



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

7., überarbeitete Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,  
Düsseldorfer 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.

7. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-7585-1400-5

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](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: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

## 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 werden Lesende und Lernende an das *methodische und systematische Konstruieren* herangeführt - 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 sein Gebrauch bereichert auf vielfältige 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 allerdings wenig hilfreich, sogar eher hinderlich.

Zum Verständnis konstruktiver Ausgestaltungen, zur Berechnung von Einzelelementen, 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. Um die wichtigsten festigkeitsrelevanten Beziehungen zur Hand zu haben, ist dem Buch eine *Kleine Festigkeitslehre* angehängt.

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

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

Die **7. Auflage** wurde insgesamt überarbeitet. Viele Seiten sind neu oder enthalten neue Bilder. Besonders zu nennen sind die Kapitel **Geometrische Produktspezifikation GPS**, **Kunststoffgerechte Gestaltung** und **Montagegerechtes Gestalten**. Veränderungen bei normativen Benennungen und Formelzeichen wurden angepasst.

In der EUROPATHEK gibt es ergänzend kostenlose Zusatzmaterialien: Die Lösungen der Aufgaben zur Festigkeitslehre, die Übungen zur Werkstoffvorauswahl, ein Repetitorium zur Lernkontrolle sowie wichtige Gesetzesvorgaben.

# Inhaltsverzeichnis

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

|            |                                                                    |            |          |                                                                |     |
|------------|--------------------------------------------------------------------|------------|----------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 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-<br>gerechtes Gestalten . . . . . | 271 |
| 2.3.3.3    | Lötgerechtes Gestalten . . . . .                                   | 169        | 2.3.13   | Formgerechtes und ästhetisches<br>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        |          |                                                                |     |
| 2.3.3.8    | Blechgerechtes Gestalten . . . . .                                 | 197        |          |                                                                |     |
| 2.3.3.9    | Korrosionsschutzgerechtes Gestalten . . . . .                      | 203        |          |                                                                |     |
| 2.3.4      | Kunststoffgerechte Gestaltung . . . . .                            | 205        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.1    | Allgemeines . . . . .                                              | 205        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.2    | Grundregeln . . . . .                                              | 207        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.3    | Belastungsgerecht und werkstoffgerecht . . . . .                   | 208        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.4    | Integralbauweise . . . . .                                         | 210        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.5    | Funktionsintegration . . . . .                                     | 211        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.6    | Multimaterialbauteile . . . . .                                    | 214        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.7    | Werkzeuge . . . . .                                                | 216        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.8    | Fügeverfahren . . . . .                                            | 217        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.9    | Maßhaltigkeit . . . . .                                            | 218        |          |                                                                |     |
| 2.3.4.10   | Recyclinggerecht . . . . .                                         | 220        |          |                                                                |     |
| 2.3.5      | FVK-gerechte Gestaltung . . . . .                                  | 221        |          |                                                                |     |
| 2.3.5.1    | Werkstoffeigenschaften . . . . .                                   | 221        |          |                                                                |     |
| 2.3.6      | Kostengerechtes Gestalten . . . . .                                | 223        |          |                                                                |     |
| 2.3.6.1    | Allgemeines . . . . .                                              | 223        |          |                                                                |     |
| 2.3.6.2    | Kostenbegriffe . . . . .                                           | 224        |          |                                                                |     |
| 2.3.6.3    | Relativkosten . . . . .                                            | 225        |          |                                                                |     |
| 2.3.6.4    | Konstruktionskosten . . . . .                                      | 227        |          |                                                                |     |
| 2.3.6.5    | Materialkosten . . . . .                                           | 227        |          |                                                                |     |
| 2.3.6.6    | Fertigungskosten . . . . .                                         | 228        |          |                                                                |     |
| 2.3.7      | Automatisierungsgerechtes Gestalten . . . . .                      | 229        |          |                                                                |     |
| 2.3.7.1    | Allgemeines . . . . .                                              | 229        |          |                                                                |     |
| 2.3.7.2    | Automatisierungsgerechte Gestaltung . . . . .                      | 230        |          |                                                                |     |
| 2.3.8      | Montagegerechtes und demontage-<br>gerechtes Gestalten . . . . .   | 232        |          |                                                                |     |
| 2.3.8.1    | Allgemeines . . . . .                                              | 232        |          |                                                                |     |
| 2.3.8.2    | Montage . . . . .                                                  | 232        |          |                                                                |     |
| 2.3.8.3    | Demontage . . . . .                                                | 233        |          |                                                                |     |
| 2.3.8.4    | Rationalisierung . . . . .                                         | 233        |          |                                                                |     |
| 2.3.8.5    | Gestaltung . . . . .                                               | 234        |          |                                                                |     |
| 2.3.9      | Ergonomiegerechtes Gestalten . . . . .                             | 237        |          |                                                                |     |
| 2.3.9.1    | Der Mensch ist das Maß . . . . .                                   | 237        |          |                                                                |     |
| 2.3.9.2    | Methodik zur Ergonomie . . . . .                                   | 241        |          |                                                                |     |
| 2.3.9.3    | Gestaltung von Griffen, Stellteilen und<br>Bediengeräten . . . . . | 242        |          |                                                                |     |
| 2.3.9.4    | Projektbeispiel PHG . . . . .                                      | 244        |          |                                                                |     |
| 2.3.10     | Sicherheitsgerechtes Gestalten von<br>Maschinen . . . . .          | 245        |          |                                                                |     |
| 2.3.10.1   | Bauteilversagen und mangelnde<br>Stabilität . . . . .              | 246        |          |                                                                |     |
| 2.3.10.2   | Ungeschützt bewegte Maschinenteile . . . . .                       | 249        |          |                                                                |     |
| 2.3.10.3   | Teile mit gefährlicher Oberfläche . . . . .                        | 252        |          |                                                                |     |
| 2.3.10.4   | Transportmittel und bewegte<br>Arbeitsmittel . . . . .             | 252        |          |                                                                |     |
| 2.3.10.5   | Geprüfte Sicherheit . . . . .                                      | 252        |          |                                                                |     |
| 2.3.10.6   | EU-Maschinenrichtlinie . . . . .                                   | 253        |          |                                                                |     |
| 2.3.10.7   | Europäische Sicherheitsnormen . . . . .                            | 256        |          |                                                                |     |
| 2.3.11     | Umweltgerechtes Gestalten . . . . .                                | 259        |          |                                                                |     |
| 2.3.11.1   | Lärm . . . . .                                                     | 259        |          |                                                                |     |
| 2.3.11.2   | Vibration . . . . .                                                | 265        |          |                                                                |     |
| 2.3.11.3   | Recyclinggerechte Konstruktion . . . . .                           | 268        |          |                                                                |     |
| 2.3.12     | Transportgerechtes und lager-<br>gerechtes Gestalten . . . . .     | 271        |          |                                                                |     |
| 2.3.13     | Formgerechtes und ästhetisches<br>Gestalten . . . . .              | 273        |          |                                                                |     |
|            |                                                                    |            |          |                                                                |     |
| <b>3</b>   | <b>Maschinenelemente</b>                                           | <b>275</b> |          |                                                                |     |
| <b>3.1</b> | <b>Einführung . . . . .</b>                                        | <b>275</b> |          |                                                                |     |
| <b>3.2</b> | <b>Achsen und Wellen . . . . .</b>                                 | <b>276</b> |          |                                                                |     |
| 3.2.1      | Übersicht . . . . .                                                | 276        |          |                                                                |     |
| 3.2.2      | Formgebung . . . . .                                               | 280        |          |                                                                |     |
| <b>3.3</b> | <b>Naben und Verbindungen zu Wellen . . . . .</b>                  | <b>283</b> |          |                                                                |     |
| 3.3.1      | Die Nabe . . . . .                                                 | 283        |          |                                                                |     |
| 3.3.2      | Welle-Nabe-Verbindungen (WNV) . . . . .                            | 284        |          |                                                                |     |
| 3.3.2.1    | Kraftschlüssige WNV . . . . .                                      | 285        |          |                                                                |     |
| 3.3.2.2    | Formschlüssige WNV . . . . .                                       | 290        |          |                                                                |     |
| 3.3.2.3    | Stoffschlüssige WNV . . . . .                                      | 294        |          |                                                                |     |
| <b>3.4</b> | <b>Drehlager und Führungen . . . . .</b>                           | <b>295</b> |          |                                                                |     |
| 3.4.1      | Wälzlager . . . . .                                                | 296        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.1    | Einführung . . . . .                                               | 296        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.2    | Bezeichnungen . . . . .                                            | 297        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.3    | Lagerarten (Auswahl) . . . . .                                     | 299        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.4    | Einsatz . . . . .                                                  | 302        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.5    | Reibung und Schmierung . . . . .                                   | 302        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.6    | Einbau und Ausbau . . . . .                                        | 305        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.7    | Passungen beim Einsatz von Wälzlagern                              | 306        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.8    | Gestaltung . . . . .                                               | 307        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.9    | Lagerluft und Betriebsspiel . . . . .                              | 309        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.10   | Steifigkeit . . . . .                                              | 310        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.11   | Lebensdauer und Tragfähigkeit . . . . .                            | 311        |          |                                                                |     |
| 3.4.1.12   | Lebensdauerberechnung . . . . .                                    | 312        |          |                                                                |     |
| 3.4.2      | Hydrodynamische Lager . . . . .                                    | 317        |          |                                                                |     |
| 3.4.2.1    | Einführung . . . . .                                               | 317        |          |                                                                |     |
| 3.4.2.2    | Werkstoffe und Bauformen . . . . .                                 | 318        |          |                                                                |     |
| 3.4.2.3    | Normung, Ausführungsformen und<br>Einbau . . . . .                 | 319        |          |                                                                |     |
| 3.4.2.4    | Wartungsfreie Trockenlaufgleitlager . . . . .                      | 321        |          |                                                                |     |
| 3.4.3      | Hydrostatische Gleitlager . . . . .                                | 323        |          |                                                                |     |
| 3.4.4      | Aerostatische Lager (Luftlager) . . . . .                          | 324        |          |                                                                |     |
| 3.4.5      | Magnetlager . . . . .                                              | 325        |          |                                                                |     |
| 3.4.6      | Führungen . . . . .                                                | 326        |          |                                                                |     |
| 3.4.6.1    | Allgemeine Anforderungen . . . . .                                 | 326        |          |                                                                |     |
| 3.4.6.2    | Wälzführungen . . . . .                                            | 327        |          |                                                                |     |
| 3.4.6.3    | Hydrodynamische Führungen . . . . .                                | 329        |          |                                                                |     |
| 3.4.6.4    | Hydrostatische Führungen . . . . .                                 | 331        |          |                                                                |     |
| 3.4.6.5    | Aerostatische Führungen . . . . .                                  | 334        |          |                                                                |     |
| 3.4.6.6    | Magnetische Führungen . . . . .                                    | 334        |          |                                                                |     |
| <b>3.5</b> | <b>Dichtungen . . . . .</b>                                        | <b>335</b> |          |                                                                |     |
| 3.5.1      | Allgemeines . . . . .                                              | 335        |          |                                                                |     |
| 3.5.2      | Statische Dichtungen . . . . .                                     | 336        |          |                                                                |     |

|            |                                                |            |            |                                                |            |
|------------|------------------------------------------------|------------|------------|------------------------------------------------|------------|
| 3.5.2.1    | Unlösbare und bedingt lösbare Dichtungen ..... | 336        | 3.9.4.2    | Zahnradgeometrie geradzahnter 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    | Berührungsdichtungen .....                     | 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        |
| <b>3.6</b> | <b>Technische Federn .....</b>                 | <b>348</b> | 3.9.4.8    | Zahnradwerkstoffe und ihre Behandlung .....    | 414        |
| 3.6.1      | Physikalische Grundlagen .....                 | 348        | 3.9.4.9    | Belastungen am Zahnfuß 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        |            |                                                |            |
| <b>3.7</b> | <b>Schrauben, Bolzen, Stifte .....</b>         | <b>358</b> | <b>4</b>   | <b>Antriebe .....</b>                          | <b>432</b> |
| 3.7.1      | Schrauben .....                                | 358        | <b>4.1</b> | <b>Einführung und Übersicht .....</b>          | <b>432</b> |
| 3.7.1.1    | Einführung .....                               | 358        | 4.1.1      | Fluidtechnik .....                             | 432        |
| 3.7.1.2    | Kenngößen und Ausführungsformen ..             | 359        | 4.1.2      | Elektrische Antriebstechnik .....              | 432        |
| 3.7.1.3    | Sicherung von Schraubenverbindungen ..         | 362        | <b>4.2</b> | <b>Pneumatik .....</b>                         | <b>433</b> |
| 3.7.1.4    | Verschraubung von Blechen .....                | 364        | 4.2.1      | Druckluftherzeugung .....                      | 433        |
| 3.7.1.5    | Schraubenmontage .....                         | 365        | 4.2.2      | Druckluftnetz .....                            | 434        |
| 3.7.1.6    | Festigkeitgerechte 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        | <b>4.3</b> | <b>Hydraulische Anlagen .....</b>              | <b>438</b> |
| 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        |
| <b>3.8</b> | <b>Kupplungen .....</b>                        | <b>379</b> | 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        | <b>4.4</b> | <b>Elektrische Antriebe .....</b>              | <b>445</b> |
| 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        |
| <b>3.9</b> | <b>Getriebe .....</b>                          | <b>391</b> | 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    | Umschlingungsgetriebe .....                    | 402        | 4.4.8      | Piezoaktoren .....                             | 460        |
| 3.9.3.2    | Reibradgetriebe .....                          | 403        | <b>4.5</b> | <b>Thermische Aktoren .....</b>                | <b>462</b> |
| 3.9.3.3    | Wälzgetriebe .....                             | 403        |            |                                                |            |
| 3.9.3.4    | Hydrodynamischer Wandler .....                 | 404        |            |                                                |            |
| 3.9.4      | Zahnräder und Zahnradgetriebe .....            | 405        |            |                                                |            |
| 3.9.4.1    | Zahnräder und Zahnradpaarungen .....           | 405        |            |                                                |            |

|                                          |                                             |            |                                      |                                                      |            |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b>                                 | <b>Computer und Konstruktion</b>            | <b>463</b> | 5.2                                  | Biegemoment                                          | 515        |
| <b>5.1</b>                               | <b>CAD-Systeme</b>                          | <b>463</b> | 5.3                                  | Zulässige Biegespannung                              | 516        |
| 5.1.1                                    | Entwicklung                                 | 463        | <b>6</b>                             | <b>Beanspruchung auf Schub</b>                       | <b>517</b> |
| 5.1.2                                    | Der CAD-Arbeitsplatz                        | 464        | 6.1                                  | Schubspannung                                        | 517        |
| 5.1.3                                    | Arten von CAD-Systemen                      | 465        | 6.2                                  | Schubmodul                                           | 518        |
| 5.1.4                                    | Werkzeuge und Begriffe                      | 467        | 6.3                                  | Zulässige Schubspannung                              | 518        |
| <b>5.2</b>                               | <b>Konstruktions-automatisierung</b>        | <b>470</b> | <b>7</b>                             | <b>Beanspruchung auf Torsion</b>                     | <b>519</b> |
| 5.2.1                                    | Knowledge Based Engineering (KBE)           | 470        | 7.1                                  | Torsionsspannung                                     | 519        |
| 5.2.2                                    | Eltern-Kind-Beziehungen                     | 471        | 7.2                                  | Torsionsmoment                                       | 520        |
| <b>5.3</b>                               | <b>Produktdatenmodell</b>                   | <b>472</b> | 7.3                                  | Zulässige Torsionsspannung                           | 521        |
| <b>5.4</b>                               | <b>Schnittstellen</b>                       | <b>472</b> | <b>8</b>                             | <b>Dynamische Beanspruchung</b>                      | <b>522</b> |
| <b>5.5</b>                               | <b>Baugruppe</b>                            | <b>476</b> | 8.1                                  | Schwingende Beanspruchung                            | 522        |
| <b>5.6</b>                               | <b>Top-Down und Bottom-Up</b>               | <b>478</b> | 8.2                                  | Ermittlung der Lastgrößen                            | 522        |
| <b>5.7</b>                               | <b>Bionik</b>                               | <b>479</b> | 8.3                                  | Zug-Druck-Wechselfestigkeit                          | 523        |
| 5.7.1                                    | Topologieoptimierung                        | 480        | 8.4                                  | Langzeitfestigkeit                                   | 524        |
| 5.7.2                                    | Gestaltoptimierung                          | 481        | 8.5                                  | Zulässige Spannung                                   | 526        |
| <b>5.8</b>                               | <b>Simulationswerkzeuge</b>                 | <b>483</b> | <b>9</b>                             | <b>Kerbwirkung</b>                                   | <b>527</b> |
| <b>5.9</b>                               | <b>Virtualisierung</b>                      | <b>485</b> | 9.1                                  | Spannungskonzentration                               | 527        |
| 5.9.1                                    | Stereoskopische Betrachtung                 | 485        | 9.2                                  | Statische Beanspruchung                              | 527        |
| 5.9.2                                    | Virtual Reality mit VR-Brille               | 485        | 9.3                                  | Formzahl                                             | 528        |
| 5.9.3                                    | Virtual Environments (VE)                   | 485        | 9.4                                  | Festigkeitsverhalten unter Kerbwirkung               | 529        |
| 5.9.4                                    | Anwendung von VE-Systemen                   | 488        | 9.5                                  | Kerbschlagbiegeversuch                               | 530        |
| <b>5.10</b>                              | <b>3D-Druck – Additive Fertigung</b>        | <b>489</b> | <b>10</b>                            | <b>Wärmespannungen</b>                               | <b>531</b> |
| 5.10.1                                   | Körperliche Modelle (Rapid Prototyping)     | 489        | 10.1                                 | Wärmeausdehnungskoeffizient                          | 531        |
| 5.10.2                                   | Endprodukte (Rapid Manufacturing)           | 490        | 10.2                                 | Wärmedehnung                                         | 531        |
| 5.10.3                                   | Werkzeuge und Vorrichtungen (Rapid Tooling) | 491        | 10.3                                 | Einachsiger Spannungszustand                         | 532        |
| 5.10.4                                   | Innovation in der Konstruktionstechnik      | 491        | 10.4                                 | Mehrachsiger Spannungszustand                        | 532        |
| 5.10.5                                   | Additive Fertigungsverfahren                | 495        | 10.5                                 | Eigenspannungen                                      | 532        |
| 5.10.5.1                                 | Allgemeines                                 | 495        | <b>11</b>                            | <b>Allgemeiner Spannungs- und Verformungszustand</b> | <b>533</b> |
| 5.10.5.2                                 | Einteilung der Verfahren                    | 496        | 11.1                                 | Spannungen an schrägen Schnitten                     | 533        |
| 5.10.5.3                                 | Prozesse und Verfahren                      | 498        | 11.2                                 | Mohr'scher Spannungskreis                            | 534        |
| <b>5.11</b>                              | <b>Produktdatenmanagement (PDM)</b>         | <b>503</b> | 11.3                                 | Verallgemeinertes Hooke'sches Gesetz                 | 536        |
| <b>5.12</b>                              | <b>Product Lifecycle Management (PLM)</b>   | <b>504</b> | 11.4                                 | Festigkeitshypothesen                                | 537        |
|                                          |                                             |            | 11.4.1                               | Normalspannungshypothese (NH)                        | 538        |
|                                          |                                             |            | 11.4.2                               | Schubspannungshypothese (SH)                         | 538        |
|                                          |                                             |            | 11.4.3                               | Gestaltsänderungsenergiehypothese (GEH)              | 538        |
|                                          |                                             |            | <b>12</b>                            | <b>Aufgaben zur Festigkeitslehre</b>                 | <b>539</b> |
| <b>Anhang 1: Kleine Festigkeitslehre</b> | <b>505</b>                                  |            | <b>Anhang 2: Werkstoffvorauswahl</b> | <b>543</b>                                           |            |
| <b>1</b>                                 | <b>Aufgaben und Ziele</b>                   | <b>505</b> | <b>1</b>                             | <b>Vorbemerkungen</b>                                | <b>543</b> |
| <b>2</b>                                 | <b>Grundbelastungsfälle</b>                 | <b>506</b> | <b>2</b>                             | <b>Wärmeleitfähigkeit – Temperaturleitfähigkeit</b>  | <b>545</b> |
| <b>3</b>                                 | <b>Beanspruchung auf Zug</b>                | <b>506</b> | <b>3</b>                             | <b>Dichte</b>                                        | <b>549</b> |
| 3.1                                      | Zugspannung                                 | 506        | <b>4</b>                             | <b>Elastizitätsmodul</b>                             | <b>550</b> |
| 3.2                                      | Zugversuch                                  | 507        | <b>5</b>                             | <b>Versagensspannung</b>                             | <b>553</b> |
| 3.3                                      | Zulässige Zugspannung                       | 509        | <b>6</b>                             | <b>Bruchzähigkeit</b>                                | <b>558</b> |
| <b>4</b>                                 | <b>Beanspruchung auf Druck</b>              | <b>510</b> | <b>7</b>                             | <b>Verlustfaktor</b>                                 | <b>564</b> |
| 4.1                                      | Druckspannung                               | 510        | <b>8</b>                             | <b>Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient</b>          | <b>566</b> |
| 4.2                                      | Druckversuch                                | 510        | <b>Sachwortverzeichnis</b>           | <b>568</b>                                           |            |
| 4.3                                      | Zulässige Druckspannung                     | 511        |                                      |                                                      |            |
| 4.4                                      | Knickung                                    | 511        |                                      |                                                      |            |
| 4.5                                      | Flächenpressung                             | 513        |                                      |                                                      |            |
| <b>5</b>                                 | <b>Beanspruchung auf Biegung</b>            | <b>514</b> |                                      |                                                      |            |
| 5.1                                      | Biegespannung                               | 514        |                                      |                                                      |            |

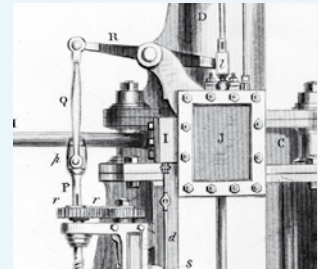
## Entwicklungsphasen der Industrie

### 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.



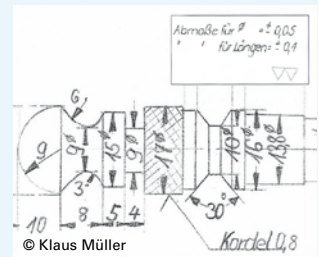
Detail einer Patentzeichnung für einen Dampfhammer, 1839

### 2. Industrielle Revolution ab 1900, Industrie 2.0

- Fließbandfertigung, Arbeitsteilung
- Massenproduktion für Fahrzeuge,
- Deutsche Industrienorm: DI 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.



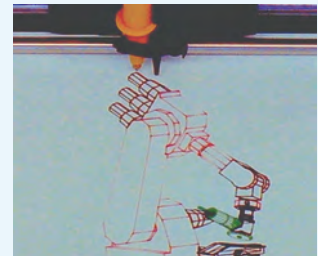
Bleistiftzeichnung aus dem Berichtsheft eines Mechaniker-Lehrlings, 1960

### 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 Kreiselementen, Symboldateien,
- 3D-Systeme zum Konstruieren (CAD = Computer Aided Design)
- Räumliche Objektdarstellung, farbschattiert,
- Schnittstelle zu CAM (Computer Aided Manufacturing).



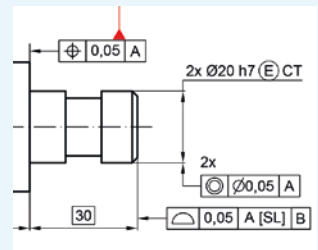
CAD mit Stiftplotter, Kurven werden mit Polygonen angenähert, 1978

### 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 Produktspezifikation.

#### 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 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.

**Konstruieren**<sup>1</sup> 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**).

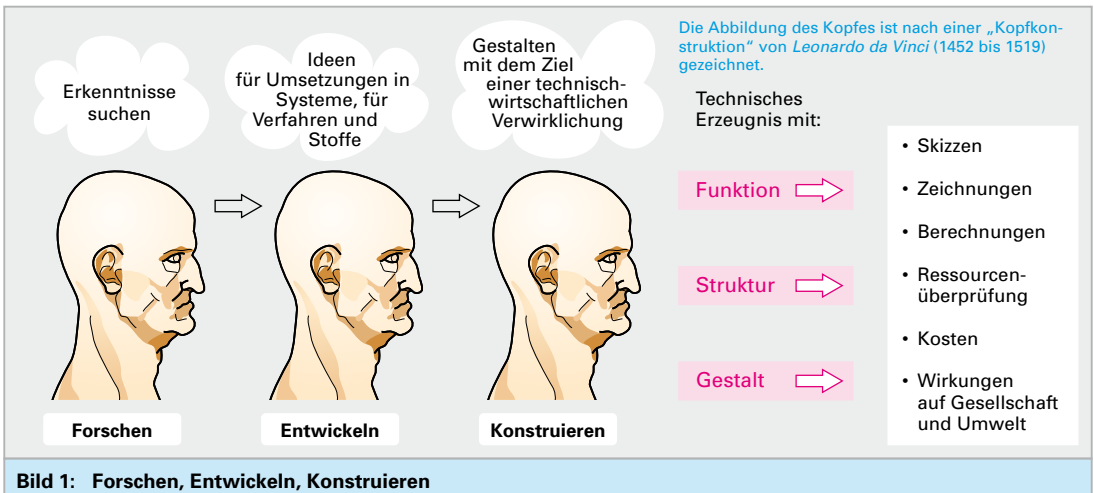
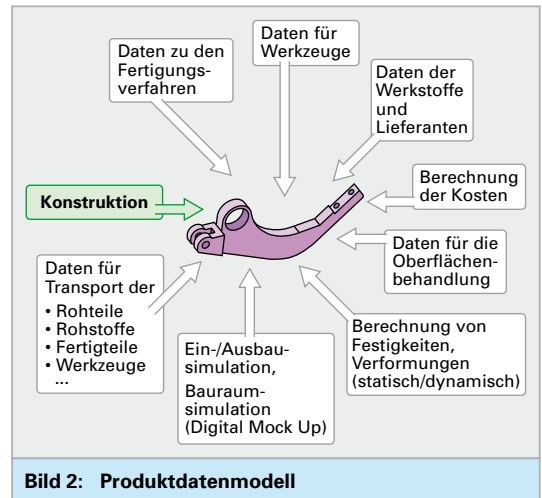
<sup>1</sup> Konstruieren, von lat. construere = zusammenschichten, erbauen, errichten; Konstruktion, von lat. constructio = Bauart (z. B. einer Maschine), nach Regeln vorgenommene Zusammenstellung

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 Produktsorgung ist ein Produktdatenmodell anzulegen (**Bild 2**).



### Konstruktion technischer Erzeugnisse

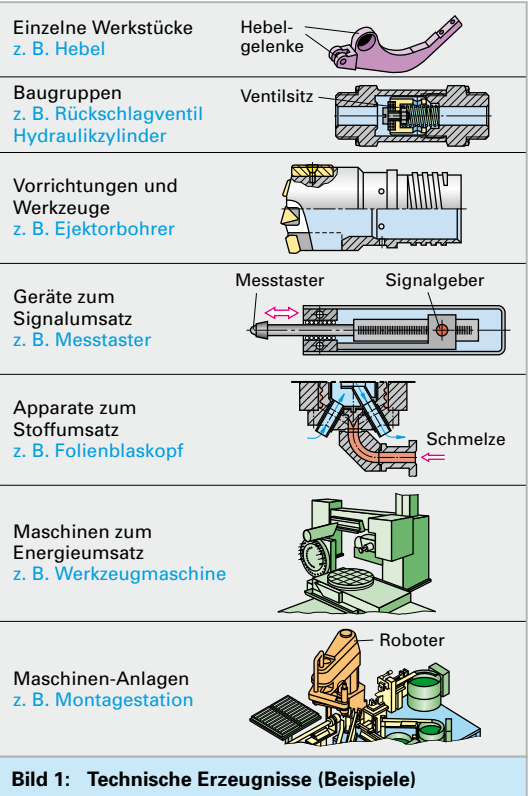
Technische Erzeugnisse (**Bild 1**) sind:

- **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.

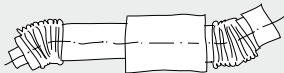
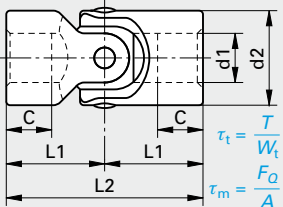
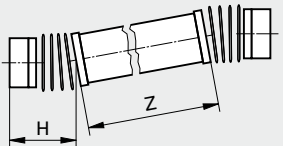
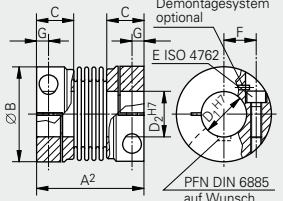
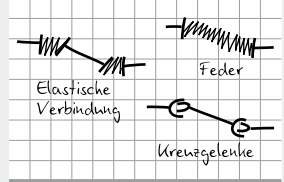
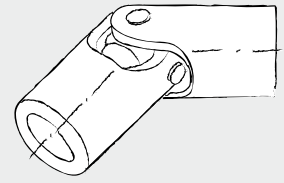
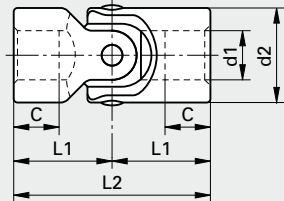


**Bild 1: Technische Erzeugnisse (Beispiele)**

**Tabelle 1: Konstruktionsarten**

| Konstruktionsart                  | Tätigkeit                                                                                                                                                                                                              | Qualifikation / Anforderung an den Konstrukteur |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Variantenkonstruktion</b><br>  | Vorhandene Konstruktion/Lösung wird lediglich in Größe und Anordnung variiert.                                                                                                                                         | Keine hohen Anforderungen.                      |
| <b>Anpassungskonstruktion</b><br> | 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.                  |
| <b>Neukonstruktion</b><br>        | 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                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|----------|----------------|---|-------------------|------------------|---|-------|-------------|------|--------------|--------|---|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|--------|---|---|------------------|--|---|-----|--|--|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>Skizze</div> <div></div>                                            | <div>Überwiegend freihändig erstellte bildliche Darstellung.</div>                                                                                                                                            | <div>Gestalten</div> <div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div>Gesamtheit aller Tätigkeiten, mit dem die Gestalt von Erzeugnissen bestimmt wird, wie z. B. Entwerfen, Berechnen, Dimensionieren.</div>                                                    |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| <div>Lösungsprinzip</div> <div>Prinzipielle Lösung</div> <div>Lösungsidee</div> <div><div>Biegsame Welle</div><div>Winkelnachgiebige Kupplung</div></div> | <div>Beschreibt die Vorstellung zur grundsätzlichen Verwirklichung einer oder mehrerer Funktionen durch Auswahl geeigneter Gestaltungselemente, z. B. in Form von Prinzipskizzen oder durch Stichworte.</div> | <div>Zeichnung</div> <div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <div>Eine aus Linien bestehende bildliche Darstellung.</div>                                                                                                                                    |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| <div>Lösungsalternative</div> <div><div>Gelenkwelle</div></div>                                                                                           | <div>Weitere Lösungsidee bzw. weiteres Lösungsprinzip.</div>                                                                                                                                                  | <div>Technische Zeichnung</div> <div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <div>Zeichnung in der für technische Zwecke erforderlichen Art (z. B. Einhaltung von strengen Darstellungsregeln) und Vollständigkeit (Maßeintragen, technische Hinweise, Tabellen).</div>      |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| <div>Prinzipskizze/Funktionsskizze</div> <div></div>                   | <div>Zeichnerische Darstellung zur Beschreibung der Wirkungsweise/Funktion eines Lösungsprinzips mit einfachen Strichen und/oder Symbolen.</div>                                                              | <div>Fertigungsunterlagen</div> <div>z.B. Stückliste</div> <table><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 | ...          |        |   |   | <div>Alle für die Anfertigung/Herstellung von technischen Erzeugnissen erforderlichen Zeichnungen, Stücklisten, technischen Hinweisen, Tabellen.</div> |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| Pos.                                                                                                                                                      | Menge                                                                                                                                                                                                         | Benennung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Sach-Nr.                                                                                                                                                                                        |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| 1                                                                                                                                                         | 1                                                                                                                                                                                                             | Verbindungs-welle                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 4712                                                                                                                                                                                            |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| 2                                                                                                                                                         | 1                                                                                                                                                                                                             | Gelenkkreuz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 4713                                                                                                                                                                                            |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| ...                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| <div>Konstruktionsskizze</div> <div></div>                             | <div>Meist freihändig erstellte zeichnerische Darstellung eines Teils, einer Baugruppe, eines Produktes (einem Entwurf ähnlich).</div>                                                                        | <div>Pflichtenheft/Lastenheft</div> <div><div>Gelenkwelle:</div><div>Drehzahl200 ... 800 1/min</div><div>Arbeitswinkel≤ 35°</div><div>WerkstoffEinsatzstahl, Edelstahl</div><div>Ausführungausziehbar</div><div>...</div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div>Schriftlich formulierte Aufgabenstellung, in der die geforderten und gewünschten Eigenschaften eines Produktes zusammengestellt sind. Anforderungen des Kunden oder des Lieferanten.</div> |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| <div>Entwurf</div> <div></div>                                         | <div>Grafische Darstellung von Gestalt und Anordnung von Teilen/Baugruppen eines zu entwickelnden Produktes.</div>                                                                                            | <div>Anforderungsliste</div> <table><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 |  | " | ... |  |  |  |  | <div>Schriftlich dargestellte Sammlung aller Anforderungen an ein Produkt, ggf. mit Gewichtung. Zusammenstellung aller Daten für die Konstruktion durch den Konstrukteur.</div> |
| 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                 | "              |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |
| ...                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |                |             |          |                |   |                   |                  |   |       |             |      |              |        |   |   |                                                                                                                                                        |               |       |        |   |   |                  |  |   |     |  |  |  |  |                                                                                                                                                                                 |



## 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**).

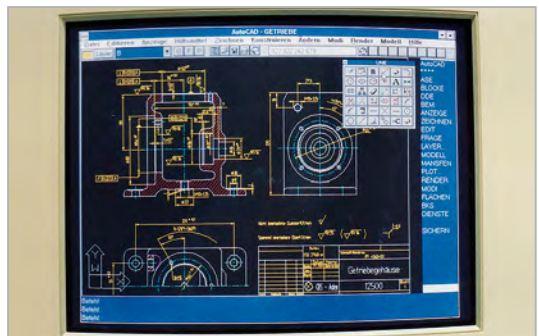
## 4. Industrielle Revolution

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.

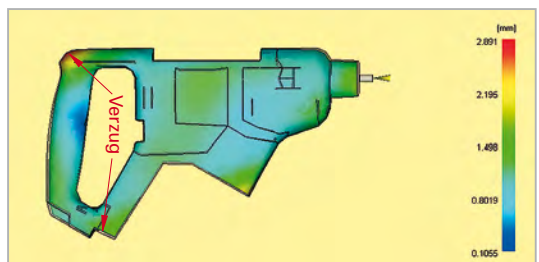
Die zu konstruierenden Produkte werden selbst internettauglich. Als Cyber-Physische Systeme<sup>1</sup> (CPS) werden mechanische und elektronische Produktkomponenten mit Kommunikationskomponenten versehen und können so ohne menschliches Zutun sich geschickt (*smart*<sup>2</sup>) verhalten, z. B. im Störfalle Hilfe holen (**Bild 4**).



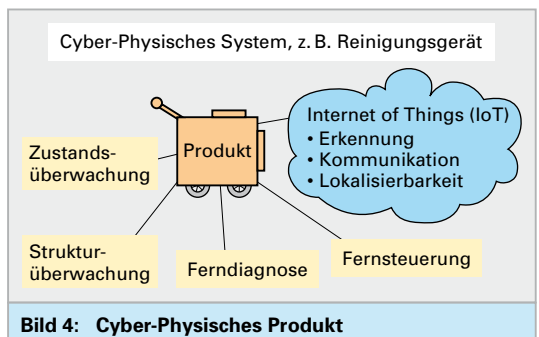
**Bild 1: Reißbretter im traditionellen Konstruktionsbüro, um 1950**



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



**Bild 3: Simulation des Teileverzugs durch Schwindung**



**Bild 4: Cyber-Physisches Produkt**

<sup>1</sup> engl. cybernetics = Kybernetik = Steuerungstechnik aus griech. kybernetes = Steuern

<sup>2</sup> engl. smart = geschickt, nützlich

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

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

Das **iterative Vorgehen (Bild 2)** basiert ebenfalls auf der ersten Eingebung. 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 (assoziatives<sup>3</sup> 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 Schiffsbau 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.

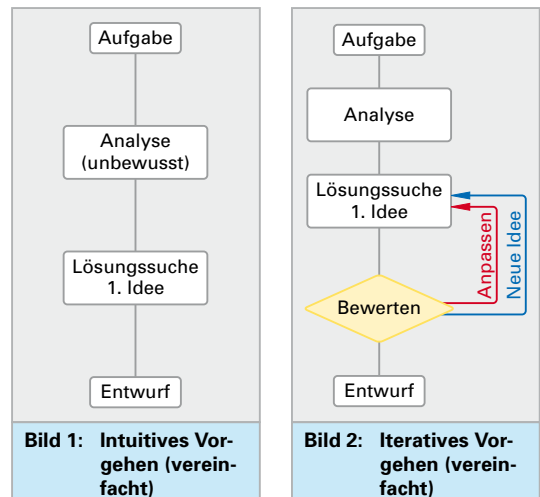
Unter **systematischem Vorgehen (Bild 1, Seite 15)** versteht man:

- Systematischen *Ablauf* beim Lösen technischer Probleme durch Unterteilung in zeitlich nacheinander ablaufende Arbeitsschritte, sogenannte 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.



<sup>1</sup> Intuition von lat. *intuitio* = unmittelbare Anschauung durch Eingebung.

<sup>2</sup> Iteration von lat. *iteratio* = Wiederholung, auch schrittweises Arbeiten.

<sup>3</sup> 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 Konstruktivität.
- 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. Zeitersparnis.
- 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.

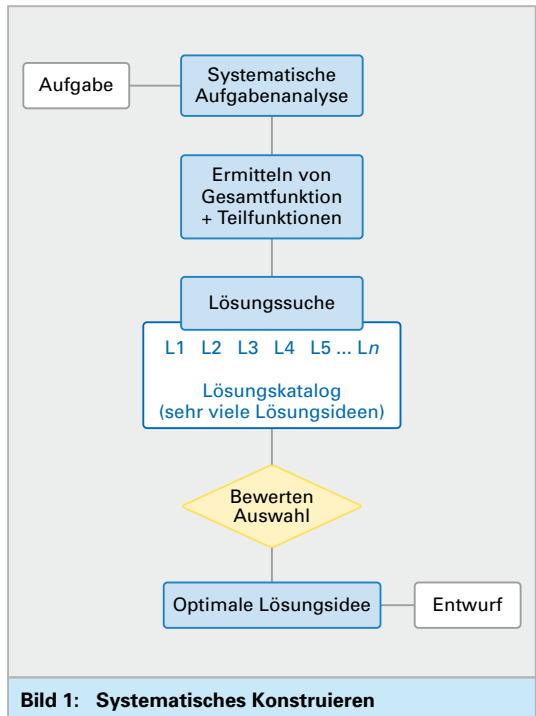
**Nachteile sind:**

- 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
- **Rieg F., Steinhilper R.**: Handbuch Konstruktion. Hanser Verlag
- **Conrad K. J.**: Taschenbuch der Konstruktionstechnik. Hanser Verlag
- **Conrad K. J.**: Grundlagen der Konstruktionslehre. Hanser 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 beizustellen.

### Einige wichtige Hilfsmittel sind:

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

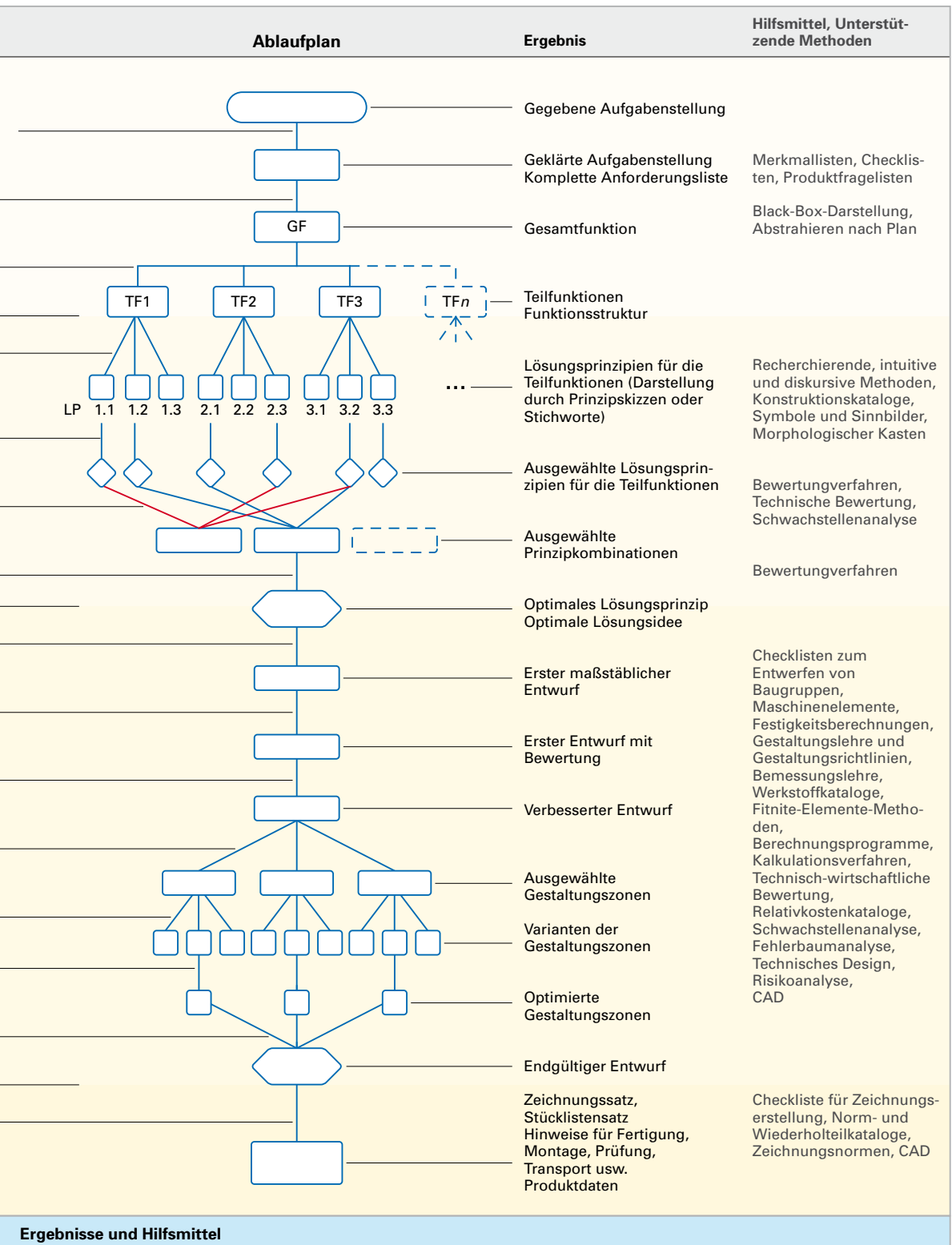
Ziel der nachfolgenden Betrachtungen ist es, die systematische, methodische Vorgehensweise vorzustellen.

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.

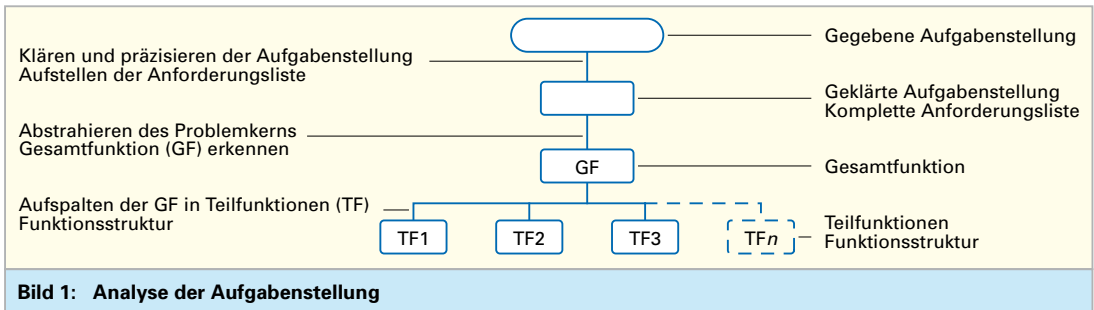
| Hauptschritte                                                     | Tätigkeiten des Konstrukteurs                                                                                                                                                                                                         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

<sup>1</sup> 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.

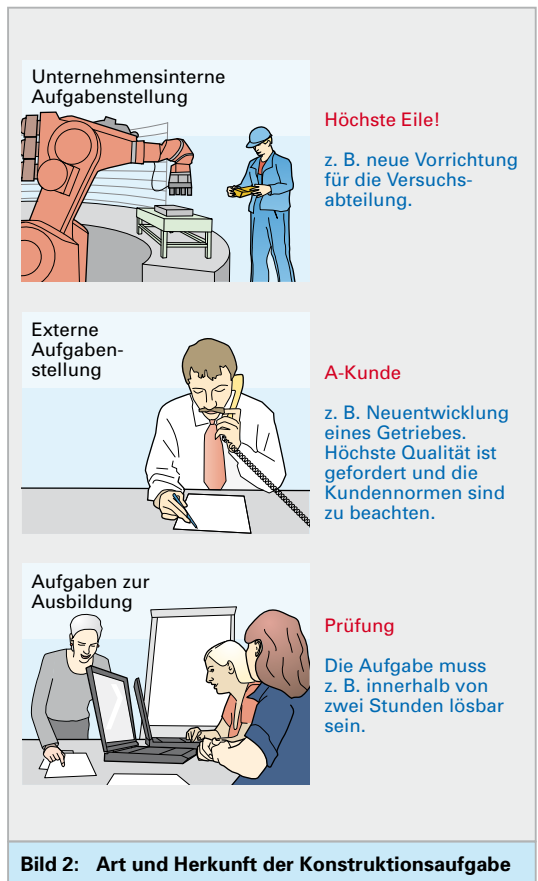
Externe Aufgabenstellung:

- 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.



**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.

Eine Aufgabenstellung sollte *mindestens* enthalten:

- Eindeutige und ausreichende Beschreibung des gewünschten technischen Erzeugnisses in Form von Texten, evtl. auch in Form von Bildern und Skizzen, z. B. von am Markt vorhandenen Geräten, welche die Probleme schon lösen oder noch nicht befriedigend lösen.
- Normen (s. unten)
- Technische Anforderungen und Betriebsbedingungen, mit Zahlenangaben, z. B. Betriebsstunden und Umgebungstemperaturen.
- Wirtschaftliche Forderungen und Bedingungen, z. B. was darf das Produkt maximal kosten.
- Ergonomische und ggf. auch psychologische Nutzeranforderungen, z. B. muss das Gerät robust gegen missbräuchliche Nutzung sein.
- Umweltbedingte Anforderungen, z. B. welche Lärmemissionsgrenzwerte sind einzuhalten.
- Welcher Zeitplan ist einzuhalten.
- Wie sind die Lieferbedingungen, z. B. die Gewährleistungen.

Die Wirksamkeit der Konstruktionsarbeit beginnt mit der Klarheit der Aufgabenformulierung!

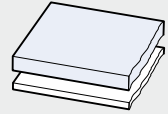
Unzureichende Aufgabenstellungen führen dazu, dass die Konstruktionstätigkeit zwecks Informationsbeschaffung unterbrochen werden muss, fertige Entwürfe oder Zeichnungen müssen oft unter großem Zeitaufwand (Konstruktionskosten) überarbeitet werden. Deshalb muss vor der Lösungssuche zum einen die Aufgabenstellung präzisiert werden, um sämtliche Anforderungen an die spätere Lösung zu kennen, zum anderen sollte durch Abstraktion das Wesentliche der Aufgabe, der Problemkern herausgearbeitet werden. Dies wird innerhalb der Konstruktionssystematik im ersten Schritt „Analyse der Aufgabenstellung“ erarbeitet (Bild 1, Seite 18).

Dazu gehören:

1. Ausarbeitung einer kompletten Anforderungsliste, ggf. mit Rangfolge und/oder Gewichtung.
2. Klären der Aufgabenstellung, Ermitteln des Problemkerns durch Abstraktion, Ermitteln der zu erfüllenden Gesamtfunktion.
3. Aufgliedern der Gesamtfunktion in Teilfunktionen und ggf. Aufstellen der Funktionsstruktur (**Bild 1**).

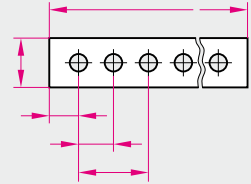
## Anforderungsliste

- Art der Bleche
- Breite
- Dicke
- Werkstoff
- ... weitere

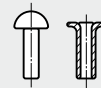


### Abstand der Nietlöcher

- - 
  -
- weitere



Art der Niete



...weitere

### Problemkern (Gesamtfunktion)

Bleche nieten

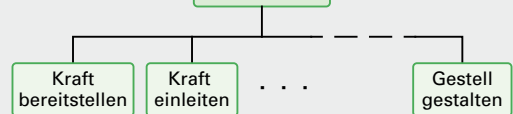
## Genietete Bleche



## Gesamtfunktion und Teilfunktionen

### Aufstellen der Funktionsstruktur

## Bleche nieten



**Bild 1: Teilaufgaben zur Analyse der Aufgabenstellung (Beispiel Nietvorrichtung)**

Die Abbildung zeigt ein historisches Normblatt aus den Anfängen des Normungswesens: **DIN 123 – Blatt 1, September 1921.**

1917 wird der „Normenausschuß der Deutschen Industrie“ gegründet und DIN wird 1920 als Markenzeichen eingeführt.

Die aktuelle Norm für Halbrundniete ist DIN 124:2011-03.

DK 621.884

**Halbrundniete**  
für den Kesselbau  
von 10 bis 43 mm Durchmesser

September 1921

**DIN**

**123**

Blatt 1

Maße in mm

Benennung eines Halbrundnietes von 22 mm Rohristdurchmesser und 60 mm Länge in Stücklisten und Bestellungen:  
**Halbrundniet 22×60 DIN 123**

| Rohristdurchmesser<br>Nennendurchmesser für Hersteller und Besteller | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 | 25 | 28 | 31 | 34 | 37 | 40 | 43 |
|----------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Kopfdurchmesser                                                      | 18 | 23 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 67 | 72 | 77 |

1.3.1 Anforderungsliste

Die Anforderungsliste ist das komplette Verzeichnis aller Forderungen, Bedingungen und Wünsche an das zu konstruierende Produkt.

Die Anforderungsliste sollte nicht vom Konstrukteur allein, sondern von allen Beteiligten (Auftraggeber, Entwicklungsingenieur, Fertigungsfachmann, Arbeitsvorbereiter, Verkäufer und Kunde) erarbeitet werden (**Bild 1**). Hierzu bedarf es meist einer geführten und gut vorbereiteten Sitzung mit Tagesordnung und Tischvorlagen zu den einzelnen Gesichtspunkten. Ein Moderator muss die Sitzung leiten und ein Protokollführer muss die wichtigsten Ergebnisse festhalten.

Aus der Überlegung heraus, dass das zu konstruierende Produkt später selbstverständlich funktionieren soll, natürlich auch herstellbar, montierbar, preiswert und außerdem bedienerfreundlich, umweltfreundlich usw. sein soll, ergeben sich folgende Anforderungen an das Produkt und damit für die Konstruktion.

Da die Anforderungsliste insbesondere später bei der Bewertung und Auswahl von Lösungsalternativen gebraucht wird, müssen bei den Anforderungen drei verschiedene wichtige Gruppen unterschieden werden:

**Festforderungen (Ja/Nein-Forderungen)**

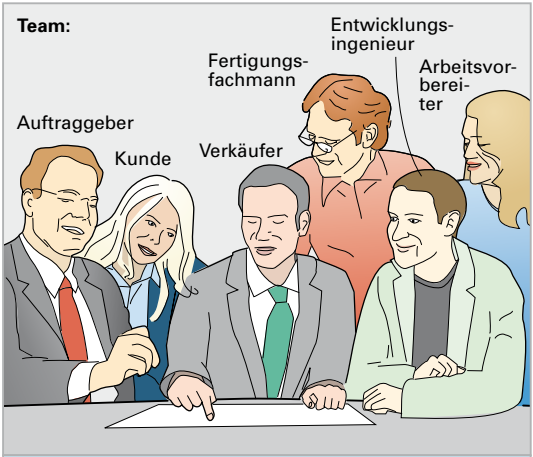
Solche Forderungen müssen unter allen Umständen erfüllt werden. Als Kriterien tragen diese Ja/Nein-Forderungen zum Ausscheiden nicht geeigneter Lösungsideen bereits vor der Anwendung von Bewertungsverfahren bei.

**Mindestforderungen (Tolerierte Forderungen)**

Sie sind mit  $\leq$  oder  $\geq$  angegeben bzw. enthalten Sollwertangaben mit Toleranzbereich und Aussagen bezüglich Mindesterfüllung bzw. Idealerfüllung. Diese Kriterien gehen später in Bewertungsverfahren ein und beschreiben dann z. B. den Wert einer Lösung.

**Die wichtigsten Anforderungen aufgrund der einzelnen Lebensabschnitte eines Produkts sind:**

- Funktion mit physikalisch-technischen Gesichtspunkten,
- Herstellbarkeit und Montierbarkeit,
- Wirtschaftlichkeit,
- Ergonomische, ggf. auch psychologische Gesichtspunkte,
- Vertrieb, Transport,
- Gebrauch, Instandhaltung,
- Recycling.



**Bild 1: Erarbeiten der Anforderungsliste im Team**

Sämtliche Anforderungen werden in eine Liste eingetragen. Ein mögliches Formblatt ist in **Bild 2** gezeigt. Das Formblatt kann den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden.

|                                                     |                          |             |                       |                      |               |  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|---------------|--|
| Firma:                                              |                          |             | Anforderungsliste für |                      | Auftrag Nr.:  |  |
| Bearbeiter:                                         |                          |             |                       |                      | Auftraggeber: |  |
|                                                     |                          |             |                       |                      | Datum:        |  |
| Lfd. Nr.                                            | Zuordnung<br>F<br>M<br>W | Anforderung | Daten                 | Verantwortung        | Änderung      |  |
| 1                                                   |                          |             |                       |                      |               |  |
| 2                                                   |                          |             |                       |                      |               |  |
| F = Festforderung, M = Mindestforderung, W = Wunsch |                          |             |                       |                      |               |  |
| Ausgabe:<br>Blatt ... von ...                       |                          |             |                       | Ersetzt Ausgabe vom: |               |  |

**Bild 2: Formblatt für eine Anforderungsliste (Beispiel)**