10.5	Additive Fertigungsverfahren	495	10.5	Eigenspannungen
5.10.5.1	Allgemeines	495	11	Allgemeiner Spannungs- und Verformungszustand
5.10.5.2	Einteilung der Verfahren	496	11.1	Spannungen an schrägen Schnitten
5.10.5.3	Prozesse und Verfahren	498	11.2	Mohr'scher Spannungskreis
5.11	Produktdatenmanagement (PDM)	503	11.3	Verallgemeinertes Hooke'sches Gesetz
5.12	Product Lifecycle Management (PLM)	504	11.4	Festigkeitshypothesen
Anhang 1: Kleine Festigkeitslehre			11.4.1	Normalspannungshypothese (NH)
			11.4.2	Schubspannungshypothese (SH)
			11.4.3	Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)
			12	Aufgaben zur Festigkeitslehre
				539
1	Aufgaben und Ziele	505	Anhang 2: Werkstoffvorauswahl	
2	Grundbelastungsfälle	506	543	
3	Beanspruchung auf Zug	506	1	Vorbemerkungen
3.1	Zugspannung	506	2	Wärmeleitfähigkeit – Temperaturleitfähigkeit
3.2	Zugversuch	507	3	Dichte
3.3	Zulässige Zugspannung	509	4	Elastizitätsmodul
4	Beanspruchung auf Druck	510	5	Versagensspannung
4.1	Druckspannung	510	6	Bruchzähigkeit
4.2	Druckversuch	510	7	Verlustfaktor
4.3	Zulässige Druckspannung	511	8	Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
4.4	Knickung	511		Fachwörterbuch Deutsch – Englisch, Sachwortverzeichnis
4.5	Flächenpressung	513		568
5	Beanspruchung auf Biegung	514		
5.1	Biegespannung	514		
5.2	Biegemoment	515		568

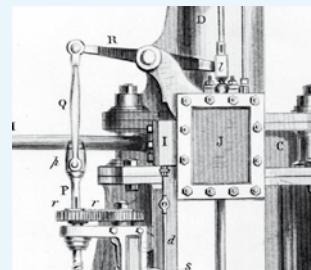
Entwicklungsphasen der Industrie

1. Industrielle Revolution, ab 1800, Industrie 1.0

- Gründerzeit mit Mechanisierung,
- Fertigung in Fabriken,
- Nutzung der Wasserkraft und Dampfkraft,
- Elektrogenerator und Elektromotor,
- Herstellung serienidentischer Teile,
- Metrisches Maßsystem, 1875.

Konstruieren und Zeichnen 1.0

- Zeichnungen sind **Kunstwerke**. Maschinen werden sowohl nach funktionalen Gesichtspunkten als auch nach ästhetischen konstruiert.
- Einführung von Werknormen für Maße, Toleranzen und Materialien,
- Der *Constructeur* ist Erfinder und Ersteller der Zeichnungen.



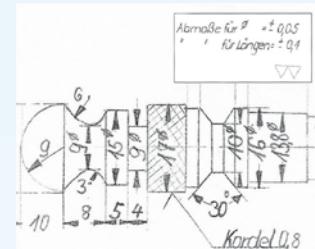
**Detail einer Patentzeichnung
für einen Dampfhammer, 1839**

2. Industrielle Revolution ab 1900, Industrie 2.0

- Fließbandfertigung, Arbeitsteilung
- Massenproduktion für Fahrzeuge,
- Deutsche Industrienorm: DIN 1: Kegelstifte, 1918,
- Elektrische Antriebstechnik für Maschinen in der Fertigung,
- Produkte aus Kunststoff,
- Entwicklung der Normen.

Konstruieren und Zeichnen 2.0

- Handzeichnungen mit Bleistift oder Tusche,
- Zeichenwerkzeuge: Lineal, Zirkel, Schablone, Zeichenbrett oder Zeichenmaschine mit zwei orthogonalen Linealen,
- Transparentpapier für Blaupausen.
- DIN 6 (1922): Zeichnungen - Anordnung der Ansichten und Schnitte.



**Bleistiftzeichnung aus dem
Berichtsheft eines Mechaniker-
Lehrlings, 1960**

3. Industrielle Revolution, ab 1970, Industrie 3.0

- Halbleiter,
- Integrierte Schaltkreise,
- Mikroprozessoren,
- Mikrocomputer,
- PC, SPS,
- CAD, CAM, CAQ, CIM,
- Roboter,
- NC-Maschinen.

Konstruieren und Zeichnen 3.0

- Computer Aided Drafting (CAD) als 2D-System zum Zeichnen mit Geraden und Kreisselementen, Symboldateien,
- 3D-Systeme zum Konstruieren (CAD = Computer Aided Design)
- Räumliche Objektdarstellung, farbschattiert,
- Schnittstelle zu CAM (Computer Aided Manufacturing).



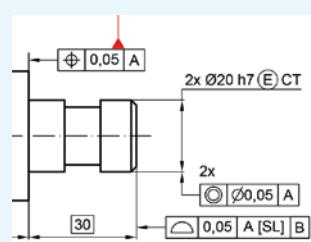
**CAD mit Stiftplotter, Kurven
werden mit Polygonen ange-
nert, 1978**

4. Industrielle Revolution, ab 2000, Industrie 4.0

- Smart factory, smart products, smart ...,
- Cyber-Physikalische Systeme (CPS),
- 3D-Druck,
- Mikroelektromechanische Systeme (MEMS),
- Simulation im Cyberspace,
- GPS, Geometrische Produkt-spezifikation.

Konstruieren und Zeichnen 4.0

- Computer ist allgegenwärtig und über Internet vernetzt. Informationen, Berechnungen usw. können abgerufen, einbezogen und mit anderen geteilt werden.
- **GPS-Toleranzmanagement**,
- Konstrukte werden in virtuellen Environments, VE (Cyberspace) stereografisch betrachtet.



**Beispiel für eine GPS-Tolerierung
(Ausschnitt)**

1 Konstruktionsmethodik und Konstruktionssystematik

1.1 Einleitung

1.1.1 Begriffe, Definitionen

Forschen, Entwickeln, Konstruieren

Forschen (Grundlagenforschung, anwendungsorientierte Grundlagenforschung, angewandte Forschung) ist geistige Tätigkeit mit dem Ziel, in methodischer, systematischer und nachprüfbarer Weise neue Erkenntnisse zu gewinnen, die eine wesentliche Voraussetzung für das Entwickeln technischer Vorhaben schaffen.

Entwickeln ist zweckgerichtetes Auswerten und Anwenden von Forschungsergebnissen und Erfahrungen technischer und wirtschaftlicher Art, um zu Systemen, Verfahren und Stoffen zu gelangen (Neuentwicklung), oder um bereits vorhandene zu verbessern (Weiterentwicklung). Das Entwickeln umfasst vielfältige Vorgänge, die Grundlagen für das Konstruieren und Fertigen schaffen.

Konstruieren¹ ist das vorwiegend schöpferische, auf Wissen und Erfahrung gegründete und optimale und kostengünstige Lösungen anstrebende Vorausdenken technischer Erzeugnisse, ermitteln ihres funktionellen und strukturellen Aufbaus und das Erstellen der erforderlichen Fertigungsunterlagen. Als Teil des Entwickelns umfasst es das gedankliche und darstellende Gestalten, die Wahl der Werkstoffe und Fertigungsverfahren und ermöglicht eine technisch und wirtschaftlich vertretbare stoffliche Verwirklichung (Bild 1).

¹ Konstruieren, von lat. *construere* = zusammenschichten, erbauen, errichten; Konstruktion, von lat. *constructio* = Bauart (z. B. einer Maschine), nach Regeln vorgenommene Zusammenstellung

Die Ergebnisse des Konstruierens sind Fertigungsunterlagen mit

- Zeichnungen,
- Stücklisten und
- Erzeugnisgliederungen,

möglichst auf der Basis von gesicherten Berechnungen, von Erfahrungen, von Erprobungen mit Modellen unter Beachtung der verfügbaren Ressourcen an Werkstoffen und Produktionsmitteln.

Die Produktionskosten sind abzuschätzen oder zu berechnen. Für die Produktlebenszeit bis hin zur Produktentsorgung ist ein Produktdatenmodell anzulegen (Bild 2).

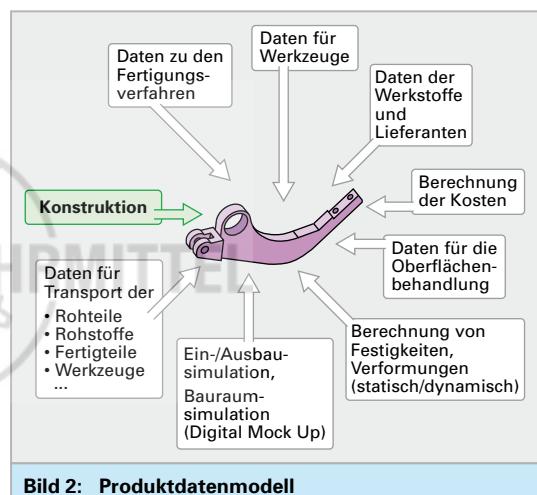


Bild 2: Produktdatenmodell

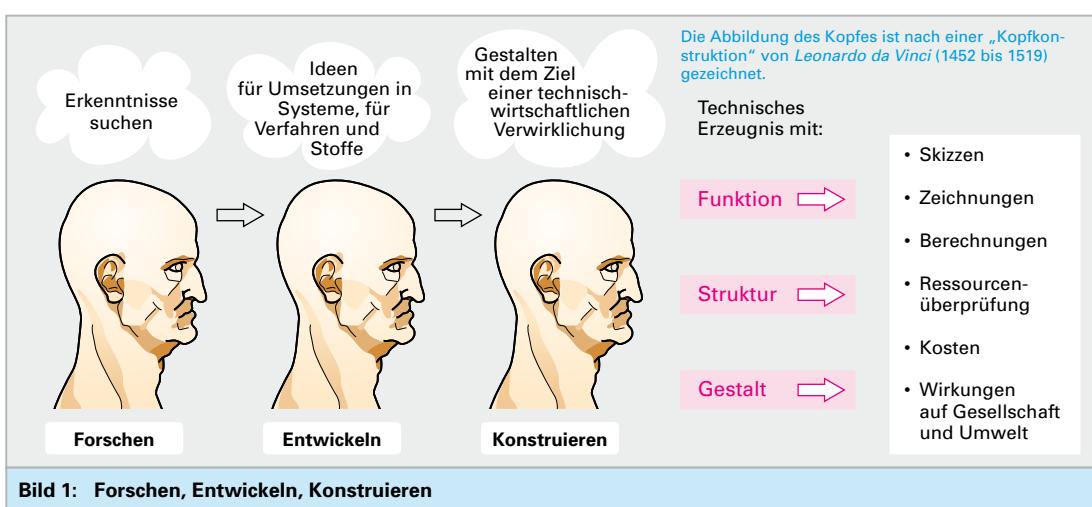


Bild 1: Forschen, Entwickeln, Konstruieren

Konstruktion technischer Erzeugnisse

Technische Erzeugnisse (**Bild 1**) sind:

- **Einzelne Werkstücke**,
z. B. Hebel, Felge, Fahrradrahmen,
- **Baugruppen**, z. B. Ventil, Getriebe, Scheinwerfer,
- **Vorrichtungen und Werkzeuge**,
z. B. Bohrvorrichtung, Schnittwerkzeug,
- **Geräte zum Signalumsatz**,
z. B. Messuhr, Zähler,
- **Apparate zum Stoffumsatz**,
z. B. Reaktor, Verdampfer, Mischer,
- **Maschinen zum Energieumsatz**,
z. B. Bohrmaschine, Fräsmaschine, Turbine,
- **Maschinen-Anlagen**, z. B. Bearbeitungszentrum, Fertigungsstrasse.

Anstelle von technischen Erzeugnissen wird häufig auch der Begriff *technische Systeme* verwendet.

In Abhängigkeit vom Schwierigkeitsgrad und vom Neuheitsgrad der Aufgabenstellung unterscheidet man verschiedene **Konstruktionsarten** (**Tabelle 1**), deren Grenzen jedoch fließend sind:

- Variantenkonstruktion,
- Anpassungskonstruktion,
- Neukonstruktion.

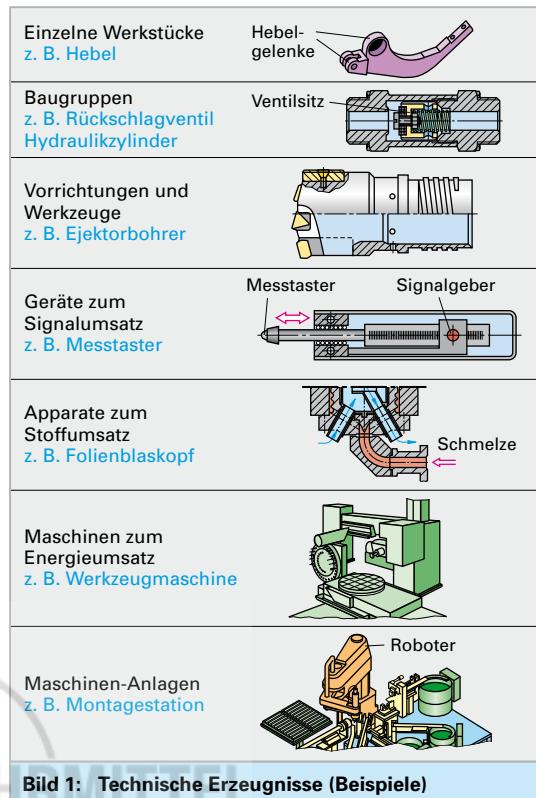


Bild 1: Technische Erzeugnisse (Beispiele)

Tabelle 1: Konstruktionsarten

Konstruktionsart	Tätigkeit	Qualifikation / Anforderung an den Konstrukteur
Variantenkonstruktion 	Vorhandene Konstruktion/Lösung wird lediglich in Größe und Anordnung variiert.	Keine hohen Anforderungen.
Anpassungskonstruktion 	Anpassen einer bekannten Lösung an veränderte Anforderungen/ Randbedingungen. Das grundsätzliche Lösungsprinzip bleibt erhalten. Vielfach ist hier eine Neukonstruktion einzelner Baugruppen/Teilbereiche erforderlich.	Deutlich höhere Anforderungen.
Neukonstruktion 	Finden/Erfinden einer neuen Lösungsidee bei gleicher, veränderter oder neuer Aufgabenstellung. Keine Vorbilder vorhanden. Keine Lösungen bekannt.	Höchste Anforderungen.

Weitere, häufig verwendete Begriffe sind in **Tabelle 1** zusammengestellt.

Tabelle 1: Weitere Begriffe																																	
Skizze 	Überwiegend freihändig erstellte bildliche Darstellung.	Gestalten $\tau_t = \frac{T}{W_t}$ $\tau_m = \frac{F_a}{A}$	Gesamtheit aller Tätigkeiten, mit dem die Gestalt von Erzeugnissen bestimmt wird, wie z. B. Entwerfen, Berechnen, Dimensionieren.																														
Lösungsprinzip Prinzipielle Lösung Lösungsidee Biegsame Welle Winkel nachgiebige Kupplung	Beschreibt die Vorstellung zur grundsätzlichen Verwirklichung einer oder mehrerer Funktionen durch Auswahl geeigneter Gestaltungselemente, z. B. in Form von Prinzipskizzen oder durch Stichworte.	Zeichnung 	Eine aus Linien bestehende bildliche Darstellung.																														
Lösungsalternative Gelenkwelle	Weitere Lösungsidee bzw. weiteres Lösungsprinzip.	Technische Zeichnung Demontagesystem optional E ISO 4762 PFN DIN 6885 auf Wunsch	Zeichnung in der für technische Zwecke erforderlichen Art (z. B. Einhaltung von strengen Darstellungsregeln) und Vollständigkeit (Maßeintragungen, technische Hinweise, Tabellen).																														
Prinzipskizze/Funktionsskizze 	Zeichnerische Darstellung zur Beschreibung der Wirkungsweise/Funktion eines Lösungsprinzips mit einfachen Strichen und/oder Symbolen.	Fertigungsunterlagen z.B. Stückliste <table border="1"><thead><tr><th>Pos.</th><th>Menge</th><th>Benennung</th><th>Sach-Nr.</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>Verbindungs-welle</td><td>4712</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>Gelenkkreuz</td><td>4713</td></tr><tr><td>:</td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	Pos.	Menge	Benennung	Sach-Nr.	1	1	Verbindungs-welle	4712	2	1	Gelenkkreuz	4713	:				Alle für die Anfertigung/Herstellung von technischen Erzeugnissen erforderlichen Zeichnungen, Stücklisten, technischen Hinweisen, Tabellen.														
Pos.	Menge	Benennung	Sach-Nr.																														
1	1	Verbindungs-welle	4712																														
2	1	Gelenkkreuz	4713																														
:																																	
Konstruktionsskizze 	Meist freihändig erstellte zeichnerische Darstellung eines Teils, einer Baugruppe, eines Produktes (einem Entwurf ähnlich).	Pflichtenheft/Lastenheft Gelenkwelle: Drehzahl 200 ... 800 1/min Arbeitswinkel ≤ 35° Werkstoff Einsatzstahl, Edelstahl Ausführung ausziehbar ⋮	Schriftlich formulierte Aufgabenstellung, in der die geforderten und gewünschten Eigenschaften eines Produktes zusammengestellt sind. Anforderungen des Kunden oder des Lieferanten.																														
Entwurf 	Grafische Darstellung von Gestalt und Anordnung von Teilen/Baugruppen eines zu entwickelnden Produktes.	Anforderungsliste <table border="1"><thead><tr><th>Lfd. Nr.</th><th>Zu-ordnung</th><th>Anforderung</th><th>Daten</th><th>Verant-wortung</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>F</td><td>Ausf. ausziehbar</td><td></td><td>Maier</td></tr><tr><td>2</td><td>M</td><td>Ausziehlänge</td><td>≤ 100mm</td><td>"</td></tr><tr><td>3</td><td>M</td><td>Arbeitswinkel</td><td>≤ 35°</td><td>Müller</td></tr><tr><td>4</td><td>F</td><td>einfache Wartung</td><td></td><td>"</td></tr><tr><td>⋮</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	Lfd. Nr.	Zu-ordnung	Anforderung	Daten	Verant-wortung	1	F	Ausf. ausziehbar		Maier	2	M	Ausziehlänge	≤ 100mm	"	3	M	Arbeitswinkel	≤ 35°	Müller	4	F	einfache Wartung		"	⋮					Schriftlich dargestellte Sammlung aller Anforderungen an ein Produkt, ggf. mit Gewichtung. Zusammenstellung aller Daten für die Konstruktion durch den Konstrukteur.
Lfd. Nr.	Zu-ordnung	Anforderung	Daten	Verant-wortung																													
1	F	Ausf. ausziehbar		Maier																													
2	M	Ausziehlänge	≤ 100mm	"																													
3	M	Arbeitswinkel	≤ 35°	Müller																													
4	F	einfache Wartung		"																													
⋮																																	

1.1.2 Geschichtliche Entwicklung

Schon Jahrhunderte vor unserer heutigen Zeitrechnung haben Menschen Neues entdeckt und Erfindungen gemacht und dies auf verschiedene Art und Weise dokumentiert und so auch der Nachwelt überliefert. Man denke nur an Höhlenmalereien, Felsbilder (**Bild 1**), Reliefdarstellungen in Assyrien und Ägypten (**Bild 2**), Bemalung von Gefäßen und Erstellung von Skulpturen.

Diese Darstellungen waren sicherlich auch ein Element der Kommunikation, um z. B. zu zeigen, wie ein Gegenstand oder Apparat hergestellt oder transportiert werden kann.

Die Mittel der zeichnerischen Darstellung wurden wesentlich von Malern des Mittelalters beeinflusst und verbessert, insbesondere von *Leonardo da Vinci*¹ (**Bild 3**). Er hat seine genialen Erfindungen meist perspektivisch, d. h. in räumlicher Sichtweise dargestellt. Die Gestalt und Wirkungsweise seiner Objekte konnte er anderen so besser vermitteln. Diese Art der Darstellung erfordert ein extrem gutes räumliches Vorstellungsvermögen, gepaart mit künstlerischer Begabung.

1. Industrielle Revolution

Zu Beginn der technischen Entwicklung stellte der „Erfinder“ seine Objekte meist auch selbst her. Konstruieren war damals eine Tätigkeit, die handwerkliche Kunst und konkretes anschauliches Denken miteinander verband. Die Konstruktionszeichnungen wurden vom Konstrukteur künstlerisch ausgearbeitet und häufig mit Details auch in perspektivischer Ansicht versehen (**Bild 4**). Mit der Industrialisierung und der einhergehenden Spezialisierung und Arbeitsteilung erfolgte eine Trennung zwischen Erfinden (Konstruieren) und Herstellen eines Objektes. Die perspektivische Darstellung als Kommunikationsmittel war nicht mehr geeignet. Zunehmend wurden Mehrtafelprojektionen, z. B. die Parallelprojektion, realisiert, deren Erstellungen – im Gegensatz zu künstlerischen Darstellungen – an strenge Regeln gebunden sind.

*Franz Reuleaux*³ führte den Maschinenbau auf mathematische Grundsätze zurück. Zusammen mit *Carl Ludwig Moll* gab er 1854 die „Konstruktionszeichnungen für den Maschinenbau“ heraus. 1861 erschien „Der Construkteur“, mit dem er ein Werkzeug zur systematischen Konstruktion von Maschinen an die Hand gab.

¹ *Leonardo da Vinci*, geboren 1452 bei Vinci (Italien), gestorben: 1519 in Amboise (Frankreich), gilt als Universalgenie.

² *James Nasmyth*, engl. Konstrukteur und Erfinder des Dampfhammers, 1808 bis 1890.

³ *Franz Reuleaux*, 1829 bis 1905, dt. Ingenieur und Professor für Maschinenlehre in Berlin.

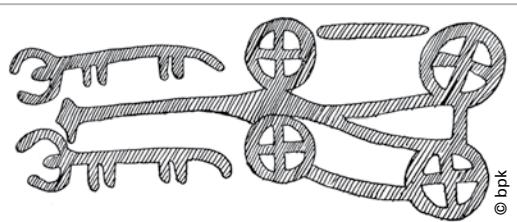


Bild 1: Felszeichnung eines steinzeitlichen Wagens (Höhlenmalerei in Schweden)



Bild 2: Transportwagen in Ägypten (2. Jahrh. v. Chr.)

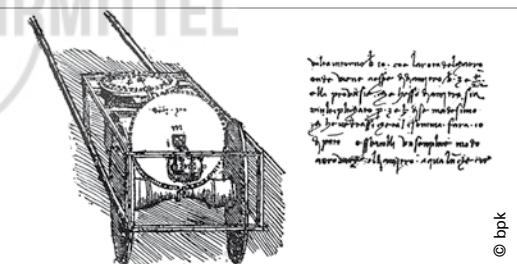


Bild 3: Messwagen von Leonardo da Vinci

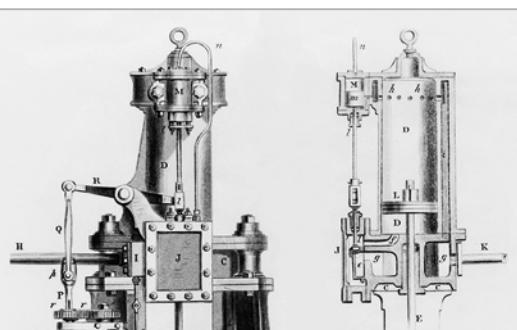


Bild 4: Detail aus der Konstruktion des Dampfhammers von J. Nasmyth², 1839

2. Industrielle Revolution

Die 2. Industrielle Revolution zu Anfang des 20. Jahrhunderts ist gekennzeichnet durch die Herstellung serienidentischer (Massen-)Produkte und ist geprägt von höchstem Grad an Arbeitsteilung (Fließbandgesellschaft). Verbindliche Maße mit Toleranzangaben in den Konstruktionszeichnungen waren eine Voraussetzung, ebenso die Technik der Vervielfältigung. Die Konstruktionen wurden auf Transparentpapier mit Bleistift oder mit Tusche am Reißbrett gezeichnet (**Bild 1**). Das Transparentpapier ermöglichte durch Belichtung die Herstellung von Kopien (Blaupausen).

3. Industrielle Revolution

Die Integration der Computertechnik in den Bereich der Produktion hielt Anfang der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts Einzug in die Konstruktionsbüros. Sie diente in dieser Zeit zuerst der Herstellung von Zeichnungen (2D-CAD) im Sinne von Computer Aided Drafting und löste in Verbindung mit dem Aufkommen von Tischrechnern (**Bild 2**) die Reißbretter ab.

Mit der Weiterentwicklung der Computertechnik hinsichtlich Rechengeschwindigkeit und Speichervolumen erweiterte sich das CAD zu einer Konstruktionshilfe (Computer Aided Design) mit den Möglichkeiten der 3D-Darstellung, der Simulation, der Animation und vielen Möglichkeiten für Berechnungen, z. B. von Festigkeiten und dem Temperaturverhalten (**Bild 3**).

4. Industrielle Revolution

Mit dem 21. Jahrhundert begann auch in der Industrie die intensive Nutzung des Internets. In Deutschland nennt man diese Entwicklung *Industrie 4.0*. Texte, Bilder, Sprache können schnell und weltweit ausgetauscht werden. Dem Konstrukteur stehen mit wenigen Mausklicks Kataloge, Archive, Normen u. v. m. zur Verfügung. Z. B. können Maschinenelemente der Zulieferer in eigene Konstruktionen eingefügt werden. Eigene Konstruktionen können zur Überprüfung schnell an Partner übermittelt werden.

Die zu konstruierenden Produkte werden selbst internettauglich. Als Cyber-Physische Systeme¹ (CPS) werden mechanische und elektronische Produktkomponenten mit Kommunikationskomponenten versehen und können so ohne menschliches Zutun sich geschickt (smart²) verhalten, z. B. im Störungsfalle Hilfe holen (**Bild 4**).



Bild 1: Reißbretter im traditionellen Konstruktionsbüro, um 1950
© Siemens AG

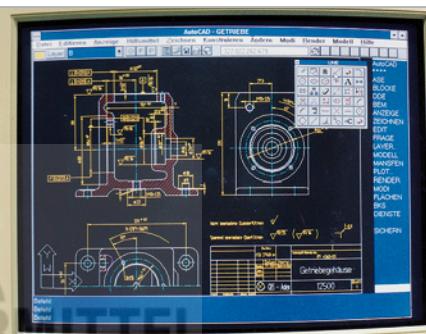


Bild 2: CAD als Hilfsmittel zum Zeichnen (2D-CAD), um 1970

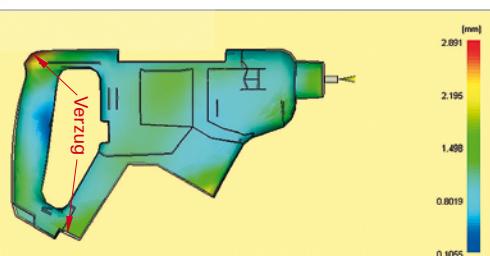


Bild 3: Simulation des Teileverzugs durch Schwindung

Cyber-Physisches System, z. B. Reinigungsgerät

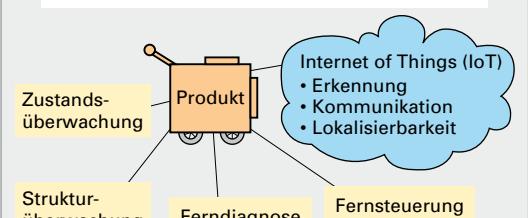


Bild 4: Cyber-Physisches Produkt

¹ engl. cybernetics = Kybernetik = Steuerungstechnik aus griech. kybernetes = Steuermann

² engl. smart = geschickt, nützlich

Noch in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden technische Erfindungen oder Neues von begabten Konstrukteuren überwiegend *intuitiv*¹ und *iterativ*² entwickelt.

Das **intuitive Vorgehen (Bild 1)** ist ein einfallbentes Konstruieren. Aufgrund einer ersten Idee, gewissermaßen des ersten Geistesblitzes, wird eine Lösung erarbeitet.

Das **iterative Vorgehen (Bild 2)** basiert ebenfalls auf der ersten Eingabe. Bei der Weiterbearbeitung wird aber immer wieder und bewusst der Werdegang der Konstruktion mit der Aufgabenstellung verglichen und wo nötig angepasst. Die Entstehung erfolgt also *in Schleifen*.

Voraussetzung ist bei beiden Vorgehensweisen ein umfassendes Wissen auf vielen Gebieten und jahrelange Erfahrung in der Praxis. Aus dieser Zeit stammen noch Aussagen wie z. B.: „Konstruieren ist eine Kunst“, „Zum Konstruieren braucht man schöpferische Begabung, ein konstruktives Gefühl“, „Zum Konstrukteur muss man geboren sein“.

Der berufserfahrene Konstrukteur konnte dabei auf sein praktisches Wissen zurückgreifen. Der junge Konstrukteur muss aber erst in vielen Berufsjahren die Erfahrung sammeln, um eigenverantwortlich größere Aufgaben bearbeiten zu können. Bis dahin versucht er häufig, sich an „gelungenen“ Konstruktionen zu orientieren, um von dort Lösungsmöglichkeiten für die gegebene Aufgabe abzuleiten (assoziatives³ Arbeiten).

Beide Praktiken sind nicht mehr zeitgemäß. Sie sind in vielen Fällen unrationell und unwirtschaftlich.

Dieses intuitive und iterative Arbeiten hatte den „Vorteil“, dass von begabten Konstrukteuren sehr schnell eine Lösung gefunden wurde. Nachteilig war, dass keine alternativen Lösungen vorlagen, die zum Vergleich herangezogen werden konnten; optimale Lösungen wurden selten gefunden. Außerdem war es auch sehr schwer, einem Anfänger das Konstruieren zu vermitteln.

Anwendung findet dieses Vorgehen noch bei Einzelfertigung, z. B. bei der Vorrichtungskonstruktion, Werkzeugkonstruktion, im Schiffbau und im Kranbau.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts hat man erkannt, dass auch die Konstruktion der in den exakten Wissenschaften vorhandenen Denk- und Arbeitsweisen bedarf. Diese beinhalten:

- Analyse eines Sachverhaltes,
- Prinzipien des Fragens,
- Logisch-analytisches Denken,
- Systematik der Arbeitsschritte,

- Variation und Kombination von Elementen,
- Synthese zu einer Lösung.

Die Ergebnisse der modernen Konstruktionsforschung gestatten heute, den Konstruktionsprozess systematisch bzw. methodisch anzugehen. Dabei werden, wie noch gezeigt wird, die Bereiche der Intuition und/oder Assoziation nicht ausgeklammert.

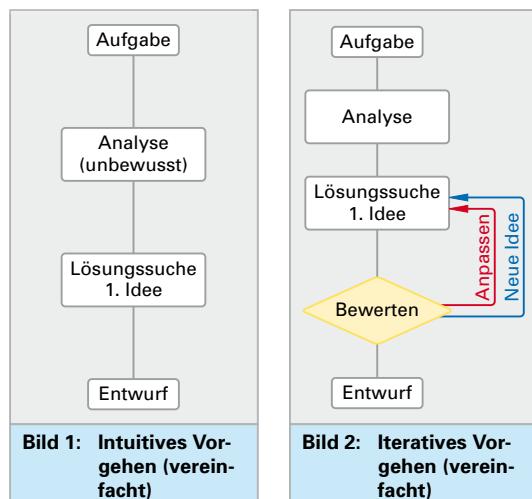
Unter **systematischem Vorgehen (Bild 1, folgende Seite)** versteht man:

- Systematischen *Ablauf* beim Lösen technischer Probleme durch Unterteilung in zeitlich nacheinander ablaufende Arbeitsschritte, so genannte Problemlösungsphasen,
- systematische *Suche* nach Lösungsmöglichkeiten.

Ein effektives methodisches Konstruieren nutzt sowohl die Vorteile der *Intuition* als auch die einer *Systematik*.

Durch das bewusste Gliedern der Aufgabe in Einzelschritte wird das Finden, das Erfinden und das Aufsuchen von Lösungen erleichtert.

- Das schrittweise logische Vorgehen führt zu einem rationalen Konstruieren.
- Beschreibbare Lösungswege werden leichter erkannt.
- Das Haften an bisher Üblichem (Betriebsblindheit) ist weniger ausgeprägt und konventionelle Lösungen werden zumindest nicht kritiklos übernommen.



¹ Intuition von lat. intuitio = unmittelbare Anschauung durch Eingebung.

² Iteration von lat. iteratio = Wiederholung, auch schrittweises Arbeiten.

³ Assoziativ von franz. association = Verknüpfung von Vorstellungen.

Die Vorteile des systematischen Vorgehens sind:

- Planvollere Vorgehensweise, man vergisst weniger.
- Konstruieren ist *lehrbar* und *erlernbar*.
- Geringere Einarbeitungszeit für junge Konstrukteure.
- Verbesserung des Wirkungsgrades der Konstruktionsstätigkeit.
- Besserer Überblick über mögliche Lösungen.
- Günstigste Lösung kann mit größerer Sicherheit gefunden werden.
- Geringere Gefahr, eine gute Lösung zu übersehen.
- Es werden viele Lösungsideen – auch von Studierenden – gefunden.
Die beste Idee von vielen Ideen wird verwirklicht.
- Bei ähnlichen Aufgabenstellungen zu einem späteren Zeitpunkt kann man auf die früher gefundenen Lösungsideen zurückgreifen. Zeiterspartniss.
- Auffinden patentrechtlich schützbarer Lösungen einfacher; Marktvorteil für ein Unternehmen gegenüber Wettbewerbern.
- Das planmäßig-schrittweise Vorgehen bei der Aufgabenbearbeitung gestattet es, neben dem Konstruktionsergebnis auch den Konstruktionsvorgang zu dokumentieren.
- Die verwendeten Problemlösungsmethoden haben einen hohen Grad an Allgemeingültigkeit und können zur methodischen Lösungsfindung weit über den Konstruktionsbereich hinaus angewendet werden.
- Eine Arbeitsteilung wird möglich. Man kann im Team arbeiten.

Nachteile sind:

- Vorgehensweise erfordert unter Umständen mehr Zeit, mehr Disziplin und mehr Fleiß.
- Eventuell höhere Konstruktionskosten.

Die Anwendung des systematischen Konstruierens ist:

- Heute überwiegend anzutreffen, vor allem bei komplexen Konstruktionen für Serien- und Massenprodukte.
- Bei Konstruktionen ohne Vorbild, also bei Neukonstruktionen.
- In der Ausbildung.

Konstruieren ist eine schöpferische Tätigkeit unter Anwendung von Intuition, Methodik und Systematik gepaart mit fachlichem Grundlagen- und Expertenwissen, dazu kommt Erfahrung und Rechnereinsatz.

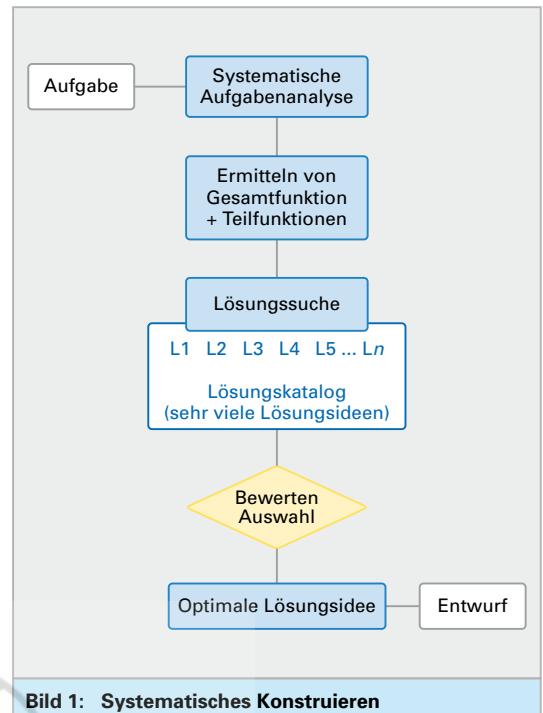


Bild 1: Systematisches Konstruieren

Literatur

- **Pahl G., Beitz W.**, Feldhusen J., Grote K. H.: Konstruktionslehre. Springer-Verlag
- **Koller R.**: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Springer-Verlag
- **Roth K.**: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer-Verlag, Band 1: Konstruktionslehre, Band 2: Konstruktionskataloge
- **Gerhard E.**: Entwickeln und Konstruieren mit System. Expert-Verlag
- **Hansen F.**: Konstruktionswissenschaft. Hanser-Verlag
- **Steinwachs H.-O.**: Praktische Konstruktionsmethode. Vogel-Verlag
- **Rodenacker W.**: Methodisches Konstruieren. Springer-Verlag
- **Schlottmann D.**: Konstruktionslehre. Springer-Verlag
- **VDI 2221**; Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte
- **VDI 2222**; Konstruktionsmethodik, Bl. 1: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, Bl. 2: Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen
- **VDI 2223**; Methodisches Entwerfen technischer Produkte
- **VDI 2225**; Konstruktionsmethodik, Bl. 1: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Vereinfachte Kostenermittlung, Bl. 2: Tabellenwerk, Bl. 3: Technisch-wirtschaftliche Bewertung, Bl. 4: Bemessungslehre

1.2 Vorgehensplan beim systematischen Konstruieren

Ein geordnetes schrittweises Vorgehen beginnt mit der Produktplanung, für den Konstrukteur meist mit einer vorgegebenen Aufgabenstellung.

Der anschließende Lösungsprozess ist als eine Kette von Entscheidungen anzusehen. Der Konstrukteur kommt ständig in Konfliktsituationen, in denen er unter mehreren, manchmal auch unter sehr vielen Alternativen auswählen muss. Ebenso wirkt das vielfältige Angebot an Konstruktionsmethoden und unterstützenden Methoden für die einzelnen Erarbeitungsschritte zunächst verwirrend.

In Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2222 lässt sich der Konstruktionsprozess in die folgenden vier Hauptphasen gliedern (**Bild 1**):

1. Analyse der Aufgabenstellung
2. Konzipieren, Lösungssuche, Auswahl
3. Entwerfen, Dimensionieren, Gestalten
4. Ausarbeiten.

Während des gesamten Konstruktionsprozesses, d.h. in allen vier Arbeitsphasen besteht für den Konstrukteur Informationsbedarf. Etwa 20% seiner Arbeitszeit beschäftigt er sich mit der Informationsbeschaffung und Informationsverarbeitung. Ziel muss es deshalb sein, ihm das Benötigte in Form praktischer Hilfsmittel in kürzester Zeit bereitzustellen.

Einige wichtige Hilfsmittel sind:

- Merkmalisten zur Erstellung der Anforderungsliste,
- Lösungssammlungen,
- Konstruktionskataloge,
- Morphologische Kästen,
- Gestaltungsrichtlinien,
- Normen und Richtlinien,
- Wiederholteilsammlungen,
- Katalogteilsammlungen,
- Werkstoffkataloge,
- Relativkostenkataloge,
- Berechnungsprogramme,
- Kataloge vorhandener Betriebsmittel,
- CAD.

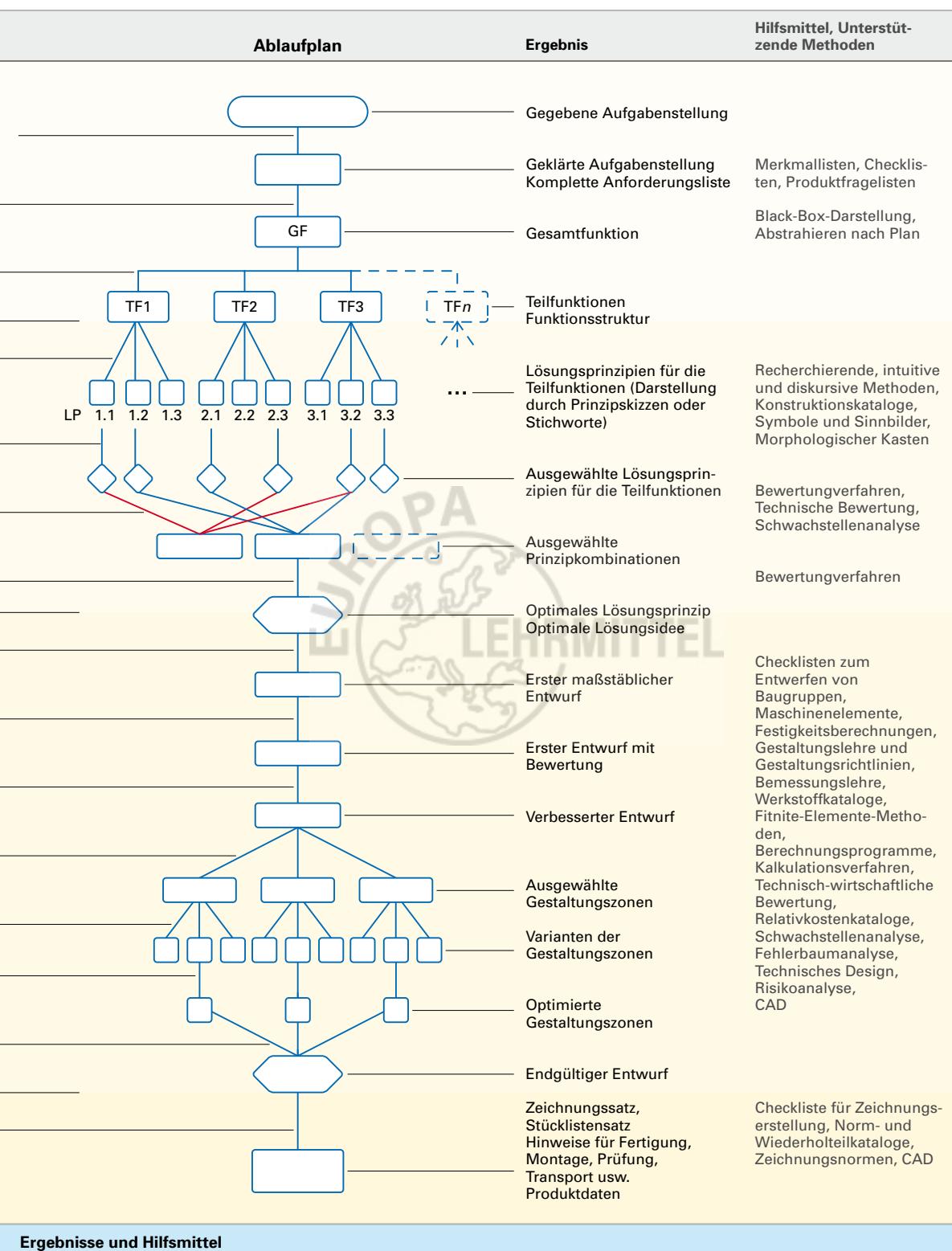
Ziel der nachfolgenden Betrachtungen ist es, die systematische, methodische Vorgehensweise vorzustellen.

Es wird bewusst auf Theorien verzichtet. Es werden nur solche unterstützenden Methoden und Hilfsmittel vorgestellt, die für Schüler und Studierende leicht und schnell erlernbar sind und die deshalb auch in der Praxis aus Zeitgründen meist eingesetzt werden.

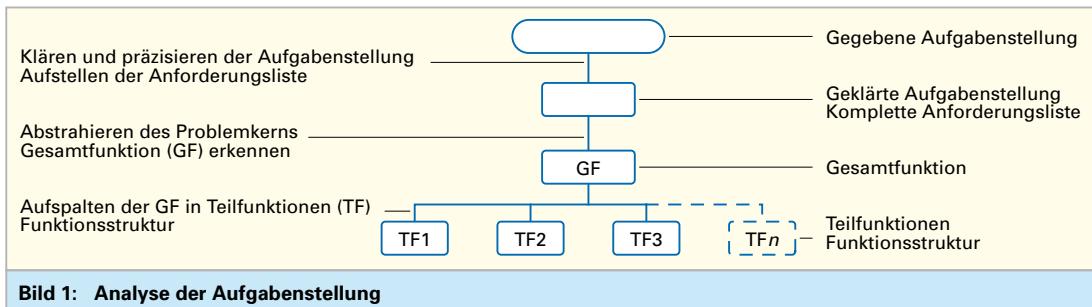
Hauptschritte	Tätigkeiten des Konstrukteurs
Analyse der Aufgabenstellung	Klären und präzisieren der Aufgabenstellung Aufstellen der Anforderungsliste
	Abstrahieren des Problemkerns Gesamtfunktion (GF) erkennen
	Aufspalten der GF in Teifunktionen (TF) Funktionsstruktur
Konzipieren, Lösungssuche	Suche nach Lösungsprinzipien für die Teifunktionen
	Auswahl geeigneter Lösungsprinzipien (LP) für die Teifunktionen
	Kombination von Lösungsprinzipien für die Teifunktionen zur Erfüllung der Gesamtfunktion
	Bewerten der Kombinationen Auswahl des besten Lösungsprinzips
Entwerfen Dimensionieren Bewerten Gestalten ¹	Abschätzen der Hauptabmessungen Evtl. Vorentwürfe; Berechnungen Erster maßstäblicher Entwurf Technisch-wirtschaftliche Bewertung
	Ausmerzen von Schwachstellen
	Auswählen von Gestaltungszonen
	Variation der Gestaltungszonen
	Auswahl der besten Gestaltung Technisch-wirtschaftliche Bewertung
	Zusammenstellung des Entwurfs
Ausarbeiten, Erstellen der Fertigungsunterlagen	Erstellen sämtlicher Zeichnungen und Stücklisten und aller erforderlichen Fertigungsunterlagen

¹ Erforderliches Zurückspringen auf frühere Tätigkeiten/Arbeitsschritte ist aus Darstellungsgründen nicht aufgeführt.

Bild 1: Ablauf einer Konstruktion, Tätigkeiten,



1.3 Analyse der Aufgabenstellung



Die erste Tätigkeit für den Konstrukteur ist die Analyse der Aufgabenstellung (**Bild 1**). Aufgabenstellungen kommen aus den verschiedensten Gründen und aus verschiedenen Bereichen auf den Konstrukteur zu (**Bild 2**).

Unternehmensinterne Aufgabenstellungen:

- Aufgaben zur Konstruktion von Betriebseinrichtungen und Fertigungseinrichtungen,
- Konstruktionsverbesserungen und Weiterentwicklungen bestehender Produkte,
- Produktplanung für neue Produkte, z. B. aufgrund einer Marktanalyse.

Externe Aufgabenstellung:

- Kundenaufträge.

Aufgaben zur Ausbildung:

- Gezielte, meist einfache Aufgabenstellung für Übungszwecke.

In den meisten Fällen enthält die vorgegebene Aufgabenstellung aber nicht alle Informationen und Angaben, die zur Bearbeitung der Aufgabe benötigt werden oder die Angaben sind nicht genau genug. Der Konstrukteur muss deshalb die genannten Anforderungen und Bedingungen überprüfen, ggf. berichtigen, vervollständigen, quantifizieren und evtl. gewichten. Dazu sind viele Gespräche und Rückfragen z. B. mit den Auftraggebern, mit den Lieferanten oder mit Behörden notwendig.



Bild 2: Art und Herkunft der Konstruktionsaufgabe

Aufgaben können sehr unterschiedlich genau gestellt sein:

1. Extremfall:

Der Vorgesetzte sagt: "Die Konkurrenz hat da ein tolles Produkt auf den Markt gebracht. So was Ähnliches brauchen wir auch! Machen Sie mal Vorschläge." Die Aufgabe ist viel zu kurz und allgemein abgefasst. Es fehlen eine ausreichende Beschreibung und sämt-

liche Anforderungen an das Produkt. Zur Klärung und Präzisierung dieser Aufgabe sind vom Konstrukteur viele Rückfragen notwendig.

2. Extremfall:

Die Aufgabe ist sehr präzise in allen Einzelheiten formuliert und alle Anforderungen sind in einer Anforderungsliste erfasst. Der Konstrukteur muss nichts ergänzen oder nachfragen.