

## Arbeitsblätter und Checklisten zum methodischen Konstruieren

**Internet-Beilage zum Buch** (6., vollständig überarbeitete Auflage)  
„Integrierte Produktentwicklung  
Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit“

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

nachfolgend finden Sie folgende Dateien in pdf, die früher als Anhang im Buch gedruckt waren, jetzt aber aus Umfangsgründen hier im Internet zu finden sind. Die Bilder in A4 bis A6 sind meist die gleichen wie im IPE-Buch. Nur sind sie so zusammengefasst, dass man unmittelbar damit Konstruieren kann, und nicht im Buch laufend nachschlagen muss. Kapitel- und Bildnummerierung entspricht hier nicht der im Buch! **Bemerkenswert** ist besonders die Sammlung physikalischer Effekte in A5 und A7.2, sowie in A7.2 die Assoziationsliste für Bionik und die Widerspruchsorientierte Lösungssuche nach Altschuller.

- A3** Fortsetzung vom gedruckten Buch: **Strukturierte Methodensammlung** (Bilder A3-1 bis A3-5).
- A4** **Checkliste Allgemeines: Kap. 1** Anforderungen, Vorgehenszyklus, Vorgehenspläne
- A5** **Checkliste Sachgebundene Methoden: Kap. 2.1** Aufgabe klären;  
**Kap. 2.2** Lösungen suchen (Phys. Effekte)
- A6** **Checkliste Sachgebundene Methoden: Kap. 2.2** (Fortsetzung) Variation der Gestalt; **Kap. 2.3** Lösungen auswählen; **Kap. 3** Kostengünstig Konstruieren; **Kap. 4** Checkliste Schlussprüfung einer Konstruktion
- A7** (A7.1 bis A7.3) **Checklisten und Hilfsmittel** aus dem Buch: **Ponn, Lindemann** „**Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte**“ ([69/5], Springer 2008). Die Nummerierung entspricht der in diesem Buch von A1 bis A4 und ist nicht zu verwechseln mit obiger Nummerierung im IPE-Buch. Die Inhalte sind teilweise deckungsgleich. Sie können weiter aktualisiert werden über [www.cidad.de](http://www.cidad.de).  
  
**Bemerkenswert** ist besonders die Sammlung physikalischer Effekte oben in A5 und hier in A7.2, sowie in A7.2 die Assoziationsliste für Bionik und die Widerspruchsorientierte Lösungssuche nach Altschuller. – Wenn Sie mehr vom Lehrstuhl wissen wollen, gehen Sie ins Internet unter der Adresse [www.pe.mw.tum.de](http://www.pe.mw.tum.de)
- A8** **Dissertationsliste** des Lehrstuhls für Produktentwicklung, TU München und des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg.
- A9** **Was ist neu?** ... in der jeweiligen Buchauflage.
- A10** **Kontakt mit den Autoren:** Ein Blatt mit den Email-Adressen ist dort beigefügt. Wir freuen uns, wenn Sie per Email mit uns kommunizieren. Wir sind dankbar für Anregungen und Kritik. Nur so wird das Buch in der nächsten

Auflage besser! Natürlich geht das auch über private Telefon: 089 -174242 (Ehrlenspiel) und 09131-501297 (Meerkamm).

Unten die einzelnen Inhalte als Dateien. - Die **Seitenzahl** beginnt in jedem Anhang bei 1.

## Anhang A4 bis A7 Checklisten

### Datei-Inhalt

| Check-liste bzw. Datei   | Inhalt aus dem Buch <b>Ehrlenspiel und Meerkamm</b> „Integrierte Produktentwicklung“  | Seite (hier, nicht im Buch)   | Bild-Nr. (hier, nicht im Buch)   |
|--|---|---|--|
| <b>A4</b>  | <b>1. Allgemeines</b> zum methodischen. Entwickeln. und Konstruieren <ul style="list-style-type: none"> <li>• IPE- Methodik</li> <li>• Vorgehenszyklus</li> <li>• Vorgehenspläne</li> </ul>   | S. 1 - 3<br>S. 3 - 5<br>S. 6 - 8<br>S. 9 -13                              | Bild 1 - 2<br>Bild 3 - 5<br>Bild 5a - 8  |
| <b>A5</b>  | <b>2. Sachgebundene Methoden</b><br>2.1 Aufgabe klären<br>2.1.2 Nach Funktionen strukturieren<br>2.2 Lösungen suchen<br>2.2.2 Katalog <b>Physikalischer Effekte</b>   | S. 1 - 5<br>S. 6 - 8<br>S. 9<br>S. 9 - 36                                 | Bild 9 -13<br>Bild 14 -17<br>laufend   |
| <b>A6</b>  | weiter: <b>2. Sachgebundene Methoden</b> ,<br>weiter: 2.2 Lösungen suchen<br>2.2.3 Variation der Gestalt<br>2.2.4 Einsatz von Gestaltungsprinzipien<br>2.2.5 Kombination von Lösungsprinzipien<br>2.3 Lösung auswählen<br>2.3.1 Analysemethoden<br>2.3.2 Bewertungsmethoden<br><b>3. Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren</b><br>3.1 Kostenarten<br>3.2 Vorgehen beim kostengünstigen Entwickeln und Konstruieren; Variantenmanagement<br>4. Checkliste zur <b>Schlussprüfung</b> der Konstruktion | S.1 - 15<br>S.15 -19<br>S.19 - 20<br>S. 20- 25<br><br>S. 26 - 33<br>S. 34 | Bild 18 - 46<br>Bild 47 - 51<br>Bild 52 - 53<br><br>Bild 54<br>Bild 55 - 60<br><br>Bild 61 - 62<br>Bild 63 -70 |
| <b>Checklisten und Hilfsmittel aus dem Buch Ponn, Lindemann „Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte“ (Springer 2008)</b> |   |   |  |
| <b>A7.1</b>  | (A1) <b>Anforderungsmodell</b> mit (A.1-1und A1-2) Anforderungsklärung und (A2) <b>Funktionsmodell</b>  | S.1 bis 12  | lfd.   |
| <b>A7.2</b>  | (A3) <b>Wirkmodell</b> mit einer Liste Physikalischer Effekte, (A3-3) Widerspruchsorientierte Lösungssuche, (A3-5 und A3-6) Bionik, Liste für biologische   | S.1 bis 52  | lfd.   |

|             |  |            |      |
|-------------|--|------------|------|
|             | Assoziationen  |            |      |
| <b>A7.3</b> | (A4) <b>Baumodell</b> mit (A4-1) systematischer Variation, (A4-2) Checkliste Gestaltparameter, (A4-3) Prinzipien optimaler Systeme | S.1 bis 28 | lfd. |

## Anhang A3

### Strukturierte Methodensammlung (Methodenbaukasten)

Die strukturierte Methodensammlung soll einen **Überblick** über die in diesem Buch behandelten Methoden geben. Hierfür wird bei jeder genannten Methode auf die entsprechenden Kapitel verwiesen. Die Methoden werden in der Methodensammlung wie folgt **grob gegliedert**:

- a) Allgemein anwendbare Methoden,
- b) Organisatorische Methoden,
- c) Sachgebundene Methoden.

Innerhalb dieser Bereiche werden geeignete Methoden **verschiedenen Problemarten zugeordnet** (hier: im Wesentlichen Phasen des Konstruierens, oben nach rechts aufgetragen). So wird das schnelle Auffinden **passender Methoden** ermöglicht. Um die **Methodenauswahl** zu erleichtern, ist bei jeder Methode angegeben, ob sie in wichtigen Bereichen der Produkterstellung stark, schwach oder gar nicht unterstützend wirkt.

Die in Kapitel 7.1.1 beschriebenen Anforderungen an einen Methodenbaukasten werden mit dieser Methodensammlung noch nicht erfüllt. Zur Verwirklichung eines solchen Methodenbaukastens fehlen noch umfangreiche Untersuchungen. Insbesondere ist, wie schon bei Bild 7.4 gesagt, die Zuordnung der Methoden zu Phasen des Konstruierens verhältnismäßig grob. Günstiger wäre, wenn dort z.B. kritische Situationen enthalten wären, in denen man nach Methoden als Hilfe sucht (siehe Kapitel 3.5; Kapitel 3.8.2).

Weitere Methoden sind in der VDI 2221 [1/A] und in einschlägiger Literatur zu finden.

| Methode (Maßnahme)                      | Kapitel | allgemein<br>anwendbar | besonders<br>integrativ | Produktplanung | Entw. & Konstr.              |             |           |             | Produktion | Vertrieb | Controlling |
|---|---------|------------------------|-------------------------|----------------|------------------------------|-------------|-----------|-------------|------------|----------|-------------|
|   |         |                        |                         |                | Aufg. klären<br>Vorg. planen | Konzipieren | Entwerfen | Ausarbeiten |            |          |             |
| <b>a) Allgemein anwendbare Methoden</b> |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| <b>Systemmodellierung</b>               |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – technische Systeme                    | 2.2.1   | ●                      | ●                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Produktlogik                          | 2.3.3   | ○                      | ○                       |                | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ○        | ○           |
| <b>Basismethoden für Prozesse</b>       |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Vorgehenszyklus                       | 3.3.2   | ●                      | ○                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Vorgehensplan                         | 4.1.5   | ○                      |                         | ○              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ○           |
|   | 6.3.2   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – IP-Methodik                           | 6.2     | ●                      | ●                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Methodenbaukasten                     | 7.1     | ●                      | ○                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ○          | ○        | ○           |
| <b>Analyse und Strukturierung</b>       |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – ABC-Analyse                           | 7.2.3   | ●                      |                         | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Klassifizierung                       | 2.3.2   | ●                      |                         | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Ordnungsschemata                      | 7.5.4.1 | ●                      |                         | ●              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ○          | ●        | ○           |
| – Checklisten                           | 7.5.4.4 | ●                      | ○                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Portfolio-Analyse                     | 7.2.3   | ○                      |                         | ●              | ○                            | ○           |           | ○           | ●          | ●        |             |
| – Morphologischer Baum                  | 7.2.4   | ○                      |                         | ●              | ○                            | ●           |           | ○           |            |          |             |
| – Morphologisches Schema                | 7.5.4.1 | ●                      |                         | ●              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ○          |          |             |
| – Morphologischer Kasten                | 7.5.5   | ●                      |                         | ●              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ○          |          |             |
| – Schwachstellenanalyse                 | 7.8.1.1 | ●                      | ●                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
|   | 3.3.4   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Rechen- und Simulations-<br>methoden  | 7.8.2   | ●                      | ●                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Schadensanalyse                       | 7.8.1.2 | ○                      | ○                       |                | ●                            | ○           | ○         | ○           | ●          | ○        |             |
| <b>Berurteilung und Entscheidung</b>    | 7.9     |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Einfachbewertung                      | 7.9.4   | ●                      | ○                       | ●              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Intensivbewertung                     | 7.9.5   | ●                      | ○                       | ●              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| <b>Information</b>                      | 7.10    |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Dokumentation                         | 7.10.3  | ●                      |                         | ○              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Informationssuche                     | 7.10.2  | ●                      |                         | ●              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Informationsflußanalyse               | 7.10.4  | ●                      | ○                       | ○              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |

● stark betroffen, anwendbar    ○ schwach betroffen, anwendbar

**Bild A.3-1:** Strukturierte Methodensammlung, a) Allgemein anwendbare Methoden

| Methode (Maßnahme)   | Kapitel | allgemein<br>anwendbar | besonders<br>integrativ | Produktplanung | Entw. & Konstr.              |             |           |             | Produktion | Vertrieb | Controlling |
|--|---------|------------------------|-------------------------|----------------|------------------------------|-------------|-----------|-------------|------------|----------|-------------|
|  |         |                        |                         |                | Aufg. klären<br>Vorg. planen | Konzipieren | Entwerfen | Ausarbeiten |            |          |             |
| b) Organisatorische<br>Methoden  |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| <b>Aufbauorganisation,</b><br>produktbezogene Spartenorgani-<br>sation, Profit Center, Segmentierung | 4.3.1   | ●                      | ●                       | ○              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| <b>Ablauforganisation</b>  |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Projektmanagement  | 4.3.4   | ●                      | ●                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Teamarbeit   | 4.3.3   | ●                      | ●                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Simultaneous Engineering   | 4.3.2   | ○                      | ●                       |                | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
|  | 4.4.1   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Wertanalyse  | 9.3.2   | ●                      | ●                       | ○              | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Fertigungs- und Kostenberatung   | 4.3.2   |                        | ●                       |                | ●                            | ●           | ●         | ○           | ○          |          |             |
|  | 9.3.1   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Freigabebesprechung  | 4.3.2   | ●                      | ●                       | ○              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Vorgehensplan  | 4.1.5   | ●                      |                         | ○              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ○          | ○        | ○           |
|  | 6.3.2   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
|  | 6.5.1   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Vorgehensstrukturierung,<br>kreative Klärung   | 7.3.7   | ○                      |                         |                | ●                            | ●           | ●         | ●           | ○          | ○        | ○           |
|  | 7.4     |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| <b>Rationalisierung</b>  |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Methoden zur Leistungs-<br>steigerung und Durchlaufzeit-<br>verkürzung                             | 5.2.2   | ●                      |                         |                | ●                            | ●           | ●         | ●           | ○          | ○        | ○           |
| – Termin- und Kapazitätsplanug   | 5.2.3   | ●                      |                         |                | ●                            | ●           | ●         | ●           | ○          | ○        | ○           |

● stark betroffen, anwendbar    ○ schwach betroffen, anwendbar

Bild A.3-2: Strukturierte Methodensammlung b) Organisatorische Methoden

| Methode (Maßnahme)                                      | Kapitel | allgemein<br>anwendbar       | besonders<br>integrativ | Produktplanung                 | Entw. & Konstr.              |             |           | Produktion | Vertrieb | Controlling |             |
|---|---------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------|-----------|------------|----------|-------------|-------------|
|   |         |                              |                         |                                | Aufg. klären<br>Vorg. planen | Konzipieren | Entwerfen |            |          |             | Ausarbeiten |
| <b>c) Sachgebundene Methoden</b>                        |         |                              |                         |                                |                              |             |           |            |          |             |             |
| <b>Qualität</b>   |         |                              |                         |                                |                              |             |           |            |          |             |             |
| – Quality Function Deployment – QFD                     | 4.4.2   | ●                            | ●                       | ○                              | ●                            | ●           | ●         | ○          | ●        | ○           | ○           |
| – FMEA  | 7.8.1   |                              | ●                       |                                | ●                            | ●           | ●         | ○          | ●        | ○           | ○           |
| – Fehlerbaumanalyse                                     | 7.8.1   |                              | ○                       |                                | ●                            | ●           | ●         | ○          | ●        | ○           | ○           |
| <b>Vorgehen</b>   | 5.1.3   |                              |                         |                                | ●                            | ●           | ●         | ●          |          |             |             |
| – Vorgehenspläne für E & K                              | 6.5.1   |                              |                         | ○                              | ●                            | ●           | ●         | ○          |          |             |             |
| – Vorgehen für beliebige Hauptforderungen (Design to X) | 6.5.2   | ○                            | ●                       | ○                              | ●                            | ●           | ●         | ○          | ●        | ●           | ●           |
| <b>Produktplanung</b>                                   | 7.2     |                              |                         | ●                              | ●                            | ●           |           | ○          | ●        | ○           |             |
| – Ermittlung des Unternehmenspotentials                 | 7.2.2   |                              | ○                       | ●                              | ○                            |             |           | ○          | ●        | ○           | ○           |
| – Ermittlung des Produktpotentials                      | 7.2.3   |                              | ○                       | ●                              | ●                            | ●           | ○         | ○          | ●        | ○           | ○           |
| – Fremderzeugnisanalyse                                 | 7.2.3   |                              | ○                       | ●                              | ●                            | ●           | ●         | ○          | ●        | ●           | ●           |
| – Widerspruchsorientierte Entwicklungsstrategie (WOIS)  | 7.2.4   |                              | ●                       | ●                              | ●                            | ●           |           |            |          |             |             |
| – Bionik  | 7.2.4   |                              | ○                       | ●                              | ●                            | ●           | ○         |            |          |             |             |
| <b>Aufgabenklärung</b>                                  | 7.3     | ○                            | ●                       | ●                              | ●                            | ●           |           | ○          | ○        | ○           | ○           |
| – Systemabgrenzung                                      | 7.3.3   |                              |                         | ○                              | ●                            | ●           | ○         |            |          |             |             |
| – Abstraktion   | 7.3.5   | ○                            | ○                       | ●                              | ●                            | ●           | ○         | ○          | ○        | ○           | ○           |
| – Anforderungsliste                                     | 7.3.6   | ○                            | ○                       | ○                              | ●                            | ●           | ●         | ○          | ○        | ○           | ○           |
| – Vorgehensstrukturierung, kreative Klärung             | 7.3.7   |                              | ●                       |                                | ●                            | ●           | ●         | ○          | ●        | ●           | ●           |
| <b>Aufgabenstrukturierung</b>                           | 7.4     |                              |                         |                                |                              |             |           |            |          |             |             |
| – Strukturierung nach Modulen                           | 7.4.1.1 |                              |                         |                                | ●                            | ●           | ●         | ○          |          |             |             |
| – Strukturierung nach Funktionen                        | 7.4.2   |                              |                         | ○                              | ●                            | ●           | ●         |            |          | ○           |             |
|   |         | ● stark betroffen, anwendbar |                         | ○ schwach betroffen, anwendbar |                              |             |           |            |          |             |             |

Bild A.3-3: Strukturierte Methodensammlung, c) Sachgebundene Methoden (Blatt 1)

| Methode (Maßnahme)   | Kapitel | allgemein<br>anwendbar | besonders<br>integrativ | Produktplanung | Entw. & Konstr.              |             |           |             | Produktion | Vertrieb | Controlling |
|--|---------|------------------------|-------------------------|----------------|------------------------------|-------------|-----------|-------------|------------|----------|-------------|
|  |         |                        |                         |                | Aufg. klären<br>Vorg. planen | Konzipieren | Entwerfen | Ausarbeiten |            |          |             |
| c) Sachgebundene<br>Methoden                                   |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| <b>Lösungssuche</b>  | 7.5     |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Konventionelle Lösungssuche                                  | 7.5.2   |                        |                         | ○              | ○                            | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Kreativitätstechniken  | 7.5.3   | ●                      | ○                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           |            | ●        | ●           |
| • Brainstorming  | 7.5.3   | ●                      | ●                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ○          | ○        | ●           |
| • Methode 6-3-5  | 7.5.3   |                        | ○                       | ●              | ○                            | ●           | ○         |             |            |          |             |
| • Synektik   | 7.5.3   |                        | ○                       | ●              | ○                            | ●           | ○         |             |            |          |             |
| • Galeriemethode   | 7.5.3   |                        |                         | ●              | ○                            | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Systematiken   | 7.5.4   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| • Ordnungsschemata,<br>morphologische Schemata                 | 7.5.4.1 |                        |                         | ●              | ○                            | ●           | ●         |             |            |          |             |
| • Konstruktionskataloge  | 7.5.4.2 |                        |                         | ●              | ○                            | ●           | ●         |             |            |          |             |
| • Physikalische Effekte  | 7.5.4.3 |                        |                         | ●              | ○                            | ●           | ○         |             |            |          |             |
| • Checklisten  | 7.5.4.4 | ●                      | ○                       | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| <b>Kombination</b> (morph. Kasten)                             | 7.5.5   |                        |                         | ○              | ○                            | ●           | ●         |             |            |          |             |
| <b>Gestaltung</b>  | 7.6     |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Variation der Flächen und Körper                             | 7.6.1.1 |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Variation der Flächen und Körper-<br>beziehungen             | 7.6.1.2 |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Variation der stofflichen<br>Eigenschaften                   | 7.6.2.1 |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Variation des Fertigungs- und<br>Montageverfahrens           | 7.6.2.2 |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Variation der Bewegungen                                     | 7.6.2.3 |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Variation der Kraftübertragung                               | 7.6.2.4 |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Variation der Getriebeart                                    | 7.6.2.5 |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Umkehrung  | 7.6.3   |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Funktionsvereinigung/-trennung                               | 7.7.1   |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Integral-/Differentialbauweise                               | 7.7.2   |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Kraftfluß  | 7.7.3   |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Lastausgleich  | 7.7.4   |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| – Selbsthilfe  | 7.7.5   |                        |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           |            |          |             |
| ● stark betroffen, anwendbar    ○ schwach betroffen, anwendbar |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |

Bild A.3-4: Strukturierte Methodensammlung, c) Sachgebundene Methoden (Blatt 2)



| Methode (Maßnahme)  | Kapitel | allgemein<br>anwendbar | besonders<br>integrativ | Produktplanung | Entw. & Konstr.              |             |           |             | Produktion | Vertrieb | Controlling |
|---|---------|------------------------|-------------------------|----------------|------------------------------|-------------|-----------|-------------|------------|----------|-------------|
|   |         |                        |                         |                | Aufg. klären<br>Vorg. planen | Konzipieren | Entwerfen | Ausarbeiten |            |          |             |
| c) Sachgebundene<br>Methoden  |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| <b>Analyse</b>  | 7.8     |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Schwachstellenanalyse   | 7.8.1   | ○                      |                         | ○              | ●                            | ●           | ○         |             | ○          | ○        | ○           |
| – Rechen-, Simulationsmethoden  | 7.8.2   | ○                      |                         |                | ○                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Kostenberechnung  | 9.2.3   | ○                      |                         |                |                              | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Versuchsmethoden  | 7.8.3   |                        |                         |                | ○                            | ●           | ●         | ○           | ○          |          |             |
| – Schadensanalyse   | 3.3.4   |                        |                         |                | ●                            | ●           | ○         |             | ○          |          |             |
|   | 7.8.1.2 |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| <b>Beurteilung und Entscheidung</b>   | 7.9     |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Einfachbewertung (Vorteil/<br>Nachteil, Auswahlliste, paarweiser<br>Vergleich, einfache Punktbewert.) | 7.9.4   | ●                      | ○                       | ●              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Intensivbewertung (gewichtete<br>Punktbewertung, techn.-wirtsch.<br>Bewertung, Nutzwertanalyse)       | 7.9.5   | ●                      | ○                       | ●              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| <b>Information</b>  | 7.10    |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Dokumentationsarten   | 7.10.3  | ●                      |                         | ○              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Informationssuche   | 7.10.2  | ●                      |                         | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Informationsflußanalyse   | 7.10.4  | ●                      | ○                       | ○              | ○                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| <b>Kostengünstig Konstruieren</b>   | 9       |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Strukturierung nach Kostenarten   | 9.1.1   |                        |                         |                | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
|   | 9.2.1   |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |
| – Zielkostengesteuertes Konstr.   | 9.2     |                        | ●                       |                | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Fertigungsgerecht Konstruieren  | 9.2.2   |                        | ●                       |                | ○                            | ○           | ●         | ●           | ●          |          | ○           |
| – Target Costing  | 9.3.3   |                        | ●                       |                | ●                            | ●           | ●         | ○           | ●          | ●        | ●           |
| – Variantenmanagement   | 9.4     | ○                      | ●                       | ○              | ●                            |             |           |             |            |          |             |
| • Teilezahlreduzierung  | 9.4.4   |                        | ●                       |                | ○                            | ○           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| • Baureihenkonstruktion   | 9.4.5   |                        |                         | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| • Baukastenkonstruktion   | 9.4.7   |                        |                         | ●              | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ●        | ●           |
| – Rechnergestütztes Kostenen-<br>ken und Variantenmanagement  | 9.3.4   |                        | ●                       |                | ●                            | ●           | ●         | ●           | ●          | ○        | ●           |
| ● stark betroffen, anwendbar    ○ schwach betroffen, anwendbar  |         |                        |                         |                |                              |             |           |             |            |          |             |

Bild A.3 -5: Strukturierte Methodensammlung, c) Sachgebundene Methoden (Blatt 3)

## Anhang A4 bis A6 Checklisten

### Datei-Übersicht über die Checklisten

| Check-liste bzw. Datei | Inhalt   | Seite (hier, nicht im Buch)  | Bild-Nr. (hier, nicht im Buch)  |
|------------------------|--|--|---|
| <b>A4</b>              | <b>1. Allgemeines</b> zum methodischen. Entwickeln und Konstruieren <ul style="list-style-type: none"> <li>• IPE- Methodik</li> <li>• Vorgehenszyklus</li> <li>• Vorgehenspläne</li> </ul>   | S. 1 - 3<br><br>S. 3 - 5<br>S. 6 - 8<br>S. 9 -13   | Bild 1; 2<br>Bild 3 bis 5<br>Bild 5a bis 8  |
| <b>A5</b>              | <b>2. Sachgebundene Methoden</b><br>2.1 Aufgabe klären<br>2.1.2 Nach Funktionen strukturieren<br>2.2 Lösungen suchen<br>2.2.2 Katalog <b>Physikalischer Effekte</b>  | S. 1 - 5<br>S. 6 - 8<br>S. 9<br>S. 9 - 36  | Bild 9 -13<br>Bild 14 -17<br><br>laufend  |
| <b>A6</b>              | weiter: <b>2. Sachgebundene Methoden,</b><br>weiter: 2.2 Lösungen suchen<br>2.2.3 Variation der Gestalt<br>2.2.4 Einsatz von Gestaltungsprinzipien<br>2.2.5 Kombination von Lösungsprinzipien<br>2.3 Lösung auswählen<br>2.3.1 Analysemethoden<br>2.3.2 Bewertungsmethoden<br><b>3. Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren</b><br>3.1 Kostenarten<br>3.2 Vorgehen beim kostengünstigen Entwickeln und Konstruieren; Variantenmanagement<br>4. Checkliste zur <b>Schlussprüfung</b> der Konstruktion | S.1 – 15<br>S. 15 -19<br>S.19 - 20<br>S. 20- 25<br><br><br><br><br><br><br>S. 26 - 33<br><br><br><br><br><br><br>S. 34 | Bild 18 - 46<br>Bild 47 - 51<br>Bild 52 - 53<br><br>Bild 54<br>Bild 55 - 60<br><br>Bild 61 - 70 |

## 1 Allgemeines zum meth. Entwickeln und Konstruieren

### 1.1 Welches Modell des Konstruierens liegt hier zu Grunde?

Es kommt darauf an, den Routineteil des Konstruierens im „Normalbetrieb“ des Denkens (Stufe 1: vorwiegend intuitiv, unbewusst;) und damit meist schnell zu durchlaufen (Kapitel 3.3). Erst in schwierigen, kritischen Situationen zum „Rationalbetrieb“ (Stufe 2: rational, diskursiv) übergehen: Wenn man „hängenbleibt“ oder Widerspruch erfährt. Also eine flexible Mischung aus Intuition und Rationalität (Kapitel 6.2.3).

Das **Vorgehen**, zunächst zur Orientierung, nur grob strategisch planen (z.B. nach dem Vorgehenszyklus (hier Bild 3) oder nach Bild 5a bzw. den nummerierten Hauptschritten von (hier) Bild 6 oder 7, denn das sehr detaillierte Vorgehen (z.B. die für die Lehre bestimmte Feingliederung in hier Bild 6 und 7) ist für die Vielfalt der Praxisprobleme meist unrealistisch (Kapitel 6.2.3). Sich nicht wundern, wenn man aus der „Ergebnisebene“ (hier Bild 5b) heraus plötzlich das Vorgehen strategisch ändern muss! In vielen Fällen hat sich der so einfach zu verstehende **Vorgehenszyklus** bewährt (hier Bild 3; 4; 8) (Kapitel 3.3.2): Die Aufgabe klären (Anforderungsliste!); nicht nur eine Lösung, sondern Varianten suchen und dann begründet auswählen!

Woher die **Methoden** für den Rationalbetrieb? Aus einem flexibel einzusetzenden „Methodenbaukasten“: Siehe Abschnitt 2 (Datei B und C). Es gibt genaue und weniger genaue, aufwendige und einfachere Methoden. Man muss auch damit Erfahrung sammeln und ihren Einsatz durch Wiederholung ins Unterbewusste absinken lassen.

Das Vorgehen kann **unterschiedlich** sein, je nachdem, welches Ziel, welche **Hauptforderung im Vordergrund** steht. Für neue Produkte („Funktionen realisieren“) geht man etwas anders vor, als wenn man bei vorhandenen Produkten Eigenschaften ändern muss (z.B. Kosten (hier Bild 63); Zuverlässigkeit... „Design to X“). Bilder im Buch 6.5-5; 6.5-6; 9.2-3.

Also: Es gilt das **Modell**:

„**Intuitives / rationales, flexibles Vorgehen mit den jeweils zweckmäßigen Methoden**“. Einfach gesagt!? – Ausprobieren!

## 1.2 Hinweise zum methodischen Konstruieren

### Grundsätzliches

Methodisches Vorgehen dem Problem **anpassen**.

- Nicht bei jeder Aufgabe müssen alle Arbeitsschritte gleich intensiv und in der gleichen Reihenfolge bearbeitet werden. – aber bewusst schrittweise vorgehen!
- Arbeitsschritte können übersprungen werden, wenn Ergebnisse schon bekannt sind.
- Nur wichtige Aufgabenteile methodisch bearbeiten. Einfaches mit intuitiver Routine!
- Häufig muss keine „ganz neue“ Lösung gefunden werden, sondern nur eine geeignete vorhandene.

Grundsätzlich **schriftlich** und mit **kleinen Skizzen** arbeiten („schriftlich bzw. grafisch nachdenken“).

**Iterativ arbeiten**: oft müssen frühere Arbeitsschritte nochmals durchlaufen werden.

Die Erfahrung, das Wissen anderer nutzen = **Teamarbeit**; Erfahrene fragen

Bewusst die **Art des Problems** klären.

- Ist die Aufgabe unklar? • 2.1 Aufgabe klären
- Ist es schwierig neue Lösungen zu finden? • 2.2 Lösungen suchen
- Ist die Analyse, Bewertung und Auswahl schwierig? • 2.3 Lösungen auswählen

Vor dem Beginn der Problemlösung einen **Arbeitsplan** erstellen (siehe hier Bild 3; 5a).

Den **Vorgehenszyklus** einsetzen: hier Bild 3 und 4

Das wichtigste ist immer eine klare Aufgabenstellung. Nichts ohne Klärung als selbstverständlich ansehen. (hier Bild 9 bis 12)

Den Grund bzw. den Anlass der Aufgabe dokumentieren.

Eine Anforderungsliste erstellen. (hier Bild 10)

Aufgabe abstrahieren bzw. verallgemeinern z. B. zur Funktion.

Die Gesamtaufgabe in Teilaufgaben unterteilen.

Für jede Teilaufgabe mehrere Lösungen suchen.

Aus mehreren Lösungen mit einem Bewertungsverfahren die beste herausfinden.

Einfache Lösungen bevorzugen.

## **IPE-Methodik (zu BILD 1 und 2)**

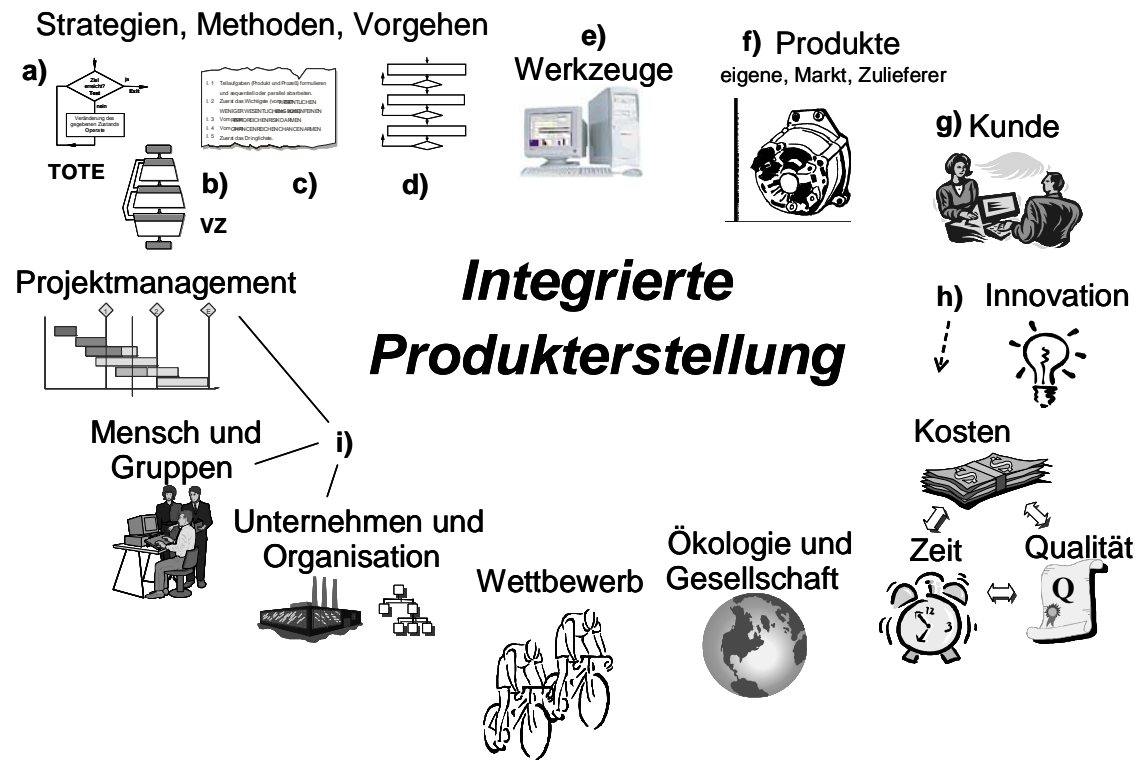
Die **IPE-Methodik** oder Integrierte Produkterstellungsmethodik ist eine Methodik für die Produkterstellung, die besonders die Zielorientierung und Zusammenarbeit der daran beteiligten Menschen berücksichtigt. Es wird dabei der ganze Produktlebenslauf berücksichtigt. Also bis zum Recycling.

**Produkterstellung** ist der gesamte Prozess von der ersten Idee (vom Auftragseingang) bis zur Auslieferung eines Produkts an den Nutzer.

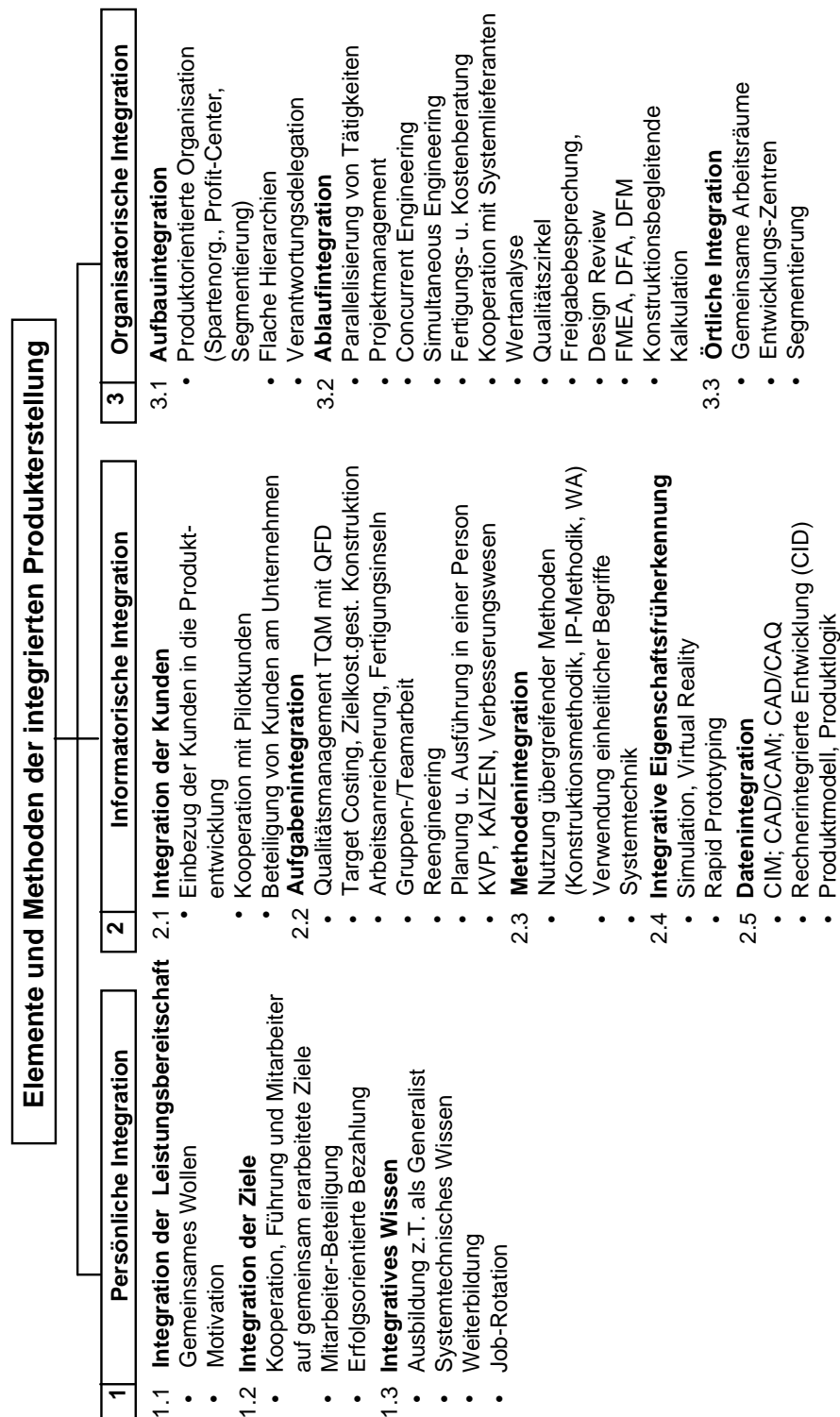
## **BILD 1: Elemente der Integrierten Produkterstellungs-(IPE)-Methodik)**

Elemente sind:

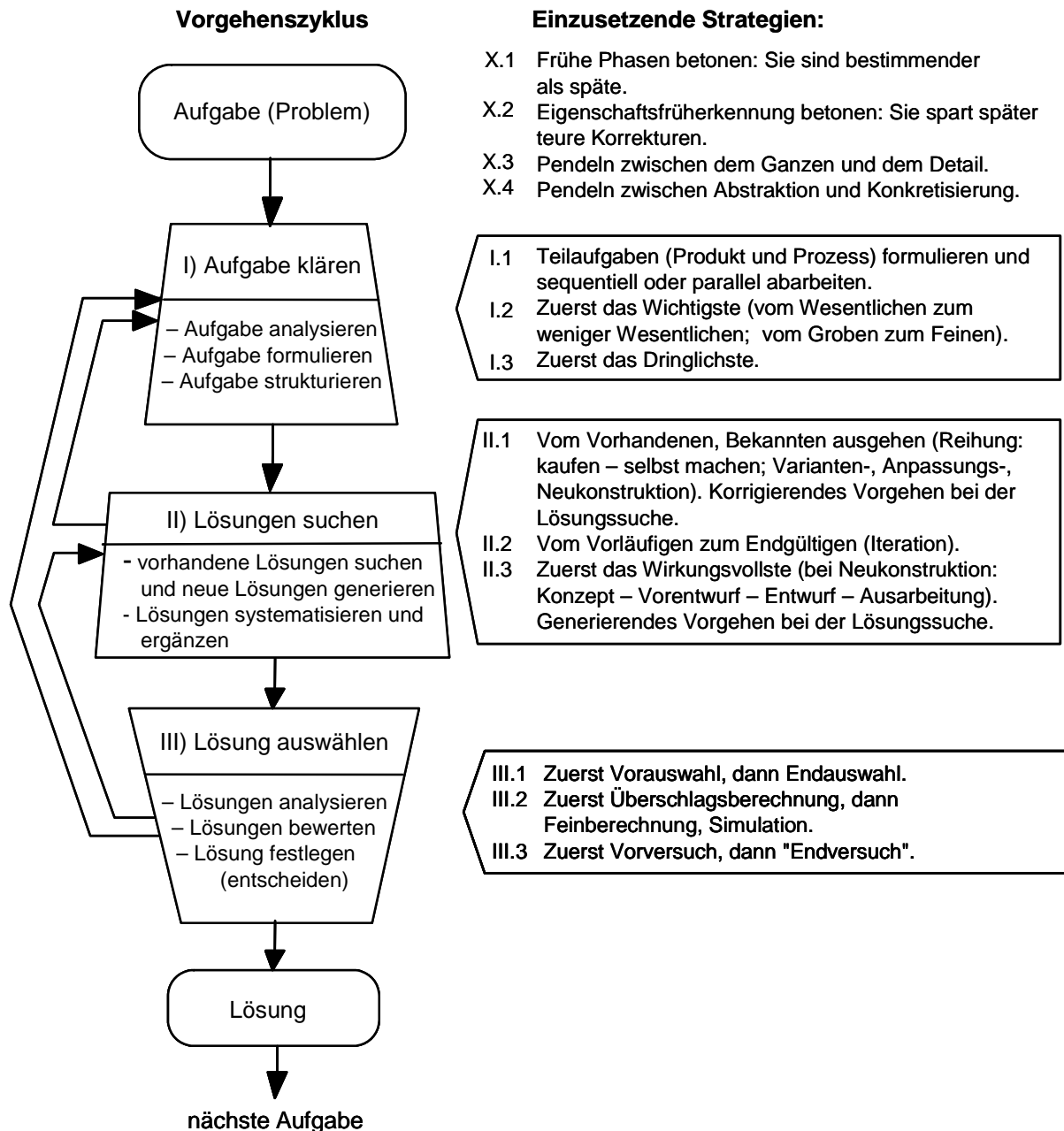
- a) TOTE-Schema für meist unbewusste Denkvorgänge.
- b) Vorgehenszyklus (hier BILD 3 und 4).
- c) Methoden (hier Abschnitt 2, 3 und 4).
- d) Vorgehensplan (hier BILD 5a, 6 und 7) usw.
- i) Organisation (siehe Punkt 3 in hier BILD 2).  
(Zum Übrigen: Siehe bei **Bild 6.2-2** im Buch)



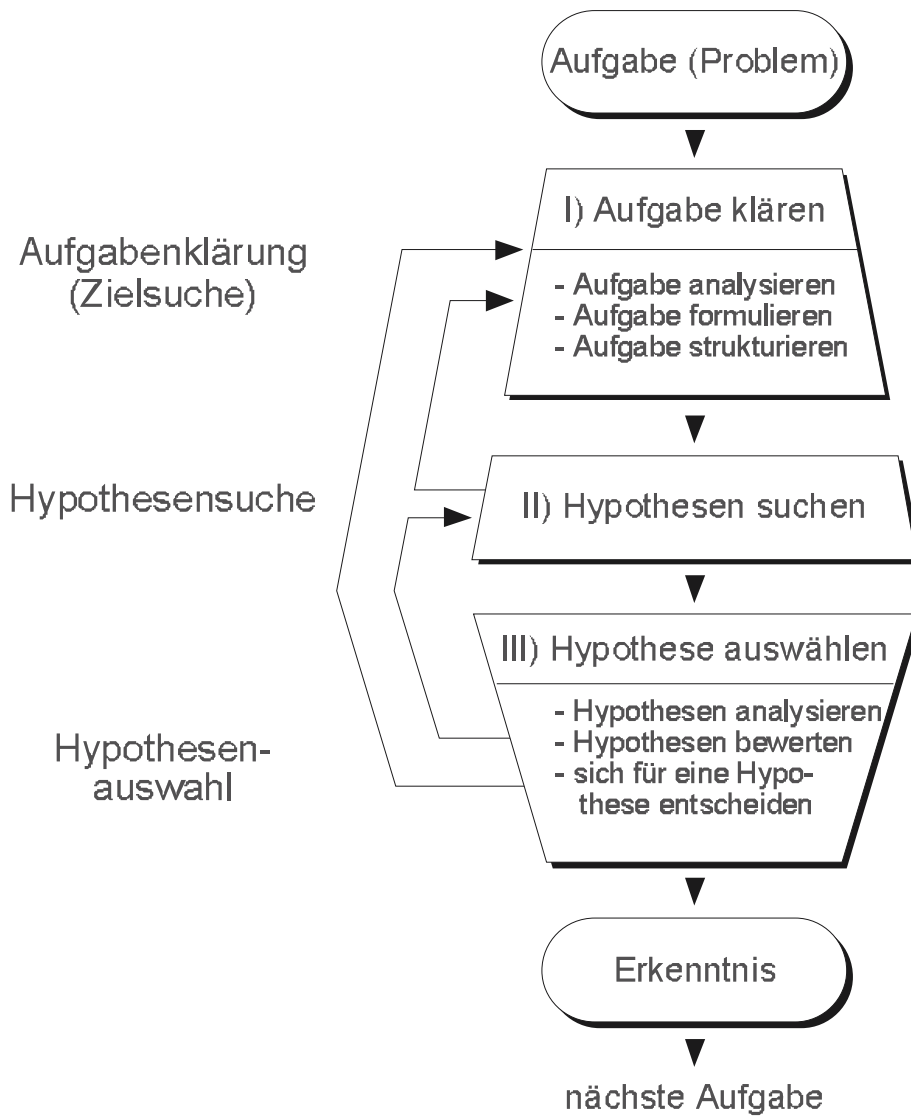
## BILD 2: Elemente und Methoden der integrierten Produkterstellung (im Buch Bild 4.2-8)



**BILD 3: Vorgehenszyklus für die Lösungssuche (Synthese) (im Buch Bild 3.3-22)**

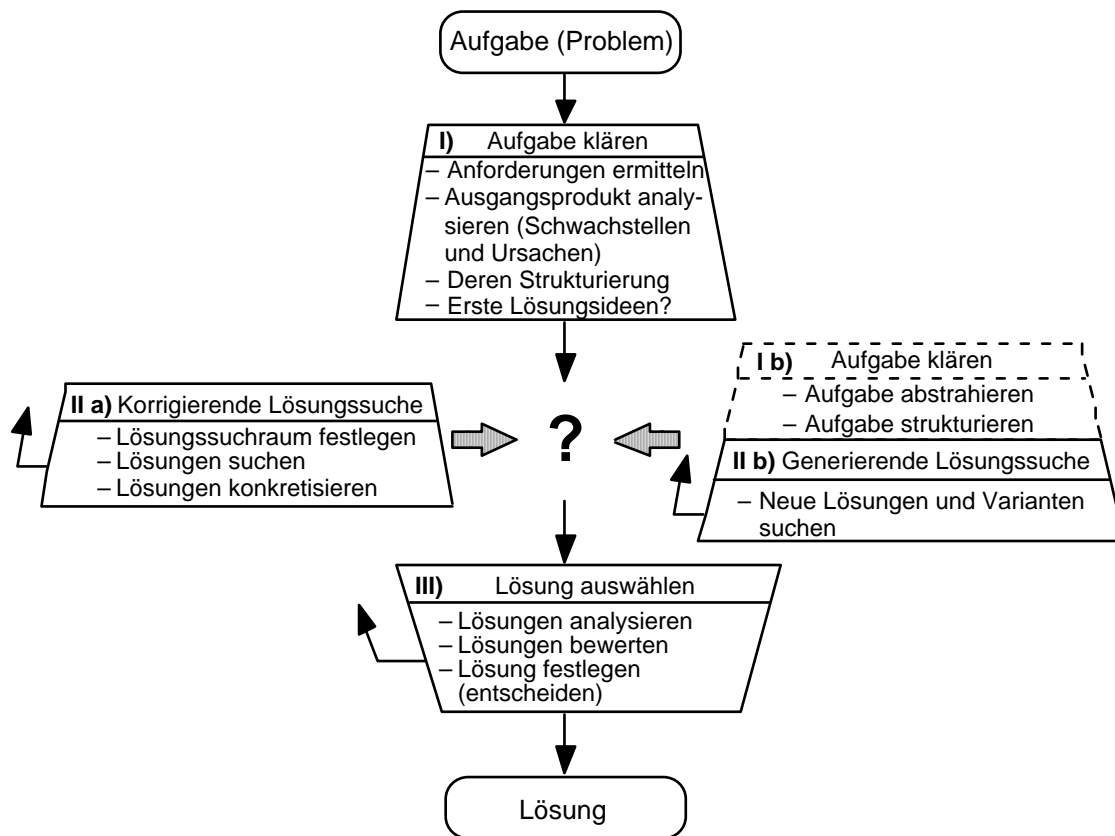


**BILD 4:** Vorgehenszyklus für die Erkenntnisgewinnung: Analyse; siehe Bild 54 (dies Bild ist im Buch Bild 3.3-15)





**BILD 5: Vorgehenszyklus mit der Alternative korrigierender oder generierender Lösungssuche (im Buch Bild 5.1-19)**



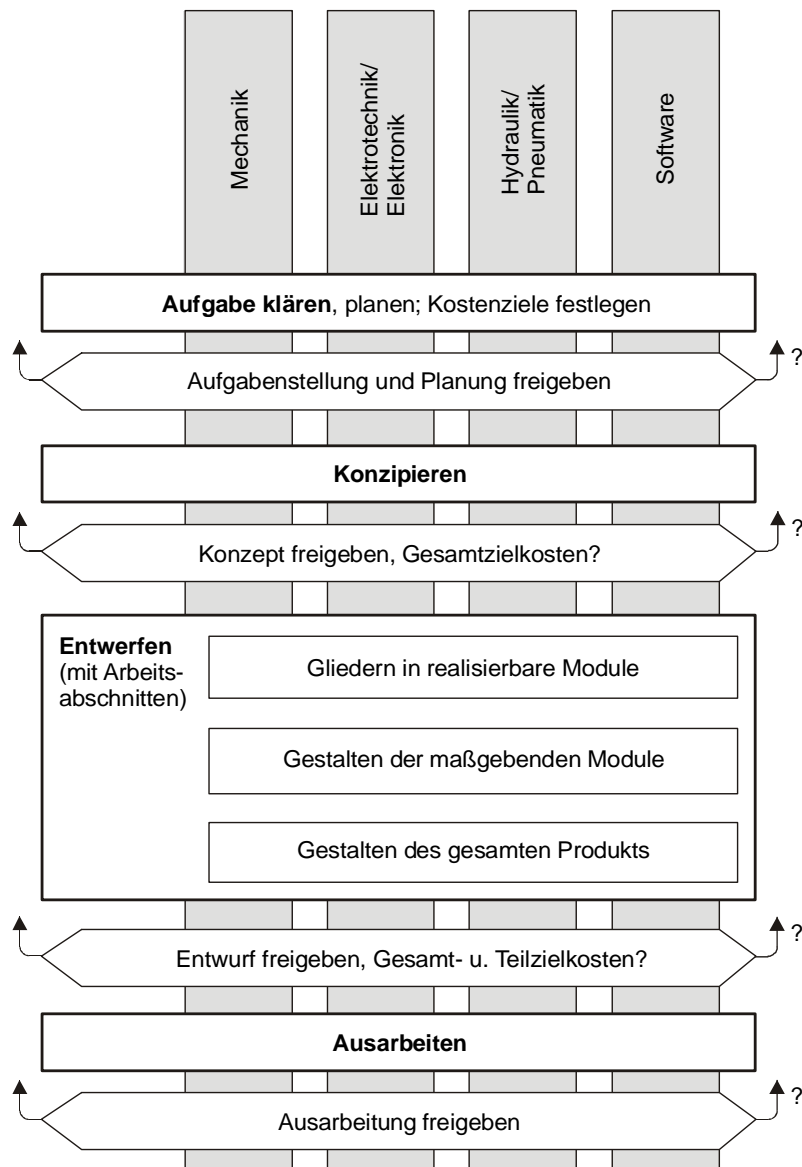
### Korrigierendes Vorgehen:

„Normalfall“ des Konstruierens, da schnell und risikoarm. Man geht von vorhandener Lösung aus, stellt die Anforderungen zusammen (Anforderungsliste). Davon ausgehend werden die Schwachstellen der Lösung analysiert. Je genauer die Ursachen gefunden werden, desto eher erkennt man wirksame Abhilfen und dafür erste Lösungsideen ("Schwachstellen-getriebenes Konstruieren"). Meist ist das dann "nur" eine korrigierte Lösung. Eine Hilfe ist u. a. die Strukturierung nach zu verbessernden Eigenschaften (z. B. ABC-Analyse nach Qualität und Kosten ... Siehe Bild 13).

### Generierendes Vorgehen:

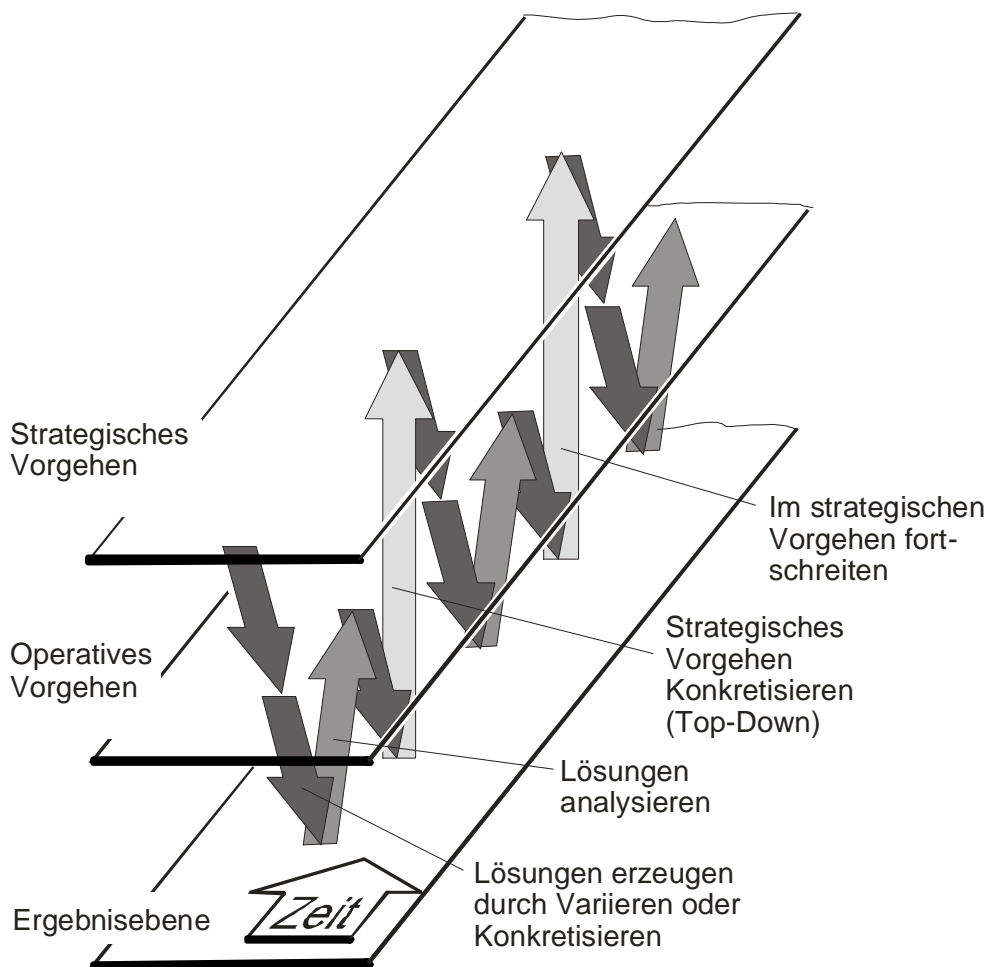
Ergibt eher innovative Lösungen, aber oft mit mehr Zeitaufwand und Realisierungsrisiko. Man geht z. B. nach Vorgehensplan BILD 6 oder BILD 7 vor, abstrahiert und strukturiert die Aufgabe stärker, sucht systematisch mehrere neue Lösungsprinzipien und wählt aus. Vorhandene Lösungen werden z. B. als Elemente einer Lösungssystematik angesehen; man sucht die weißen Felder in dieser Systematik.

**Bild 5a:** Praxiserprobter **Vorgehensplan für mechatronische Produkte**  
(nach Derhake; Bild 6.4-2 im Buch).

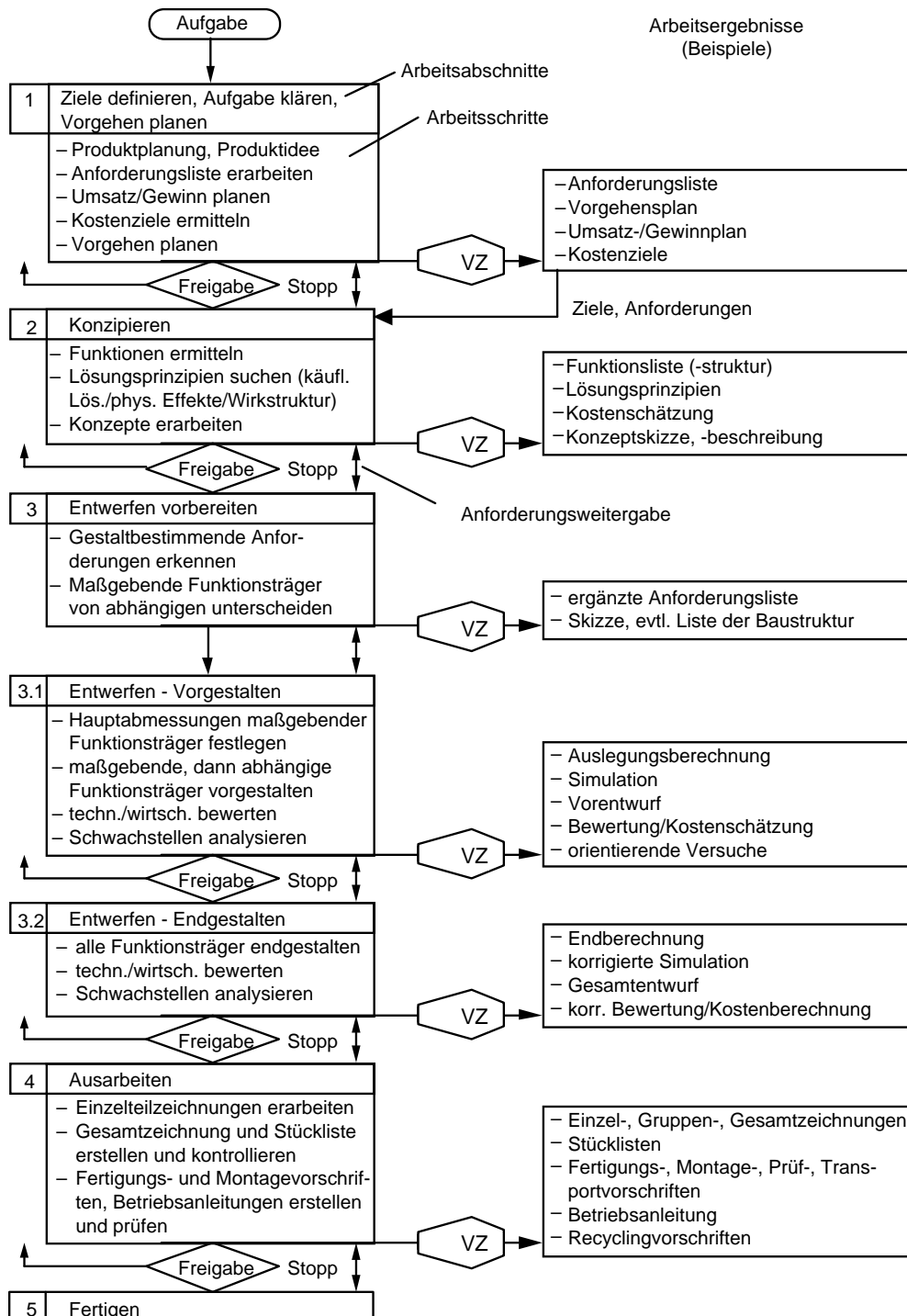


**Bild 5b:      Drei-Ebenen-Modell für methodisches Vorgehen**  
 (nach Giapoulis)  
 (Bild 6.2-4 im Buch)

Das strategische Vorgehen oben entspricht z.B. dem Vorgehensplan, das operative Vorgehen in der Mitte dem konkreten Tun. In der Ergebnisebene unten zeigen sich Analyse-Ergebnisse z.B. aus Berechnungen, Versuchen, die bestimmend werden können für die Ebenen darüber.



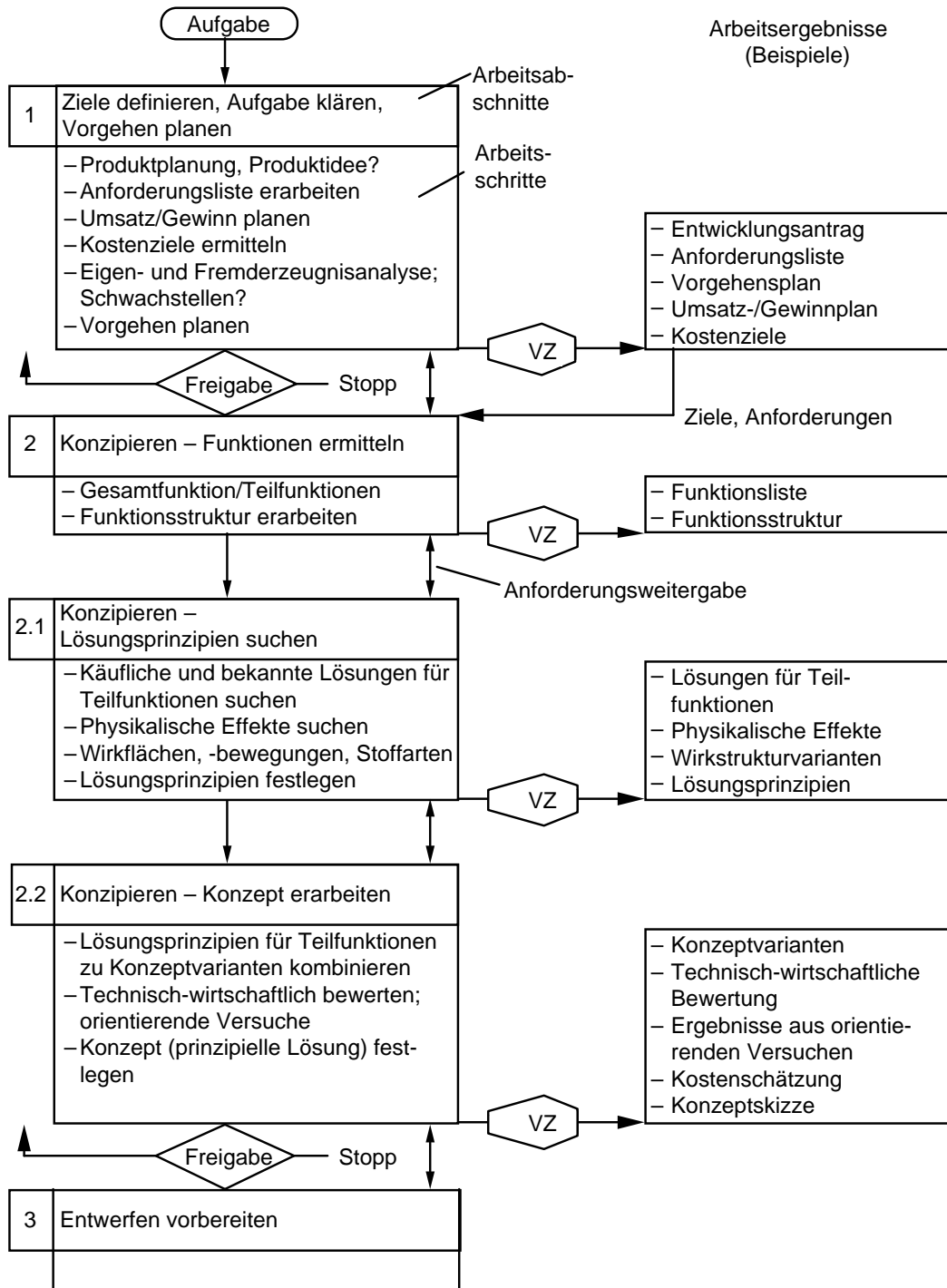
**BILD 6:** Vorgehensplan für Neukonstruktion (VZ = Vorgehenszyklus; Bild 6.5-1 im Buch)



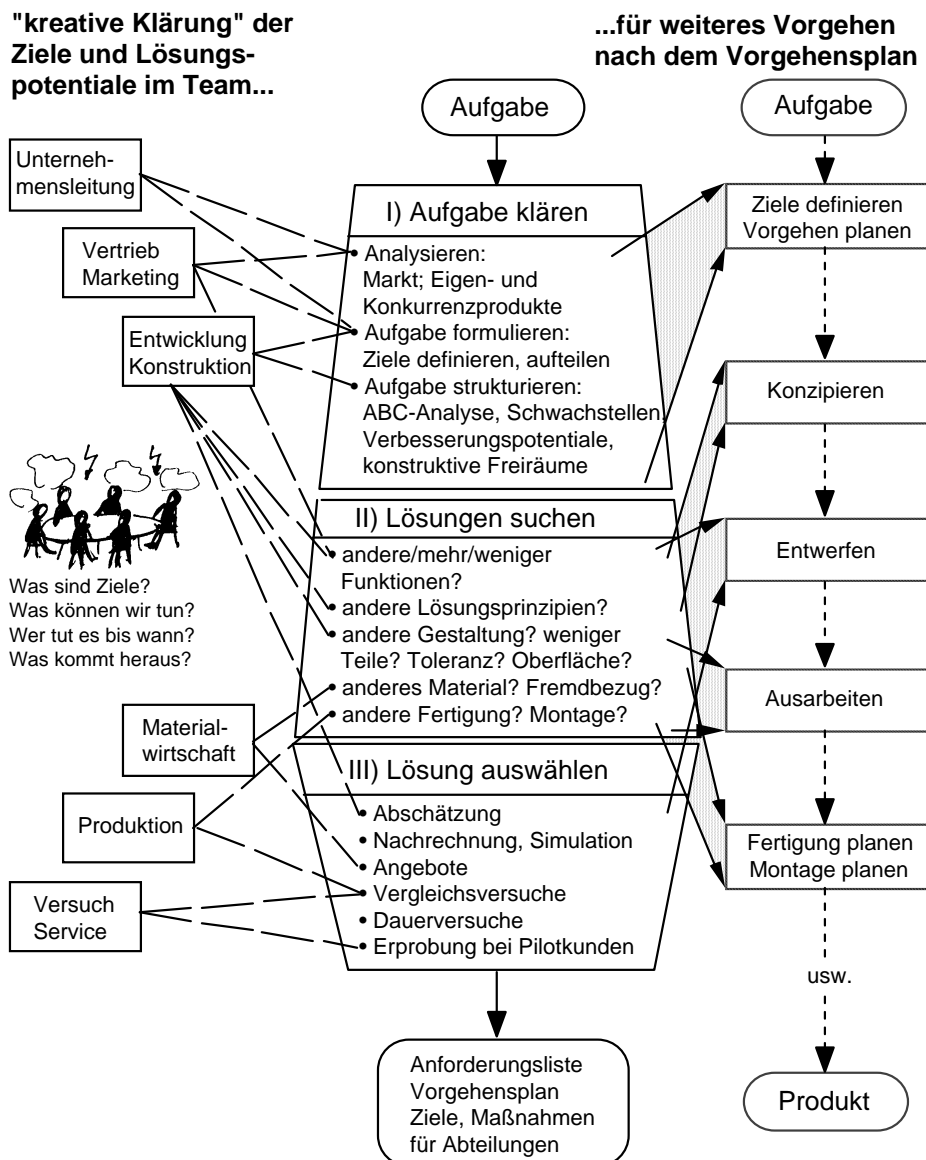
**BILD 6** ist prinzipiell auch für die **Anpassungskonstruktion** einsetzbar, es wird nur der Arbeitsabschnitt 2 „Konzipieren“ übersprungen, da ja dann das Konzept bereits vorliegt. Entsprechend entfallen bei der **Variantenkonstruktion** die Arbeitsabschnitte 2, 3 und

3.1, da ja das Konzept und der Vorgänger-Entwurf schon vorhanden ist. Die gestaltbestimmenden Anforderungen werden im reduzierten Arbeitsabschnitt 1 geklärt.

**BILD 7: Vorgehensplan für Konzipieren (weiter detailliert nach BILD 6)**  
 (im Buch ist dies Bild 6.5-3)



## BILD 8: Vorgehen bei „kreativer Klärung“ im interdisziplinären Team (im Buch Bild 7.3-10)



Bei der „kreativen Klärung“ werden für größere, komplexe Projekte im interdisziplinären Team die Ziele und Lösungspotentiale für die spätere detaillierte Bearbeitung (rechts in BILD 8) vorab geklärt.

- Welche **Anforderungen** bestehen? Wie wichtig sind sie?
- Welche konstruktiven, fertigungs- und vertriebsmäßigen **Freiräume** bestehen? Was ändern, was beibehalten?
- Wo sind im Hinblick auf erkannte **Schwachstellen** aussichtsreiche **Lösungspotentiale**?
- Wie kann man **quantifizieren, analysieren, erproben**?
- Wer tut was bis wann mit wem?

## Checkliste A5 Sachgebundene Methoden

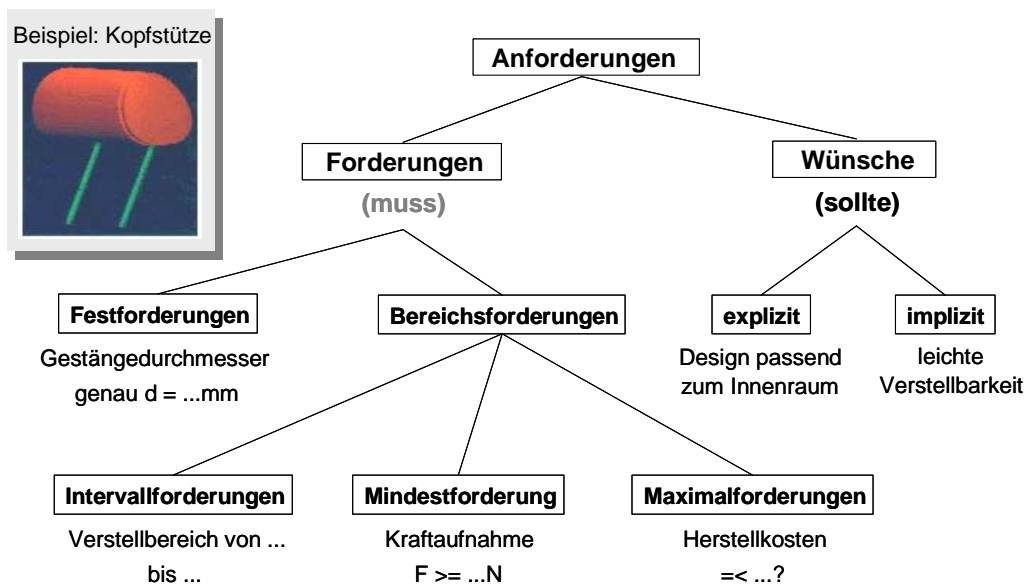
### Kapitel 2 bis 2.2

## 2 Sachgebundene Methoden in Entwicklung und Konstruktion allgemein (geordnet nach den Abschnitten des Vorgehenszyklus, hier BILD 3)

### 2.1 Aufgabe klären

#### 2.1.1 Anforderungsliste erstellen

**BILD 9:** Gliederung der Anforderungen (im Buch Bild 7.3-3)



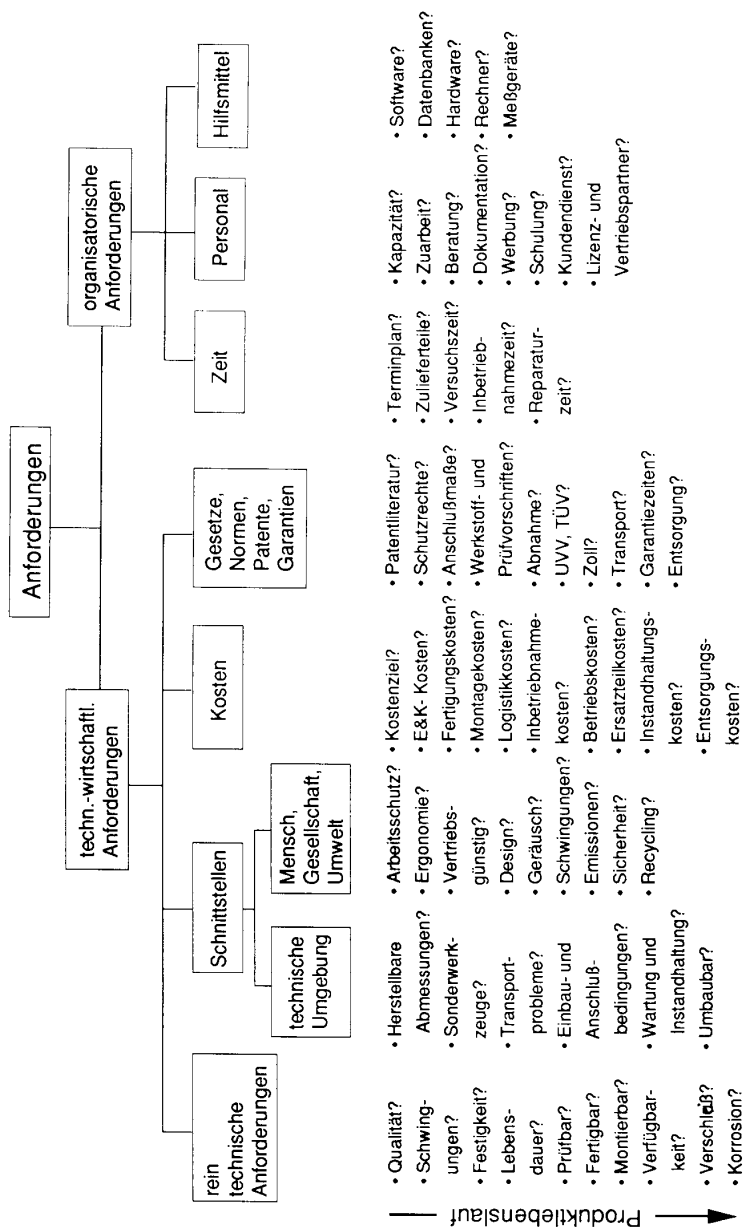


**BILD 10: Beispiel einer Anforderungsliste (im Buch Bild 5.1-8)**

| lfd. Nr. | Anforderung                      | Zahlenwert mit Toleranz | Forderung Wunsch | Name | Datum  |         |
|----------|----------------------------------|-------------------------|------------------|------|--------|---------|
| 1        | Gleichförmige Momentübertragung  | -                       | -                | F    | Maier  | 12.4.02 |
| 2        | übertragbares Moment             | $M_{max}$               | 200 Nm           | F    |        |         |
| 3        | übertragbare Drehzahl            | $n_{max}$               | 5000/min         | F    |        |         |
| 4        | übertragbarer radialer Versatz   | $V_{max}$               | 9 mm             | F    |        |         |
| 5        | Durchmesser An-/Abtriebswelle    | $D_A$                   | 34-0,1mm         | F    |        |         |
| 6        | Länge An-/Abtriebswelle          | $L_A$                   | 70 mm            | F    |        |         |
| 7        | Durchmesser Gelenk               | $D_G$                   | 150 mm           | F    |        |         |
| 8        | Rückstellkräfte möglichst gering | -                       | -                | W    |        |         |
| 9        | Lebensdauer                      | LD                      | 1000 h           | F    |        |         |
| 10       | Herstellkosten Prototyp          | HK                      | 500 Euro         | F    |        |         |
| 11       | Prototyp fertig bis              |                         | 1.9.02           | F    | Müller | 5.5.02  |

| lfd. Nr. | Änderung                | Zahlenwert mit Toleranz | Forderung Wunsch | Name | Datum  |         |
|----------|-------------------------|-------------------------|------------------|------|--------|---------|
| 10       | Herstellkosten Prototyp | HK                      | 600 Euro         | F    | Müller | 20.8.02 |

**BILD 11: Checkliste für Anforderungen, lebenslaorientiert**  
(im Buch Bild 7.3-5)



**BILD 12: Checkliste für Anforderungen, vorwiegend technische Merkmale** (im Buch Bild 7.3-6)

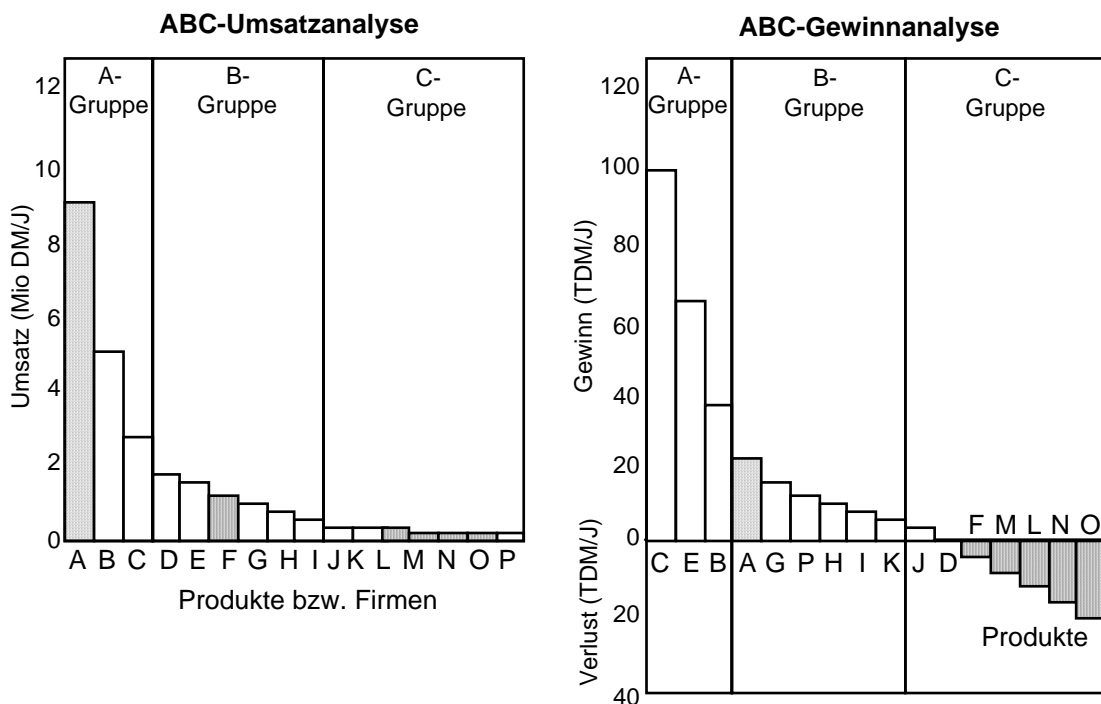
| Hauptmerkmal   | Beispiele   |
|----------------|---|
| Geometrie      | Größe, Höhe, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluß, Ausbau und Erweiterung  |
| Kinematik      | Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung  |
| Kräfte         | Kraftgröße, Kraftrichtung, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen  |
| Energie        | Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Reibung, Ventilation, Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Erwärmung, Kühlung, Anschlußenergie, Speicherung, Arbeitsaufnahme, Energieumformung              |
| Stoff          | Physikalische, chemische, biologische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsprodukts, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetze u. ä.), Materialfluß und Materialtransport, Logistik |
| Signal         | Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform  |
| Sicherheit     | Unmittelbare Sicherheitstechnik, Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit  |
| Ergonomie      | Mensch-Maschine-Beziehung: Bedienung, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Formgestaltung   |
| Fertigung      | Einschränkung durch Produktionsstätte, größte herstellbare Abmessungen, bevorzugtes Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, mögl. Qualität und Toleranzen  |
| Kontrolle      | Meß- und Prüfmöglichkeit, besondere Vorschriften (TÜV, ASME, DIN, ISO, AD- Merkblätter)   |
| Montage        | Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung  |
| Transport      | Begrenzung durch Hebezeuge, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart und -bedingungen   |
| Gebrauch       | Geräuscharmheit, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen)  |
| Instandhaltung | Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung  |
| Recycling      | Wiederverwendung, Wiederverwertung, Endlagerung, Beseitigung  |
| Kosten         | Zul. Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition und Amortisation, Betriebskosten   |
| Termin         | Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit   |

**Fragen zur Aufgabenklärung:**

- Was war der eigentliche **Anlass** für die Aufgabe? Was ist das eigentliche Entwicklungsziel? Wo liegt das eigentliche **Problem**? Hauptforderung?
- **Wer** hat die Forderungen und Wünsche zum ersten Mal formuliert? Kann man rückfragen?
- **Welche Eigenschaften** muss das Produkt haben? Welche darf es nicht haben?
- Welche Wünsche und Erwartungen sind **selbstverständlich**?

- Wie sieht das **ideale Produkt** aus?
- Welche **Randbedingungen, Restriktionen** sind eventuell doch veränderlich? Wo liegen **Gestaltungsfreiheiten** und offene Wege?
- Was waren die bisherigen **Beanstandungen** und **Schwachstellen**? Welche hat die Konkurrenz? Wo ist die Konkurrenz besser?
- Können **Systemgrenzen** verschoben werden?

**BILD 13:** Beispiel für ABC-Analyse zur Unterscheidung von Wichtigem gegenüber Unwichtigem. (im Buch Bild 7.2-5)



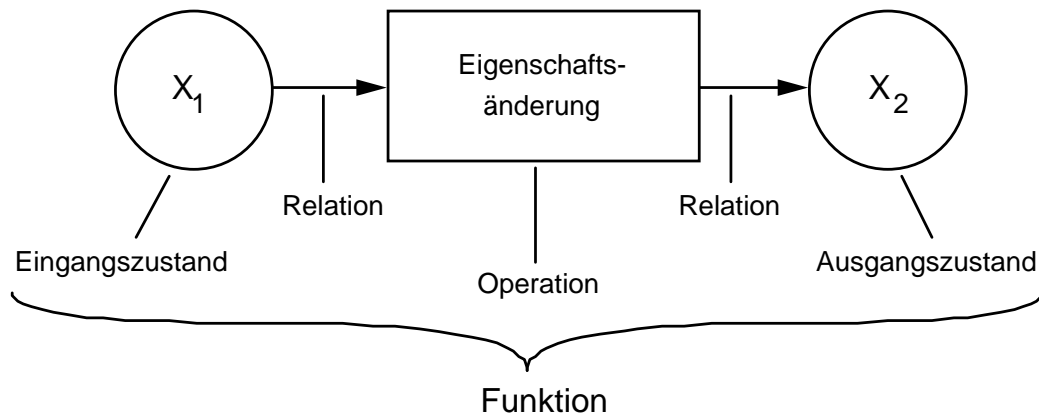
**Aussage:**

Die drei Produkte aus der A-Gruppe bringen ca. 65% des Umsatzes, obwohl sie nur ca. 20% aller Produkte ausmachen. Ebenfalls nur 3 Produkte bringen ca. 50% des Gesamtgewinns.

Aber: Produkt A macht viel Umsatz, jedoch wenig Gewinn.

## 2.1.2 Nach Funktionen strukturieren

**BILD 14: Elemente einer Funktion** (im Buch Bild A1-1)



**BILD 15: Elementare und technische Operationen** (im Buch Bild A1-16)

| elementare Operation | technische Operation   |
|----------------------|--|
| <p>leiten</p>        | <p>leiten, zu- und abführen, tragen, transportieren, lagern (im Sinne von „Kraftleiten“, z. B. Wälzlager, Auflager), übertragen, dichten, schalten, isolieren, unterbrechen...</p> |
| <p>ändern</p>        | <p>ändern, vergrößern, verkleinern, umlenken, übersetzen, umformen, verlängern, verdichten, zerspanen, schmelzen, verdampfen, reflektieren...</p>                                  |
| <p>wandeln</p>       | <p>umsetzen, erzeugen, absorbieren, verbrennen, zersetzen, wandeln, messen...</p>  |
| <p>vereinigen</p>    | <p>vereinigen, verzweigen, überlagern, summieren, aufteilen, zusammenführen, verbinden, montieren, entmischen, vermischen, trennen...</p>  |
| <p>speichern</p>     | <p>speichern, dämpfen, glätten, lagern (im Sinne von „Stofflagern“), aufstauen, sammeln...</p>   |

**Technische Operationen** sind in der Praxis gängige Begriffe, die den fünf elementaren Operationen zugeordnet werden können. Diese können auch als **gesperrte Operationen** definiert werden, wie nachfolgend erläutert (Symbol: Querstrich durch die Symbole für elementare Operationen nach BILD 15).

## Definition der elementaren Operationen:

**Leiten:** Die mit „Leiten“ verbundene Zustandsänderung ist eine **Ortsänderung** des Umsatzproduktes mit sonst gleich bleibenden Eigenschaften. „**Gesperrtes Leiten**“ hat zum Ziel, die Ortsveränderung zu unterbinden. „Leiten“ kann als Sonderfall von „Ändern“ verstanden werden.


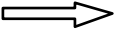
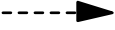
**Ändern:** Die mit „Ändern“ verbundene Zustandsänderung ist eine **„quantitative Änderung von Eigenschaften“** des Umsatzproduktes, „**gesperrtes Ändern**“ verhindert dies.

**Wandeln:** Die mit „Wandeln“ verbundene Zustandsänderung ist eine **„qualitative Änderung von Eigenschaften“** des Umsatzproduktes. Beim Energieumsatz (Umsatzprodukt ist Energie) hat dies oft den Übergang auf einen anderen Energiebereich zur Folge, beim Stoffumsatz eine chemische Reaktion, beim Signalumsatz je nach Charakter des Signals (Energie oder Stoff) gilt dies sinngemäß. „**Gesperrtes Wandeln**“ verhindert die qualitative Änderung der Eigenschaften.

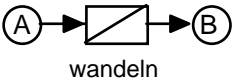
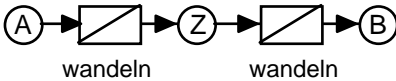
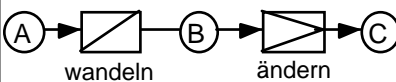
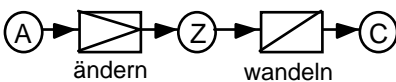
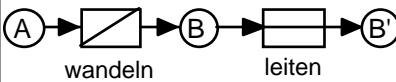
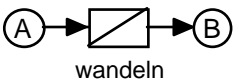

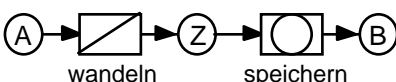
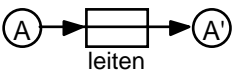
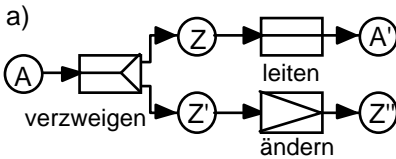
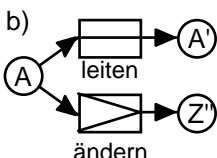
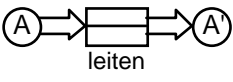
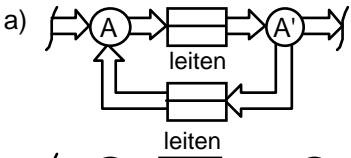
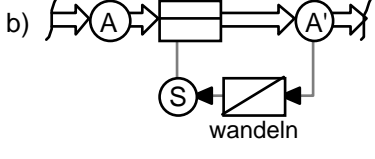
**Vereinigen:** Die mit „Vereinigen“ verbundene Zustandsänderung verknüpft mindestens drei Zustände derart, dass zwei Umsatzprodukte derselben Umsatzart zu einem vereinigt werden. Umgekehrt kann auch ein Umsatzprodukt in zwei Teile aufgespaltet (verzweigt) werden. „**Gesperrtes Vereinigen**“ verhindert diese Zustandsänderung. Mit einem gesperrten Vereinigen ließe sich z. B. eine nicht gewollte, durch das technische System zu verhindernde, chemische Reaktion darstellen.

**Speichern:** Die mit „Speichern“ verbundene Zustandsänderung ist eine **Änderung der „Flussmenge“** des Umsatzproduktes, die im Grenzfall am Ausgang Null werden kann, und ein Zurückhalten der Differenzmenge. „**Gesperrtes Speichern**“ verhindert ungewolltes Speichern. Die Operation „Speichern“ drückt damit den Vorgang des gespeichert Haltens und nicht etwa das Ein- oder Ausspeichern aus!

### BILD 16: Umsatzarten (im Buch Bild A1-8)

|                             |   |               |
|-----------------------------|---|---------------|
| dicker durchgezogener Pfeil |  | Energieumsatz |
| durchgezogener Doppelpfeil  |  | Stoffumsatz   |
| dünner unterbrochener Pfeil |  | Signalumsatz  |

**BILD 17: Variationsmerkmale für Funktionsstrukturen** (im Buch Bild A1-17)

| Variationsmerkmal   | Ausgangsvariante  | neue Variante   |
|---|---|---|
| Reihenschaltung gleicher Funktionen   |    |   |
| Vertauschen von Funktionen (Reihenfolge)  |    |   |
| Weglassen von Funktionen  |    |    |
| Hinzufügen neuer Funktionen   |    |   |
| Parallelschaltung<br>a) Operations-<br>-verzweigung<br>-vereinigung<br>b) Zustands-<br>- verzweigung<br>- vereinigung |   | <p>a) </p> <p>b) </p>  |
| Kreisschaltung<br>a) Kreisschaltung<br>des Flusses<br>b) Regelung   |  | <p>a) </p> <p>b) </p> |

## 2.2 Lösungen suchen

### 2.2.1 Übersicht über Methoden der Lösungssuche

Es wurden keine Einträge für das Inhaltsverzeichnis gefunden.

### 2.2.2 Katalog physikalischer Effekte

Der folgende Katalog physikalischer Effekte dient der Lösungsfindung für physikalisch formulierte Funktionen.

Die für den Maschinenbau wichtigen mechanischen Effekte werden weitgehend abgedeckt, optische, thermische und akustische Effekte sind nur ansatzweise enthalten.

Der Katalog ist nach **Ein- und Ausgangsgrößen** der Effekte geordnet. Zum leichteren Auffinden des gesuchten Effektes ist dieser mit einer **Ordnungsnummer** versehen. Der Zusammenhang von physikalischen Größen und Ordnungsnummern ist auf der nachfolgenden Ordnungsmatrix hergestellt und anschließend mit einem Beispiel veranschaulicht:

**Ordnungsmatrix:**

| Eingang        | F  | p <sub>i</sub> | s | v | a | M | L | φ | ω | ∂X | f  | p <sub>d</sub> | V  | m  | I  | U  | E  | H  | T  | Q  |
|----------------|----|----------------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ausgang        | 1  | 2              | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12             | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| F              | 1  | •              | • | • | • | • |   | • | • |    |    | •              | •  | •  | •  | •  | •  | •  | •  |    |
| p <sub>i</sub> | 2  | •              |   | • |   |   |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| s              | 3  | •              |   | • | • | • |   |   |   |    | •  | •              |    |    | •  |    |    |    | •  |    |
| v              | 4  | •              | • | • | • |   |   |   | • |    |    | •              |    |    |    | •  |    |    |    |    |
| a              | 5  | •              |   |   | • |   |   |   | • |    |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M              | 6  | •              |   |   |   |   | • | • | • | •  |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| L              | 7  |                |   |   |   |   |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| φ              | 8  |                |   |   |   | • |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ω              | 9  |                | • |   |   | • | • |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ∂X             | 10 |                |   |   |   | • |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| f              | 11 | •              |   | • | • |   |   |   |   |    |    |                |    |    | •  |    |    |    | •  |    |
| p <sub>d</sub> | 12 | •              |   | • | • |   |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    | •  |    |
| V              | 13 |                |   |   |   |   |   |   |   |    |    | •              |    |    |    |    |    |    |    |    |
| m              | 14 |                |   |   |   |   |   |   |   |    |    |                | •  |    |    |    |    |    |    |    |
| I              | 15 |                |   | • |   |   |   |   |   |    |    |                |    |    | •  | •  |    |    |    |    |
| U              | 16 | •              |   | • | • |   |   |   | • |    | •  | •              |    |    | •  | •  |    |    | •  |    |
| E              | 17 |                |   |   |   |   |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    |    |    |
| H              | 18 |                |   |   |   |   |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    | •  |    |
| T              | 19 |                |   |   |   |   |   |   |   |    |    |                |    |    |    |    |    |    | •  |    |
| Q              | 20 | •              |   | • |   |   |   |   |   |    |    | •              |    |    | •  |    |    |    | •  | •  |

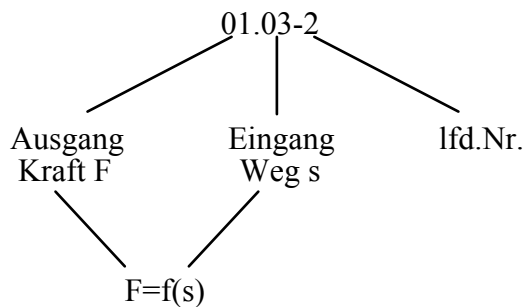
3375

#### Tabelle wiederkehrender Größen

|   | Größe                 | Einheit          |                | Größe                   | Einheit |
|---|-----------------------|------------------|----------------|-------------------------|---------|
| A | Fläche                | m <sup>2</sup>   | p <sub>i</sub> | Impuls                  | Ns      |
| a | Beschleunigung        | m/s <sup>2</sup> | Q              | Wärmemenge              | J       |
| B | magnetische Induktion | T                | Q              | Ladung                  | C       |
| C | Kapazität             | F                | R              | elektrischer Widerstand | Ω       |
| c | Federkonstante        | N/m              | r              | Länge (Radius)          | m       |
| D | Richtgröße            | N/m              | S              | Entropie                | kcal/K  |



|       |                        |                  |                |                          |                   |
|-------|------------------------|------------------|----------------|--------------------------|-------------------|
| E     | Energie                | Nm               | s              | Länge                    | m                 |
| E     | Elastizitätsmodul      | N/m <sup>2</sup> | T              | Temperatur               | K                 |
| E     | elektrische Feldstärke | V/m              | t              | Zeit                     | s                 |
| F     | Kraft                  | N                | U              | Spannung                 | V                 |
| f     | Frequenz               | 1/s              | V              | Volumen                  | m <sup>3</sup>    |
| G     | Schubmodul             | N/m <sup>2</sup> | v              | Geschwindigkeit          | m/s               |
| g     | Fallbeschleunigung     | m/s <sup>2</sup> | W              | Arbeit                   | J                 |
| H     | magnetische Feldstärke | A/m              | x              | Länge                    | m                 |
| h     | Länge                  | m                | $\epsilon_0$   | Dielektrizitätskonstante | F/m               |
| I     | Stromstärke            | A                | $\epsilon_r$   | Dielektrizitätszahl      | 1                 |
| J     | Massenträgheitsmoment  | kgm <sup>2</sup> | $\eta$         | dynamische Viskosität    | Ns/m <sup>2</sup> |
| L     | Induktivität           | H                | $\mu_0$        | Permeabilitätskonstante  | H/m               |
| L     | Drehimpuls             | Nms              | $\mu_r$        | Permeabilitätszahl       | 1                 |
| l     | Länge                  | m                | $\rho$         | Dichte                   | kg/m <sup>3</sup> |
| M     | Moment                 | Nm               | $\Phi$         | magnetischer Fluss       | Wb                |
| m     | Masse                  | kg               | $\varphi$      | Winkel                   | rad               |
| P     | Leistung               | W                | $\omega$       | Winkelgeschwindigkeit    | 1/s               |
| $p_d$ | Druck                  | N/m <sup>2</sup> | $\dot{\omega}$ | Winkelbeschleunigung     | 1/s <sup>2</sup>  |

**Beispiel:** Effekt-Nummer

Die Markierungen in der Matrix geben die im Katalog aufgeführten physikalischen Abhängigkeiten an.

Zusätzliche Lösungen ergeben sich durch Effektketten.

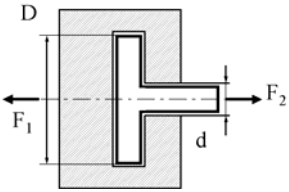
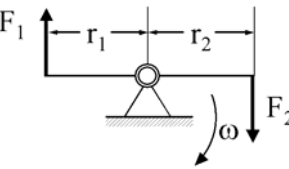
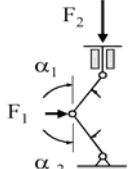
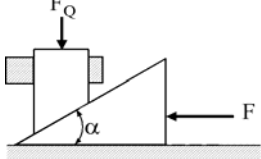
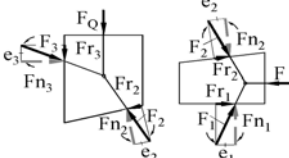
**Beispiel:**

gesuchte Abhängigkeit:  $F = f(L)$  01.07 Erzeugung einer Kraft aus einem Drall

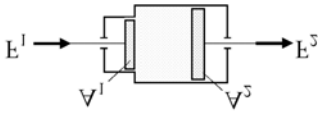

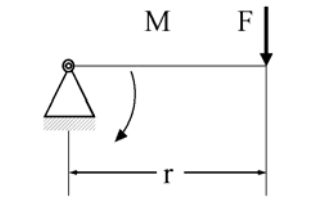
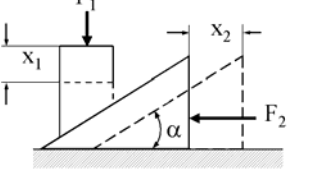
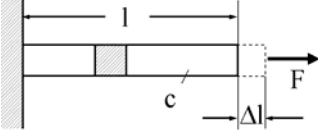
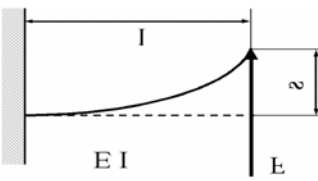
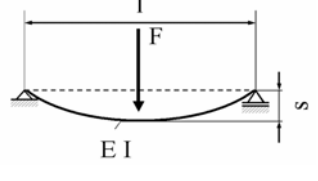
Effektkette: (1)  $M = f(L)$  06.07 Erzeugung eines Momentes aus einem Drall

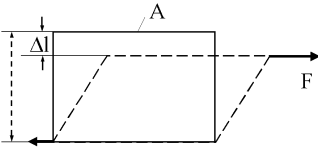
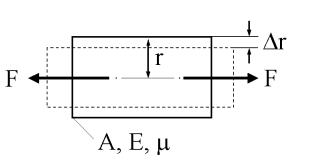
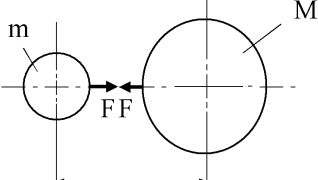
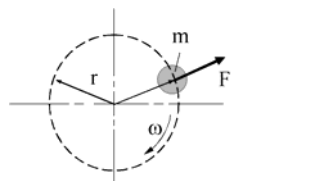
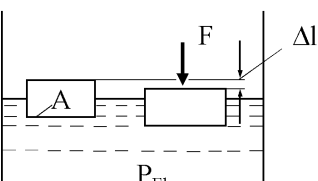
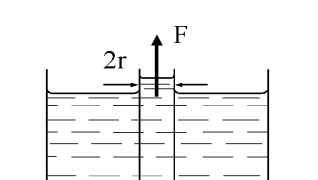
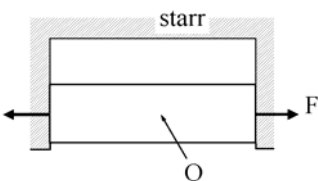
(2)  $F = f(M)$  01.06 Erzeugung einer Kraft aus einem Moment

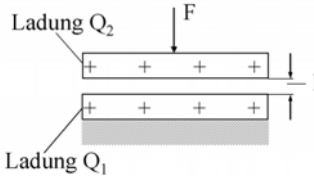
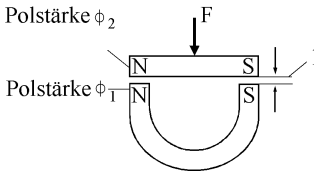
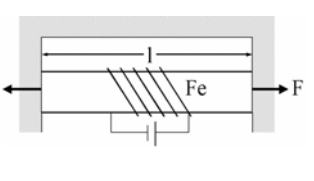
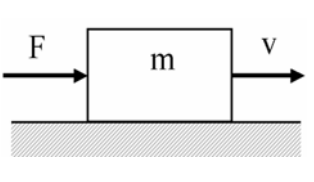
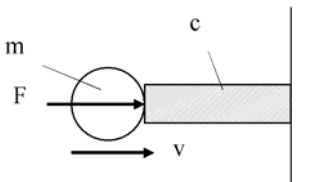
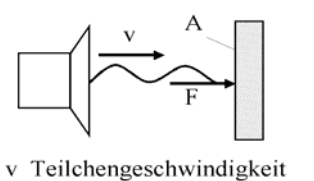
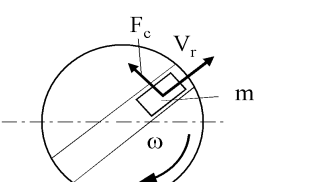
Der Katalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit.

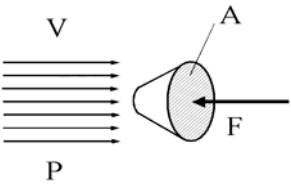
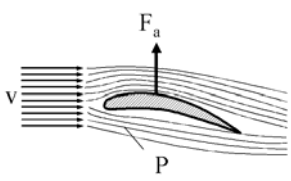
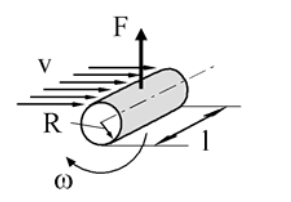
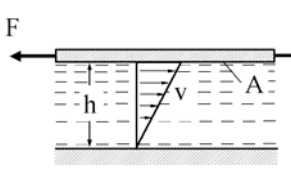
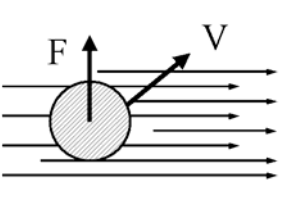
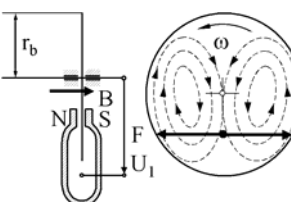
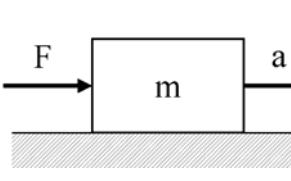
|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| <p>Kohäsion<br/>fester Körper</p> $F_1 = f(F_2)$ <p>01.01-1</p> |    | $F_1 = F_2$ <p>für <math>D &gt; d</math></p>  | <p>Formschluss</p>  |
| <p>Hebel</p> $F_1 = f(F_2)$ <p>01.01-2</p>                      |   | $F_2 = \frac{r_1}{r_2} F_1$   | <p>Kraftübersetzung,<br/>Zahnrad,<br/>Hebelgetriebe</p> <p>[16]</p> |
| <p>Kniehebel</p> $F_1 = f(F_2)$ <p>01.01-3</p>                  |  | $F_2 = \frac{F_1}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$   | <p>Backenbrecher</p> <p>[15]</p>                                    |
| <p>Keil ohne<br/>Reibung</p> $F_1 = f(F_2)$ <p>01.01-4</p>      |  | $F = \tan \alpha F_Q$   | <p>Bewegungs-<br/>schraube</p> <p>[2]</p>                           |
| <p>Keil mit<br/>Reibung</p> $F_1 = f(F_2)$ <p>01.01-5</p>       |  | $F = \frac{\tan(\alpha \pm \rho_2) \pm \tan \rho_1}{1 \mp \tan(\alpha \pm \rho_2) \tan \rho_3} F_Q$ <p>für Heben und Senken</p> | <p>Schraubenverbin-<br/>dung</p> <p>[2]</p>                         |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)                         |                |  |  |
|---|----------------|--|--|
| Name Nummer   | Prinzipiskizze | Gleichung  | Anwendung Literatur                                |
| Seileck<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-6                    |                | $F_3 = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta$   | Seilstatik<br>[15]                                 |
| Flaschenzug<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-7                |                | $F = \frac{1}{n} F_Q$<br>$F_2 = F_1 + F_0$<br>$n$ Anzahl der Rollen  | Hebezeug<br>[2]                                    |
| Coulombsche Reibung<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-8        |                | $F = \mu F_n$<br>$\mu$ Reibwert  | Bremse,<br>Reibschluss<br>[16]                     |
| Rollende Reibung<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-9           |                | $F_W = \mu_r F_Q$<br>$\mu_r = \tan \alpha = \frac{f}{r}$ (Reibwert)  | Rollwiderstand<br>[2]                              |
| Umschlin-<br>gungsreibung<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-10 |                | $F_{s2} = e^{\mu \alpha} F_{s1}$<br>$F_R = (e^{\mu \alpha} - 1) F_{s1}$<br>$F_R$ Reibkraft<br>$\mu$ Reibwert | Ankerspill,<br>Schiffspoller,<br>Bandbremse<br>[2] |
| Adhäsion<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-11                  |                | $F_1 = F_2 < \tau_{zul} \cdot A$   | Kleben,<br>Löten<br>(Stoffschluss)                 |
| Stoß<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-12                      |                | $F_2 = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} F_1$<br>für $F_1, F_2 = \text{konst.}$                                  | Hammer<br>[16]                                     |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)                  |   |   |                                 |
|--|---|---|---------------------------------|
| Name Nummer                                      | Prinzipskizze   | Gleichung   | Anwendung Literatur             |
| Druckfortpflanzung<br>$F_1 = f(F_2)$<br>01.01-13 |    | $F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$                           | Hydraulik,<br>Pneumatik<br>[16] |
| Trägheit<br>$F = f(p_i)$<br>01.02-1              |    | $F = \frac{d}{dt} p_i$                                | Raketenantrieb<br>[1]           |
| Hebel<br>$F = f(s)$<br>01.03-1                   |   | $F = M \frac{1}{r}$                                   | [18]                            |
| Keil<br>$F = f(s)$<br>01.03-2                    |  | $F_2 = F_1 \frac{x_1}{x_2}$                           | Wegübersetzung,<br>Gewinde      |
| Dehnung<br>$F = f(s)$<br>01.03-3                 |  | $F = c \cdot \Delta l$<br>$F = EA \frac{\Delta l}{l}$ | Zugstab,<br>Federwaage<br>[2]   |
| Elastische Biegung I<br>$F = f(s)$<br>01.03-4    |  | $F = \frac{3EI}{l^3} s$                               | Waage                           |
| Elastische Biegung II<br>$F = f(s)$<br>01.03-5   |  | $F = \frac{48EI}{l^3} s$                              | Blattfeder<br>[18]              |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)                     |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Name Nummer   | Prinzipiskizze  | Gleichung   | Anwendung Literatur                          |
| Elastische Schubverformung<br>$F = f(s)$<br>01.03-6 |    | $F = GA \sqrt{\frac{2\Delta l}{l}}$   | [3]  |
| Querkontraktion<br>$F = f(s)$<br>01.03-7            |    | $F = \frac{AE}{\mu r} \Delta r$<br>$\mu$ Querkontraktionszahl                                       | Zugversuch,<br>Flaschenverschlus<br>s<br>[3] |
| Gravitation<br>$F = f(s)$<br>01.03-8                |    | $F = GmM \frac{1}{l^2}$<br>G Gravitationskonstante  | Gewichtskräfte<br>[1]                        |
| Zentrifugalkraft<br>$F = f(s)$<br>01.03-9           |  | $F = mr\omega^2$  | Zentrifuge<br>[2]                            |
| Auftrieb<br>$F = f(s)$<br>01.03-10                  |  | $F = \rho_{fl} g A \Delta l$  | Schwimmerventil<br>[6]                       |
| Kapillarwirkung<br>$F = f(s)$<br>01.03-11           |  | $F = \Sigma_0 2 \pi r$<br>$\Sigma_0$ Oberflächenspannung  | Schwamm<br>[15]                              |
| Wärmeausdehnung<br>$F = f(s)$<br>01.03-12           |  | $F = c(l_{T_1} - l_{T_0})$<br>$F = \alpha \Delta T EA$<br>$\alpha$ Wärmeausdehnungs-<br>koeffizient | Schrumpfsitz<br>[18]                         |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| Name Nummer  | Prinzipskizze  | Gleichung   | Anwendung Literatur                             |
| Elektrostat.<br>Anziehung<br>(Abstoßung)<br><br>$F = f(s)$<br><br>01.03-13 |                                 | $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{l^2}$                                    | Photokopierer<br><br><br>[6]                    |
| Magnetische<br>Anziehung<br>(Abstoßung)<br><br>$F = f(s)$<br><br>01.03-14  |                                 | $F = \frac{1}{4\pi\mu_0\mu_r} \cdot \frac{\Phi_1 \Phi_2}{l^2}$  | Magnetische<br>Federung<br><br><br>[6]          |
| Magneto-<br>striktion<br><br>$F = f(s)$<br><br>01.03-15                    |                                 | $F = c[l(B) - l(B_0)]$  | Ultraschall<br><br><br>[15]                     |
| Trägheit<br><br>$F = f(v)$<br><br>01.04-1                                  |                               | $F = \frac{d}{dt}(m\bar{v})$  | Raketenantrieb,<br>Stoßvorgänge<br><br><br>[18] |
| Elastischer<br>Stoß<br><br>$F = f(v)$<br><br>01.04-2                       |                               | $F = \sqrt{\frac{c}{m}}mv$  | Billardkugel<br><br><br>[16]                    |
| Schalldruck<br><br>$F = f(v)$<br><br>01.04-3                               | <br>v Teilchengeschwindigkeit | $F = \rho c A v$<br>v Teilchengeschwindigkeit<br>$\rho$ Dichte des Mediums<br>c Schallgeschwindigkeit | Mikrophon<br><br><br>[16]                       |
| Corioliskraft<br><br>$F = f(v)$<br><br>01.04-4                             |                               | $F = 2m\omega v_r$  | <br><br><br>[6]                                 |

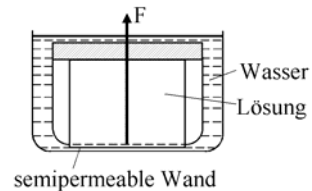
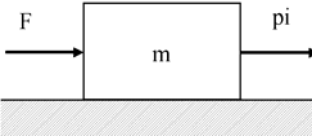
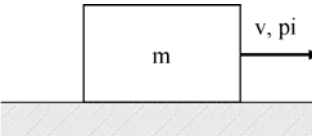
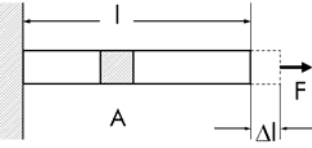
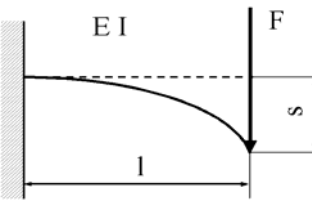
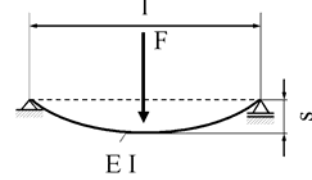
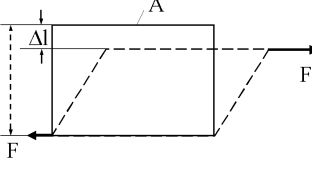
| Physikalischer Effekt (Prinzip)              |   |   |  |
|--|---|---|--|
| Name Nummer                                  | Prinzipiskizze  | Gleichung   | Anwendung Literatur  |
| Strömungswiderstand<br>$F = f(v)$<br>01.04-5 |    | $F = c_w \frac{\rho}{2} A v^2$<br>$\vec{F} \parallel \vec{v}$<br>$c_w$ Widerstandsbeiwert                 | Landeklappen, Fallschirm<br>[2]                            |
| Profilauftrieb<br>$F = f(v)$<br>01.04-6      |    | $F = c_a \frac{\rho}{2} A v^2$<br>$\vec{F}_a \perp \vec{v}$<br>$c_a$ Auftriebsbeiwert                     | Tragflügel, Kreiselerdichter<br>[2]                        |
| Magnus-Effekt<br>$F = f(v)$<br>01.04-7       |    | $F = 2 \pi R^2 \rho \omega l v$   | Schiffsantrieb<br>[6]                                      |
| Viskose Reibung<br>$F = f(v)$<br>01.04-8     |  | $F = A \eta \frac{dv}{dh}$<br>$\vec{F} \parallel \vec{v}$   | Flüssigkeitsdämpfung<br>[1]                                |
| Lorentz-Kraft<br>$F = f(v)$<br>01.04-9       |  | $F = Q B v$   | Hallsonden<br>[16]   |
| Wirbelstrom<br>$F = f(v)$<br>01.04-10        |  | $F = \kappa c B^2 v$<br>$\kappa$ elektr. Leitwert<br>$B$ magnetische Induktion<br>$c$ Anordnungskonstante | Instrumentendämpfung, Wirbelstrombremse, Tachometer<br>[6] |
| Trägheit<br>$F = f(a)$<br>01.05-1            |  | $F = m a$   |  |





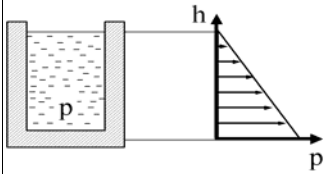
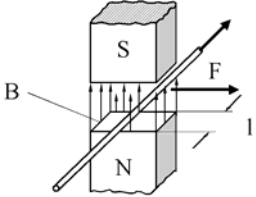
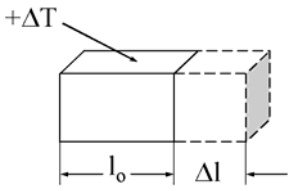
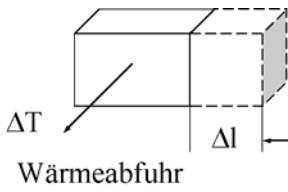
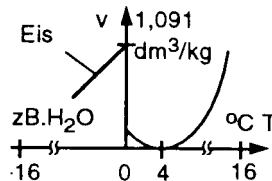
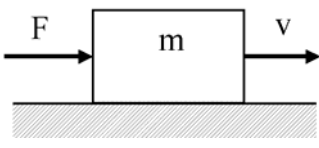
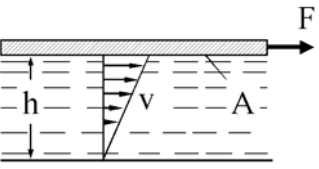
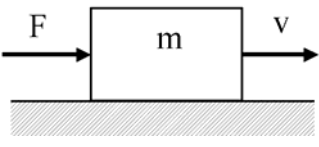
| Physikalischer Effekt (Prinzip)                |               |  |                        |
|--|---------------|--|------------------------|
| Name<br>Nummer                                 | Prinzipskizze | Gleichung  | Anwendung<br>Literatur |
| Druckkraft<br>$F = f(p_d)$<br>01.12-1          |               | $F = A p_d$  | Kolben<br>[18]         |
| Auftrieb<br>$F = f(V)$<br>01.13-1              |               | $F_A = \rho_{fl} g V$<br>$F_G = mg$                | Schiff<br>[18]         |
| Gravitation<br>$F = f(m)$<br>01.14-1           |               | $F = gm$<br>g Erdbeschleunigung                    | Waage                  |
| Gravitation<br>$F = f(m)$<br>01.14-2           |               | $F = GmM \frac{1}{l^2}$<br>G Gravitationskonstante | Mondumlauf<br>[1]      |
| Elastischer Stoß<br>$F = f(m)$<br>01.14-3      |               | $F_{\max} = \sqrt{\frac{c}{m}} mv$                 | Billardkugel<br>[16]   |
| Zentrifugal-<br>kraft<br>$F = f(m)$<br>01.14-4 |               | $F = \omega^2 r m$                                 | Zentrifuge<br>[2]      |
| Corioliskraft<br>$F = f(m)$<br>01.14-5         |               | $F_c = 2\omega v_r m$                              | [6]                    |

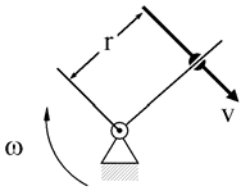
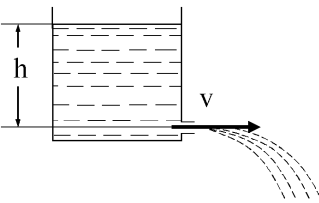
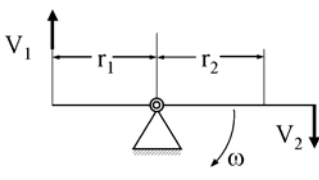
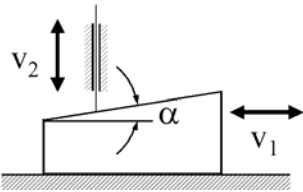
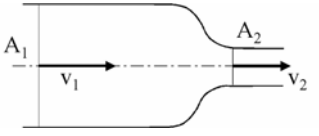
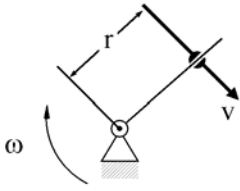
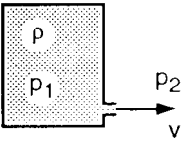
| Physikalischer Effekt (Prinzip)                             |                |  |  |
|---|----------------|--|--|
| Name Nummer   | Prinzipiskizze | Gleichung  | Anwendung Literatur  |
| Biot-Savart-Gesetz<br>$F = f(s)$<br>01.15-1                 |                | $F = B I l$  | Elektromotor, Generator, Lautsprecher<br>[2]               |
| Elektromagnetische Anziehung<br>$F = f(s)$<br>01.15-2       |                | $F = \frac{\mu_0 w^2 A}{l^2} I^2$<br>w Windungszahl                          | Elektromagnet<br>[16]                                      |
| Elektrostat. Anziehung (Abstoßung)<br>$F = f(U)$<br>01.16-1 |                | $F = \frac{1}{2} \frac{C}{l} U^2$<br>$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{l}$ | Anziehung zweier Kondensatorplatten (Kraftmessung)<br>[10] |
| Piezo-Effekt<br>$F = f(U)$<br>01.16-2                       |                | $F = \frac{c}{d} U$<br>$\frac{d}{c}$ Steilheit des Umformers                 | Piezoelektrischer Kraftgeber<br>[4]                        |
| Coulombsche Kraft<br>$F = f(E)$<br>01.17-1                  |                | $F = QE$   | [15]   |
| Magnetische Anziehung (Abstoßung)<br>$F = f(H)$<br>01.18-1  |                | $F = \frac{1}{2} \mu_0 A H^2$  |  |
| Wärme-dehnung<br>$F = f(T)$<br>01.19-1                      |                | $F = \alpha E A \Delta T$<br>$\alpha$ Wärmeausdehnungskoeffizient            | Schrumpfsitz   |

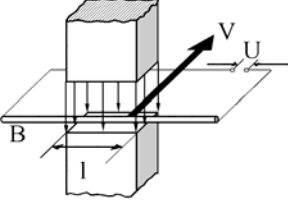
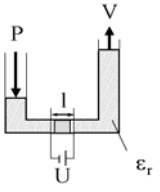
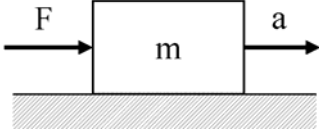
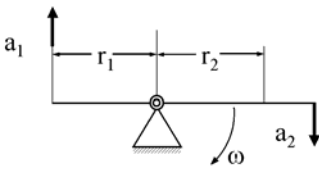
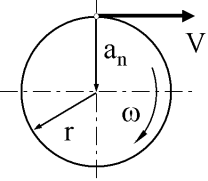
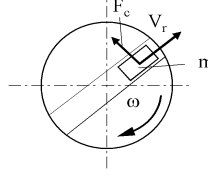
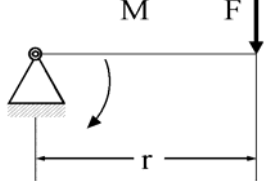
| Physikalischer Effekt (Prinzip)                                     |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Name Nummer   | Prinzipskizze   | Gleichung  | Anwendung Literatur                     |
| Osmose<br><br>$F = f(T)$<br><br>01.19-2                             |    | $F = A \frac{\nu}{V} RT$ $\nu \text{ Molzahl}$ $R \text{ molare Gaskonstante}$ | Filter<br><br><br>[15]                  |
| Trägheit<br><br>$p_i = f(F)$<br><br>02.01-1                         |    | $p_i = \int F dt$  | Stoßvorgänge<br><br><br>[18]            |
| Trägheit<br><br>$p_i = f(v)$<br><br>02.04-1                         |    | $p_i = \int m dv$  | Pumpen,<br>Stoßvorgänge<br><br><br>[18] |
| Elastische<br>Dehnung<br><br>$s = f(F)$<br><br>03.01-1              |  | $\Delta l = \frac{1}{c} F$ $\Delta l = \frac{l}{EA} F$                         | Federwaage<br><br><br>[2]               |
| Elastische<br>Biegung I<br><br>$s = f(F)$<br><br>03.01-2            |  | $s = \frac{l^3}{3EI} F$  | Waage<br><br><br>                       |
| Elastische<br>Biegung II<br><br>$s = f(F)$<br><br>03.01-3           |  | $s = \frac{l^3}{48EI} F$   |   |
| Elastische<br>Schub-<br>verformung<br><br>$s = f(F)$<br><br>03.01-4 |  | $\Delta l = \frac{l}{2} \left( \frac{F}{GA} \right)^2$                         | <br><br><br>[3]                         |





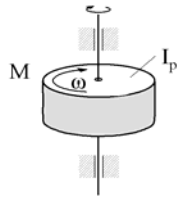
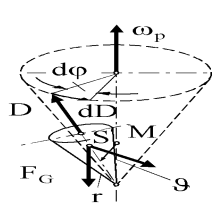
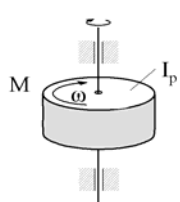
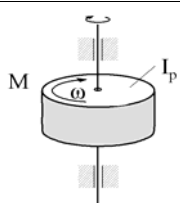
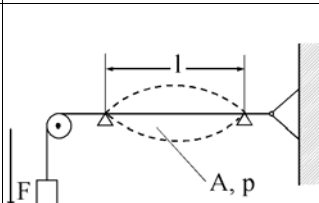
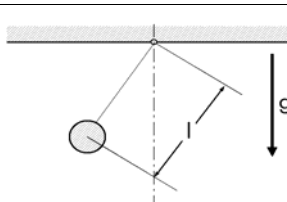
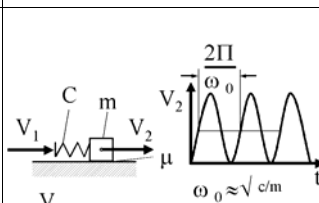
| Physikalischer Effekt (Prinzip)                  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| Name Nummer                                      | Prinzipiskizze  | Gleichung  | Anwendung Literatur                             |
| Gravitationsdruck<br>$s = f(p_d)$<br>03.12-1     |    | $h = \frac{1}{\rho g} p_d$   | Hochbehälter<br>[18]                            |
| Biot-Savart-Gesetz<br>$s = f(I)$<br>03.15-1      |    | $l = \frac{F}{BI}$   |   |
| Wärme-dehnung<br>$s = f(T)$<br>03.19-1           |    | $\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$<br>$\alpha$ Längenausdehnungs-<br>koeffizient       | Thermostat,<br>Thermometer,<br>Bimetall<br>[19] |
| Wärme-dehnungs-anomalie<br>$s = f(T)$<br>03.19-2 |  |  | Sprengen von<br>Gestein mit<br>Wasser<br>[19]   |
| Trägheit<br>$v = f(F)$<br>04.01-1                |  | $v = \frac{1}{m} \int F dt$  | Stoßvorgänge<br>[2]                             |
| Viskose<br>Reibung<br>$v = f(F)$<br>04.01-2      |  | $v = \frac{h}{\eta A} F$   | [6]   |
| Trägheit<br>$v = f(p_i)$<br>04.02-1              |  | $v = \frac{1}{m} p_i$  | Stoßvorgänge<br>[18]                            |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)            |   |                                |   |
|--|---|--------------------------------|---|
| Name Nummer                                | Prinzipskizze   | Gleichung                      | Anwendung Literatur                             |
| Hebel<br>$v = f(s)$<br>04.03-1             |    | $v = \omega r$                 |   |
| Torricelli-Gesetz<br>$v = f(s)$<br>04.03-2 |    | $v = \sqrt{2gh}$               | [1]   |
| Hebel<br>$v = f(v)$<br>04.04-1             |    | $v_2 = \frac{r_2}{r_1} v_1$    | Hebelgetriebe<br>[6]                            |
| Keil<br>$v = f(v)$<br>04.04-2              |  | $v_2 = \tan \alpha v_1$        | Kurvengetriebe,<br>Exzenter,<br>Schraube<br>[6] |
| Kontingleichung<br>$v = f(v)$<br>04.04-3   |  | $v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$    | Hydraulik,<br>Pneumatik,<br>Düsen<br>[6]        |
| Hebel<br>$v = f(\omega)$<br>04.09-1        |  | $v = \omega r$                 |   |
| Bernoulli-Gesetz<br>$v = f(p)$<br>04.12-1  |  | $v = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho}$ | Düse,<br>Turbinenrad<br>[7]                     |

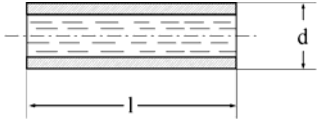
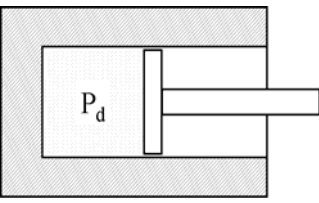
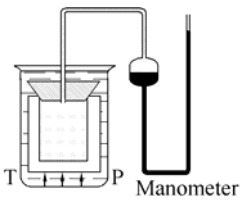
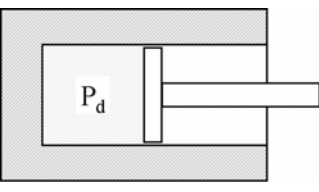
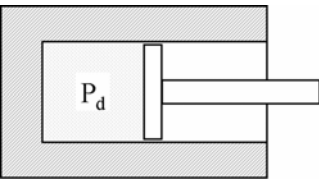
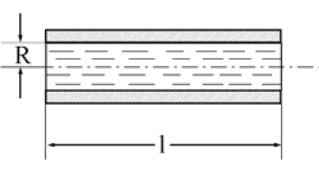
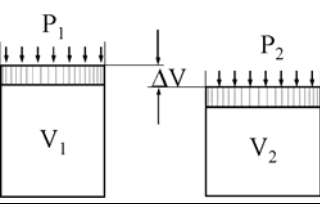
| Physikalischer Effekt (Prinzip)                       |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Name Nummer   | Prinzipiskizze  | Gleichung  | Anwendung Literatur   |
| Induktion<br>$v = f(U)$<br>04.16-1                    |    | $v = \frac{1}{Bl} U$   | Drehzahlerhöhung eines Elektromotors durch Feldschwächung<br>[10]             |
| Elektrokinetischer Effekt<br>$v = f(U)$<br>04.16-2    |    | $v = \frac{\xi \epsilon_r \epsilon_0}{l \eta} U$<br>$\xi$ elektrokinetisches Potential | Hydroelektrische Wasserpumpe, Elektrokinetischer Geschwindigkeitsgeber<br>[6] |
| Trägheit<br>$a = f(F)$<br>05.01-1                     |    | $a = \frac{F}{m}$  |   |
| Hebel<br>$a = f(a)$<br>05.05-1                        |  | $a_2 = \frac{r_2}{r_1} a_1$  |   |
| Zentrifugalbeschleunigung<br>$a = f(a)$<br>05.09-1    |  | $a_n = r \omega^2$   | Fliehkraftregler<br>[2]   |
| Coriolisbeschleunigung<br>$a = f(\omega)r$<br>05.09-2 |  | $a_c = 2 v_r \omega$   | Föttingerkupplung<br>[2]  |
| Hebel<br>$M = f(F)$<br>06.01-1                        |  | $M = rF$   | Fahrtrieb, Drehmoment-schlüssel<br>[18]                                       |

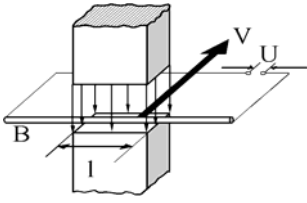
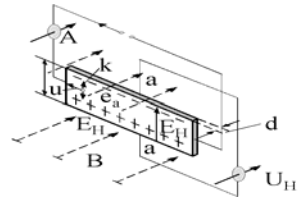
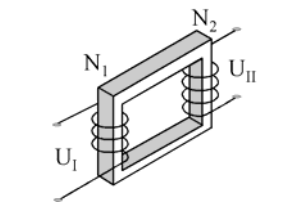
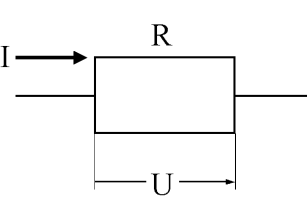
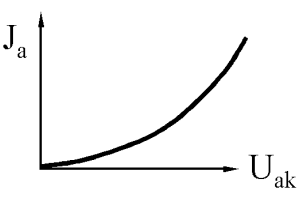
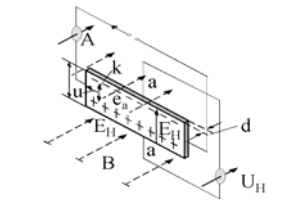




| Physikalischer Effekt (Prinzip)                 |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Name Nummer                                     | Prinzipskizze   | Gleichung  | Anwendung Literatur                               |
| Trägheit<br>$\omega = f(M)$<br>09.06-1          |    | $\omega = \frac{1}{I_p} \int M dt$   | Gyroskop  |
| Präzessionsmoment<br>$\omega = f(M)$<br>09.06-2 |    | $\omega_p = \frac{M}{I_p \omega}$<br>$\omega_p$ Winkelgeschwindigkeit der Präzession<br>$I_p$ pol. Trägheitsmoment |   |
| Trägheit<br>$\omega = f(L_i)$<br>09.07-1        |    | $\omega = \frac{L_i}{I_p}$<br>$I_p$ pol. Trägheitsmoment   | [2]   |
| Trägheit<br>$\omega = f(M)$<br>10.06-1          |  | $\omega = \frac{1}{I_p} M$<br>$I_p$ pol. Trägheitsmoment   | Schwungscheibe<br>[2]                             |
| Saite<br>$f = f(F)$<br>11.01-1                  |  | $f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{1}{A\rho} F}$  | Frequenzeinstellung bei Saiteninstrumenten<br>[1] |
| Gravitation<br>$f = f(s)$<br>11.03-1            |  | $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$  | Pendeluhr<br>[1]                                  |
| Stick-Slip-Effekt<br>$f = f(v)$<br>11.04-1      |  | $f = 1/T$<br>$\omega_0^2 = c/m$<br>$\omega_0 = 2\pi f$<br>Bed: 1. Schwingungsfähiges System<br>2. $du/dv < 0$      | Werkzeugmaschinenschlitten                        |

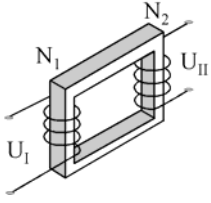
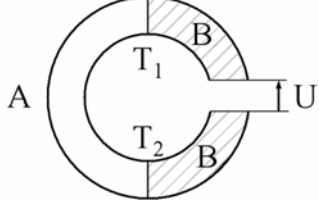
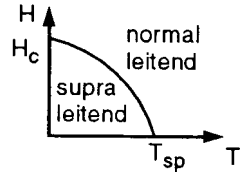
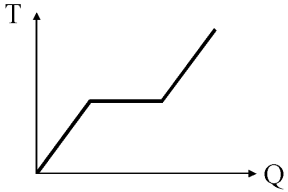
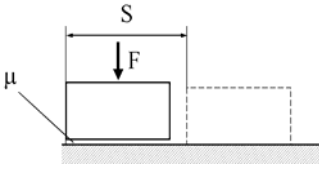
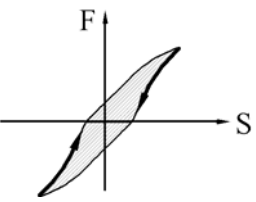
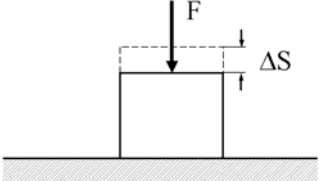
| Physikalischer Effekt (Prinzip)                       |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Name Nummer   | Prinzipskizze  | Gleichung  | Anwendung Literatur                      |
| Doppler-Effekt<br>$f = f(v)$<br>11.04-2               |  | $f_E = f_S \frac{1 + v_E/c}{1 + v_S/c}$<br>$c$ Schallgeschwindigkeit                         | Geschwindigkeitsmessung<br>[19]          |
| Eigenfrequenz<br>$f = f(m)$<br>11.14-1                |  | $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$  | Dynamische Bestimmung von Massen<br>[2]  |
| Eigenfrequenz Quarz<br>$f = f(T)$<br>11.19-1          | Die Eigenfrequenz von Schwingquarzen ändert sich bei entsprechendem Kristallschnitt stark mit der Temperatur |  | Quarz-Temperatur-Sensoren                |
| Elastische Druckverformung<br>$p_d = f(F)$<br>12.01-1 |  | $p_d = \sqrt{\frac{E^2}{r^2(1-\mu^2)^2} F}$<br>$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$ | Hertzische Pressung                      |
| Gravitationsdruck<br>$p_d = f(s)$<br>12.03-1          |  | $p_d = \rho gh$  | Hochbehälter<br>[12]                     |
| Kapillardruck<br>$p_d = f(s)$<br>12.03-2              |  | $p_d = 2 \kappa \cos \varphi \frac{1}{r}$<br>$\kappa$ Oberflächenspannung                    | Docht, Kapillare<br>[1]                  |
| Staudruck<br>$p_d = f(v)$<br>12.04-1                  |  | $p_d = \frac{\rho}{2} v^2$   | Düse, Turbinenleitrad, Wasserstrahlpumpe |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)                             |   |   |                              |
|---|---|---|------------------------------|
| Name Nummer   | Prinzipskizze   | Gleichung   | Anwendung Literatur          |
| Druckabfall in einer Rohrleitung<br>$p_d = f(v)$<br>12.04-2 |    | $p_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2$                            | [2]                          |
| Gay-Lussac<br>$p_d = f(V)$<br>12.13-1                       |    | $p_d = mRT \frac{1}{V}$   | [19]                         |
| Osmotischer Druck<br>$p_d = f(V)$<br>12.13-2                |    | $p_d = RTc$<br>$R$ allg. Gaskonstante<br>$c = \frac{n}{V}$ Naturkonstante | Manometer<br>[19]            |
| Gay-Lussac<br>$p_d = f(T)$<br>12.19-1                       |  | $p_d = \rho RT$<br>$R$ allg. Gaskonstante                                 | [2]                          |
| Gay-Lussac<br>$V = f(T)$<br>13.12-1                         |  | $V = mRT \frac{1}{p_d}$   | [19]                         |
| Hagen-Poiseuille<br>$V = f(T)$<br>13.12-2                   |  | $\dot{V} = \frac{\pi}{8\eta} \frac{tR^4}{l} \Delta p_d$                   | Laminare Rohrströmung<br>[8] |
| Kompressibilität (Boyle-Mariotte)<br>$V = f(T)$<br>13.12-3  |  | $\Delta V = \left(1 - \frac{p_{d1}}{p_{d2}}\right) V_1$                   | Pneumatische Feder<br>[1]    |

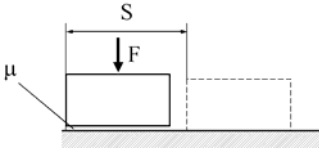
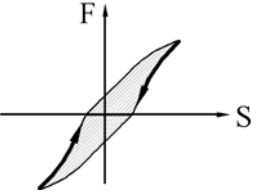
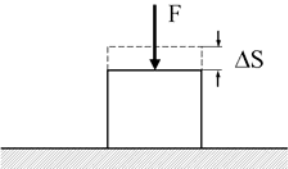
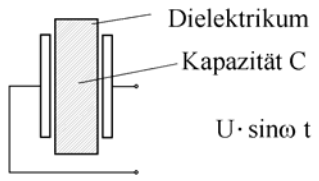
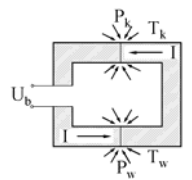
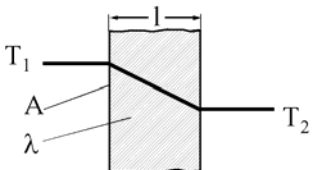
| Physikalischer Effekt (Prinzip)                       |  |   |  |
|---|--|---|--|
| Name Nummer   | Prinzipskizze  | Gleichung   | Anwendung Literatur                                    |
| Induktion<br>$I = f(s)$<br>15.03-1                    |   | $I = \frac{F l}{B l}$   | Elektromotor,<br>Lautsprecher,<br>Drehspul<br>messwerk |
| Lorentz-Kraft<br>Hall-Effekt<br>$I = f(s)$<br>15.03-2 |   | $I = \frac{U}{BR} d$<br>R Hallkonstante   | Magnetfeld-<br>messung,<br>Hallmultiplikator<br>[3]    |
| Induktion<br>$I = f(I)$<br>15.15-1                    |    | $I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$<br>N Windungszahl   | Transformator<br>[18]                                  |
| Stoßionisa-<br>tion<br>$I = f(I)$<br>15.15-2          | Tritt in einer Röhre mit geringem Gasdruck aus der Kathode ein Elektronenstrom $I_K$ aus, so vervielfacht sich dieser in Abhängigkeit des Anoden-Kathoden-Abstands | $I = e^{\alpha d} I_K$<br>$\alpha$ Ionisierungszahl<br>d Anoden - Kathoden - Abstand<br>$I_K$ Elektronenstrom | [9]  |
| Ohmsches<br>Gesetz<br>$I = f(U)$<br>15.16-1           |   | $I = \frac{1}{R} U = \frac{A}{\rho l} U$<br>A Leiterquerschnitt   | Spannungsteiler,<br>Schiebe-<br>widerstand<br>[11]     |
| Vakuum-<br>Entladung<br>$I = f(U)$<br>15.16-2         |   | $I_a = K U_{ak}^{3/2}$<br>$I_a$ Anodenstrom<br>$U_{ak}$ Spannung zwischen den Platten<br>K Konstante          | Elektronenstrahl-<br>röhre,<br>Diode<br>[10]           |
| Lorentz-Kraft<br>Hall-Effekt<br>$I = f(U)$<br>15.16-3 |   | $I = \frac{U}{BR}$<br>R Hallkonstante   | Magnetfeld-<br>messung,<br>Hallmultiplikator<br>[3]    |

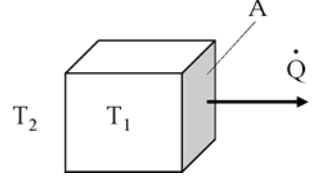
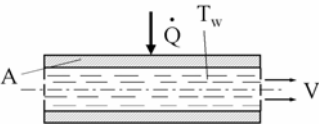
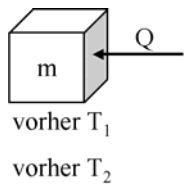


| Physikalischer Effekt (Prinzip)                    |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Name Nummer  | Prinzipskizze   | Gleichung  | Anwendung Literatur                              |
| Wirbelstrom<br>$U = f(v)$<br>16.09-1               |   | $U = kB \frac{d\omega}{dt}$<br>$k$ Anordnungs- u. Materialkonstante  | Gleichstromdynamo, Beschleunigungsmesser<br>[14] |
| Josephson-Effekt<br>$U = f(v)$<br>16.11-1          | Berühren sich 2 Supraleiter unter Mikrowellenbestrahlung, so entsteht zwischen ihnen eine Gleichspannung $U$ , die der Mikrowellenfrequenz $v$ proportional ist | $U = \frac{h}{2e} f$   | Spannungsnormale<br>[14]                         |
| Elektrokinetischer Effekt<br>$U = f(v)$<br>16.12-1 |   | $U = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \xi l}{\eta \kappa} p_d$<br>$\xi$ elektrokin. Potential<br>$\kappa$ elektrische Leitfähigkeit                                   |  |
| Ohmsches Gesetz<br>$U = f(I)$<br>16.15-1           |   | $U = RI = \frac{\rho l}{A} I$<br>$A$ Leiterquerschnitt   | Spannungsteiler, Schiebewiderstand<br>[11]       |
| Vakuumentladung<br>$U = f(I)$<br>16.15-2           |   | $U_{ak} = KI_a^{2/3}$<br>$I_a$ Anodenstrom<br>$U_{ak}$ Spannung zwischen den Platten<br>$K$ Konstante  | Elektronenstrahlröhre, Diode<br>[10]             |
| Lorentz-Kraft Hall-Effekt<br>$U = f(I)$<br>16.15-3 |   | $U = \frac{BR}{d} I$<br>$R$ Hallkonstante  | Magnetfeldmessung, Hallmultiplikator<br>[3]      |
| Halbleiter<br>$U = f(I)$<br>16.15-4                |   | $U = \frac{kT}{e} \ln \frac{I + I_{SP}}{I_{SP}}$<br>$I_{SP}$ Sperrstrom<br>$e$ elektr. Elementarladung<br>$k$ Boltzmann – Konstante<br>$T$ Temp. des Halbleiters | Diode<br>[8]                                     |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)                               |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Name Nummer   | Prinzipiskizze   | Gleichung  | Anwendung Literatur                                   |
| Induktion<br>$U = f(U)$<br>16.16-1                            |   | $U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1$<br>$N$ Windungszahl                                    | Transformator, Übertrager<br>[3]                      |
| Thermo-Effekt<br>$U = f(T)$<br>16.19-1                        |   | $U = \alpha (T_2 - T_1)$<br>$\alpha$ Seebeck - Koeffizient                         | Temperaturmessung, Thermoelement, Thermomagnet<br>[5] |
| Supraleitung<br>$H = f(T)$<br>18.19-1                         | Bei Erreichen einer kritischen magnetischen Feldstärke $H_c$ wird aus einem Supraleiter ein Normalleiter, wobei sich der el. Widerstand entsprechend erhöht. |  | [3]   |
| Änderung des Aggregatzustands<br>$T = f(Q)$<br>19.20-1        |   | $T = const.$<br>beim Phasenübergang  | Temperaturkonstanthaltung                             |
| Coulombsche Reibung<br>$Q = f(F)$<br>20.01-1                  |   | $Q = \mu F s$  | Reibschweißen<br>[2]                                  |
| Hysterese bei elastischer Verformung<br>$Q = f(F)$<br>20.01-2 |   | $Q_z = \oint F ds$<br>$Q_z$ pro Zyklus erzeugte Wärmemenge                         | Ultraschallschweißen<br>[1]                           |
| Plastische Verformung<br>$Q = f(F)$<br>20.01-3                |   | $Q = \int F ds$  | Schmieden<br>[5]                                      |



| Physikalischer Effekt (Prinzip)                               |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Name Nummer   | Prinzipiskizze  | Gleichung  | Anwendung Literatur                          |
| Coulombsche Reibung<br>$Q = f(s)$<br>20.03-1                  |    | $Q = \mu F s$  | Reibschweißen<br>[2]                         |
| Hysterese bei elastischer Verformung<br>$Q = f(s)$<br>20.03-2 |    | $Q_z = \oint F ds$<br>$Q_z$ pro Zyklus erzeugte Wärmemenge               | Ultraschallschweißen<br>[1]                  |
| Plastische Verformung<br>$Q = f(s)$<br>20.03-3                |    | $Q = \int F ds$  | Schmieden<br>[5]                             |
| Dielektrische Verlustwärme<br>$Q = f(f)$<br>20.11-1           |    | $Q = 2 \pi U^2 C f \tan \delta$<br>$\delta$ Dielektrischer Verlustwinkel | Kunststoffschweißen, Verkleben von Sperrholz |
| Wirbelstrom<br>$Q = f(f)$<br>20.11-2                          | In einem elektrisch leitfähigem ( $\kappa$ ) Körper, der sich in einem Wechselmagnetfeld ( $B \sin \omega t$ ) befindet, entsteht infolge von Wirbelströmen Wärme | $Q = const \cdot B^2 \kappa \omega^2$<br>$\omega = 2 \pi f$              | Induktionserwärmung<br>[3]                   |
| Peltier-Effekt<br>$Q = f(I)$<br>20.15-1                       |    | $Q = \pi J$<br>$\pi$ Peltierkoeffizient                                  | Kühlaggregat<br>[5]                          |
| Wärmeleitung<br>$Q = f(T)$<br>20.19-1                         |    | $Q = \frac{\lambda A}{l} (T_1 - T_2)$<br>$\lambda$ Wärmeleitfähigkeit    | Wärmetauscher, Isolation<br>[2]              |

| Physikalischer Effekt (Prinzip)                        |   |  |  |
|--|---|--|--|
| Name Nummer  | Prinzipskizze   | Gleichung  | Anwendung Literatur  |
| Wärme-<br>strahlung<br><br>$Q = f(T)$<br><br>20.19-2   |  | $\dot{Q} = c \cdot A \cdot (T_2^4 - T_1^4)$<br>c Strahlungs-<br>koeffizien-<br>t             | Heizflächen,<br>Heizstrahler,<br>Laserschweißen<br><br>[2] |
| Konvektion<br><br>$Q = f(T)$<br><br>20.19-3            |  | $\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_w - T_f)$<br>$\alpha$ Wärmeübergangs-<br>koeffizien-<br>t | Heizkörper,<br>Wärmetauscher<br><br>[2]                    |
| Wärme-<br>speicherung<br><br>$Q = f(T)$<br><br>20.19-4 |  | $Q = c \cdot m \cdot (T_2 - T_1)$<br>c spez. Wärmekapazität                                  | Kachelofen   |

### Literaturhinweise zur Vertiefung der physikalischen Grundlagen

Eine grundlegende Einführung in die Arbeiten mit physikalischen Effekten gibt.  
Rodenacker, W.: Methodisches Konstruieren. 4. Aufl. Berlin: Springer 1991.

- [1] Bergmann; Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. 1: Mechanik, Akustik, Wärme. 10. Aufl. Berlin: de Gruyter 1990.
- [2] Dubbel, H. (Begr.); Beitz, W.; Küttner, K.-H. (Hrsg.): Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau. 17. Aufl. Berlin: Springer 1990.
- [3] Gerthsen, C.: Physik. 17. Aufl. Berlin: Springer 1993.
- [4] Grave, H. F.: Elektrische Messung nichtelektrischer Größen. 2. Aufl. Frankfurt/Main: Akademische Verlagsgesellschaft 1965.
- [5] Kohlrausch, F.: Praktische Physik. Bd. 1: Mechanik, Akustik, Wärme, Optik; Bd. 2: Elektrizität, Magnetismus, Struktur der Materie. 22. Aufl. Stuttgart: Teubner 1968.
- [6] Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen des methodischen Konstruierens. 2. Aufl. Berlin: Springer 1985.
- [7] Koller, R.: Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin: Springer 1976.
- [8] Kuchling, H.: Taschenbuch der Physik. 13. Aufl. Frankfurt/Main: Harri Deutsch 1991.
- [9] Küpfmüller, K.: Einführung in die theoretische Elektrotechnik. 9. Aufl. Berlin: Springer 1968
- [10] Moeller, F.: Grundlagen der Elektronik. 17. Aufl. Stuttgart: Teubner 1986.
- [11] Siemens AG (Hrsg.): Technisches Tabellenheft. Berlin: 1977.-Firmenschrift
- [12] Orear, J.: Physik. München: Häger 1982.
- [13] Pohl, R. W.: Mechanik, Akustik und Wärmelehre. 16. Aufl. Berlin: Springer 1964.
- [14] Rohrbach, C.: Handbuch für elektrisches Messen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.
- [15] Roth, K. H.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin: Springer 1994.

| Physikalischer Effekt (Prinzip) |               |           |                        |
|---------------------------------|---------------|-----------|------------------------|
| Name<br>Nummer                  | Prinzipskizze | Gleichung | Anwendung<br>Literatur |

- [16] Roth, K. H.; Franke, H. J.; Simonek, R.: Aufbau und Verwendung von Katalogen für das methodische Konstruieren. Konstruktion 24 (1972) 11, S. 449458.
- [17] Valvo GmbH: Piezoxide Wandler. Hamburg: 1968.–Firmenschrift
- [18] Westphal, W. H.: Physik. 25/26. Aufl. Berlin: Springer 1970.
- [19] Zeller, W.; Franke, A.: Das physikalische Rüstzeug des Ingenieurs. 10. Aufl. Darmstadt: Fikentscher 1963.

Bilder des Katalogs sind z. T. Literatur aus [2], [6], [7], [15] und [16] nachempfunden.

## Checkliste A6 Sachgebundene Methoden

### Kapitel 2.2.3 bis 4

#### 2 Sachgebundene Methoden in Entwicklung und Konstruktion:

Kapitel 2.2.3 Variation der Gestalt;

Kapitel 2.3 Lösung auswählen;

Kapitel 3 Kostengünstig Konstruieren;

Kapitel 4 Checkliste: Schlussprüfung einer Konstruktion

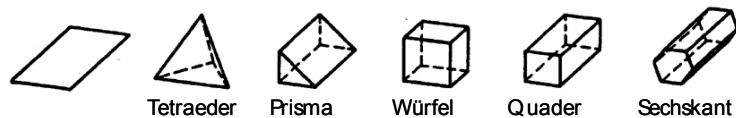
#### 2.2.3 Variation der Gestalt: Übersicht

| 2.2.3.1 Direkte Variation der Gestalt<br>(im Buch Kapitel 7.6.1)  | 2.2.3.2 Indirekte Variation der Gestalt<br>(im Buch Kapitel 7.6.2)  |
|---|---|
| <b>Variation der ...</b><br>Form (hier Bild 18)<br>Lage (hier Bild 19)<br>Zahl (hier Bild 20)<br>Größe (hier Bild 21)<br>Verbindungsart (hier Bild 22)<br>Berührgs./Kontaktart (hier Bild 23)<br>Koppelungsart (hier Bild 24 u. 25)<br>Verbindungsstruktur(hier Bild 26)<br>Reihenfolge (hier Bild 27)<br>Kompaktheit (hier Bild 28)<br>Stoffart (hier Bild 29) | <b>Variation ...</b><br>des Werkstoffes (hier Bild 30)<br>des Fertigungsverfahrens (hier Bild 31 - 34)<br>des Montageverfahrens (hier Bild 35 u. 36)<br>des Bezugssystems (hier Bild 37)<br>der Bewegungsart (hier Bild 38)<br>der zeitl. Bewegung (hier Bild 39)<br>des Getr. freiheitsgrades (hier Bild 40)<br>der Lagerstellen (hier Bild 41)<br>von elast. Gliedern (Federn) (hier Bild 42)<br>des Stat. Bestimmtheitsgrades (hier Bild 43)<br>der Schaltungsart (hier Bild 44)<br>der Getriebeart (hier Bild 45) |

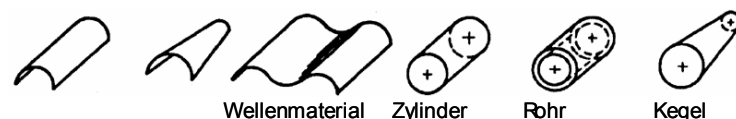
#### 2.2.3.1 Direkte Variation der Gestalt

##### BILD 18: Variation der Form (im Buch Bild 7.6-4)

###### Flächenpunkt ohne Krümmung (eben)



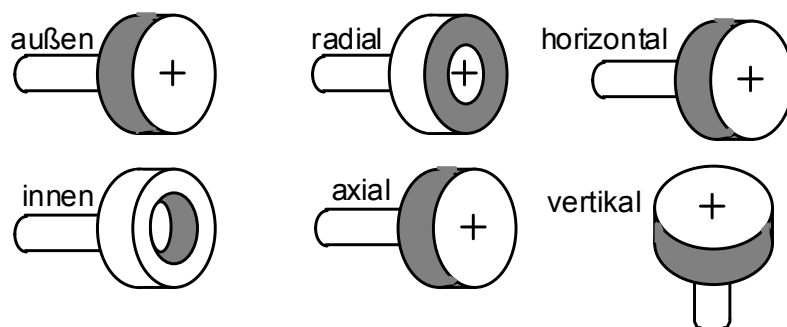
###### Flächenpunkt mit einem Krümmungsradius



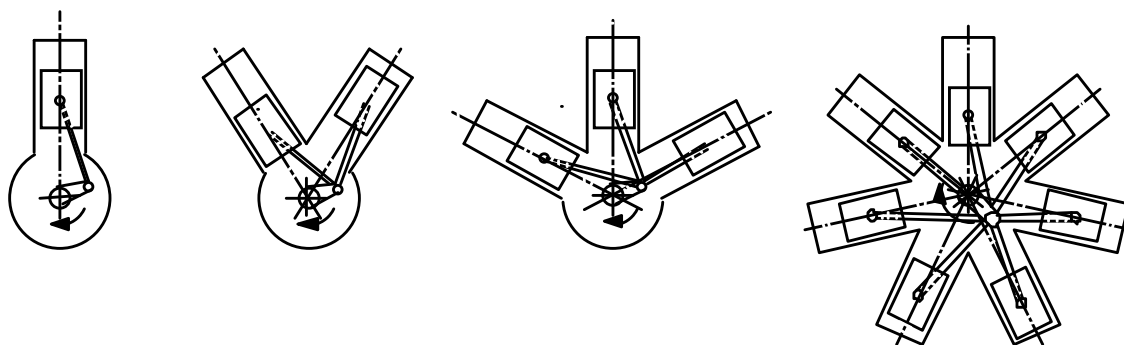
###### Flächenpunkt mit zwei Krümmungsradien



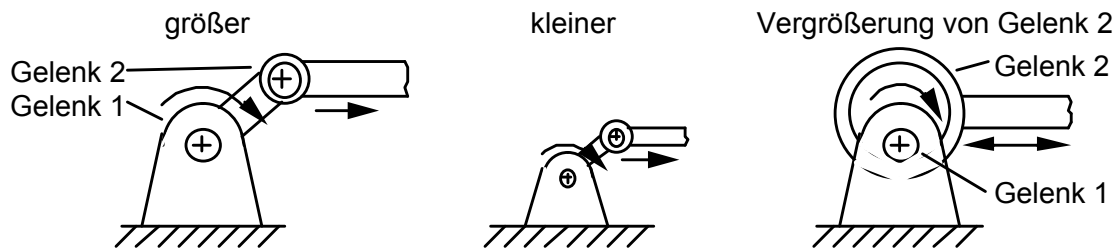
**BILD 19: Variation der Lage** (im Buch Bild 7.6-5)



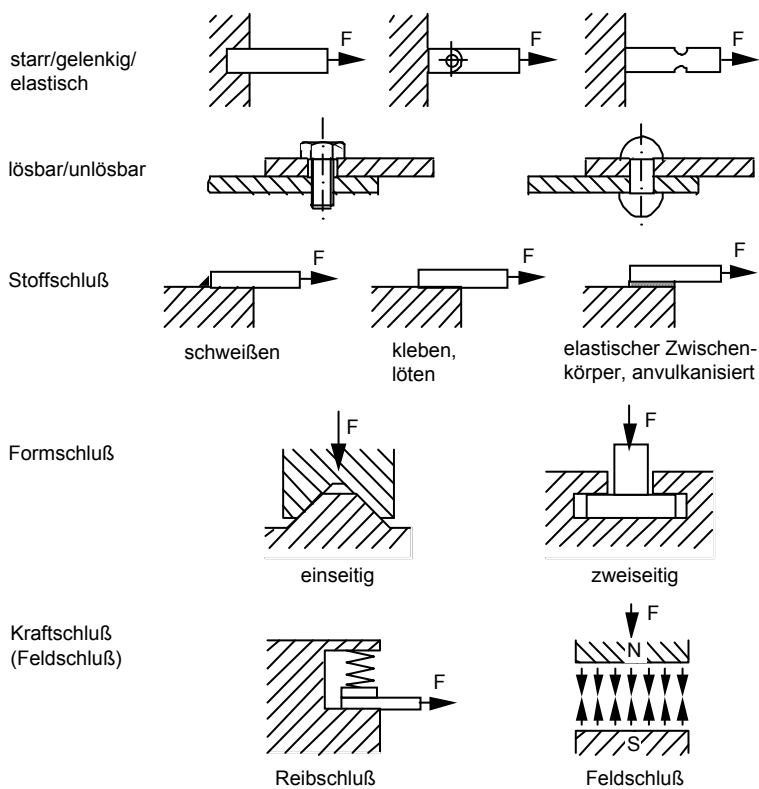
**BILD 20: Variation der Zahl** (im Buch Bild 7.6-6)



**BILD 21: Variation der Größe** (im Buch Bild 7.6-7)

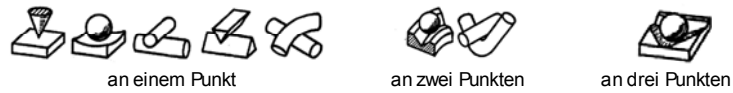


**BILD 22: Variation der Verbindungsart** (im Buch Bild 7.6-9)



**BILD 23: Variation der Berührungs-/Kontaktart** (im Buch Bild 7.6-10)

**Punktberührung**



**Linienberührung**



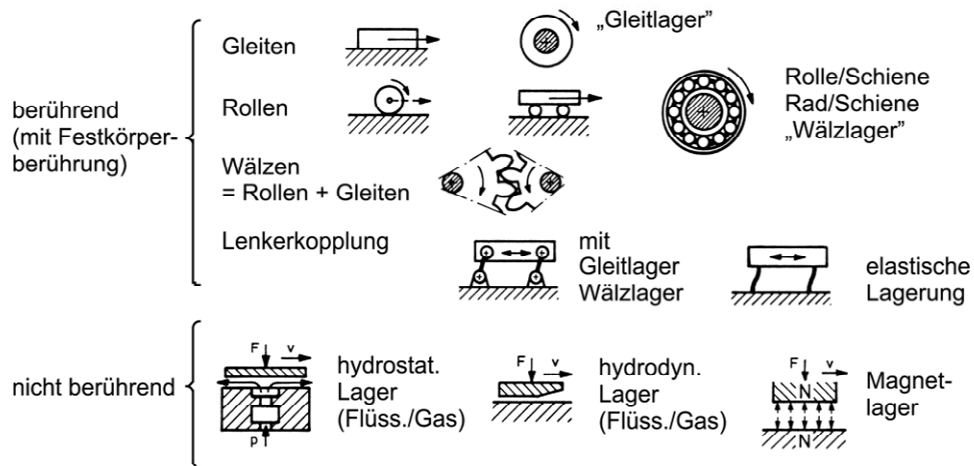
**Flächenberührung**



**Tribologische Einteilung**



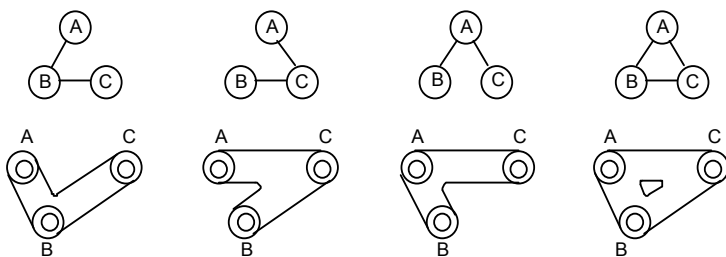
**BILD 24: Variation der Kopplungsart (im Buch Bild 7.6-11)**



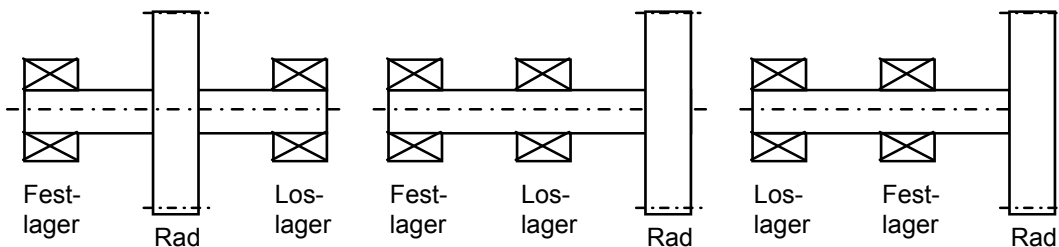
**BILD 25: Variation der Kopplungsart bei Lagern, Führungen, Gewinden**  
(im Buch Bild 7.6-12)

|          | Lager (Rotation) | Führung (Translation) | Gewinde (Schraubung) |
|----------|------------------|-----------------------|----------------------|
| gleitend |                  |                       |                      |
| wälzend  |                  |                       |                      |

**BILD 26: Variation der Verbindungsstruktur** (im Buch Bild 7.6-13)



**BILD 27: Variation der Reihenfolge** (im Buch Bild 7.6-14)



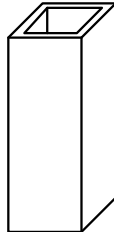


**BILD 28: Variation der Kompaktheit** (im Buch Bild 7.6-15)

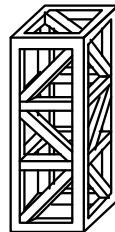
a) massiv



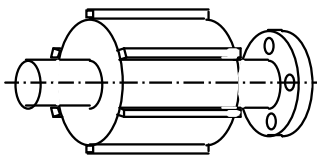
b) hohl bzw.  
geschlossen



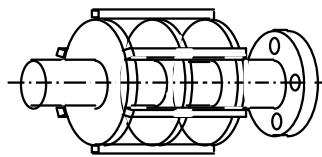
c) offen



d) massiv bzw. hohl



e) offen



**BILD 29: Variation der Stoffart (im Buch Bild 7.6-16)****Zustand:**

- fest, flüssig, gasförmig, amorph
- metallisch/nicht-metallisch
- organisch/anorganisch

**Verhalten:**

- starr, elastisch, plastisch, viskos
- durchsichtig/undurchsichtig
- brennbar/nicht brennbar
- edel/unedel
- leitfähig/nicht leitfähig für Wärme, Elektrizität oder Magnetismus
- korrodierend/nicht korrodierend

**makroskopische Beschaffenheit:**

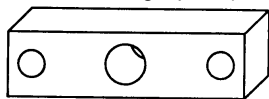
- „Festkörper“, körnig, pulvrig, staubförmig

**2.2.3.2 Indirekte Variation der Gestalt****BILD 30: Variation des Werkstoffs (im Buch Bild 7.6-17)**

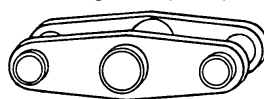
| Merkmal                                     | Beispiele            |                                    | Bemerkung<br>(Einfluss auf die Gestalt)                      |
|---|----------------------|------------------------------------|--|
|   | vorher               | nachher                            |  |
| Werkstoffart nochmals                       | St 37                | GG 20                              | Änderung des Fertigungsverfahrens: gussgerecht gestalten     |
| Werkstoffqualität                           | unbehandelt          | gehärtet<br>HRC 55                 | u. U. Schleifen nötig, deshalb u. U. Schleifauslauf vorsehen |
| Werkstoffzahl (Ein- oder Mehrstoffbauweise) | Polyamid unverstärkt | glasfaser-<br>verstärktes Polyamid | andere Fertigungs- und Trennverfahren? Gestalt?              |
| Halbzeug                                    | Profilmaterial       | Blech                              | u. U. umformgerecht gestalten                                |

**BILD 31: Variation zu Fertigungsverfahren am Beispiel Doppelhebel (im Buch Bild 7.6-18)**

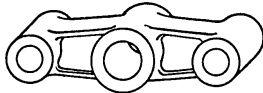
aus dem Vollen gespannt (St 37)



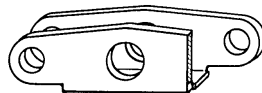
gelötet (St 37)



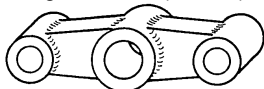
gegossen (GG 20)



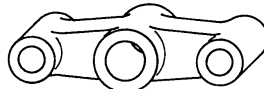
aus Blech gestanzt und abgekantet (St 37)

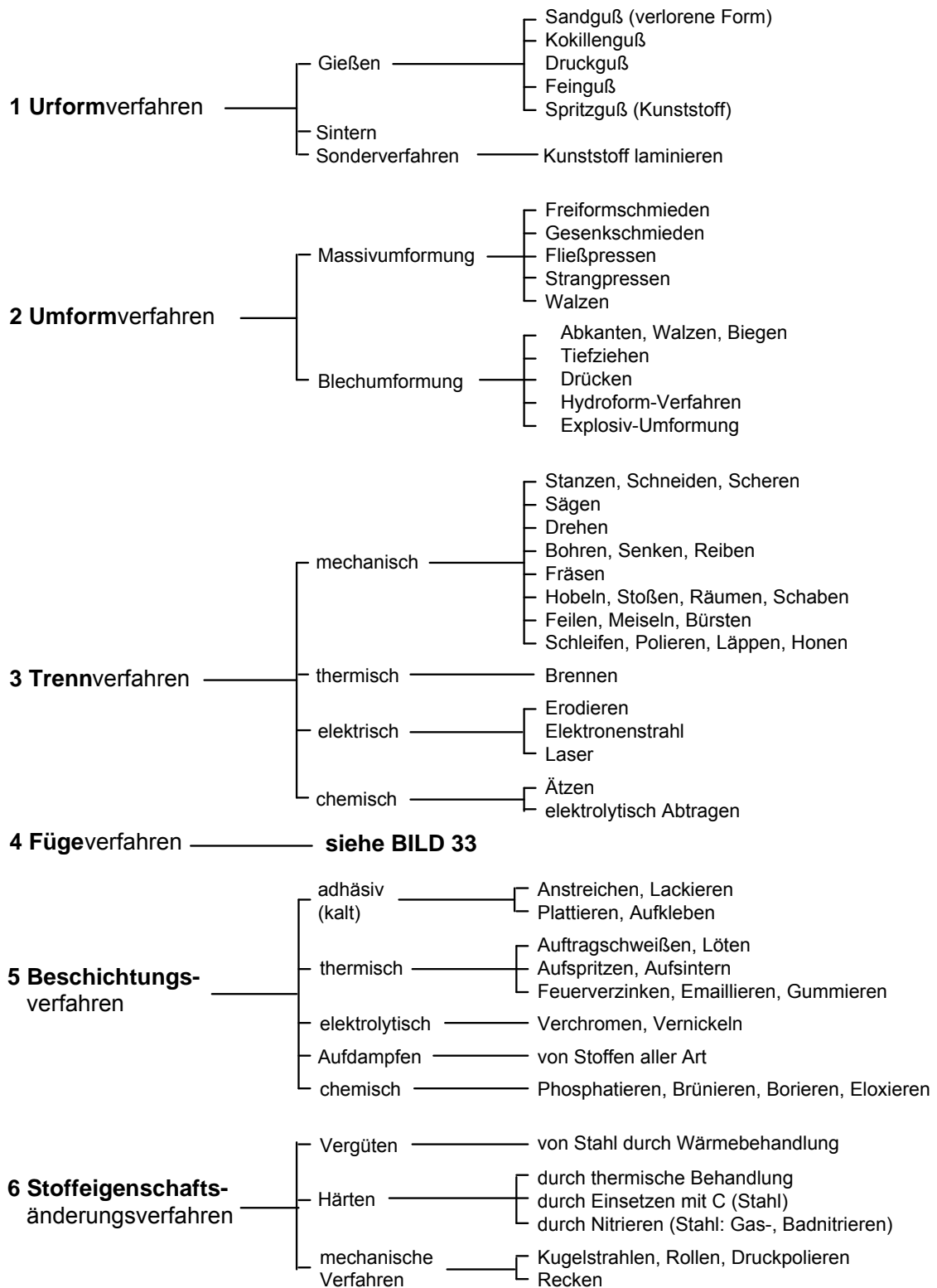


geschweißt (St 37-3)

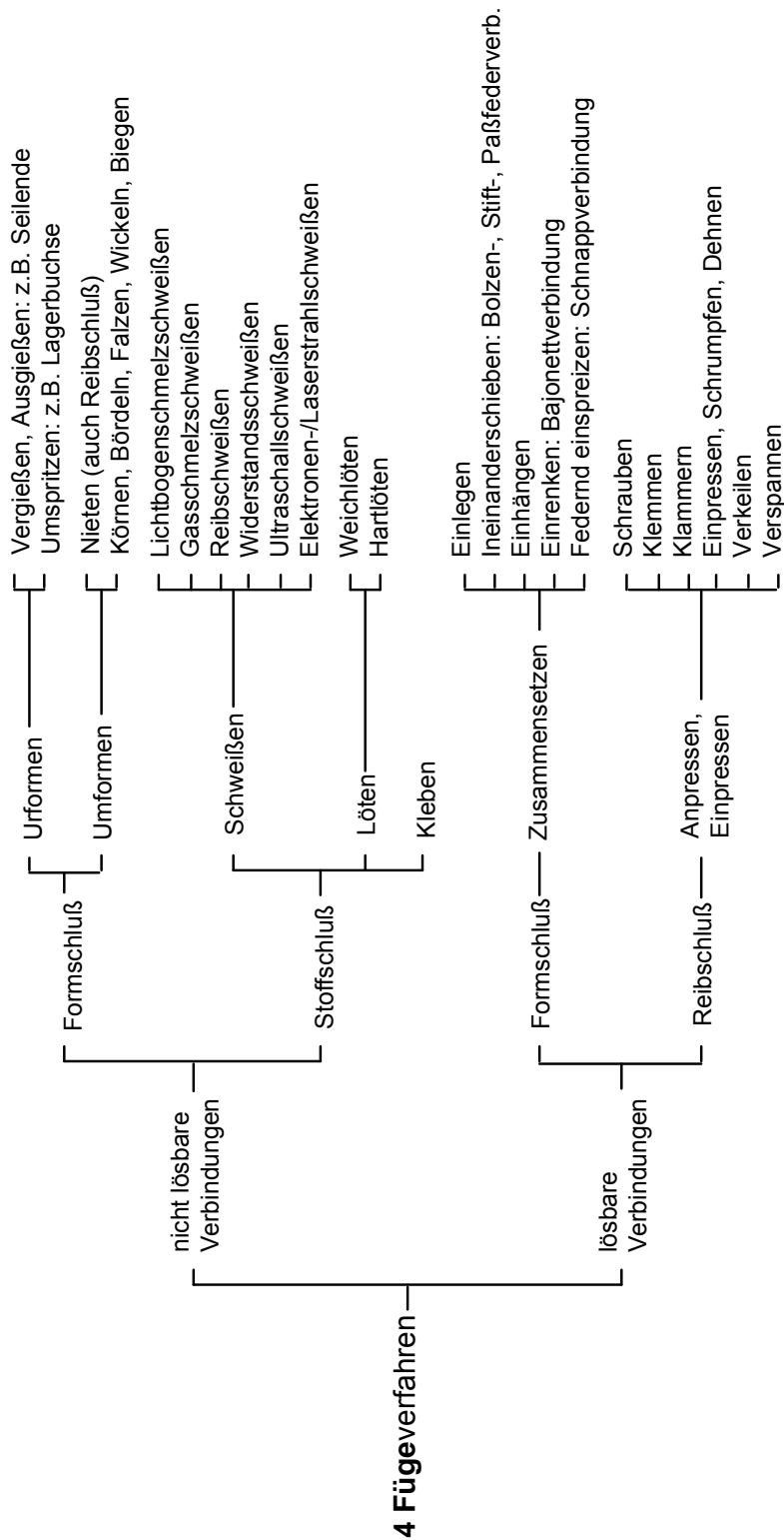


gesenkgeschmiedet (St 37)



**BILD 32: Überblick über Fertigungsverfahren**

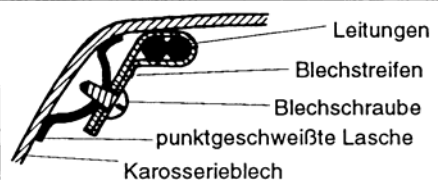
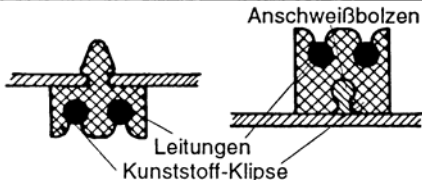
**BILD 33: Fortsetzung: Überblick über Fertigungsverfahren**



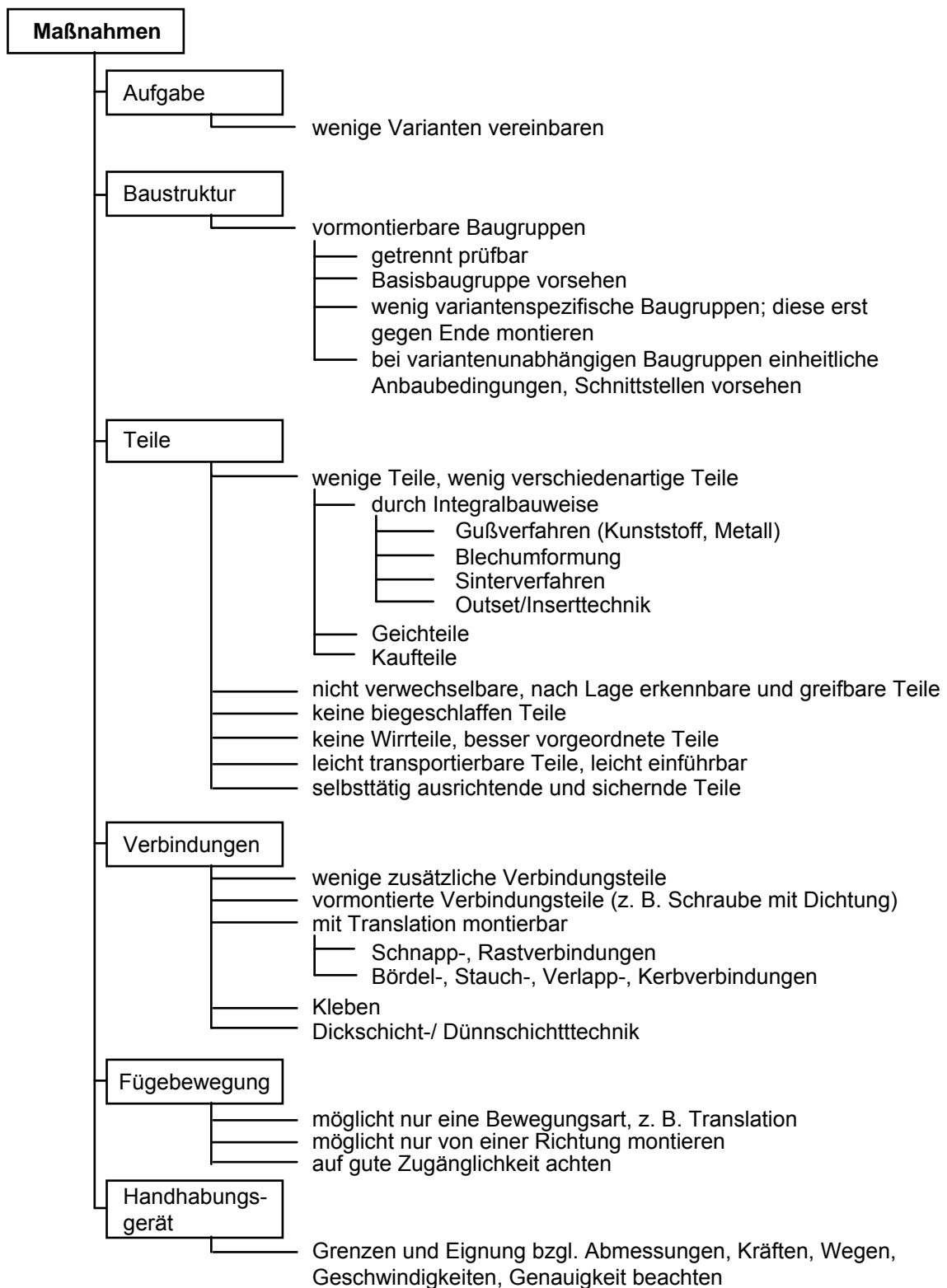
**BILD 34: Variation des Fertigungsverfahrens;  
Vergleich von Herstellmöglichkeiten**

|  | Gießen   | Aufbau durch nicht lösbare Verbindungselemente   |  |   |  |
|--|--|--|--|---|--|
|  |  | Schweißen  | Löten  | Kleben  | Nieten   |
| <b>Anwendungsbereich</b>                               | alle Sparten, bei Serien meist die wirtschaftlichste Methode | Stahlbau, Behälterbau, Maschinenbau, Leichtbau   | Kleinteile, z.B. Behälter, Rohre (bei Hartlöten ganzes Teil erwärmen, Schutzgas) | Leichtbau, Mehrstoffverbindungen (Kunststoffe)      | Stahlbau, Leichtmetallverbindungen, Mehrstoffverbindungen, Verkleidungen |
| <b>Stückzahlbereich (große Verschiebungen möglich)</b> | Serien   | Vorwiegend Einzelanfertigungen und Kleinserien (Serien z.B. mit Schweiß- und Lötautomaten)         |  |   |  |
| <b>Gewicht (% des notwendigen Stahlquerschnittes)</b>  | 150...300 % (Sandguß)  | 110...150 % Stahlbau bis 20 % leichter als Nieten, Maschinenbau bis 50 % leichter als Guß          | Weichlöten: 400...800 %<br>Hartlöten: 200...300 % (Überlappung)                  | 400...800 % (Überlappung)                           | 115...170 % (Knotenbleche)<br>Überlappung, Schwächung durch Bohrung      |
| <b>Gütekontrolle</b>                                   | schwierig (Lunker: Termin, Kosten)                           | schwierig (z.B. Röntgen)   | schwierig  | schwierig   | einfach (Klang bei Anklopfen, lösbar durch Abschlagen)                   |
| <b>Temperaturbereich (Lösen)</b>                       | Schmelzpunkt (1500 °C)                                       | Schmelzpunkt   | Weichlöten: 150...200 °C<br>Hartlöten: max. 1100 °C                              | normal ca. 150...200 °C<br>Spezialkleber bis 400 °C | Schmelzpunkt (Warmfestigkeit)  |
| <b>Wärmespannungen</b>                                 | ja   | ja, und Minderung der Festigkeit durch hohe Temperatur (Leichtmetall, hochfester Stahl: aushärten) | keine bis geringe  | keine bis geringe (wärmehärtende Kleber)            | keine bis geringe  |
| <b>Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe</b>         | Eingießen von Metallteilen möglich (Verbundguß)              | nein   | ja (Metalle)   | ja  | ja   |

**BILD 35: Variation des Montageverfahrens; Beispiel zur Befestigung von Leitungen an PKW-Karosserie BILD 33: Fortsetzung:  
Überblick über Fertigungsverfahren (im Buch Bild 7.6-129)**

| "früher"<br>Handmontage   | "heute"<br>automatisierte Montage   |
|---|---|
|    |                               |
| 3 Teile   | 1 Teil  |
| Blechlasche an der Karosserie anpunkten; Leitungen in Blechstreifen legen; Blechstreifen und Schraube positionieren; verschrauben | Loch in Karosserie vorsehen oder Anschweißbolzen aufpunkten; Leitungen in Klipse legen; positionieren; einklipsen |

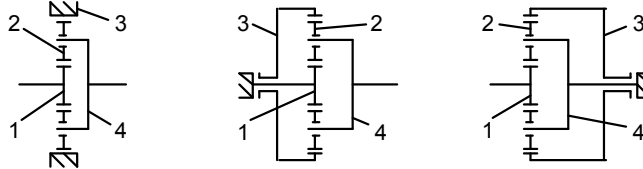
### BILD 36: Maßnahmen für automatisierungsgerechtes Montieren (positiv auch für Handmontage)



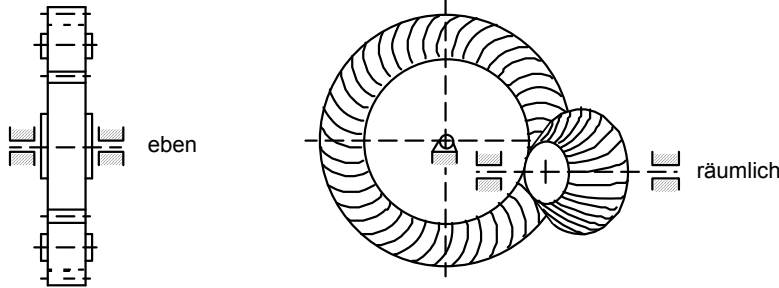
**BILD 37: Variation des Bezugssystems (im Buch Bild 7.6-20)**

**Gestellwechsel** (kinematische Umkehr)  
(Wechsel des absoluten Bezugssystems)

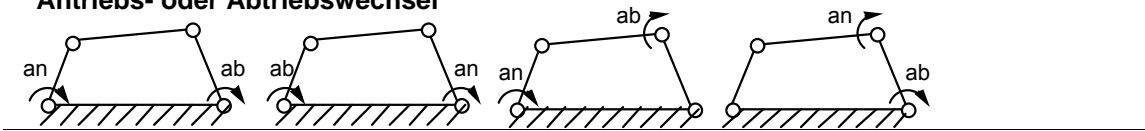
- 1 Sonnenrad
- 2 Planetenrad
- 3 Außenrad
- 4 Steg
- ⊞ Gestell



**Art des Bezugssystems**



**Antriebs- oder Abtriebswechsel**



**BILD 38: Variation der Bewegungsart (im Buch Bild 7.6-21)**

| Art                           | Translation  | Rotation  | Schraubung  | Wälzen  |
|-------------------------------|--|---|---|---|
|                               |  |   |   |   |
| Orientierung und Überlagerung |  |   |   |   |
|                               | Gleiten = Schiebung, Translation                           | Rollen = Rotationsachse senkrecht zur Berühnormale    | Rechtsschraubung = Rotations- und Translationsvektor gleichorientiert         | Gleichlauf = Tangentialflächen gleich bewegt  |
|                               |  |   |   |   |
|                               | Prallen = Bewegung in Richtung zu erwartender Berühnormale | Bohren = Rotationsachse ist gleichzeitig Berühnormale | Linksschraubung = Rotations- u. Translationsvektor entgegengesetzt orientiert | Gegenlauf = Tangentialflächen entgegen bewegt |

**BILD 39: Variation des zeitlichen Verlaufs der Bewegung (im Buch Bild 7.6-22)**

| Größe   | stetig |         |       | mit Rast |         |       | mit Flgerschritt<br>(Teiltrücklauf) |         |       |
|---|--------|---------|-------|----------|---------|-------|-------------------------------------|---------|-------|
|   | Rot.   | Transl. | Schr. | Rot.     | Transl. | Schr. | Rot.                                | Transl. | Schr. |
| gleichsinnig                                    |        |         |       |          |         |       |                                     |         |       |
| wechselsinnig<br>(oszillierend,<br>hin und her) |        |         |       |          |         |       |                                     |         |       |

**BILD 40: Variation des Getriebefreiheitsgrades (im Buch Bild 7.6-23)**

Grüblersche Formel:

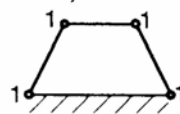
$$F = \sum_1^e f - b(c - n) - b$$

F = kinematischer Bestimmtheitsgrad (Getriebefreiheitsgrad)  
 $\sum_1^e f$  = Summe aller Gelenkfreiheitsgrade  
 b = Anzahl der voneinander unabhängigen Bewegungen des Bezugssystems  
 e = Anzahl aller Lagerstellen (Gelenke)  
 n = Anzahl aller Körper (Glieder)

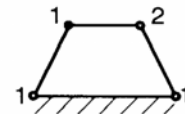
Symbole:

= Lagerstelle (Gelenk) mit Anzahl der Freiheitsgrade

- Veränderung der Freiheitsgrade der Lagerstellen (Gelenke)

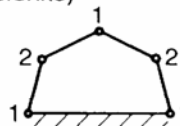


$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 4, b = 3 \\ e = 4, n = 4 \end{array} \right\} F = 1$$

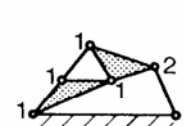


$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 5, b = 3 \\ e = 4, n = 4 \end{array} \right\} F = 2$$

- Veränderung der Anzahl der Lagerstellen (Gelenke)

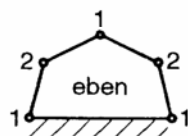


$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 7, b = 3 \\ e = 5, n = 5 \end{array} \right\} F = 4$$

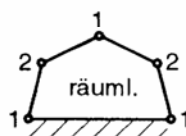


$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 7, b = 3 \\ e = 6, n = 5 \end{array} \right\} F = 1$$

- Veränderung des Bezugssystems

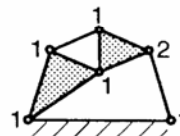


$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 7, b = 3 \\ e = 5, n = 5 \end{array} \right\} F = 4$$

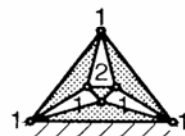


$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 7, b = 6 \\ e = 5, n = 5 \end{array} \right\} F = 1$$

- Veränderung der Anzahl der Körper (Glieder)



$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 7, b = 3 \\ e = 6, n = 5 \end{array} \right\} F = 1$$



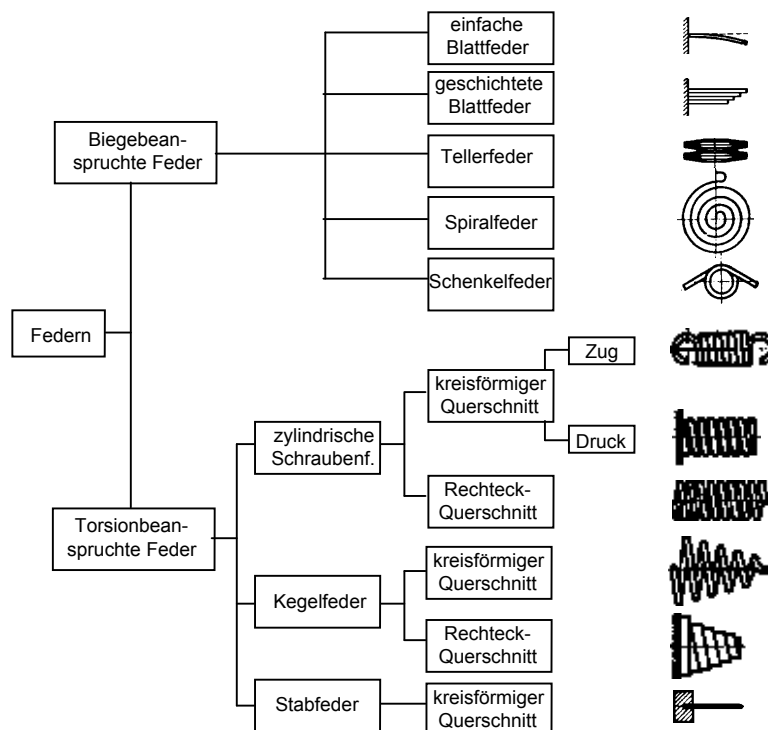
$$\left. \begin{array}{l} \Sigma f = 7, b = 3 \\ e = 6, n = 4 \end{array} \right\} F = -2$$



**BILD 41: Variation der Lagerstellen** (siehe auch BILD 24, 25)

| Variationsmöglichkeit | Beispiele   | Bild |
|-----------------------|---|------|
| Lageranordnung        | Fest-Los-Lagerung<br>schwimmende Anordnung<br><b>X-Anordnung</b><br>O-Anordnung   |      |
| Wälzlager             | Kugellager (axial + radial)<br><b>Rollenlager</b> (axial + radial)<br>Nadellager (axial + radial)<br>Drahtkugellager (axial + radial)             |      |
| Gleitlager            | hydrodynamische Lager<br>zylindrisch<br><b>Segmentlager</b><br><b>Kippsegmentlager</b><br>hydrostatische Lager                                    |      |
| Führungen             | offene Führungen<br>umschließende Führungen<br><b>umgreifende Führungen</b><br>Wälzführungen<br>Gleitführungen<br>hydrodynamisch<br>hydrostatisch |      |

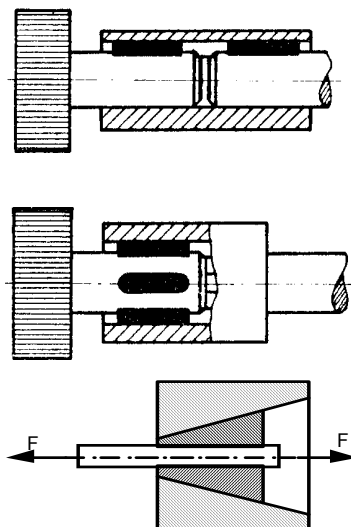
**BILD 42: Variation elastischer Glieder (Federn)** (im Buch Bild 7.6-25)



**BILD 43: Variation des statischen Bestimmtheitsgrades** (im Buch Bild 7.6-26)

| Lagertypen   | Symbol | statische Kennzeichen (Wertigkeit, ebene Lagerreaktionen)                  | kinematische Kennzeichen (Bewegungsmöglichkeit)  | statisch bestimmte Lagerungen | statisch unbestimmte Lagerungen                 |
|--|--------|--|--|-------------------------------|---|
| verschiebbares Gelenklager   |        | einwertig<br>1 Kraftkomponente ( $F_z$ )                                   | Drehung um y-Achse<br>Verschiebung in x-Richtung |                               |   |
| festes Gelenklager   |        | zweiwertig<br>2 Kraftkomponenten ( $F_x, F_z$ )                            | Drehung um y-Achse                               |                               |   |
| feste Einspannung  |        | dreiwertig<br>2 Kraftkomponenten<br>1 Momentkomponente ( $F_x, F_z, M_y$ ) | weder Drehung noch Verschiebung                  |                               |   |
| <p>verschiebbares Gelenklager</p> <p>festes Gelenklager</p> <p>feste Einspannung</p> |        |  |  |                               | <p>ausgearteter Fall einer Dreistablagerung</p> |

**BILD 44: Variation der Schaltungsart**



**Reihenschaltung:** eindeutige, meist übliche Aufeinanderfolge von Funktionsträgern

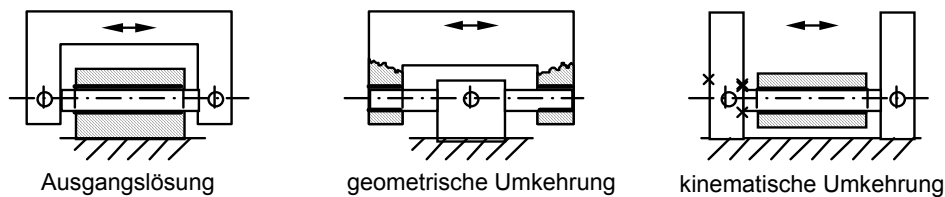
**Parallelschaltung** von Funktionsträgern meist zur Verringerung von Baugröße, Gewicht und Kosten (Beispiel: Lamellenkupplung, Wälzlager, Planetengetriebe, mechanische Vierradbremse). Bei mechanischen Wirkflächen evtl. Problem des Lastausgleichs.

**Kreisschaltung:** Teile des Stoff-, Energie- und Signalflusses werden zurückgeführt. Regelungs-, Selbsthilfestrukturen.

**BILD 45: Variation der Getriebeart (im Buch Bild 7.6-29)**

| phys. Effekt<br>Getriebe-<br>prinzip  | Hebel-/<br>Keilgetriebe  | Torsions-<br>getriebe        | Quer-<br>kontraktions-<br>getriebe  | Fluidgetriebe                               | elektr./magn.<br>Getriebe         |
|---|--|------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| Prinzip   |  |                              |   |   |                                   |
|   | ↓  | ←                            | ←   | ←   | ←                                 |
|   | Kurven-<br>getriebe  | Gelenk-<br>getriebe          | Räder-/Wälz-<br>hebelgetriebe   | Zug-/Druck-<br>mittelgetriebe               | hybride<br>Getriebe               |
| Gestalt-<br>varianten<br>1. Ordnung<br>(Getriebeart)                                  |  |                              |   |   |                                   |
| Gestalt-<br>varianten<br>2. Ordnung<br>ebene,<br>sphärische,<br>räumliche<br>Getriebe | ebene<br>Kurvengetriebe<br>Schwingen-,<br>Stößel-, Keilg.                    | ebene<br>Gelenkgetriebe      | ebene<br>Rädergetriebe<br>Stirnrad-<br>getriebe                                   | ebene<br>Zug-/Druck-<br>mittelgetriebe      | ebene hybride<br>Getriebe         |
|   | sphärische<br>Kurvengetriebe<br>Kugelkurveng.                                | sphärische<br>Gelenkgetriebe | sphärische<br>Rädergetriebe<br>Kegelradgetr.                                      | sphärische<br>Zug-/Druck-<br>mittelgetriebe | sphärische<br>hybride<br>Getriebe |
|   | räumliche<br>Kurvengetriebe<br>Zylinder-, Kur-<br>ven-, Schraub-<br>getriebe | räumliche<br>Gelenkgetriebe  | räumliche<br>Schraubenrad-,<br>Schneckenrad-,<br>Räder-, Hyper-<br>boloidradgetr. | räumliche<br>Zug-/Druck-<br>mittelgetriebe  | räumliche<br>hybride<br>Getriebe  |

**BILD 46: Umkehrung/Negation (im Buch Bild 7.6-31)**



- Negation: Merkmal vorhanden/nicht vorhanden
- Spiegelung: Bild/Spiegelbild
- Grenzwert: Merkmal gegen Null/gegen Unendlich
- Vertauschung: +/-, links/rechts, oben/unten, innen/außen, An-/Abtrieb, zyklische Vertauschung

**2.2.4 Einsatz von Gestaltungsprinzipien**

Übersicht:

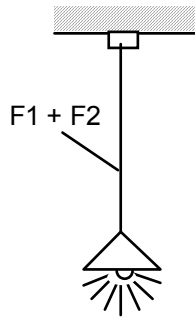
Es wurden keine Einträge für das Inhaltsverzeichnis gefunden.

### 2.2.4.1 Funktionsvereinigung/Funktionstrennung

Bei **Funktionsvereinigung** trägt ein und dasselbe Bauteil oder Funktionsträger zur Erfüllung von **mindestens zwei** Funktionen bei. Bei **Funktionstrennung** erfüllt ein Bauteil oder Funktionsträger **nur eine** Funktion.

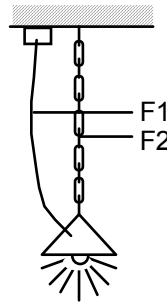
**BILD 47: Funktionsvereinigung/Funktionstrennung** (im Buch Bild 7.7-1)

#### Funktionsvereinigung



F1 + F2: Zuleitungskabel

#### Funktionstrennung



F1: Zuleitungskabel  
F2: Kette

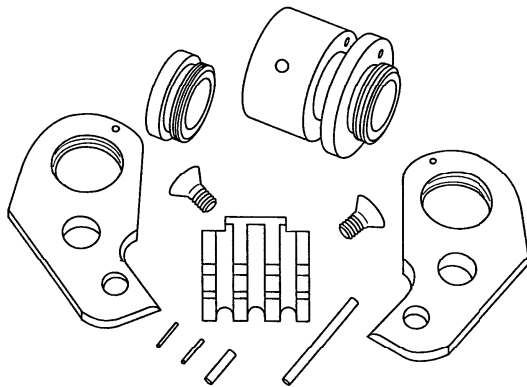
**Funktion F1:**  
el. Energie leiten

**Funktion F2:**  
Gewichtskraft  
leiten

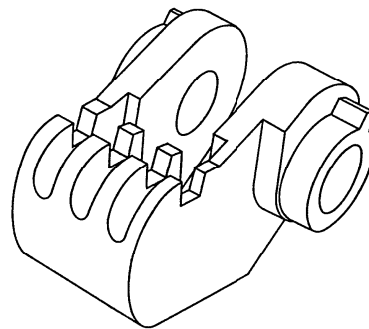
### 2.2.4.2 Integral-/Differentialbauweise

Unter **Integralbauweise** versteht man das Zusammenfassen verschiedener Bauteile zu einem. Unter **Differentialbauweise** versteht man das Aufteilen eines Bauteils in mehrere Bauteile.

Bei Integralbauweise zur **Teilezahlverringerung** variiert man zweckmäßig **Fertigungsverfahren** (und Werkstoff) wie z. B.: Urform-, Umform- oder Trennverfahren (BILD 32 und 33).

**BILD 48: Differential-/Integralbauweise** (im Buch Bild 7.7-5)

a) Differentialbauweise:  
11 Einzelteile



b) Integralbauweise:  
1 Feingußteil, Fertigungszeit-  
ersparnis 62%, Kostenersparnis 72%

**2.2.4.3 Kraftfluss****Grundsätze zum Kraftfluss**

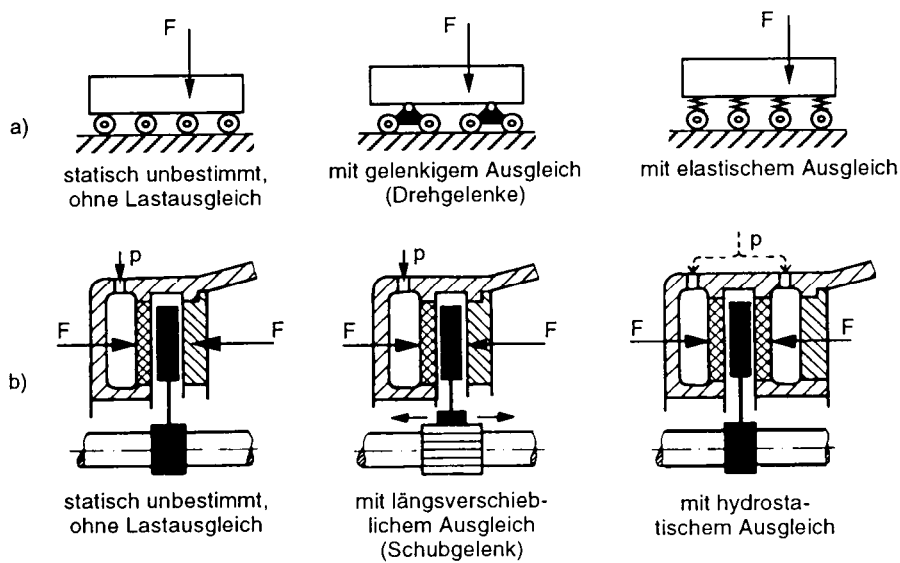
- Ein **Kraftfluss** ist (bei umfassender Betrachtung des Systems) immer **geschlossen**. Massenkräfte (Gewichte, Fliehkräfte) werden nicht berücksichtigt.
- In einem Kraftfluss-Kreislauf **ändert sich die Beanspruchungsart** (Pressung, Druck, Zug, Biegung, Torsion).
- Der Kraftfluss sucht sich den **kürzesten Weg**. Die Kraftlinien drängen sich in engen Querschnitten zusammen, in weiten dagegen breiten sie sich aus.

**Regeln zur kraftflussgerechten Gestaltung**

- Regel 1:** Kraftfluss **eindeutig** führen: Überbestimmungen, Unklarheiten der Kraftübertragung meiden (z. B. Fest-/Loslager-Bauweise).
- Regel 2:** Für **steife, leichte Bauweisen** den Kraftfluss auf **kürzestem Wege führen**. Biegung und Torsion vermeiden, Zug und Druck mit voll ausgenutzten Querschnitten bevorzugen; z. B. Hängebrücken, Zuganker. Symmetrieprinzip bevorzugen wie z. B. bei Innenbackenbremsen, Doppelschrägverzahnungen, Planetengetrieben.
- Regel 3:** Für **elastische, arbeitsspeichernde Bauweisen**: Kraftfluss auf **weitem Wege führen**. Biegung und Torsion bevorzugen; den Kraftfluss „spazierenführen“; z. B. bei Federn, Rohrkompensatoren, im Crash-Verhalten günstige Pkw-Karosserien.
- Regel 4:** **Sanfte Kraftflussumlenkung** anstreben. Scharfe Umlenkungen ergeben Spannungskonzentrationen; eine Abhilfe sind Ausrundungen und außerdem gilt es, den Kraftfluss verformungsgerecht ein- und auszuleiten.

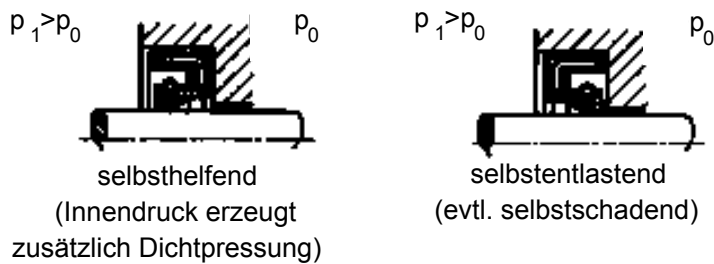
**2.2.4.4 Lastausgleich**

**Zweck** ist, gleiche Kräfte/Momente an parallelgeschalteten und statisch unbestimmten mechanischen Wirkflächenkontakten zu erreichen

**BILD 49: Beispiele für Lastausgleich** (im Buch Bild 7.7-13)**BILD 50: Lastausgleich** (im Buch Bild 7.7-12)**2.2.4.5 Selbsthilfe**

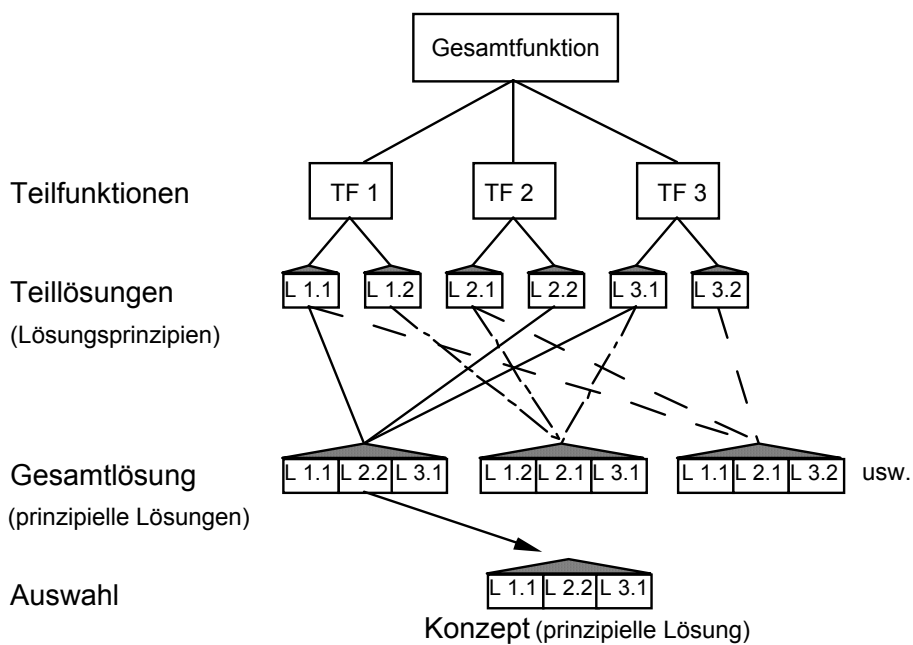
Bei Selbsthilfe hilft ein geeignet angeordnetes Element meist im Kreisschluss mit, die Aufgabe besser zu erfüllen, d. h. sicherer, platzsparender, leichter, leistungsfähiger zu werden

**BILD 51: Beispiel für Selbsthilfe**



**2.2.5 Kombination von Lösungsprinzipien**

**BILD 52: Strategie: Aufteilen-Kombinieren (im Buch Bild 7.5-12)**



**BILD 53: Morphologischer Kasten als Kombinationshilfe (im Buch Bild 75-13)**

|                |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Teillösungen   | 1     | 2     | 3     |       | m     |
| Teilfunktionen |       |       |       |       |       |
| TF 1           | L 1.1 | L 1.2 | L 1.3 |       | L 1.m |
| TF 2           | L 2.1 | L 2.2 | L 2.3 | L 2.4 | L 2.m |
| TF 3           | L 3.1 | L 3.2 | L 3.3 |       | L 3.m |
| TF i           |       |       |       |       | L i.m |

Gesamtlösungen: G 1, G 2

## 2.3 Lösung auswählen

### 2.3.1 Analysemethoden

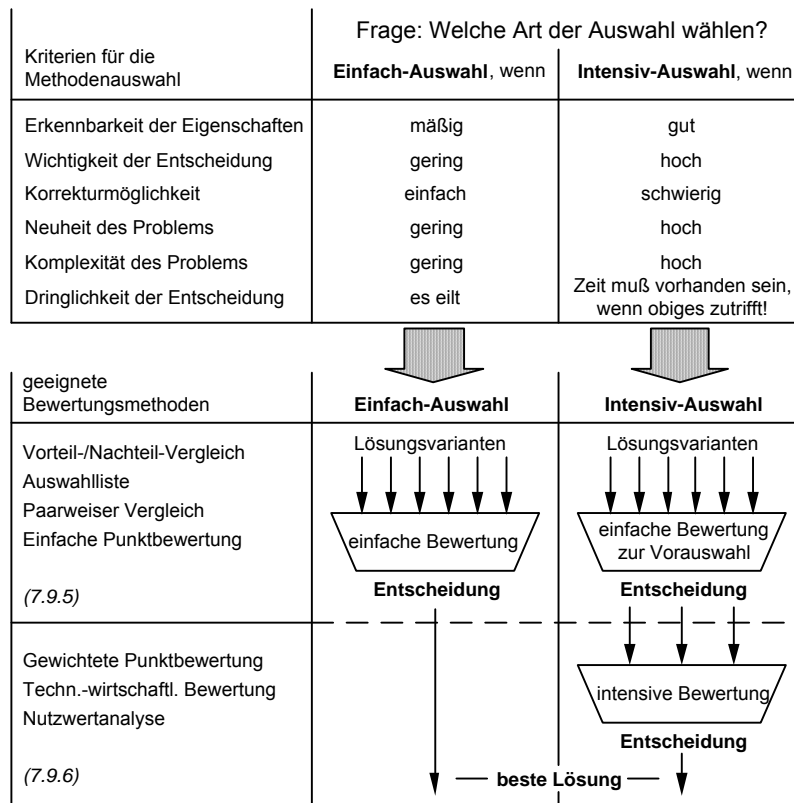
**BILD 54: Überblick über Analysemethoden (im Buch Bild 7.8-1)**

| Zweck<br>Art der Methode                                  | grundsätzliches Verhalten  | Vergleich zwischen Alternativen  | Eigenschaftsermittlung   |  |
|---|--|--|--|--|
|   |  |  | überschlägig   | genau  |
| Überlegung, Diskussion (Kap. 7.8.1)                       | interdisziplinäre Diskussion   | Vorteils-/ Nachteilsvergleich, Portfolio-Analyse                                   | Abschätzung, Szenariotechnik   | logische Argumentation                                   |
| Berechnung, Optimierung, Kennzahlenvergleich (Kap. 7.8.2) | z. B. kinematische, dynamische Berechnung, Berechnung von Verformung, Verschleiß, Kosten | ABC-Analyse, Vergleichsrechnung, Marktanalyse (z. B. Conjoint-Analyse), Kennzahlen | Auslegungsrechnung, Überschlagsrechnung  | Nachrechnung   |
| Simulation mit dem Rechner (Kap. 7.8.2)                   | kinematische, dynamische Simulation  | Simulation mit unterschiedlichen Alternativen                                      | Testmarkt, Rechnersimulation mit einfachem Modell                                    | FEM-Rechnung, Rechnersimulation mit genauem Modell       |
| Versuch (Kap. 7.8.3)                                      | Handversuch, orientierender Versuch (Pappe, Draht, Plastik), Rapid Prototyping           | Vergleichsversuche, Modellversuche   | Vorversuch, Laborversuch, Technikumsversuch, spannungsoptischer Vers., Modellversuch | Prototypversuch, Prüfstandsversuch für Berechnungsformel |



### 2.3.2 Bewertungsmethoden

**BILD 55: Kriterien zur Methodenauswahl** (im Buch Bild 7.9-1)



**BILD 56: Auswahlliste für Einfachauswahl** (im Buch Bild 7.9-5)

| Kriterium  | Lösungsvarianten |   |   |   |      |
|--|------------------|---|---|---|------|
|  | 1                | 2 | 3 | 4 | ...  |
| A Forderungen der Anforderungsliste erfüllt?         | +                | ? | + | - |      |
| B Verträglichkeit mit angrenzenden Lösungen gegeben? | +                | - | + | + |      |
| C Grundsätzlich realisierbar?                        | +                | + | ? | + |      |
| D Aufwand zulässig?                                  | +                | + | + | - | usw. |
| E Unmittelbare Sicherheit gegeben?                   | +                | - | + | + |      |
| F Terminlich machbar?                                | +                | + | + | + |      |
| G Know-how vorhanden/beschaffbar?                    | +                | + | + | + |      |
| H ...  |                  |   |   |   |      |
| Entscheidung   | +                | - | ? | - |      |

**Bewertung** mit: ja (+), nein (-), Informationsmangel (?).

**Ergebnis:** Es werden nur die Lösungsvarianten weiterverfolgt, die alle Kriterien erfüllen (+), mindestens A und B (hier Variante 1). Informationsmängel (?) klären, dann neu beurteilen (hier Variante 3).

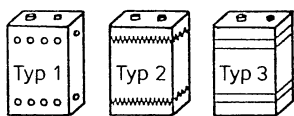
**Grundsätzliches Vorgehen beim Bewerten**

- 1) Über **Zielvorstellungen** des Kunden, des Marktes, des Herstellers, der Gesellschaft geeignete Kriterien aufstellen.
- 2) Diese Zielkriterien zu **Ober- und Unterkriterien** im Sinne der Nutzwertanalyse zusammenfassen und evtl. **gewichten**. Wird dieser Schritt nicht durchgeführt, besteht die Gefahr, dass die Gewichtung unbewusst geschieht, da dann öfter nach ähnlichen und voneinander abhängigen Kriterien bewertet wird.
- 3) Die **Lösungsalternativen auf ihre Eigenschaften** bezüglich dieser Kriterien **analysieren**. Dazu müssen die Kriterien auf erfassbare Merkmale „heruntergebrochen“ werden (z. B. Geräusch auf Frequenz, Schallpegel...).
- 4) Die von der Art her i. a. unterschiedlichen Eigenschaften (Lebensdauer, Gewicht, Kosten etc.) müssen normiert und z. B. durch eine **Wertvergabe dimensionsloser Punkte** gegenseitig verrechenbar gemacht werden (Wertfunktionen).
- 5) Die Einzelwerte (Punkte) eines jeden Kriteriums zu einem **Gesamtwert** der jeweiligen Alternative aufsummieren.
- 6) Die **Alternativen** hinsichtlich dieser Gesamtwerte **vergleichen**: Welche ist die Beste? Wie ist die Rangfolge? Wo sind die Schwachstellen der Alternativen, aber auch der Bewertung?
- 7) Grundsätzlich gute Alternativen, die wegen untergeordneter Defizite abgewertet wurden, in einem zweiten Bewertungsdurchgang bezüglich des Nachbesserungsaufwandes bewerten.

**Beispiel:** Unter drei 9-Volt Batterien soll die Beste ausgewählt werden.

**BILD 57: Eigenschaften der Batterien** (im Buch Bild 7.9-3)

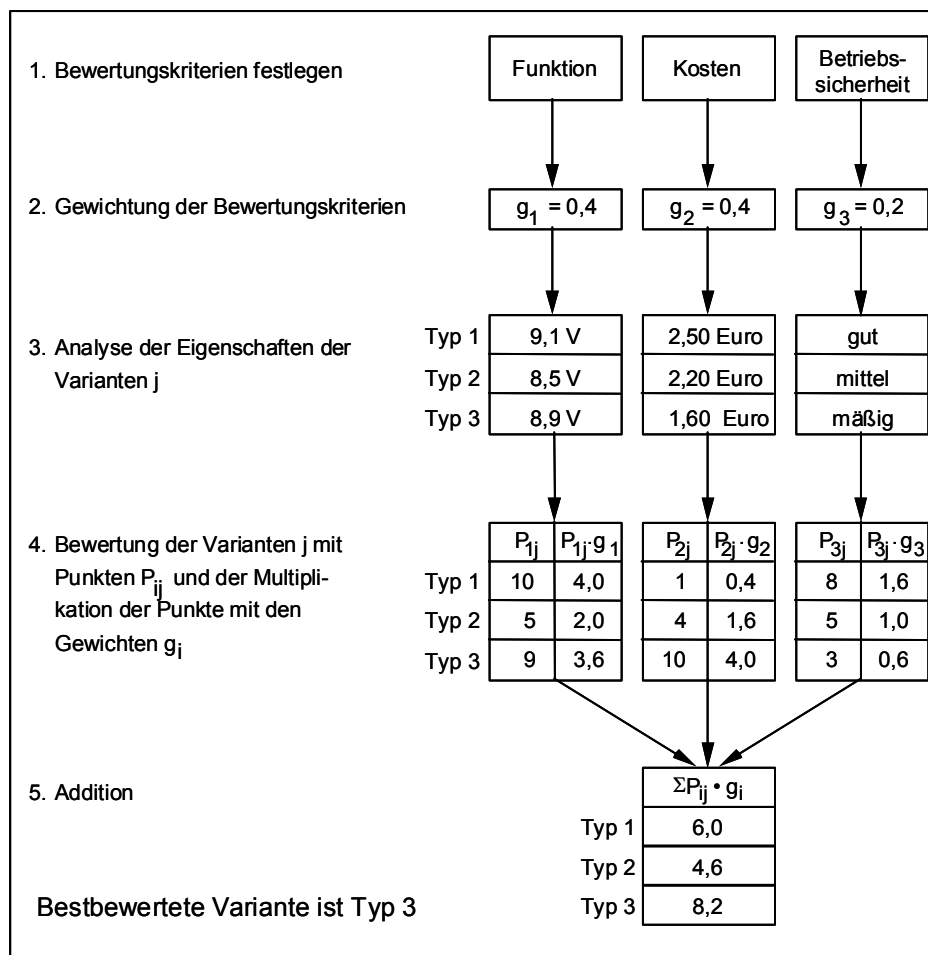
| Batterietyp | Kriterien |           |                    |
|-------------|-----------|-----------|--------------------|
|             | Funktion  | Kosten    | Betriebssicherheit |
| Typ 1       | 9,1 V     | 2,50 Euro | gut                |
| Typ 2       | 8,5 V     | 2,20 Euro | mittel             |
| Typ 3       | 8,9 V     | 1,60 Euro | mäßig              |

**BILD 58: Paarweiser Vergleich von Alternativen (hier: Betriebssicherheit)**  
(im Buch Bild 7.9-6)

| Bezüglich Betriebssicherheit ist Batterie vom | besser (1) oder schlechter (0) als Batterie vom |       |       | Punkte-summe<br>$\Sigma$ | Rangfolge |
|---|---|-------|-------|--------------------------|-----------|
|   | Typ 1   | Typ 2 | Typ 3 |                          |           |
| Typ 1   | –   | 1     | 1     | 2                        | 1         |
| Typ 2   | 0   | –     | 1     | 1                        | 2         |
| Typ 3   | 0   | 0     | –     | 0                        | 3         |

**Ergebnis** des Vergleichs jeder Alternative mit jeder ist eine Rangfolge der Alternativen.

**BILD 59: Gewichtete Punktbewertung** (im Buch Bild 7.9-7)



## Bewertung mittels technisch-wirtschaftlicher Bewertung

### 1) Technische Wertigkeit X

Für jede technische Eigenschaftsklasse  $i$  einer Variante  $j$  werden Punkte  $p$  vergeben (z. B. von 0 bis 10 mit  $p_{\max} = 10$ ). Die Eigenschaftsklassen können mit Gewichten  $g_i$  (z. B. von 0 bis 1) versehen werden.

Die technische Wertigkeit  $X_j$  einer Variante  $j$  errechnet sich dann zu:

$$X_j = \left[ \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + \dots + g_i p_i}{(g_1 + g_2 + \dots + g_i) p_{\max}} \right]_j < 1$$

Bezugswert ist die ideale Lösung mit der maximalen Punktzahl  $p_{\max}$ .

Für das Beispiel 9V-Batterien ergeben sich mit den Punkten und Gewichten aus der gewichteten Punktbewertung folgende technische Wertigkeiten (Berücksichtigung der Funktion und Betriebssicherheit) der einzelnen Typen:

|        |  |
|--------|--|
| Typ 1: | $x_1 = \frac{0,4 \cdot 10 + 0,2 \cdot 8}{(0,4 + 0,2) \cdot 10} = 0,93$ |
| Typ 2: | $x_2 = \frac{0,4 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5}{(0,4 + 0,2) \cdot 10} = 0,50$  |
| Typ 3: | $x_3 = \frac{0,4 \cdot 8 + 0,2 \cdot 3}{(0,4 + 0,2) \cdot 10} = 0,70$  |

## 2) Wirtschaftliche Wertigkeit Y

Bezugswert ist ein ideales Kostenziel, das ins Verhältnis zu den tatsächlichen Kosten der Varianten gesetzt wird. Um genügend attraktiv zu werden und eventuelle Kostensteigerungen aufzufangen, werden die idealen Kosten  $K_i$  zu  $0,7 K_{\text{Zul}}$  gesetzt, wobei  $K_{\text{Zul}}$  bisher zu 2,10 Euro gesetzt worden war.

Die wirtschaftliche Wertigkeit  $Y_j$  einer Variante  $j$  errechnet sich dann im Batteriebeispiel (ideales Kostenziel 1,47 DM) zu:

$$Y_j = \left[ \frac{\text{ideales Kostenziel } K_i = 0,7 * K_{\text{Zul.}}}{\text{tatsächliche Kosten } K} \right]_j < 1$$

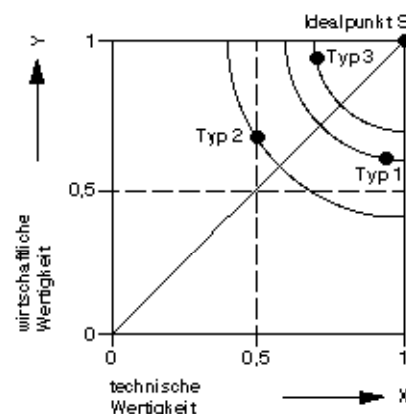
|       |  |
|-------|--|
| Typ 1 | $Y_1 = \frac{1,47 \text{ Euro}}{2,50 \text{ Euro}} = 0,59$ |
| Typ 2 | $Y_2 = \frac{1,47 \text{ Euro}}{2,20 \text{ Euro}} = 0,67$ |
| Typ 3 | $Y_3 = \frac{1,47 \text{ Euro}}{1,60 \text{ Euro}} = 0,92$ |

## 3) Stärke-Diagramm

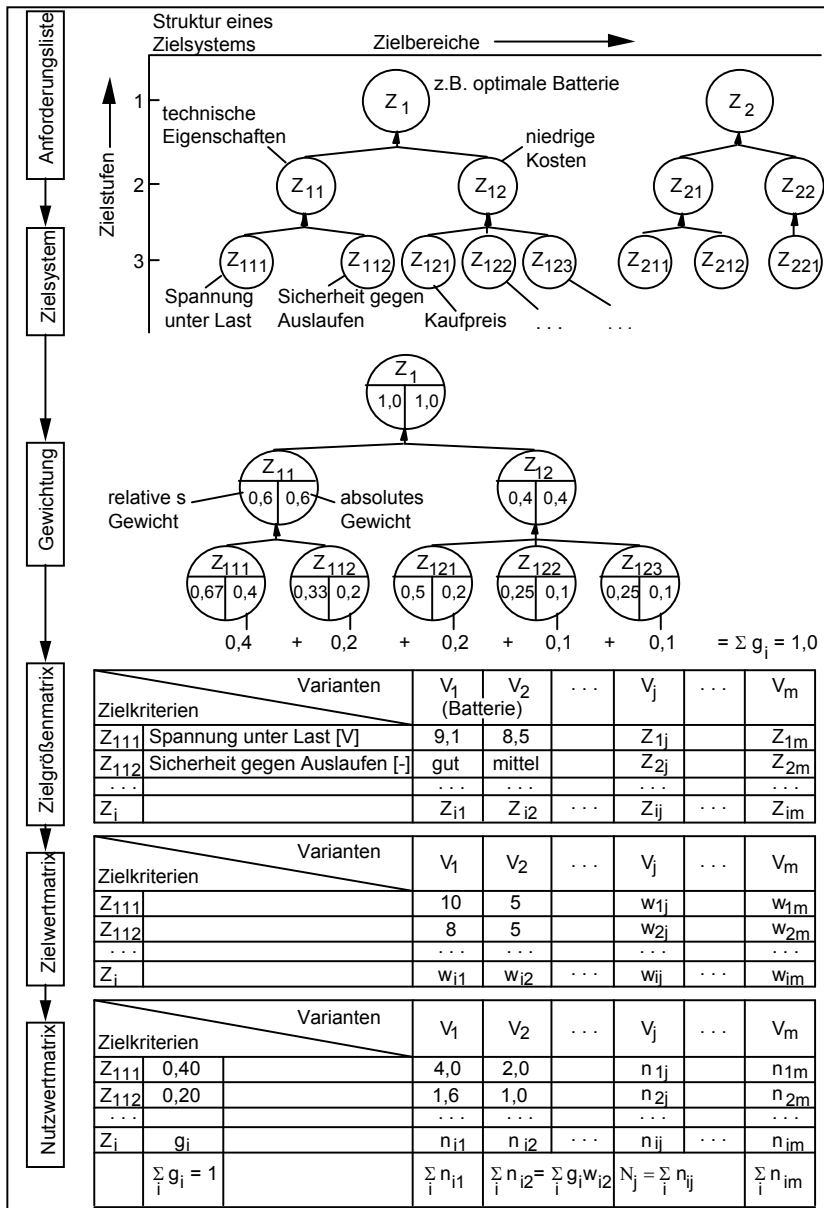
Für die graphische Darstellung der technisch-wirtschaftlichen Wertigkeiten eignet sich das Stärkediagramm.

Durch Eintragen der Werte  $X$  und  $Y$  in das Stärke-Diagramm erhält man ein anschauliches Bild von dem jeweiligen technisch-wirtschaftlichen Wert einer konstruktiven Lösung. Die Lösungsvariante mit dem geringsten Abstand zum Idealpunkt  $S$  wird bevorzugt.

Beim Beispiel der 9V-Batterien zeigt das **Stärke-Diagramm**, dass Typ 3 als beste Variante hervorgeht.



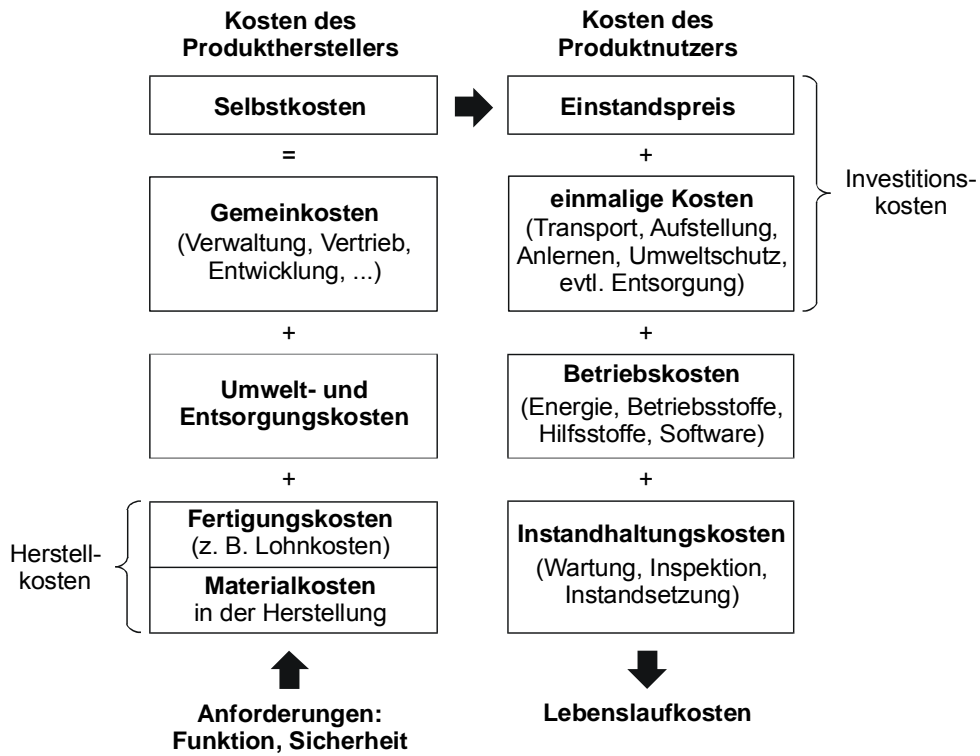
**BILD 60: Nutzwertanalyse**



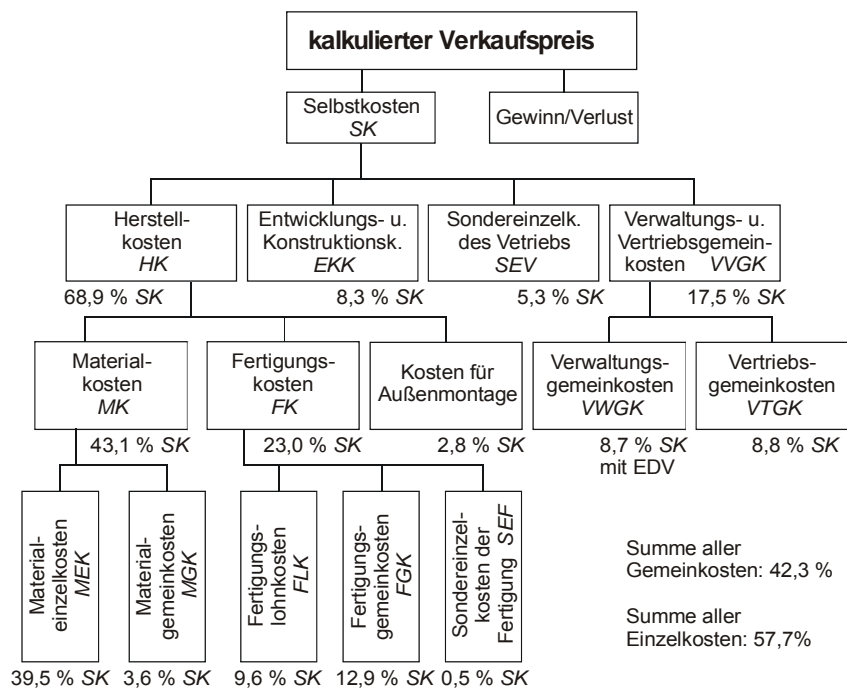
### 3 Kostengünstig Konstruieren

#### 3.1 Kostenarten

**BILD 61: Lebenslaufkosten (life-cycle costs) (im Buch Bild 9.1-1)**



**BILD 62: Herstellkosten am Beispiel der differenzierten Zuschlagskalkulation (Prozentzahlen von 2002, nach VDMA 2006) (im Buch Bild 9.1-3)**



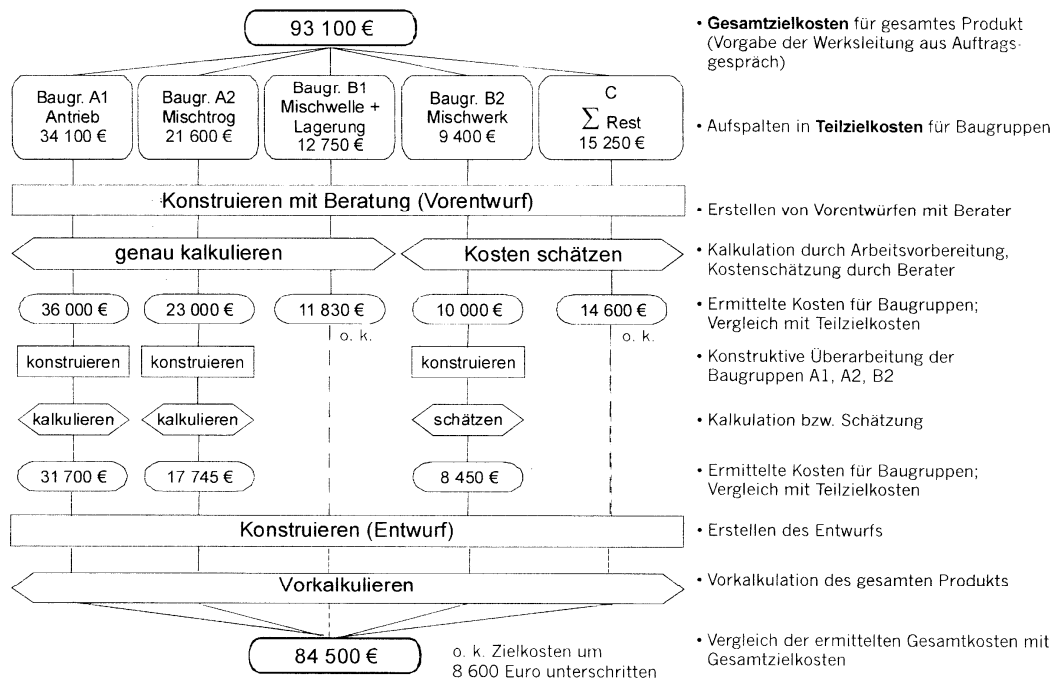
### 3.23.2 Vorgehen beim kostengünstigen Konstruieren

**BILD 63: Vorgehenszyklus für kostengünstig Konstruieren** (im Buch Bild 9.2-3)

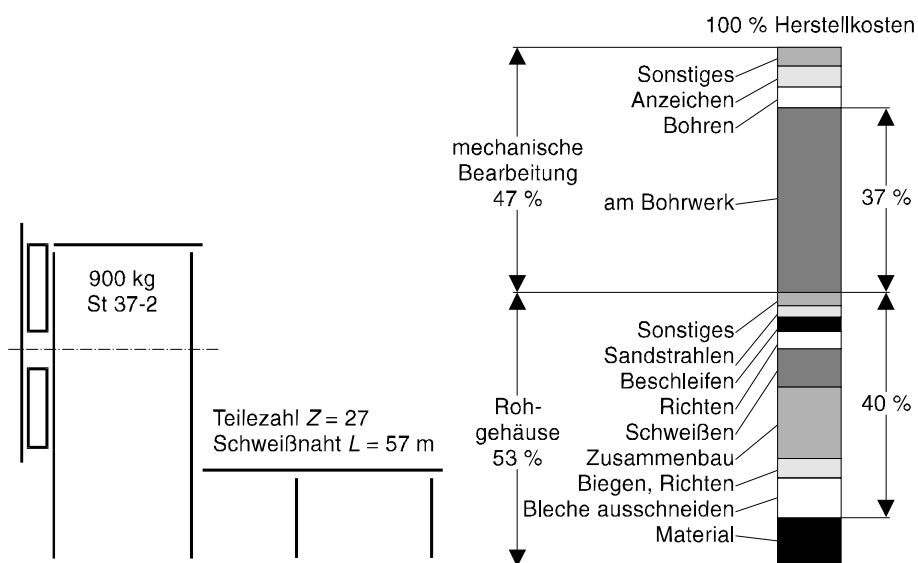
| Grundschr  | Teilschritte zur Kostensenkung  | Informationen u. Hilfsmittel   |
|--|---|--|
| <p><b>1 Aufgaben klären, formulieren</b></p>                     | <p>1.1 <b>Kostenziel</b> , Wirtschaftlichkeitsziel (Lebenslauf-, Selbst-, Herstellkosten) → <b>Chef</b></p> <p>1.2 Analyse ähnlicher Maschinen, <b>Kostenstruktur</b> nach Produkt-Gesamtkosten und/oder nach Herstellkosten bezogen auf Bauteile, Funktionen (z.B. Material-, Fertigungskosten aus Einzelzeiten, Rüstkosten), Fertigungsvarianten, Fremd-, Eigenfertigung, werksinterner Normung...</p> <p>1.3 Aufgabenstellung im Einzelnen → <b>Team</b> . Wo sind <b>Schwerpunkte</b> zum Kostensenken? Was (welche Baugruppen) kann geändert werden, was nicht? <b>Kostenziel aufteilen</b>.</p> <p>1.4 <b>Tendenzangaben</b> , Regeln zum Kostensenken im Schwerpunkt</p> | <p>Marktvolumen, Eigenanteil<br/>Konkurrenz-Produkte, -Preise,<br/>Liefertermine, Vertriebsweise,<br/>Leistung, Sicherheit<br/>Zeichnungen, Stücklisten,<br/>Arbeitspläne, -Zeiten, Kosten,<br/>Kostenstrukturen, ABC-Analysen</p>                 |
| <p><b>2 Lösungssuche, Alternativen für Vorentwurf suchen</b></p> | <p>2.1 <b>weniger/ mehr Funktionen?</b></p> <p>2.2 anderes <b>Prinzip</b> (Konzept) bei Nebenfunktionen? Baugrößen-Verringerung?</p> <p>2.3 <b>andere Gestaltung</b> weniger Teile? <b>werksinterne Normung</b>: Gleichteile, Wiederholteile, Teilefamilien, Baureihe, Baukasten</p> <p>2.4 <b>Material</b>: weniger Material? Abfall? Kostengünstigeres Material? Norm-, Serienmaterial, Kaufteile?</p> <p>2.5 <b>Fertigung</b>: andere Verfahren? Weniger Fertigungsgänge? Andere Vorrichtungen... Betriebsmittel?<br/>Weniger Genauigkeit? Eigen- oder Fremdfertigung? Montagevarianten?</p> <p style="text-align: center;"><b>Team</b></p>                                  | <p>Kundenwünsche<br/>Informationen aus Teamarbeit (Konstruktion, Fertigung, Einkauf, eventuell Verkauf, Projektierung) für alternative Lösungen<br/>Kostenwissen: Regeln, Tendenzangaben, Ähnlichkeitsgesetze, Relativkosten, Grenzstückzahlen</p> |
| <p><b>3 Lösungsauswahl</b></p>                                   | <p>3.1 Analyse und Bewertung der Lösungsalternativen<br/><b>Kostenschätzung; Kostenkalkulation</b></p> <p>3.2 Auswahl einer Lösung</p> <p style="text-align: center;"><b>Team, Chef</b></p>   | <p>Kostenschätzungen: Unterschiedskosten-Kalkulation, Kurzkalkulation, Ähnlichkeitsgesetze, Kosten von Wiederholteilen und Kaufteilen</p>  |
| <p><b>4 Durchführung der Konstruktion</b></p>                    | <p>Kontrolle des Kostenziels → <b>Chef</b></p>  | <p>Vorkalkulation</p>  |
| <p><b>5 Fertigung und Versuch</b></p>                            |   | <p>Nachkalkulation</p>   |

**Bild 9.2-3: Vorgehenszyklus zu Kostensenkung von Produkten**

**BILD 64: Verfolgen eines Kostenziels während der Konstruktion**  
(im Buch Bild 9.3-12)



**BILD 65: Kostenstruktur (ABC-Analyse) nach Fertigungsverfahren und Arbeitsgängen (Beispiel Zentrifugegehäuse, geschweißt); im Buch Bild 9.2-8**

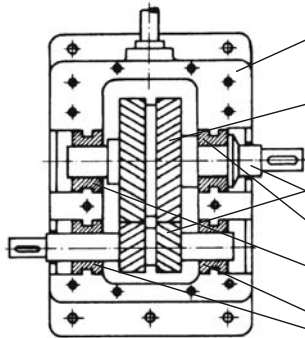




## BILD 66: Kostenstruktur (ABC-Analyse) nach Bauteilen und Kostenarten (Beispiel Turbinengetriebe) (im Buch Bild 9.2-4)

### Turbinengetriebe in Einzelfertigung

Leistung 10 000 kW  
Drehzahl 9 000/3 000 min<sup>-1</sup>  
Achsabstand 450 mm  
Gewicht 2 500 kg



### Erkenntnisse und Folgerungen: z. B.

- GG-Gehäuse teuer  
- fertigungsgerechter Konstruieren
- Radmaterial wegen Nitrierfähigkeit teuer  
- einsatzhärten?  
- nur Ringe auf Welle aufschumpfen?
- Materialkosten machen rund die Hälfte der Herstellkosten der bearbeiteten Teile aus  
-> Materialkosten sparen

| Kostenstruktur des Getriebes nach Bauteilen |               |              | Kostenstruktur der Bauteile nach Kostenarten           |             |             |
|---|---------------|--------------|--|-------------|-------------|
| Teil  | Euro          | HK           | MK   | Fke         | Fkr         |
| Gußgehäuse (GG)                             | 23 160        | 28 %         | 68 %   | 24 %        | 8 %         |
| Rad (31 CrMoV 9)                            | 21 560        | 26 %         | 44 %   | 46 %        | 10 %        |
| Ritzelwelle (15 CrNi 6)                     | 17 400        | 21 %         | 26 %   | 49 %        | 25 %        |
| Radwelle (C 45 N)                           | 11 550        | 14 %         | 45 %   | 45 %        | 10 %        |
| 2 Radlager                                  | 4 110         | 5 %          | Kaufteile  |             |             |
| 2 Ritzellager                               | 3 320         | 4 %          | Kaufteile  |             |             |
| 2 Dichtungen<br>2 Deckel                    | 1 340         | 1,6 %        | Kaufteile  |             |             |
| Röhrleitungen                               | 360           | 0,4 %        | Kaufteile  |             |             |
| Herstellkosten der Teile                    | <b>82 800</b> | <b>100 %</b> | <b>53 %</b>  | <b>35 %</b> | <b>12 %</b> |
| Montage                                     | 9 040         |              | Gußgehäuse:<br>MK einschließlich<br>Modellkostenanteil |             |             |
| Probelauf                                   | 4 920         |              |  |             |             |
| Fertigungsrisiko                            | 8 210         |              |  |             |             |
| Gesamte HK des Getriebes                    | 104 970       |              |  |             |             |

### **BILD 67: Checkliste für Funktion, Material und Fertigung** (nach Heil) (im Buch Bild 9.2-6)

Sie gibt Anregungen, um Zeichnungen systematisch nach Kostensenkungspotentialen zu analysieren.

|  |
|--|
| <p><b>Funktion</b></p> <p>Sind die Funktionen der Baugruppe bzw. des Teils geklärt?<br/>Ist die Funktionserfüllung eindeutig, einfach und sicher?<br/>Sind Funktionen in ein anderes Bauteil integrierbar?<br/>Sind Funktionen auf mehrere Bauteile übertragbar?<br/>Ist der Material- und der Fertigungsaufwand für die Funktionserfüllung gerechtfertigt?</p>  |
| <p><b>Material</b></p> <p>Ist das Rohmaterial oder ein Kaufteil kostengünstiger zu beschaffen?<br/>Kann anderes kostengünstigeres Material verwendet werden?<br/>Können Norm- bzw. Standardteile (Baukasten) verwendet werden?<br/>Kann das Rohteil aus einem anderen Halbzeug hergestellt werden?<br/>Kann der Verschnitt durch Gestaltung reduziert werden?<br/>Ist das Rohteil als Guß-, Schmiede-, Sinter- bzw. Blechteil herstellbar?<br/>Kann das Halbzeug bzw. der Rohling vorbehandelt bezogen werden?</p>   |
| <p><b>Fertigung</b></p> <p>Wird die Fertigungstechnologie im Haus beherrscht?<br/>Paßt das Bauteil in das firmenspezifische Teilespektrum?<br/>Muß das Bauteil im Haus gefertigt werden?<br/>Sind die Fertigungszeiten gerechtfertigt?<br/>Ist die Reihenfolge der Arbeitsgänge optimal?<br/>Ist die Fertigung auf anderen Maschinen kostengünstiger?<br/>Sind andere Verfahren zur Werkstofftrennung, zur Oberflächenbehandlung, zum Fügen und Montieren möglich?<br/>Dienen alle bearbeiteten Flächen der Funktionserfüllung?<br/>Müssen alle Wirkflächen bearbeitet werden?<br/>Ist eine geringere Oberflächenqualität und sind gröbere Toleranzen möglich?<br/>Können unterschiedliche Abmessungen vereinheitlicht werden?</p> |

### **Bild 68: Checkliste 1: Reduzierung der Teilevielfalt** (Kurz-Checkliste)

**Technische Maßnahmen** zur Reduzierung der Teilevielfalt (→ im Buch Kapitel 9.4):

- **Umgestalten** mehrerer Teile zu einem Teil → **Integralbauweise**
- Möglichst viele **gleiche Teile** in einem Produkts verwenden → **Gleichteile**
- **Teile in unterschiedlichen Produkten** verwenden → **Wiederholteile**
- Teile gleicher Funktion **standardisieren** → **Teilfamilie**
- **Mehrfachverwendung** von Teilen und Baugruppen → **Baukastensystem**
- **Vermeidung von Sonderkonstruktionen** bei Produkten gleicher Funktion → **Baureihen**
- **Normteile** verwenden → **Normteile**

- **Kaufteile** verwenden, da diese ohnehin meist in größeren Stückzahlen gefertigt werden.

→ **Kaufteile**

### **Bild 69: Checkliste 2: Variantenreduzierung** (ausführlich)

Die zunehmende Hinwendung auf die Erfüllung der Kundenwünsche verringert die Stückzahl gleicher Produkte und vergrößert die Zahl der Produkt- und Teilevarianten. Beides wirkt kostentreibend, sowohl für die Herstellkosten (im Buch Kap. 9.1.2) wie für die Selbstkosten. Es kommt darauf an, gemeinsam mit Marketing, Verkauf die für den Markt **notwendigen Varianten** zu erkennen und die unnötigen Varianten zu reduzieren. Je früher das bei der Programm- und Produktkonzeption angegangen wird, um so wirkungsvoller ist es.

Das Bild gibt Strategien und Maßnahmen zur Variantenreduzierung im Überblick an (Weitere Informationen siehe im Buch Kapitel 9.4).

Die folgenden Maßnahmen 1 bis 8 sind im Wesentlichen **konstruktive**:

|   |  |
|---|--|
| 1. <b>Integralbauweise</b>  | <b>Ur- und Umformverfahren</b> wählen (z. B. Gießen, Spritzgießen, Blechumformen, Schmieden, Tiefziehen, erosiv Abtragen):<br>Stückzahl?<br>geeignete Halbzeuge einsetzen.   |
| 2. <b>Gestaltelemente</b><br>standardisieren                                    | <b>Gestaltelemente</b> (Teilegeometrien, CAD-Features), also Einbauräume, Anschlussgeometrien, die in unterschiedlichen Varianten benötigt werden, standardisieren.  |
| 3. <b>Gleichteile</b><br>(mehrmals an einem Produkt vorkommend)                 | Möglichst viele Teile eines Produktes gleich machen und <b>Integralbauweise</b> wählen.<br>Vermeiden von <b>links-/rechts-</b> Ausführungen.<br>Auch <b>Kleinteile</b> (z. B. Schrauben, Dichtungen, Sicherungsringe) „radikal“ reduzieren und standardisieren: Die Fertigung und Montage wird oft viel einfacher!<br><b>Werkstoffe</b> vereinheitlichen: Im Zweifelsfall den „besseren“ Werkstoff, u. U. mit Prüfzeugnis, nehmen. |
| 4. <b>Wiederholteile</b><br>(bei unterschiedlichen Produkten öfters vorkommend) | <b>Normteile und Zulieferteile</b> verwenden (firmeninterne Auswahl!). Meist wegen größerer Stückzahl kostengünstiger!<br><b>Symmetrische</b> Bauteile, die in unterschiedlichen Einbaulagen montiert werden können.<br>Teile von <b>anderen Produktfamilien</b> verwenden: Sich absprechen! Änderungsproblem?   |
| 5. <b>Teilefamilie</b>  | <b>Teile gleicher Funktion standardisieren.</b> „Gemeinsame Aufräumaktion für eingerissenen Wildwuchs“ ( <i>Bild 9.4-4</i> ).  |
| 6. <b>Baureihe</b>  | Größere Stufung anstreben ( <i>Bild 9.4-8</i> )  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| 7. <b>Baukasten</b>          | Baukastensysteme von <b>Zulieferanten</b> nutzen ( <i>Bild 9.4-15a</i> ).<br><b>Lokale</b> Baukastensysteme vorsehen ( <i>Bild 9.4-15a</i> )<br>Getrennt <b>vormontier-</b> und <b>prüfbare</b> Baugruppen vorsehen.<br><b>Plattformstrategie</b> : gleiche Grundbausteine für mehrere Produkte. |
| 8. <b>Teilearmes Konzept</b> | Durch Wahl geeigneter phys. Prinzipien lässt sich die Teilezahl oft überraschend reduzieren (Beispiel: mechanische / Bubble-Jet-Schreibmaschine).  |

Die folgenden Maßnahmen 9 bis 16 sind im Wesentlichen **organisatorische** (Eine enge Abstimmung mit Controlling, Fertigung, Montage, Einkauf, Vertrieb, Service ist nötig)

|  |  |
|--|--|
| 9. <b>Zulieferer einschalten</b>                                       | <b>Anzahl der Zulieferer</b> reduzieren (günstigere Konditionen).<br>Kostenziel weitergeben!<br><b>Rahmenverträge</b> abschließen.<br><b>Standardisierung</b> gemeinsam festlegen.   |
| 10. <b>Normungsgrad vorgeben</b>                                       | Als <b>Zielvorgabe</b> einführen ( <i>Bild 7.12-6 im Buch: Ehrlenspiel u.a. „Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren“ Springer 2007</i> ):<br>$\frac{\sum \text{Wiederhol-, Gleich-, Kauf-, Normteile}}{\sum \text{unterschiedliche Teile}} \leq \text{Grenzwert}$   |
| 11. <b>Variantenbaum</b>   | Zur Beurteilung, ob Varianten früh oder spät auftreten. Am besten erst am Montageende (im Buch Kapitel 9.4.3)! ( <i>Bild 7.12-7 im Buch: Ehrlenspiel u.a. „Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren“ Springer 2007</i> )  |
| 12. <b>Malus</b>   | Eine <b>Kostenvorgabe</b> pro neuem Teil (z. B. Euro 2500,-), die durch die aktuelle Kostenreduzierung erst übertroffen werden muss: Sonst kein Neuteil! (im Buch Kapitel 9.4.4, am Schluss)   |
| 13. <b>Teilesuchsystem einführen</b>                                   | Datenbank in EDM mit freien Begriffen aus dem Stammdatenfeld und mit CAD-Bildern. (Suchen muss schneller gehen, als neu machen).   |
| 14. <b>Standardisierung verkaufen!</b>                                 | <b>Verkaufsunterlagen</b> zusammen mit dem Verkauf so gestalten, dass Technik und Kosten für den Verkäufer transparent sind. Den <b>Kostenvorteil</b> der Standardisierung an den Kunden <b>weitergeben</b> . (Dazu gehört Mut!) Sonderwünsche kosten extra! (Nicht jeden Auftrag wollen!) <b>Vertriebsprovision</b> gewinn-, statt umsatzorientiert aufbauen. |
| 15. <b>Prozesskosten</b>   | Abschätzung mit Stundensätzen der Kostenstellenrechnung oder nach Stundenaufschreibungen. → Aktive (hohe Nachfrage) und passive Varianten (geringe Nachfrage) unterscheiden. Passive „ruhen lassen“, aktive u. U. teilearm umgestalten!  |
| 16. Alle <b>Vielfalts-Problemfelder</b> erkennen und gemeinsam angehen | Variantenmanagement verlangt gesamthaft eine Reduzierung in der Produkt-, Teile-, Lieferanten-, Kunden-, Auftrags-Vielfalt. (im Buch Kapitel 4.5)<br>Erkennen der für den Markt <b>nötigen</b> Varianten, Reduzierung der <b>unnötigen</b> Varianten.  |

**Kostenbeziehungen:****Pauschale Stückzahldegression der Fertigungskosten FK**

$$\frac{FK_1}{FK_0} \approx \sqrt[3]{\frac{n_0}{n_1}} \quad \text{mit } n = \text{Stückzahl} \quad \text{Bei Stückzahlverdopplung ergeben sich i. a. 15-25\% Kostensenkung}$$

**Summarische Ähnlichkeitsbeziehung für Herstellkosten**

$$HK_1 = FK_{r0} * \frac{\varphi_L^{0,5}}{n_1} + FK_{e0} * \varphi_L^2 + MK_0 * \varphi_L^3$$

$FK_{r0}$  = Fertigungskosten aus Rüstzeiten des Grundentwurfs

$FK_{e0}$  = Fertigungskosten aus Einzelzeiten des Grundentwurfs

$MK_0$  = Materialkosten des Grundentwurfs

$$\varphi_L = \frac{L_1}{L_0} = \text{Stufensprung der Länge}$$

$n$  = Losgröße; Index: 0 = Grundentwurf, 1 = Folgentwurf

**BILD 70: Arbeitsplan der Wertanalyse**

| Grundschrift                         | Teilschritt<br>(Bearbeitungsintensität und ggf. auch die Reihenfolge der Teilschritte innerhalb eines jeden Grundschriftes sind projektabhängig)  |
|--------------------------------------|---|
| <b>1 Projekt vorbereiten</b>         | 1.1 Moderator benennen<br>1.2 Auftrag übernehmen, Grobziel mit Bedingungen festlegen<br>1.3 Einzelziele setzen<br>1.4 Untersuchungsrahmen abgrenzen<br>1.5 Projektorganisation festlegen<br>1.6 Projektablauf planen  |
| <b>2 Objektsituation analysieren</b> | 2.1 Objekt- und Umfeld-Informationen beschaffen<br>2.2 Kosteninformationen beschaffen<br>2.3 Funktionen ermitteln<br>2.4 Lösungsbedingte Vorgaben ermitteln<br>2.5 Kosten den Funktionen zuordnen   |
| <b>3 Soll-Zustand festlegen</b>      | 3.1 Informationen auswerten<br>3.2 Soll-Funktionen festlegen<br>3.3 Lösungsbedingende Vorgaben festlegen<br>3.4 Kostenziele den Soll-Funktionen zuordnen  |
| <b>4 Lösungsideen entwickeln</b>     | 4.1 Vorhandene Ideen sammeln<br>4.2 Ideenfindungstechniken anwenden   |
| <b>5 Lösungen festlegen</b>          | 5.1 Bewertungskriterien festlegen<br>5.2 Lösungsideen bewerten<br>5.3 Ideen zu Lösungsansätzen verdichten und darstellen<br>5.4 Lösungsansätze bewerten<br>5.5 Lösungen ausarbeiten<br>5.6 Lösungen bewerten<br>5.7 Entscheidungsvorlage erstellen<br>5.8 Entscheidungen herbeiführen |
| <b>6 Lösungen verwirklichen</b>      | 6.1 Realisierung im Detail planen<br>6.2 Realisierung einleiten<br>6.3 Realisierung überwachen<br>6.4 Projekt abschließen   |

## 4 Checkliste zur Schlussprüfung der Konstruktion

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Anforderungen</b>       | Alle Forderungen und Wünsche der Kunden erfüllt?<br>(Anforderungsliste)  |
| <b>Funktionsqualität</b>   | Ist die geforderte Funktion erfüllt? Wo sind Schwachstellen? Was ist neu und eher unerprobt? Was wollte der Kunde eigentlich nur?  |
| <b>Betriebsbedingungen</b> | Wird die Maschine den Betriebsbedingungen gerecht? Wie verhält sich die Maschine beim Anlauf? Können Schwingungen, Stöße, Temperaturschwankungen usw. aufgenommen werden oder auftreten?   |
| <b>Betriebssicherheit</b>  | Wo sind kritische Stellen hinsichtlich Bruch, Verformung, Verschleiß, Korrosion...? Wie stark sind die gemachten Vereinfachungen für die Berechnung? Woher stammen zulässige Werte? Ersatzmaßnahmen wenn die kritische Stelle ausfällt?  |
| <b>Versuch</b>             | Sind Versuche erforderlich? Welche Versuche sollten durchgeführt werden? Wie groß ist der Aufwand?   |
| <b>Werkstoffe</b>          | Welche Werkstoffe, Werkstoffvergütungen oder Oberflächenbehandlungen werden benutzt? Sind diese hinsichtlich Betriebsverhalten und Fertigung richtig? Sind die Werkstoffkennwerte gewährleistet? Liefertermine und Kosten?   |
| <b>Fertigung</b>           | Welche Fertigungsverfahren werden angewandt? Sind die Teile im eigenen Betrieb herstellbar? Sind alle Teile fertigungsgerecht konstruiert? Sind die Maßeintragungen fertigungsgerecht? Sind die Genauigkeiten ausreichend oder übertrieben? Sind alle Zeichnungen mit ausreichenden Bearbeitungs- und Oberflächenangaben versehen? |
| <b>Zulieferumfänge</b>     | Schnittstellen klar? Wer macht Qualitätsprüfung? Wer garantiert für was? Wer ist verantwortlich? Liefertermine und Preise klar?  |
| <b>Montage</b>             | Ist die Maschine montierbar und demontierbar? Welche Vorrichtungen und Werkzeuge sind erforderlich? Automatisierungsgerecht?   |
| <b>Schmierung</b>          | Werden alle notwendigen Teile der Maschine ausreichend geschmiert? Ist die Dichtheit gewährleistet? Steht die richtige Schmierstoffart und -menge zur Verfügung?   |
| <b>Normprüfung</b>         | Welche Teile können durch Normteile oder Kaufteile ersetzt werden? Können andere Teile durch Wiederholteile ersetzt werden?  |
| <b>Vorschriften</b>        | Sind gesetzliche und andere Vorschriften eingehalten? Vorschriften für Qualitätsprüfung und -abnahme? Unfallverhütungsvorschriften? Umweltbeeinflussung? Entsorgungsvorschriften?  |
| <b>Transport</b>           | Welche Probleme können beim Transport auftreten? Verpackung, Versicherung?   |
| <b>Nutzung</b>             | Inbetriebnahme, Nutzung, Bedienung, Inspektion, Wartung, Reparaturen einfach genug? Ist die Unfallsicherheit gewährleistet?  |
| <b>Kosten</b>              | Sind Herstellkosten, Instandhaltungskosten, Betriebskosten und Entsorgungskosten unterhalb der geforderten Größe?  |
| <b>Lieferzeit</b>          | Welches sind lieferzeitkritische Teile oder Fertigungsverfahren? Was tun, wenn es dabei Ausschuss gibt?  |

## Internet-Anhang A7.1 Checklisten Ponn&Lindemann

### Anhang A Checklisten und Hilfsmittel mit Inhaltsangabe und Anforderungs- und Funktionsmodell (A1 und A2, siehe unten) (Nummerierung nach dem Buch Ponn & Lindemann [69/5], nicht nach IPE!)

#### Inhalt

Internet-Anhang A7.1 Checklisten Ponn&Lindemann Anhang A Checklisten und Hilfsmittel mit Inhaltsangabe und Anforderungs- und Funktionsmodell (A1 und A2, siehe unten) (Nummerierung nach dem Buch Ponn & Lindemann [69/5], nicht nach IPE!) Inhalt 1

|   |    |
|---|----|
| A1 Anforderungsmodell .....                           | 1  |
| A1-1 Checkliste zur Anforderungsklärung .....         | 1  |
| A1-2 Suchmatrix zur Anforderungsklärung .....         | 2  |
| A2 Funktionsmodell .....                              | 4  |
| A2-1 Umsatzorientierte Funktionsmodellierung .....    | 4  |
| A2-2 Checkliste zur Variation der Funktion .....      | 7  |
| A2-3 Relationsorientierte Funktionsmodellierung ..... | 7  |
| A2-4 Problemformulierungen .....                      | 9  |
| A2-5 Nutzerorientierte Funktionsmodellierung .....    | 10 |

#### A1 Anforderungsmodell

##### *A1-1 Checkliste zur Anforderungsklärung*

Eine Checkliste kann zur Anforderungsklärung herangezogen werden, damit keine wesentlichen Aspekte übersehen und somit nicht durchdacht werden. Checklisten zur Anforderungsklärung sollten regelmäßig aktualisiert werden, um aktuelle Kundenbedürfnisse und Veränderungen in Normen und Gesetzen berücksichtigen zu können (nach Pahl et al. 2007; [4/1]).

| Hauptmerkmale | Beispiele   |
|---------------|---|
| Geometrie     | Größe, Höhe, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Ausbau und Erweiterung   |
| Kinematik     | Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung  |
| Kräfte        | Kraftgröße, Kraftrichtung, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen, Dynamisches Verhalten   |
| Energie       | Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Reibung, Ventilation, Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Erwärmung, Kühlung, Anschlussenergie, Speicherung, Arbeitsaufnahme, Energieumformung |
| Stoff         | Physikalische, chemische, biologische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsproduktes, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetze u. ä.), Materialtransport, Logistik     |
| Signal        | Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigeart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform   |
| Sicherheit    | Unmittelbare Sicherheitstechnik, Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits-   |

|                |  |
|----------------|--|
|                | und Umweltsicherheit, CE-Sicherheitsiegel  |
| Ergonomie      | Mensch-Maschine-Beziehung: Bedienung, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Formgestaltung, Haptik, Gebrauchstauglichkeit   |
| Fertigung      | Einschränkung durch Produktionsstätte, größte herstellbare Abmessungen, bevorzugtes Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, mögliche Qualität und Toleranzen, Beschaffungsmöglichkeiten |
| Kontrolle      | Prüfmöglichkeit, besondere Vorschriften (TÜV, ASME, DIN, ISO, CE, AD-Merkblätter)  |
| Montage        | Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung, Inbetriebnahme, Endprüfung   |
| Transport      | Begrenzung durch Hebezeuge, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart und -bedingungen, Container, Luftfracht   |
| Gebrauch       | Geräuscharmut, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen)   |
| Instandhaltung | Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung   |
| Recycling      | Wiederverwendung, Wiederverwertung, Weiterverwendung, Weiterverwertung, Endlagerung, Beseitigung   |
| Kosten         | Zul. Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition und Amortisation, Betriebskosten  |
| Termin         | Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit  |

### A1-2 Suchmatrix zur Anforderungsklärung

Die Suchmatrix nach [Roth 1994] unterstützt durch gezielte Fragen in 90 Suchfeldern die Klärung von Anforderungen für den gesamten Produktlebenslauf.

| Eigenschaften u. Bedingungen |   | Technisch-physikalische   |   | Menschbezogene   |   |
|------------------------------|---|---|---|--|---|
|                              |   | a   | b   | Technologische u. funktionelle   | Physikalische u. naturbezogene  |
| Lebenslaufphasen             |   | 1   | 2   | 3  | 4   |
| Herstellung                  | Produktplanung, Entwicklung, Konstruktion | 1.1 Stand der Technik, Entwicklungs-Know-how  | 1.2 Bekannte Naturgesetze und -effekte, Stoffe  | 1.3 Stand der Arbeitswissenschaft, verfügbare ergonom. Versuchseinrichtg.                      | 1.4 Motivation u. Ausbildung des Entwickl.-pers., Konstruktionsmethodik                 |
|                              | Arbeitsvorbereitung und Teilefertigung    | 2.1 Verfügbare Fertigungs- u. Betriebsmittel, technologisches Know-how                    | 2.2 Technologische Materialeigenschaften, fertigungsbedingte Belastungen                        | 2.3 Teilehandhabung, Verletzungsgefahr durch Grate, Fügbarkeit (Fase)                          | 2.4 Qualifikation des Fertigungspersonals, fertigungsgerechte Bemaßung                  |
|                              | Montage                                   | 3.1 Verfügbare Montagewerkzeuge und Hilfsmittel   | 3.2 Montagebedingte Belastungen, Klima bei Baustellenmontage                                    | 3.3 Teilehandhabung: Gewicht, Größe  | 3.4 Teileerkennbarkeit, Verwechslungsgefahr   |
| Verteilung                   | Transport                                 | 4.1 Verfügbare Transportmittel (Lademaße), Ladegeschirre                                  | 4.2 Spezielle klimatische Bedingungen (z.B. Seetransport)                                       | 4.3 Gewichte, Griffe, Schwerpunkte, Sicherheit beim Beladen                                    | 4.4 Kennzeichnung empfindlicher Teile u. der Lastangriffsstellen                        |
|                              | Lagerung                                  | 5.1 Platzbedarf, Gewicht, Verpackung  | 5.2 Lagerungsbedingte Alterung  | 5.3 Handhabung im Lager, Stapelbar-, Standfestigkeit   | 5.4 Rücksicht auf ungelernete Lagerarbeiter   |
|                              | Vertrieb                                  | 6.1 Werbewirksame technische Prinzipie  | 6.2 Korrosionsbeständigkeit u.ä. als Verkaufsargument   | 6.3 Ergonomische Vorzüge gegenüber der Konkurrenz  | 6.4 Firmenimage, Vorführung, Herkunftsinformation                                       |
| Verwendung                   | Betrieb und Stillstand                    | 7.1 Funktion, Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Wirkungsgrad, Klapp- oder Zusammenlegbarkeit, | 7.2 Betriebsbedingte Belastungen u. Bewegungen, klimatische Umgebungsbedingungen, Verfügbarkeit | 7.3 Ergonomische Bedingungen, Sicherheit, Vermeiden von Belästigungen (z.B. Wärme, Geräusche), | 7.4 Einfache sinnfällige Bedienung, Bedienungsanleitungen, Aussehen in Ruhestellung und |



|             |           |    |   |  |  |  |
|-------------|-----------|----|---|--|--|--|
|             |           |    | Rücksicht auf Nachbarsysteme                                | von Wasser und Luft                              | Hygiene  | Betrieb  |
|             | Wartung   | 8  | 8.1 Zahl der Wartungsstellen, verfügbare Werkzeuge          | 8.2 Wartungsbedingte Belastungen und Bewegungen  | 8.3 Zugänglichkeit und Sicht zu Wartungsstellen        | 8.4 Markierung von Wartungsstellen, Wartungsplan                 |
|             | Reparatur | 9  | 9.1 Austauschbarkeit von Verschleißteilen                   | 9.2 Reparaturbedingte Belastungen und Bewegungen | 9.3 Bewegungsspielraum, Kraft u. Sicht bei Reparaturen | 9.4 Fehlersuchpläne, Verschleißanzeige                           |
| Rückführung | Recycling | 10 | 10.1 Wiederverwendung, Wiederverwertung, Weiterverarbeitung | 10.2 Grad der Umweltbelastung                    | 10.3 Gefährdung durch Gifte, Strahlung                 | 10.4 Einfluss auf Firmenimage bei Verursachung von Umweltschäden |

| Wirtschaftliche  |   | Normative   |  |   | Sonstige |
|--|---|---|--|---|----------|
| Kostenbezogene   | Organisatorische u. planerische   | Juristische und gesellschaftliche                                     | Normen und Richtlinien   | Sonstige  |          |
| 5  | 6   | 7   | 8  | 9   |          |
| 1.5 Entwicklungskosten   | 1.6 Entwicklungsdauer, Rücksicht auf übergeordnete Unternehmensziele      | 1.7 Schutzrechte für Lösungsprinzipie                                 | 1.8 VDI-Richtlinien  | 1.9 Berücksichtigung von Trends, Moden, politischen Entwicklungen   |          |
| 2.5 Fertigungslöhne, Materialkosten, Maschinenkosten   | 2.6 Lieferanten, Fertigungsplanung, Investitionen                         | 2.7 Schutzrechte für Fertigungstechnologien                           | 2.8 Normen für Fertigungsmittel (DIN, ISO), Stoffnormen  | 2.9 Rohstoffmarkt, Arbeitsmarkt, Automatisierung  |          |
| 3.5 Montagelöhne, Werkzeugkosten   | 3.6 Stückzahlen, Lagerhaltung von Werkstoffen, Halbzeugen usw.            | 3.7 Schutzrechte für Montagetechnologien                              | 3.8 Werkzeugnormen, Normen für Verbindungen  | 3.9 Rohstoffmarkt, Arbeitsmarkt, Automatisierung  |          |
| 4.5 Transportkosten, Zölle   | 4.6 Wahl eigener Transportmittel oder Inanspruchnahme von Spediteuren     | 4.7 Haftung für Transportschäden, Zollbestimmungen                    | 4.8 Normen für Verkehrsmittel, Fördermittel, Verpackungen  | 4.9 Langfristige Änderungen von Transportmitteln oder Lagerungstechniken  |          |
| 5.5 Raumkosten, Kapitalkosten  | 5.6 Durchschnittliche Lagerzeiten, Lagerorganisation                      | 5.7 Vorschriften über zulässige Lagerungsdauern                       | 5.8 Normen für Lagerregale, Türen, Tore  | 5.9 Langfristige Änderungen von Transportmitteln oder Lagerungstechniken  |          |
| 6.5 Erzielbare Verkaufserlöse, verfügbarer Werbeaufwand  | 6.6 Vertriebswege, Vertriebsorganisationen                                | 6.7 Verbraucherschutzgesetze, Garantieleistungen, Konventionalstrafen | 6.8 Werksinterne Vertriebsrichtlinien  | 6.9 Marktforschung, Absatzmärkte (Inland, Ausland)  |          |
| 7.5 Lohnkosten für Bedienungspersonal, Kapitalkosten, Raumkosten, Kosten für Energie- und Betriebsstoffe | 7.6 Inbetriebsetzungstermin, Nutzungsdauer, Stillstandszeiten             | 7.7 Arbeitsschutzgesetze, Sicherheitsbestimmungen und -vorschriften   | 7.8 TÜV, VDE-, VDI-Richtlinien, ISO-, DIN-Konstruktions-, Güte-, Typ-, Prüf- und Sicherheitsnormen | 7.9 Leistungen von Konkurrenzprodukten, Eindrücke von Messen u. Ausstellungen, Schrifttum, eigene ältere Produkte |          |
| 8.5 Wartungskosten   | 8.6 Wartungsintervalle  | 8.7 Wartungsverträge  | 8.8 Wartungsrichtlinien, Normen für Betriebsmittel   | 8.9 Trend zur Wartungsfreiheit  |          |
| 9.5 Direkte Reparaturkosten infolge Ausfallzeiten  | 9.6 Kundendienstorganisation, Reparatur im Werk oder in Vertragswerkstatt | 9.7 Verträge mit Einzelhändlern u. Werkstätten                        | 9.8 Werkzeugnormen   | 9.9 Trend zum Austausch statt Reparatur   |          |
| 10.5 Recyclingkosten bzw. -erlöse  | 10.6 Öffentlichkeitsarbeit zum Umweltschutz                               | 10.7 Umweltschutzgesetze  | 10.8 Werksinterne Richtlinien  | 10.9 Allgemein gestiegenes Umweltbewusstsein  |          |

## A2 Funktionsmodell

### A2-1 Umsatzorientierte Funktionsmodellierung

#### Grundlagen und formale Regeln

Zentraler Baustein im Umsatzorientierten Funktionsmodell stellt die Darstellung einer Funktion dar. Diese wird über eine Operation beschrieben und besitzt einen Ein- und Ausgangszustand.

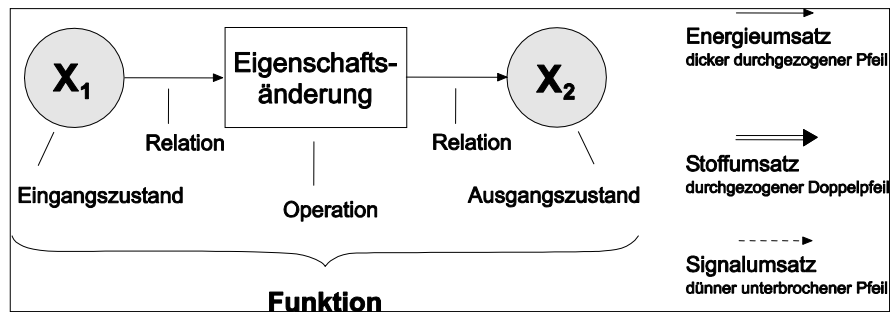


Abb. A2-1. Formaler Aufbau einer Funktion im Umsatzorientierten Funktionsmodell

Man unterscheidet drei Arten von Wirkrichtungen der Relationen, die in unterschiedlichen Pfeilsymbolen dargestellt werden:

|                     |   |
|---------------------|---|
| <br>Einfach wirkend | Bei <b>einfach wirkenden</b> Relationen deutet die Pfeilspitze die Richtung der gewünschten Zustandsänderung und definiert damit eindeutig Ein- und Ausgangszustand einer Funktion.   |
| <br>Doppelt wirkend | <b>Rückwirkende Relationen</b> bei Zustandsänderungen, die sowohl in der einen als auch in der Gegenrichtung ablaufen können - beispielsweise bei oszillierenden Transportvorgängen -, werden durch einen Doppelpfeil beschrieben.                      |
| <br>Ungerichtet     | <b>Ungerichtete Relationen</b> ohne Orientierung durch eine Pfeilspitze werden dann nötig, wenn eine Unterscheidung von Ein- und Ausgangszustand nicht mehr möglich ist, beispielsweise auf Grund von Gleichgewichtsbedingungen für Kräfte und Momente. |

Abb. A2-2. Wirkrichtungen von Relationen im Umsatzorientierten Funktionsmodell

Folgende formale Regeln gelten bei der Erstellung Umsatzorientierter Funktionsmodelle:

- Reihenfolgeregel: Die Bausteine Zustand, Relation und Operation werden ausschließlich in der Reihenfolge Zustand-Relation-Operation-Relation-Zustand-Relation-Operation-Relation-Zustand usw. verwendet
- Flussregel: Die Art des Umsatzes kann sich innerhalb des Hauptumsatzes nicht ändern, die Relationsart ändert sich im gesamten Umsatz nicht (Flussregel).
- Vollständigkeitsregel: Ein Hauptumsatzes beginnt mit einem oder mehreren Zuständen und endet mit einem oder mehreren Zuständen.

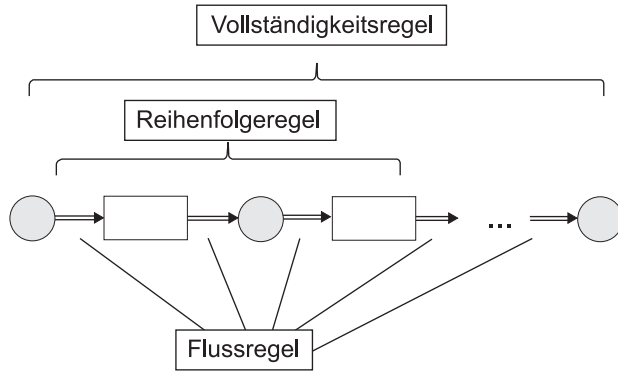


Abb. A2-3. Reihenfolge-, Vollständigkeits- und Flussregel

Des Weiteren kann ein Zustand mehreren Operationen oder eine Operation mehreren Zuständen zugeordnet sein:

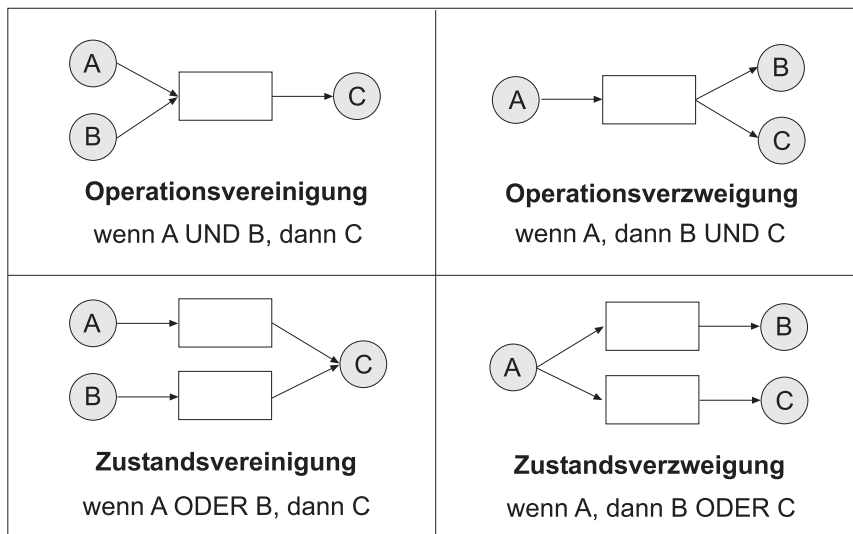


Abb. A2-4. Formale Strukturvereinigung und -verzweigung

Mit den damit definierten Elementen und formalen Regeln lassen sich die Anordnungen Reihenschaltung, Parallelschaltung und Kreisschaltung aufbauen:



Abb. A2-5. Reihenschaltung

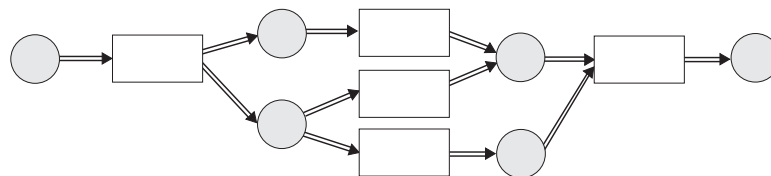


Abb. A2-6. Parallelschaltung

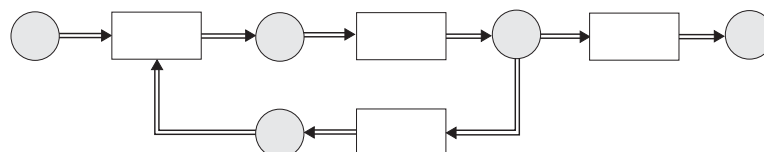


Abb. A2-7. Kreisschaltung

Bei der Modellierung der Nebensätze gelten grundsätzlich dieselben Regeln wie für die Modellierung des Hauptumsatzes (Reihenfolge-, Vollständigkeits- und Flussregel, Strukturvereinigung und -verzweigung). Grundsätzlich werden im Nebensatz Zustände herbeigeführt, die mit Operation im Hauptumsatz in Verbindung stehen. Die Nebensätze wiederum können weitere Nebensätze besitzen.

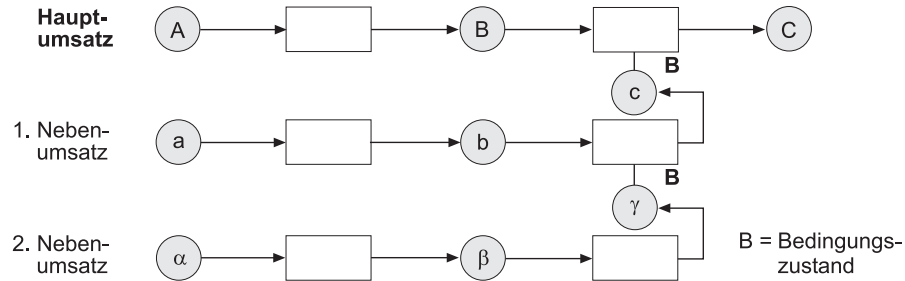


Abb. A2-8. Hierarchische Verknüpfung von Haupt- und Nebensätzen

Die Nebensätze können über verschiedene Zustände mit dem Hauptumsatz verknüpft werden. Folgende Darstellung und Tabelle gibt eine Übersicht über die drei möglichen Verknüpfungen zwischen Haupt- und Nebensätzen:

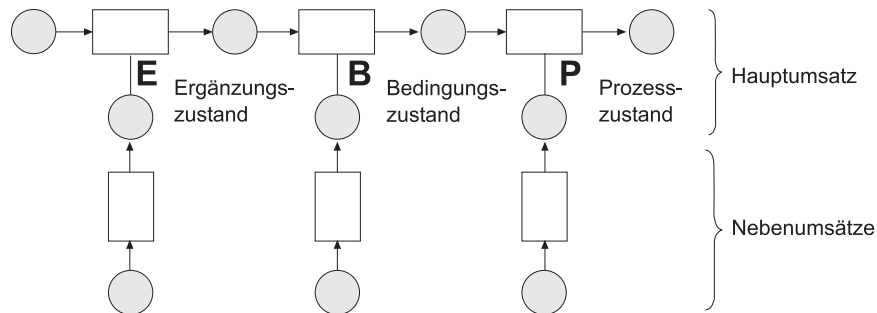


Abb. A2-9. Verknüpfung von Hauptumsatz und Nebensätzen

| Bezeichnung des Zustands im Nebensatz | Beschreibung  | Beispiel   |
|---------------------------------------|---|--|
| <b>Ergänzungszustand</b>              | Ein Hauptumsatz führt zu einem Zustand in einem Nebensatz, der sich aufgrund von Gleichgewichtsbedingungen oder Erhaltungssätzen zwangsweise ergibt.        | Im Hauptumsatz wird ein Drehmoment in einem Getriebe gewandelt, das entstehende Reaktionsmoment muss im Getriebegehäuse abgestützt werden (Nebensatz Reaktionsmoment abstützen). |
| <b>Bedingungs-zustand</b>             | Ein Zustand im Nebensatz ist notwendig für eine Operation im Hauptumsatz. Liegt dieser Zustand nicht vor, kann die Operation im Hauptumsatz nicht erfolgen. | Der Anschluss zur Stromversorgung eines Elektromotors muss geschlossen sein, damit der Motor elektrische Energie in mechanische Energie wandeln kann.                            |
| <b>Prozesszustand</b>                 | Ein Nebensatz knüpft an die Eigenschaftsänderung des Hauptumsatzprodukts an.  | Im Hauptumsatz wird ein Objekt transportiert, mittels eines Sensors wird die Position in einem Nebensatz ermittelt.  |

Abb. A2-10. Übersicht und Beschreibung der Verknüpfungen zwischen Haupt- und Nebensätzen

### A2-2 Checkliste zur Variation der Funktion

Folgendes Vorgehen sollte bei der Systematischen Variation eines Umsatzorientierten Funktionsmodell gewählt werden:

1. Aufbau des Funktionsmodells.
2. Systematisches Ableiten von Alternativen des Funktionsmodells auf Grundlage der gegebenen Variationsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der Zielformulierungen.
3. Prüfen der physikalischen bzw. wirkgeometrischen Umsetzbarkeit der Alternativen
4. Bewertung und Auswahl umsetzbarer Alternativen

Zur Unterstützung des Entwicklung von alternativen Funktionsmodellen kann folgende Checkliste verwendet werden:

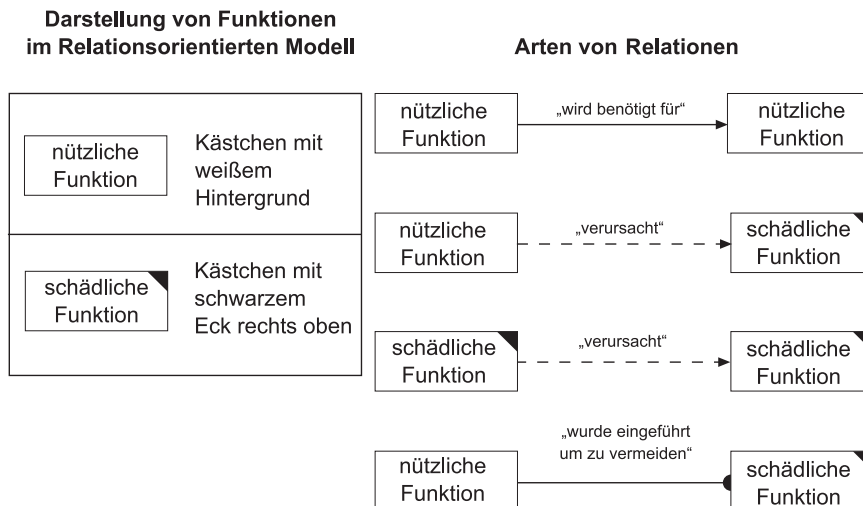
| Operation                           | vorher        | nachher         |
|-------------------------------------|---------------|-----------------|
| Weglassen von Funktionen            | → A → B → C → | → A → C →       |
| Hinzufügen neuer Funktionen         | → A → B →     | → A → X → B →   |
| Vertauschen von Funktionen          | → A → B →     | → B → A →       |
| Reihenschaltung gleicher Funktionen | → A →         | → A → A →       |
| Parallelschaltung von Funktionen    | → A → B →     | → A<br>B →      |
| Kreisschaltung von Funktionen       | → A → B →     | → A<br>B →      |
| Zusammenfassen von Funktionen       | → A → B → C → | → AB → C →      |
| Aufteilen von Funktionen            | → A → B →     | → A1 → A2 → B → |

Abb. A2-11. Mögliche Operationen zur Systematischen Variation eines Umsatzorientierten Funktionsmodells

### A2-3 Relationsorientierte Funktionsmodellierung

#### Grundlagen und formale Regeln

Es werden zwei Arten von Funktionen unterschieden: nützliche und schädliche Funktionen, die wie unten abgebildet dargestellt werden. Das Funktionsmodell wird durch die sinnvolle Verknüpfung unterschiedlicher technischer Funktionen gebildet. Zur Verknüpfung der Funktionen stehen drei Relationsarten zur Verfügung, die in folgenden Relationsmustern verwendet werden:

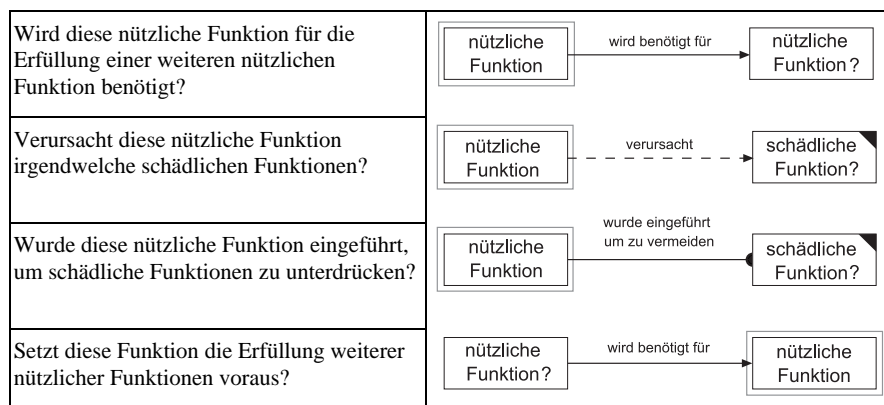


**Abb. A2-12.** Darstellung von Funktionen und Arten von Funktionen im Relationsorientierten Funktionsmodell

Der Aufbau des Funktionsmodells erfolgt durch systematisches „Befragen“ des betrachteten technischen Systems. Dabei bietet sich folgendes formales Vorgehen an:

1. Fragen Sie sich: „Was ist die wesentliche nützliche Funktion des betrachteten Systems?“ und zeichnen Sie diese auf.
2. Fragen Sie sich: „Was ist die wesentliche schädliche Funktion des betrachteten Systems?“ und zeichnen Sie diese auf.
3. Stellen Sie die 4 Fragen an die wesentliche nützliche Funktion und ergänzen Sie das Funktionsmodell um die zusätzlichen Funktionen und ihre Verknüpfungen.
4. Stellen Sie die 4 Fragen an die wesentliche schädliche Funktion und ergänzen Sie das Funktionsmodell um die zusätzlichen Funktionen und ihre Verknüpfungen.
5. Befragen Sie die neu hinzugekommenen Funktionen analog zu den Punkten 3 und 4. Ergänzen Sie das Funktionsmodell um die zusätzlichen Funktionen und ihre Verknüpfungen.
6. Brechen Sie den Aufbau des Funktionsmodells ab, wenn alle wichtigen nützlichen und schädlichen Funktionen des betrachteten Systems abgebildet sind. Dies ist meist nach 2 bis 3 Durchgängen der Fall.

*Vier Fragen an nützliche Funktionen*



**Abb. A2-13.** Vier Fragen an nützliche Funktionen zum Erstellen von Relationsorientierten Funktionsmodellen

Vier Fragen an schädliche Funktionen

|   |  |
|---|--|
| Wird diese schädliche Funktion durch eine andere schädliche Funktion verursacht?        |  |
| Verursacht diese schädliche Funktion weitere schädliche Funktionen?                     |  |
| Wird diese schädliche Funktion durch eine nützliche Funktion verursacht?                |  |
| Wurde eine nützliche Funktion eingeführt, um diese schädliche Funktion zu unterdrücken? |  |

Abb. A2-14. Vier Fragen an schädliche Funktionen zum Erstellen von Relationsorientierten Funktionsmodellen

A2-4 Problemformulierungen

Aufbauend auf ein Relationsorientiertes Funktionsmodell können Problemformulierungen abgeleitet werden. Nützliche Funktionen werden durch runde Klammern gekennzeichnet, schädliche Funktionen durch eckige Klammern. Problemformulierungen werden in folgenden Schritten aus dem Funktionsmodell abgeleitet:

1. Beginnend mit der wesentlichen nützlichen oder der wesentlichen schädlichen Funktion des Modells werden alle Funktionen mit einer Ordnungsnummer versehen. Dabei bekommen Funktionen eine umso höhere Nummer, je „weiter entfernt“ sie von der wesentlichen nützlichen oder schädlichen Funktion sind.
2. Beginnend mit der Funktion Nr. 0 werden bei der Ableitung von Problemformulierungen charakteristische Konstellationen zwischen Funktionen des Modells nach formalen Regeln in Handlungsanweisungen umgesetzt. Die Problemformulierungen zu einer Funktion werden fortlaufend nummeriert.

Er ergeben sich für unterschiedliche charakteristische Konstellationen entsprechende Problemformulierungen. In der folgenden Tabelle sind diese zusammengestellt.

| Charakteristische Konstellationen | Problemformulierungen  |
|-----------------------------------|--|
|                                   | Finde eine Möglichkeit um (NF 1) zu verbessern.<br>Finde einen alternativen Weg um (NF 1) zu ermöglichen, der nicht (NF 0) voraussetzt.  |
|                                   | Finde eine Möglichkeit um [SF 1] zu vermeiden oder zu vermindern, unter der Bedingung, dass [SF 0] erfolgt.<br>Finde eine Möglichkeit, von [SF 1] zu profitieren.                                  |
|                                   | Finde einen alternativen Weg um [SF 1] zu vermeiden oder zu vermindern, der nicht (NF 0) voraussetzt.<br>Finde eine Möglichkeit, von [SF 1] zu profitieren.  |
|                                   | Finde eine Möglichkeit, (NF 0) zu vermeiden.<br>Finde eine Möglichkeit, [SF 1] zu vermeiden oder zu vermindern unter der Bedingung, dass (NF 0) erfolgt.   |
|                                   | Finde eine alternative Möglichkeit (NF 0), die (NF 1) ermöglicht und nicht [SF 1] verursacht.<br>Finde einen Weg den Widerspruch aufzulösen: (NF 0) ermöglicht (NF 1), ohne [SF 1] zu verursachen. |

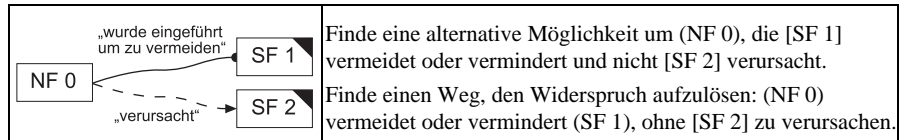


Abb. A2-15. Charakteristische Konstellationen im Relationsorientierten Funktionsmodell und entsprechende Problemformulierungen

### A2-5 Nutzerorientierte Funktionsmodellierung

Bei einer Nutzerorientierten Funktionsmodellierung werden verschiedene Anwendungsfälle in einem Modell skizziert. Die Modellierung ist angelehnt an die Use-Case-Diagramme der Modellierungssprache UML [Rumbough et al. 1993, Brügge et al. 2000]. Zur Modellierung stehen verschiedene Bausteine zur Verfügung:

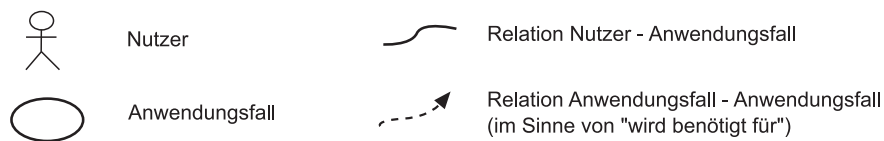


Abb. A2-16. Bausteine zur Modellierung eines Nutzerorientierten Funktionsmodells

Am Beispiel eines Handrührgeräts soll die Zusammenstellung eines Nutzerorientierten Funktionsmodells erläutert und gezeigt werden. Dabei kann beispielsweise untersucht werden, mit welchen Nutzern das Gerät in welchen Anwendungen in Berührung kommt. Die Nutzerorientierte Funktionsmodellierung stellt ein Werkzeug bereit, um die Beanspruchungen, denen ein Handrührgerät ausgesetzt ist, zu erfassen und zu dokumentieren [Lindemann 2007].

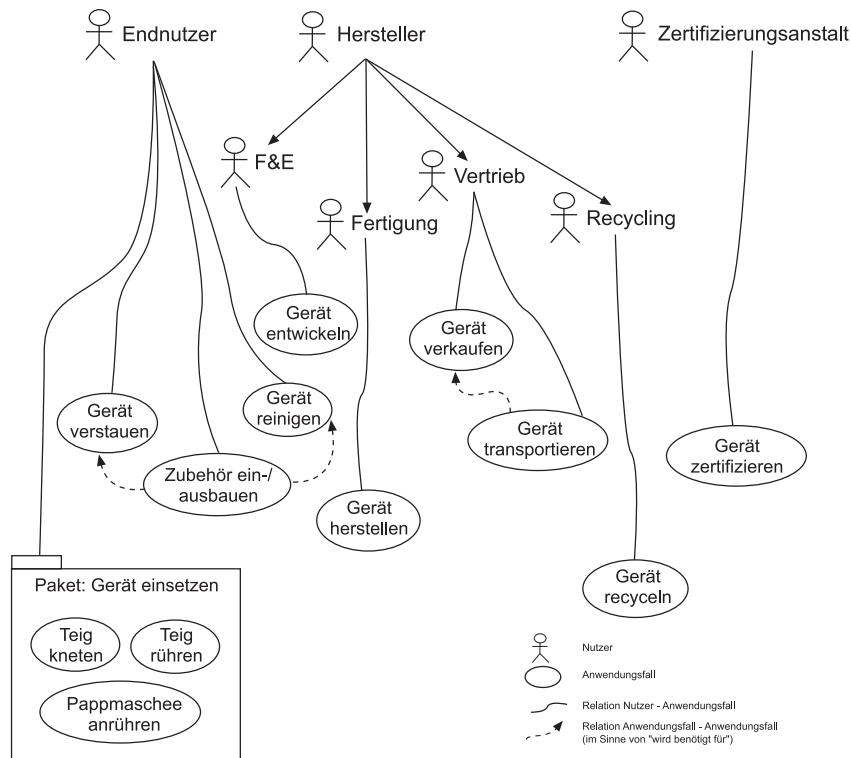


Abb. A2-17. Nutzerorientierte Funktionsmodellierung am Beispiel eines Handrührgeräts



## Internet-Anhang A7.2

Aus dem Buch Ponn & Lindemann der Anhang

A3 „Wirkmodell“ (Nummerierung nach dem Buch Ponn & Lindemann, nicht nach IPE!)

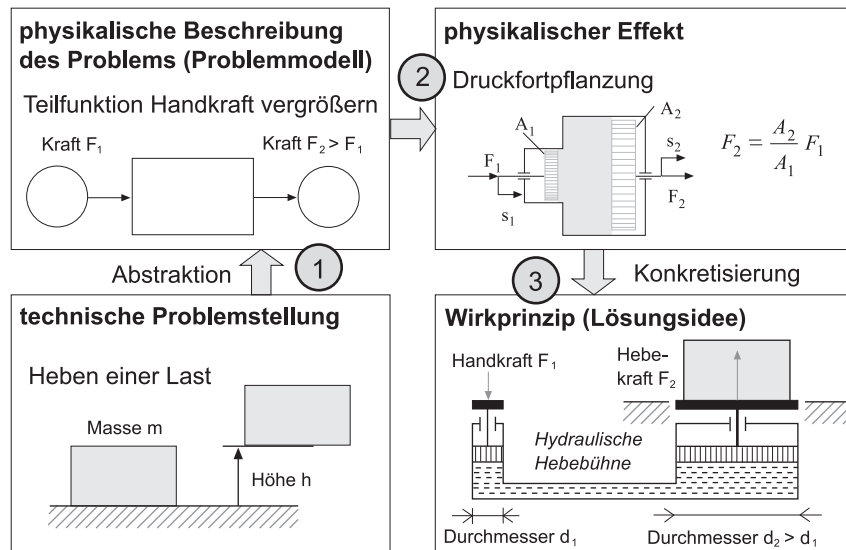
(Phys. Effekte; Widersprucherorientierte Lösungssuche und Bionik mit biologischer Assoziationsliste)

### A3 Wirkmodell

#### *A3-1 Lösungssuche mit physikalischen Effekten*

Bei vielen konstruktiven Aufgaben kann die Lösungssuche mit Hilfe von physikalischen Effekten neue Sichtweisen eröffnen und Denkblockaden auflösen. Papierbasierte oder digitale Effektsammlungen unterstützen die systematische Suche nach geeigneten Effekten zur Realisierung der Systemfunktion. Sie enthalten in strukturierter Form Informationen zu den jeweiligen Effekten, zum Beispiel Skizzen, Formeln und Anwendungsbeispiele. Als Grundlage für die Lösungssuche mit physikalischen Effekten kann ein Umsatzorientiertes Funktionsmodell dienen.

| Nr | Schritt  | Methoden und Werkzeuge  |
|----|--|---|
| 1  | Abstraktion der Problemstellung:<br>Ermittlung zu realisierender Funktionen,<br>physikalische Beschreibung des Problems über<br>physikalische Eingangs- und Ausgangsgrößen | Umsatzorientierte<br>Funktionsmodellierung  |
| 2  | Lösungssuche auf abstraktem Niveau: Auswählen<br>geeigneter physikalischer Effekte zur<br>Realisierung der Funktion  | Effektesammlung,<br>Auswahlmatrix   |
| 3  | Übertragung auf die Problemstellung:<br>Konkretisierung der physikalischen Effekte zu<br>Wirkprinzipien durch Ergänzung um<br>geometrische und stoffliche Aspekte          | Kreativitätstechniken (zum<br>Beispiel Brainstorming,<br>Methode 6-3-5),<br>Systematische Variation |



### A3-2 Physikalische Effektesammlung

#### Liste physikalischer Effekte

| Nr                               | Effekt                    | Nr             | Effekt                 |
|----------------------------------|---------------------------|----------------|------------------------|
| <b>Statik starrer Körper</b>     |                           |                |                        |
| 01                               | Hebel (einseitig)         | 15             | Trägheit (rotatorisch) |
| 02                               | Hebel (zweiseitig)        | 16             | Stoß (allgemein)       |
| 03                               | Keil                      | 17             | Stoß (elastisch)       |
| 04                               | Kniehebel                 | 18             | Corioliskraft          |
| 05                               | Übertotpunkt              | 19             | Zentrifugalkraft       |
| 06                               | Seileck                   | 20             | Gravitation            |
| 07                               | Flaschenzug               | 21             | Präzessionsmoment      |
| <b>Elastizität fester Körper</b> |                           |                |                        |
| 08                               | Elastische Dehnung        | 22             | Hysterese              |
| 09                               | Elastische Biegung (1)    | 23             | Plastische Verformung  |
| 10                               | Elastische Biegung (2)    | <b>Reibung</b> |                        |
| 11                               | Scherung                  | 24             | Coulomb'sche Reibung   |
| 12                               | Torsion                   | 25             | Rollende Reibung       |
| 13                               | Querkontraktion           | 26             | Umschlingungsreibung   |
| <b>Dynamik</b>                   |                           |                |                        |
| 14                               | Trägheit (translatorisch) | 27             | Stick-Slip-Effekt      |
| <b>Schwingungen</b>              |                           |                |                        |
|                                  |                           | 28             | Gravitationspendel     |
|                                  |                           | 29             | Resonanz               |

| Nr                           | Effekt                                    | Nr                         | Effekt                                   |
|------------------------------|---|----------------------------|--|
| 30                           | Eigenfrequenz                             | <b>Magnetismus</b>         |  |
| 31                           | Stehende Welle                            | 60                         | Magnetische Anziehung (Abstoßung)        |
| <b>Molekularkräfte</b>       |   | 61                         | Magnetostriktion                         |
| 32                           | Kohäsion fester Körper                    | <b>Elektromagnetismus</b>  |  |
| 33                           | Adhäsion                                  | 62                         | Elektromagnetische Anziehung (Abstoßung) |
| 34                           | Kapillardruck                             | 63                         | Gesetz von Biot-Savart                   |
| 35                           | Kapillarwirkung                           | 64                         | Induktion (1)                            |
| 36                           | Diffusion                                 | 65                         | Induktion (2)                            |
| 37                           | Osmose                                    | 66                         | Lorentzkraft                             |
| 38                           | Piezo-Effekt                              | 67                         | Hall-Effekt                              |
| <b>Ideale Gase</b>           |   | 68                         | Wirbelstrom (1)                          |
| 39                           | Gesetz von Gay Lussac                     | 69                         | Wirbelstrom (2)                          |
| 40                           | Gesetz von Boyle-Mariotte                 | <b>Elektrische Leitung</b> |  |
| <b>Ruhende Flüssigkeiten</b> |   | 70                         | Thermoeffekt                             |
| 41                           | Druckkraft                                | 71                         | Peltier-Effekt                           |
| 42                           | Druckfortpflanzung                        | 72                         | Halbleiter                               |
| 43                           | Gravitationsdruck                         | 73                         | Transistoren                             |
| 44                           | Auftrieb                                  | 74                         | Elektrokinetischer Effekt                |
| <b>Strömungen</b>            |   | 75                         | Stoßionisation                           |
| 45                           | Gesetz von Toricelli                      | 76                         | Laser                                    |
| 46                           | Konti-Gleichung                           | 77                         | Vakuumentladung                          |
| 47                           | Gesetz von Bernoulli                      | <b>Wärmelehre</b>          |  |
| 48                           | Staudruck                                 | 78                         | Änderung des Aggregatzustandes           |
| 49                           | Gesetz von Hagen-Poiseuille               | 79                         | Wärmedehnungsanomalie                    |
| 50                           | Druckabfall (Rohrleitung)                 | 80                         | Wärmedehnung                             |
| 51                           | Viskose Reibung                           | <b>Wärmetransport</b>      |  |
| 52                           | Magnuseffekt                              | 81                         | Konvektion                               |
| 53                           | Profilauftrieb                            | 82                         | Wärmeleitung                             |
| 54                           | Strömungswiderstand                       | 83                         | Wärmespeicherung                         |
| <b>Elektrik</b>              |   | 84                         | Wärmestrahlung                           |
| 55                           | Gesetz von Ohm                            | <b>Akustik</b>             |  |
| 56                           | Elektrische Ladung                        | 85                         | Saite                                    |
| 57                           | Coulomb'sche Kraft                        | 86                         | Dopplereffekt                            |
| 58                           | Elektrostatistische Anziehung (Abstoßung) | 87                         | Schalldruck                              |
| 59                           | Dielektrische Wärmeverluste               |                            |  |

## Physikalische Größen – Variable Größen

| Bezeichnung                  | Zeichen       | Einheit    | Bezeichnung                | Zeichen                  | Einheit        |
|------------------------------|---------------|------------|----------------------------|--------------------------|----------------|
| Fläche                       | $A$           | $m^2$      | Länge                      | $l$                      | $m$            |
| Beschleunigung               | $a$           | $m/s^2$    | Drehmoment                 | $M$                      | $Nm$           |
| Coriolis-<br>beschleunigung  | $a_c$         | $m/s^2$    | Masse                      | $m$                      | $kg$           |
| Normalbeschleunigung         | $a_n$         | $m/s^2$    | Anzahl der Windungen       | $N$                      |                |
| Flussdichte                  | $B$           | $T$        | Leistung                   | $P$                      | $W$            |
| Kapazität                    | $C$           | $F$        | Druck                      | $p, p_d$                 | $Pa$           |
| Wellengeschwindigkeit        | $c$           | $m/s$      | Impuls                     | $p, p_i$                 | $Ns$           |
| Elektrische Feldstärke       | $E$           | $V/m$      | Elektrische Ladung         | $Q$                      | $C$            |
| Energie                      | $E_{Energie}$ | $J$        | Wärmemenge                 | $Q$                      | $J$            |
| Kraft                        | $F$           | $N$        | Elektrischer<br>Widerstand | $R$                      | $\Omega$       |
| Corioliskraft                | $F_c$         | $N$        | Hebelarm/Radius            | $r$                      | $m$            |
| Normalkraft                  | $F_n$         | $N$        | Entropie                   | $S$                      | $kcal/K$       |
| Zentrifugalkraft             | $F_z$         | $N$        | Weg                        | $s$                      | $m$            |
| Frequenz                     | $f$           | $Hz$       | Temperatur                 | $T$                      | $K$            |
| Magnetische<br>Feldstärke    | $H$           | $A/m$      | Zeit                       | $t$                      | $s$            |
| Höhe                         | $h$           | $m$        | Elektrische Spannung       | $U$                      | $V$            |
| Elektrische<br>Stromstärke   | $I$           | $A$        | Volumen                    | $V$                      | $m^3$          |
| Polares<br>Trägheitsmoment   | $I_p$         | $kgm^2$    | Geschwindigkeit            | $v, v_r$                 | $m/s$          |
| Sperrstrom                   | $I_{Sp}$      | $A$        | Arbeit                     | $W$                      | $J$            |
| Torsionsträgheitsmo-<br>ment | $I_t$         | $kgm^2$    | Winkel                     | $\alpha, \beta, \varphi$ | $^\circ$       |
| Massenträgheitsmo-<br>ment   | $J_m, I$      | $kgm^2$    | Magnetischer Fluß          | $\Phi$                   | $Wb$           |
| Teilchenstromdichte          | $J$           | $mol/m^2s$ | Elektrischer Leitwert      | $\kappa = 1/R$           | $S = 1/\Omega$ |
| Induktivität                 | $L$           | $H$        | Wellenlänge                | $\lambda$                | $m$            |
| Drehimpuls                   | $L_i$         | $Nms$      | Schubspannung              | $\tau$                   | $N/m^2$        |
|                              |               |            | Winkel-<br>geschwindigkeit | $\omega$                 | $Hz = 1/s$     |
|                              |               |            | Winkel-<br>beschleunigung  | $\dot{\omega}$           | $1/s^2$        |

| Bezeichnung                | Zeichen    | Einheit |
|----------------------------|------------|---------|
| Präzessionsgeschwindigkeit | $\omega_p$ | Hz      |

### Physikalische Größen – Materialkonstanten und Koeffizienten

| Bezeichnung                  | Zeichen      | Einheit       | Bezeichnung                        | Zeichen                      | Einheit         |
|------------------------------|--------------|---------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Spezifische Wärmekapazität   | $c$          | $kJ/kgK$      | Oberflächenspannung                | $\kappa_{\text{Oberfläche}}$ | $N/m$           |
| Auftriebsbeiwert             | $c_a$        | dimensionslos | Elektrische Leitfähigkeit          | $\kappa = 1/\rho$            | $1/\Omega m$    |
| Widerstandsbeiwert           | $c_w$        | dimensionslos | Rohrverlustzahl                    | $\lambda$                    | dimensionslos   |
| Diffusionskoeffizient        | $D$          | $m^2/s$       | Wärmeleitfähigkeit                 | $\lambda_l$                  | $W/mK$          |
| Elastizitätsmodul            | $E$          | $N/m^2$       | Querkontraktionszahl (Poissonzahl) | $\mu$                        | dimensionslos   |
| Emissionsgrad                | $e$          | dimensionslos | Reibwert                           | $\mu_r$                      | dimensionslos   |
| Schubmodul                   | $G$          | $N/m^2$       | Dynamische Viskosität              | $\eta$                       | $Pa \cdot s$    |
| Federkonstante               | $k$          | $N/m$         | Peltierkoeffizient                 | $\pi$                        | dimensionslos   |
| Seebeck Koeffizient          | $\alpha_s$   | $V/K$         | Dichte                             | $\rho_d$                     | $kg/m^3$        |
| Wärmeübertragungskoeffizient | $\alpha$     | $W/Km^2$      | Spezifischer Widerstand            | $\rho_w$                     | $\Omega mm^2/m$ |
| Wärmeausdehnungskoeffizient  | $\alpha_a$   | $1/K$         | Stefan-Boltzmann-Konstante         | $\sigma$                     | $W/m^2 K^4$     |
| Dielektrischer Verlustwinkel | $\delta$     | °             | Elektrokinetisches Potential       | $\xi$                        | V               |
| Dielektrizitätszahl          | $\epsilon_r$ | $F/m$         |                                    |                              |                 |



|   |    |             |             |                      |  |  |          |             |    |  |    |                      |                      |  |  |  |                |
|---|----|-------------|-------------|----------------------|--|--|----------|-------------|----|--|----|----------------------|----------------------|--|--|--|----------------|
| I | 15 |             |             | 64;65<br>66;67       |  |  |          |             |    |  |    | 64;65<br>75          | 55;66<br>67;72<br>77 |  |  |  |                |
| U | 16 | 38<br>58    | 38<br>56    | 64;65<br>68;69<br>74 |  |  | 68<br>69 |             | 74 |  |    | 55;66<br>67;72<br>77 | 64<br>65             |  |  |  | 70             |
| E | 17 |             |             |                      |  |  |          |             |    |  |    |                      |                      |  |  |  |                |
| H | 18 |             |             |                      |  |  |          |             |    |  |    |                      |                      |  |  |  |                |
| T | 19 |             |             |                      |  |  |          |             |    |  |    |                      |                      |  |  |  | 78             |
| Q | 20 | 22;23<br>24 | 22;23<br>24 |                      |  |  |          | 59;68<br>69 |    |  | 71 |                      |                      |  |  |  | 81;82<br>83,84 |

**Sammlung physikalischer Effekte (Auswahl)**

| Nr.          | Name   | Prinzipiskizze | Formel   |
|--------------|--|----------------|--|
| Beschreibung |  |                | Beispiel   |
| 01           | Hebel (einseitig)  |                | $M = F \cdot r$<br>$v = \omega \cdot r$  |
|              | Starrer, um eine Achse drehbar gelagerter Körper mit einseitigem Hebelarm.   |                | Drehmomentschlüssel, Nussknacker   |
| 02           | Hebel (zweiseitig)   |                | $\frac{l_1}{l_2} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{s_1}{s_2}$<br>$\dot{s} = v, \quad \ddot{s} = a$ |
|              | Starrer, um eine Achse drehbar gelagerter Körper mit zweiseitigem Hebelarm.  |                | Wippe, Kraftübersetzung  |
| 03           | Keil   |                | $F_2 = F_1 \frac{s_1}{s_2}$<br>$F_2 = \tan \alpha \cdot F_1$                               |
|              | Zwei um den Winkel $\alpha$ zur Basis geneigte Ebenen, auf die senkrecht stehende Flankenkräfte ausgeübt werden.     |                | Gewinde, Wegübersetzung, Bewegungsschraube   |
| 04           | Kniehebel  |                | $F_2 = \frac{F_1}{\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2}$  |
|              | Spezielle Hebelanordnung, die es ermöglicht sehr hohe Kraftübersetzungen ( $F_2 \rightarrow \infty$ ) zu generieren. |                | Backenbrecher, Kniehebelpresse   |

| Nr.   | Name                   | Prinzipiskizze               | Formel  |
|---|------------------------|------------------------------|---|
| Beschreibung  |                        |                              | Beispiel  |
| 05  | Übertotpunkt           |                              |   |
| Spezielle Hebelanordnung, stark mit dem Kniehebel verwandt. Öffnen bzw. Schließen der Anordnung geschieht durch Überwinden des Totpunkts. |                        |                              | Türverriegelungen, Flaschenverschlüsse                |
| 06  | Seileck                |                              | $F_3 = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \beta$              |
| Methode zur Ermittlung des Schnittpunkts der Wirkungslinien mehrerer Kräfte mit unterschiedlichen Angriffspunkten.                        |                        |                              | Seilstatik  |
| 07  | Flaschenzug            | <p>n = Anzahl der Rollen</p> | $F_1 = \frac{1}{n} F_2$<br>$F_2 = F_1 + F_0$          |
| n/2 fest übereinander und n/2 lose angeordnete Rollen werden abwechselnd von einem Seil umschlungen, das einseitig befestigt ist.         |                        |                              | Hebezeug  |
| 08  | Elastische Dehnung     |                              | $F = k \cdot \Delta l$<br>$F = EA \frac{\Delta l}{l}$ |
| Bei einem (stabförmigen) Körper erzeugt eine Zug- oder Druckkraft eine elastische Längenänderung.   |                        |                              | Zugstab, Federwaage                                   |
| 09  | Elastische Biegung (1) |                              | $F = \frac{3EI}{l^3} s$                               |
| Die Einwirkung eines Biegemoments auf ein   |                        |                              | Waage   |
| 10  | Elastische Biegung (2) |                              | $F = \frac{48EI}{l^3} s$                              |
| Die Einwirkung eines Biegemoments auf ein Volumenelement (Biegestab) resultiert in einer elastischen Verformung.                          |                        |                              | Blattfeder  |



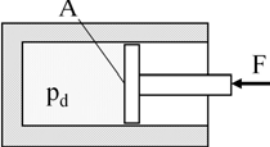
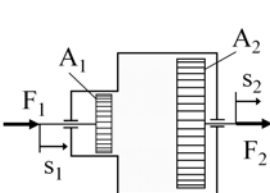
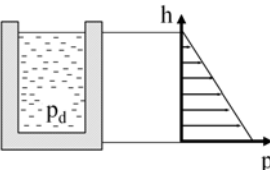
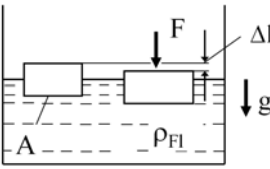
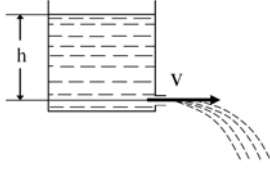
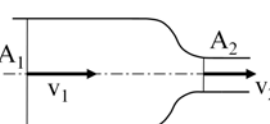
| Nr.  | Name                      | Prinzipiskizze | Formel  |
|--|---------------------------|----------------|---|
| Beschreibung   |                           |                | Beispiel  |
| 11   | Scherung                  |                | $F = GA \sqrt{\frac{2\Delta l}{l}}; \quad \Delta l = \frac{\Delta s^2}{2l}$   |
| Schubkraft (Krafteinwirkung parallel zu zwei gegenüberliegenden Körperflächen) verursacht eine Scherung (elastische Schubverformung).              |                           |                | Schraubenfeder  |
| 12   | Torsion                   |                | $M = \frac{GI_t}{l} \varphi$  |
| Schubkraft (Verdrehung der Schichten gegeneinander) verursacht eine Verdrillung (elastische Schubverformung) der Enden eines zylindrischen Stabes. |                           |                | Torsionsfeder   |
| 13   | Querkontraktion           |                | $F = \frac{EA}{\gamma} \Delta r$ $\Delta d = \gamma \frac{d_0}{l_0} \Delta l$ |
| Querschnittabnahme bei gleichzeitiger Längenzunahme eines auf Zug beanspruchten Bauteils.  |                           |                | Zugversuch, Flaschenverschluss  |
| 14   | Trägheit (translatorisch) |                | $F = ma$ $F = \frac{d}{dt} p_i = \frac{d}{dt} (m \vec{v})$                    |
| Widerstand eines Körpers mit Masse gegen eine Bewegungsänderung.   |                           |                | Raketenantrieb, Stoßvorgänge  |
| 15   | Trägheit (rotatorisch)    |                | $M = \frac{d}{dt} (L_i)$ $L_i = I_p \omega$                                   |
| Widerstand eines Körpers mit Masse gegen eine Bewegungsänderung.   |                           |                | Schwungrad  |
| 16   | Stoß (allgemein)          |                | $F_2 = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} F_1$ $F_1, F_2 = const.$                 |
| Zusammenprall zweier Körper bei Übertragung eines Impulses.  |                           |                | Hammer  |

| Nr. | Name  | Prinzipiskizze | Formel                                     |
|-----|---|----------------|--|
| 17  | Stoß (elastisch)  |                | $F = \sqrt{\frac{k}{m}} m v$               |
|     | Zusammenprall zweier Körper ohne bleibende Verformung.  |                | Billardkugeln,<br>Abschlag beim Golfen     |
| 18  | Corioliskraft   |                | $F_c = 2m\omega v_r$<br>$a_c = 2v_r\omega$ |
|     | Scheinkraft im rotierenden Bezugssystem auf mitbewegten Beobachter, welche diesen schräg von der Drehachse wegtreibt.                     |                | Föttingerkupplung                          |
| 19  | Zentrifugalkraft  |                | $F_z = mr\omega^2$<br>$a_n = r\omega^2$    |
|     | Scheinkraft im rotierenden Bezugssystem, die einen mitbewegten Beobachter radial nach außen von der Drehachse wegtreibt.                  |                | Zentrifuge,<br>Fliehkraftregler            |
| 20  | Gravitation   |                | $F = mg$                                   |
|     | Massenabhängige gegenseitige Anziehung von Körpern (hier nur Betrachtung der an der Erdoberfläche auf alle Körper wirkenden Schwerkraft). |                | Gewichtskräfte,<br>Waage                   |
| 21  | Präzessionsmoment   |                | $M = I_p \cdot \omega \cdot \omega_p$      |
|     | Zwangsrotation, bei der ein Kreisel aus der ursprünglichen Drehachse kippt und unter dem Winkel φ um diese „eiert“.                       |                | Kreisel                                    |
| 22  | Hysteresese   |                | $Q_z = \oint F ds$                         |
|     | Elastische Nachwirkungen bei schneller periodischer Belastung, die in einer Hystereseschleife resultieren, wobei Wärme frei wird.         |                | Ultraschallschweißen                       |

| Nr.   | Name                  | Prinzipiskizze | Formel   |
|---|-----------------------|----------------|--|
| Beschreibung  |                       |                | Beispiel   |
| 23  | Plastische Verformung |                | $Q = \int F ds$  |
| Dauerhafte irreversible Formänderung eines Werkstoffes unter Wärmeabgabe.   |                       |                | Schmieden  |
| 24  | Coulomb'sche Reibung  |                | $F_r = \mu_r \cdot F_n$<br>$Q = \mu_r \cdot F_r \cdot s$           |
| In Kontakt stehende Körper lassen sich nur gegenseitig bewegen, wenn Reibungswiderstandskräfte überwunden werden.         |                       |                | Bremse, Reibschluss, Reibschweißen                                 |
| 25  | Rollende Reibung      |                | $F_w = \mu_r \cdot F_Q$<br>$\mu_r = \tan \alpha = \frac{f}{r}$     |
| Reibungswiderstand, der bremsend auf bereits rollende Körper bzw. der Rollbewegung entgegen wirkt.                        |                       |                | Rollwiderstand, Kraftfahrzeug, Eisenbahn                           |
| 26  | Umschlingungsreibung  |                | $F_2 = e^{\mu_r \alpha} F_1$<br>$F_r = (e^{\mu_r \alpha} - 1) F_1$ |
| Haftreibung eines Seiles auf einer festen, vom Seil umschlungenen Rolle.  |                       |                | Ankerspill, Schiffspoller, Bandbremse, Seilbefestigung             |
| 27  | Stick-Slip-Effekt     |                | $w_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$   |
| Wechselhafter Übergang zwischen Haft- und Gleitreibung.   |                       |                | Werkzeugmaschinenschlitten, Scheibenwischerrubbeln                 |
| 28  | Gravitationspendel    |                | $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$                            |
| Schwingungssystem bestehend aus einem Pendelarm und einer frei beweglichen Masse, die von der Schwerkraft angezogen wird. |                       |                | Pendeluhr  |

| Nr.   | Name                         | Prinzipskizze | Formel  |
|---|------------------------------|---------------|---|
| Beschreibung  |                              |               | Beispiel  |
| 29  | Resonanz                     |               | $l = \frac{l_0}{1 - (f / \omega_0)^2}$                            |
| Mitschwingen eines Systems bei Anregung durch äußere Kräfte, deren Frequenz nahe der Eigenfrequenz des Systems ist.                     |                              |               | Zungenfrequenzmesser  |
| 30  | Eigenfrequenz                |               | $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ $M = 4\pi^2 I_p \rho f^2$ |
| Wenn ein freier ungedämpfter Schwinger einmalig aus der Ruhelage angeregt wird, führt er Schwingungen mit konstanter Eigenfrequenz aus. |                              |               | Bestimmung von Massen bzw. Trägheitsmomenten                      |
| 31  | Stehende Welle               |               | $l = \frac{c}{f}$   |
| Interferenz zweier Wellen gleicher Frequenz, Wellenlänge und Amplitude, die sich entgegenlaufen.  |                              |               | Kund'sches Rohr, Wellenlängenmesser                               |
| 32  | Kohäsion fester Körper (KFK) |               | $F_1 = F_2$ für $D > d$   |
| Zusammenhang zwischen den Molekülen <u>eines</u> Körpers durch gegenseitige Anziehung; Zusammenhalt der Materie.                        |                              |               | Formschluss   |
| 33  | Adhäsion                     |               | $F_1 = F_2 < \tau_{zul} \cdot A$                                  |
| Zusammenhang zwischen den Molekülen <u>zweier</u> Körper durch gegenseitige Anziehung; Haftung an den Grenzflächen.                     |                              |               | Stoffschluss, Kleben, Löten                                       |
| 34  | Kapillardruck                |               | $p_d = 2\kappa \cos \varphi \frac{1}{r}$                          |
| Eine Flüssigkeit steigt in einem engen Rohr um eine gewisse Höhe an, wenn die Innenfläche zuvor gut benetzt war.                        |                              |               | Docht, Kapillare  |

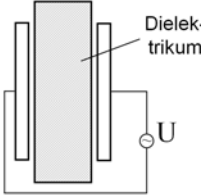
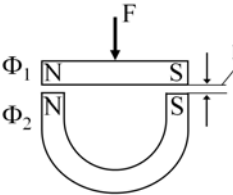
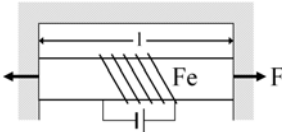
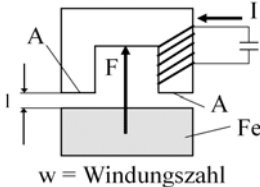
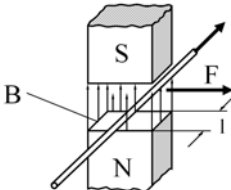
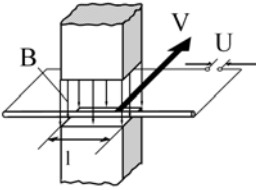
| Nr.   | Name                      | Prinzipiskizze | Formel  |
|---|---------------------------|----------------|---|
| Beschreibung  |                           |                | Beispiel  |
| 35  | Kapillarwirkung           |                | $F = \sum_0 2\pi r$<br>$\sum_0$ : Oberflächenspannung         |
| Eine Flüssigkeit steigt in einem engen Rohr um eine gewisse Höhe an, die von dem Rohrradius abhängig ist.                       |                           |                | Schwamm   |
| 36  | Diffusion                 |                | $J = -D \frac{\partial c}{\partial x}$                        |
| Unter Diffusion versteht man das selbständige Vermischen der Moleküle als Folge ihrer thermischen Bewegung.                     |                           |                | Schweißzusatz in der Schweißnaht                              |
| 37  | Osmose                    |                | $F = A \frac{n}{V} RT$  |
| Druck zwischen zwei durch eine semipermeable Membran getrennten Lösungen (Bestreben der Teilchen nach Konzentrationsausgleich). |                           |                | Filter, Manometer   |
| 38  | Piezo-Effekt              |                | $\Delta l = d \cdot U$<br>$F = c \cdot \Delta l$              |
| Das Anlegen einer elektrischen Spannung an einen piezokeramischen Körper verursacht eine Formänderung und umgekehrt.            |                           |                | Piezoelektrischer Kraftgeber, Dehnungsmesser, Piezozünder     |
| 39  | Gesetz von Gay Lussac     |                | $p_d = mRT \frac{1}{V}$ ; $\rho = \frac{m}{V}$                |
| Das Volumen eines eingeschlossenen Gases ist zu der absoluten Temperatur proportional, solange der Druck nicht verändert wird.  |                           |                | Verbrennungsmotor   |
| 40  | Gesetz von Boyle-Mariotte |                | $\Delta V = \left(1 - \frac{p_{d1}}{p_{d2}}\right) \cdot V_1$ |
| Das Volumen eines eingeschlossenen Gases gleicher Temperatur ist seinem Druck umgekehrt proportional.                           |                           |                | Pneumatische Feder  |

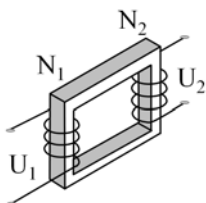
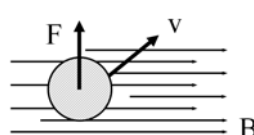
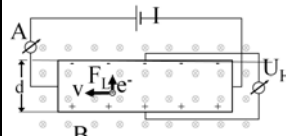
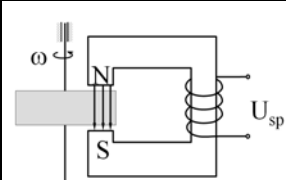

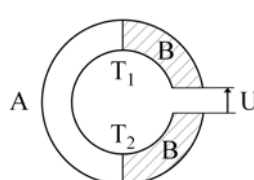
| Nr.  | Name                 | Prinzipiskizze  | Formel   |
|--|----------------------|---|--|
| Beschreibung   |                      |   | Beispiel   |
| 41   | Druckkraft           |    | $F = A p_d$  |
| Durch einen Druck auf eine Fläche ausgeübte Kraft.   |                      |   | Kolben, Verbrennungsmotor  |
| 42   | Druckfortpflanzung   |    | $F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1; \quad s_2 = \frac{A_1}{A_2} s_1$           |
| Die Kräfte an den Kolben verhalten sich wie die Kolbenflächen, d. h. wie die Quadrate der Kolbendurchmesser.                                   |                      |   | Hydraulik, Pneumatik, Hebeeinrichtungen, Bremsen, Bremskraftverstärker |
| 43   | Gravitationsdruck    |   | $p_d = \rho g h$   |
| Druck einer jeden Flüssigkeit, welche diese in Folge ihrer eigenen Gewichtskraft erfährt, auch Schweredruck genannt.                           |                      |   | Hochbehälter   |
| 44   | Auftrieb             |  | $F = \rho_{Fl} g A \cdot \Delta l$<br>$A \cdot \Delta l = V$           |
| Nach oben gerichtete Kraft, die an einem ins Wasser eingetauchten Körper wirkt und gleich der Gewichtskraft des verdrängten Fluidvolumens ist. |                      |   | Schwimmventil, Schiff  |
| 45   | Gesetz von Toricelli |  | $v = \sqrt{2gh}$   |
| Ausströmen von inkompressiblen Fluiden aus Behältnissen.   |                      |   | Bierfass   |
| 46   | Konti-Gleichung      |  | $v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$  |
| Durchflussgleichung für inkompressible Fluide.   |                      |   | Hydraulik  |

| Nr.   | Name                        | Prinzipiskizze | Formel   |
|---|-----------------------------|----------------|--|
| Beschreibung  |                             |                | Beispiel   |
| 47  | Gesetz von Bernoulli        |                | $v = \sqrt{\frac{2(\Delta p + \rho g h)}{\rho(1 - (A_2/A_1)^2)}}$                    |
| In einer stationären Strömung ist die Summe aus statischem und dynamischem Druck konstant.  |                             |                | Düse, Turbinenrad, Tragflügel  |
| 48  | Staudruck                   |                | $p_d = \frac{\rho}{2} v^2$   |
| Dynamischer oder kinetischer Druck, resultierend aus der Anströmgeschwindigkeit des Fluides.  |                             |                | Düse, Turbinenleitrad, Wasserstrahlpumpe   |
| 49  | Gesetz von Hagen-Poiseuille |                | $\dot{V} = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \Delta p_d$                                       |
| Für laminare Strömungen in einem Rohr bildet sich ein parabolisches Strömungsprofil mit Maximum in der Mitte aus.                     |                             |                | Laminare Rohrströmung  |
| 50  | Druckabfall (Rohrleitung)   |                | $p_d = \lambda_v \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2$                                     |
| Beim Durchströmen eines Rohres tritt ein Druckabfall auf.   |                             |                | Ölpipelines, Trinkwassernetz   |
| 51  | Viskose Reibung             |                | $F = A\eta \frac{dv}{dh}; \quad v = \frac{h}{\eta A} F;$ $\vec{F} \parallel \vec{v}$ |
| Zwischen einer festen Wand und einer bewegten Platte befindet sich eine Flüssigkeitsschicht, es tritt viskose Reibung auf.            |                             |                | Flüssigkeitsdämpfung, Ölschmierung, Gleitlager                                       |
| 52  | Magnuseffekt                |                | $F = 2\pi R^2 \rho \omega l_v$   |
| Durch Rotation des Zylinders nimmt die Strömungsgeschwindigkeit an der Oberseite zu und der statische Druck ab (Querkraft nach oben). |                             |                | Schiffsantrieb   |

| Nr.   | Name                                   | Prinzipiskizze | Formel  |
|---|--|----------------|---|
| Beschreibung  |  |                | Beispiel  |
| 53  | Profilauftrieb                         |                | $F = c_a \frac{\rho}{2} A v^2$ $\vec{F} \perp \vec{v}$                                |
| Am umströmten Körper wirkt auf der Unterseite ein Über- und auf der Oberseite ein Unterdruck (höhere Strömungsgeschwindigkeit). |  |                | Tragflügel, Kreiselerdichter  |
| 54  | Strömungswiderstand                    |                | $F = c_w \frac{\rho}{2} v^2$ $\vec{F} \parallel \vec{v}$                              |
| Proportionalitätsfaktor $c_w$ zwischen Druckabfall und Widerstandskraft; von Form des Körpers abhängig.                         |  |                | Landeklappen, Fallschirm  |
| 55  | Gesetz von Ohm                         |                | $I = \frac{U}{R}; \quad R = \frac{\rho l}{A}$   |
| In einem elektrischen Leiter ist die Stromstärke der Spannung direkt und dem Widerstand umgekehrt proportional.                 |  |                | Spannungsteiler, Schiebewiderstand  |
| 56  | Elektrische Ladung                     |                | $U = \frac{F}{Q} d = \frac{Q}{\epsilon A} d$ $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ |
| Quantisierte Ladungsmenge, immer an Materie gebunden wird durch Elektronen oder Ionen transportiert.                            |  |                | Kondensator   |
| 57  | Coulomb'sche Kraft                     |                | $F = QE$  |
| Kraft, die auf eine elektrische Punktladung in einem elektrischen Feld wirkt.   |  |                | Elektronenstrahlröhre, Fernseher  |
| 58  | Elektrostatische Anziehung (Abstoßung) |                | $F = \frac{1}{2} \frac{C}{l} U^2; \quad C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{l}$        |
| Basierend auf elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen permanenten oder induzierten elektrostatischen Ladungen.              |  |                | Photokopierer, Plattenkondensator   |

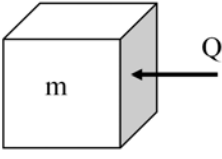
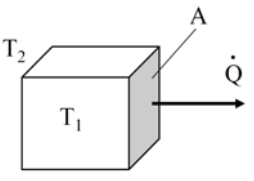
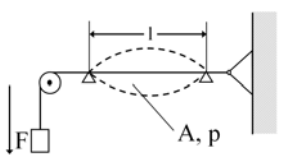
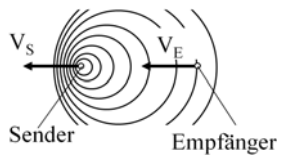
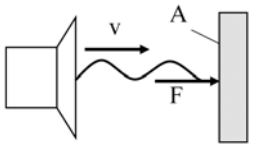


| Nr.  | Name                                     | Prinzipskizze   | Formel  |
|--|--|---|---|
| Beschreibung   |  |   | Beispiel  |
| 59   | Dielektrische Wärmeverluste              |    | $Q = 2\pi U^2 C f \tan \delta$                  |
| Energie, die ein Isolierstoff im Wechselfeld absorbiert und in Verlustwärme umwandelt.   |  |   | Kunststoffschweißen, Verkleben von Sperrholz    |
| 60   | Magnetische Anziehung (Abstoßung)        |    | $F = \frac{1}{2} \mu_0 A H^2$                   |
| Gleichartige Pole eines Magneten stoßen sich ab, ungleichartige Pole ziehen sich an.   |  |   | Magnetische Federung, Magnetkupplung            |
| 61   | Magnetostriktion                         |   | $F = k [l(B) - l(B_0)]$                         |
| Ferromagnetika ändern je nach Magnetfeldstärke geringfügig ihre Länge, wodurch im magnetischen Wechselfeld Ultraschall erzeugt wird. |  |   | Ultraschall                                     |
| 62   | Elektromagnetische Anziehung (Abstoßung) |  | $F = \frac{\mu_0 w^2 A}{l^2} I^2$               |
| Moleküle mit einem magnetischen Dipol richten sich im Magnetfeld aus und erhöhen dadurch die Kraftflussdichte.<br>w = Windungszahl   |  |   | Elektromagnet                                   |
| 63   | Gesetz von Biot-Savart                   |  | $l = \frac{F}{BI}$                              |
| Magnetfeldstärke für beliebige Leitergeometrie. Beitrag des Leiterstücks der Länge l vom stromdurchflossenen Leiter.                 |  |   | Elektromotor, Generator, Lautsprecher           |
| 64   | Induktion (1)                            |  | $I = \frac{F l}{B l}; \quad v = \frac{1}{Bl} U$ |
| Bei einer zeitlichen Änderung des Magnetflusses durch eine offene Oberfläche wird eine Spannung induziert.                           |  |   | Elektromotor, Lautsprecher, Drehpulmesswerk     |

| Nr. | Name  | Prinzipiskizze  | Formel   |
|-----|---|---|--|
| 65  | Induktion (2)   |    | $U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1; \quad I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1$ |
|     | Durch einen von der Spule 1 erzeugten magnetischen Fluss, wird in der Spule 2 eine Spannung induziert.  |   | Transformator, Übertrager                                    |
| 66  | Lorentzkraft  |    | $F = QBv$  |
|     | Kraft auf einen Massepunkt mit positiver elektrischer Ladung, der mit Relativgeschwindigkeit gegen Erreger eines Magnetfeldes bewegt.                     |   | Hallsonde  |
| 67  | Hall-Effekt   |   | $I = \frac{U}{BR} d$   |
|     | In einer stromdurchflossenen Leiterplatte im Magnetfeld werden die Elektronen durch die Lorentzkraft senkrecht abgelenkt, es entsteht eine Hall-Spannung. |   | Magnetfeldmessung, Hallmultiplikator                         |
| 68  | Wirbelstrom (1)   |  | $U = kB \frac{d\omega}{dt}$                                  |
|     | Induzierte Ströme in einem Leiter, der einer Magnetfeldänderung ausgesetzt ist, wirken dem ursprünglichen Magnetfeld entgegen.                            |   | Gleichstromdynamo, Beschleunigungsmesser                     |
|     | Wirbelstrom (2)   |  | $Q = const \cdot B^2 G \omega^2$ $\omega = 2\pi f$           |
|     | In einem elektrisch leitfähigen Körper, der sich in einem Wechselmagnetfeld befindet, entsteht infolge von Wirbelströmen Wärme.                           |   | Induktionserwärmung  |
| 70  | Thermoeffekt  |  | $U = \alpha_s (T_2 - T_1)$                                   |
|     | Fließt Strom durch eine Metallkombination (Thermoelement), so entsteht zwischen den beiden Berührungsstellen eine Temperaturdifferenz.                    |   | Temperaturmessung, Thermoelement                             |

| Nr. | Name   | Prinzipiskizze | Formel   |
|-----|--|----------------|--|
| 71  | Peltier-Effekt   |                | $Q = \pi I$  |
|     | Erwärmung bzw. Abkühlen an einer Phasengrenze zweier verschiedener elektronischer oder ionischer Leiter bei Stromfluss (Umkehrung des Thermoeffekts).                      |                | Kühlaggregat   |
| 72  | Halbleiter   |                | $I = I_{SP} \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right)$  |
|     | Material, mit einer elektrischen Leitfähigkeit, die je nach Temperatur zwischen derer metallischer Leiter (T hoch) und nicht metallischen Isolatoren (T bei 0 K) variiert. |                | Diode  |
| 73  | Transistoren   |                |  |
|     | Besteht aus einem in Durchlassrichtung und einem in Sperrichtung gepolten Gleichrichter.   |                | Computertechnik, Transistorradio   |
| 74  | Elektrokinetischer Effekt  |                | $U = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 \xi l}{\eta \kappa} p_d = \frac{l \eta}{\xi \epsilon_r \epsilon_0} v$ |
|     | An der Oberfläche eines Festkörpers bildet sich eine elektrochemische Doppelschicht. Es kommt zur Ladungstrennung und es entsteht elektrischer Strom.                      |                | Hydroelektrische Wasserpumpe   |
| 75  | Stoßionisation   |                |  |
|     | Tritt in einer gasgefüllten Röhre ein hochenergetisches Teilchen ein, ionisiert dieses ein Gasatom. In Folge Sekundärionisation entsteht eine Ladungslawine.               |                | Zählrohr   |
| 76  | Laser  |                | $\Delta E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda}$  |
|     | Der Übergang vieler Atome in den Grundzustand führt zu einer intensiven, monochromatischen, kohärenten und eng gebündelten Strahlung.                                      |                | Laserschweißen, Laserpointer   |

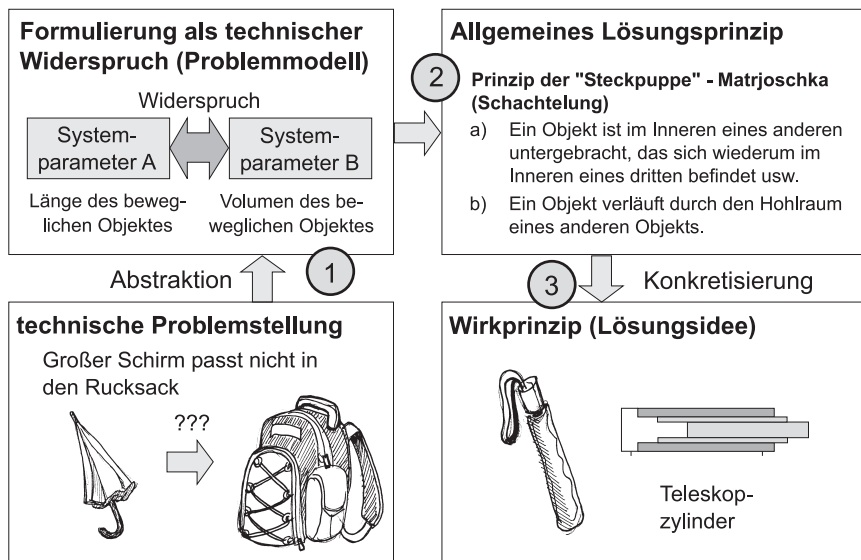
| Nr.  | Name                          | Prinzipiskizze | Formel  |
|--|-------------------------------|----------------|---|
| Beschreibung   |                               |                | Beispiel  |
| 77   | Vakuumentladung               |                | $U_{ak} = const. I_a^{2/3}$   |
| Elektrische Entladung im Vakuum zwischen zwei Leiterplatten.   |                               |                | Elektronenstrahlröhre, Diode  |
| 78   | Änderung des Aggregatzustands |                | Bei Phasenübergang gilt:<br>$T = const.$  |
| Eine Aggregatzustandsänderung ist immer mit Energiezufuhr oder -abfuhr bei konstanter Temperatur am Phasenübergang verbunden.                |                               |                | Temperaturkonstanthalter  |
| 79   | Wärmedehnungsanomalie         |                | Sprengen von Gestein mit Wasser   |
| Wasser hat unter Normaldruck bei 3,98 °C das kleinste Volumen und die größte Dichte, es dehnt sich bei Erwärmung und bei Abkühlung.          |                               |                |   |
| 80   | Wärmedehnung                  |                | $\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$<br>$F = \alpha E A \Delta T = k (l_{T_1} - l_{T_0})$ |
| Bei zunehmender Temperatur dehnen sich Körper aus, wobei ein linearer Zusammenhang zwischen Temperatur und Längenänderung festzustellen ist. |                               |                | Thermostat, Thermometer, Bimetall, Schrumpfsitz                                       |
| 81   | Konvektion                    |                | $\dot{Q} = h A (T_w - T_f)$   |
| Wärmeübertragung mit gleichzeitigem Stofftransport durch freie oder erzwungene Strömung von Materie.   |                               |                | Heizkörper, Wärmetauscher   |
| 82   | Wärmeleitung                  |                | $\dot{Q} = \frac{\lambda A}{l} (T_1 - T_2)$   |
| Wärmetransport im Inneren eines Körpers oder einer Phase durch Gitterschwingungen und bewegliche Ladungsträger.                              |                               |                | Wärmetauscher, Isolator   |

| Nr.   | Name             | Prinzipiskizze  | Formel   |
|---|------------------|---|--|
| Beschreibung  |                  |   | Beispiel   |
| 83  | Wärmespeicherung |    | $Q = c m (T_2 - T_1)$                                |
| Ein Wärmespeicher ist ein Körper, der als Energiesenke fungiert und Wärme aufnimmt.   |                  |   | Kachelofen   |
| 84  | Wärmestrahlung   |    | $\dot{Q} = e \sigma A (T_2^4 - T_1^4)$               |
| Wärmeübergang durch elektromagnetische Strahlung; im Vakuum einzige Form des Wärmetransports.   |                  |   | Heizflächen, Heizstrahler                            |
| 85  | Saite            |   | $f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{1}{A\rho} F}$          |
| Seilartiger, schwingungsfähiger Körper, der zwischen zwei Punkten eingespannt ist.  |                  |   | Frequenzeinstellung bei Saiteninstrumenten (Gitarre) |
| 86  | Dopplereffekt    |  | $f_E = f_S \frac{1 + v_E/c}{1 + v_S/c}$              |
| Ein Beobachter nimmt das Herannahen einer Schall- oder Lichtquelle als Frequenzerhöhung, ein Entfernen als Frequenzerniedrigung wahr. |                  |   | Geschwindigkeitsmessung                              |
| 87  | Schalldruck      |  | $F = \rho c A v$                                     |
| Durch die Schallschwingung hervorgerufener Wechseldruck; analog zum mechanischen Druck.   |                  |   | Mikrofon   |

**A3-3 Widerspruchsorientierte Lösungssuche**

Die von Altschuller begründete Methode nimmt ihren Ausgangspunkt bei Zielkonflikten, die auf Widersprüchen innerhalb eines technischen Systems basieren. Die Verbesserung eines Parameters (Teilziels) des Systems bewirkt dabei die gleichzeitige Verschlechterung eines anderen Parameters (Teilziels). Durch die Anwendung allgemeiner Lösungsprinzipien ist es hier möglich, die Widersprüche aufzulösen und innovative Lösungsideen zu generieren. Der Zugriff auf geeignete Prinzipien kann über die sogenannte Widerspruchsmatrix erfolgen. Dieser Ansatz ist ein Bestandteil der TRIZ-Methodik.

| Nr | Schritt   | Methoden und Werkzeuge  |
|----|---|---|
| 1  | Abstraktion der Problemstellung:<br>Formulierung als technischer Widerspruch, Zuordnung der sich widersprechenden Merkmale des Systems zu vorgegebenen technischen Parametern | Relationsorientierte Funktionsmodellierung, Problemformulierung, 39 technische Parameter nach Altschuller |
| 2  | Lösungssuche auf abstraktem Niveau:<br>Auswählen geeigneter allgemeiner Lösungsprinzipien   | Widerspruchsmatrix, 40 innovative Prinzipien nach Altschuller   |
| 3  | Übertragung auf die Problemstellung:<br>Anwendung der Lösungsprinzipien auf das konkrete technische Problem   | Kreativitätstechniken (zum Beispiel Brainstorming, Methode 6-3-5), Systematische Variation                |



### ***A3-4 Prinzipien zur Überwindung technischer Widersprüche***

#### **39 technische Parameter nach Altschuller**

##### **1. Masse eines beweglichen Objektes**

Die von der Schwerkraft verursachte Kraft, die ein bewegtes Objekt auf die ihn vor dem Fallen bewahrende Auflage ausübt. Ein bewegtes Objekt verändert seine Position aus sich heraus oder aufgrund externer Kräfte.

##### **2. Masse eines unbeweglichen Objektes**

Die von der Schwerkraft verursachte Kraft, die ein stationäres Objekt auf seine Auflage ausübt. Ein stationäres Objekt verändert seine Position weder aus sich heraus noch aufgrund externer Kräfte

##### **3. Länge eines beweglichen Objektes**

Länge, Höhe oder Breite eines Körpers in Bewegungsrichtung. Die Bewegung kann intern oder durch externe Kräfte verursacht sein.

##### **4. Länge eines unbeweglichen Objektes**

Länge, Höhe oder Breite eines Körpers in der durch keine Bewegung gekennzeichneten Richtung.

##### **5. Fläche eines beweglichen Objektes**

Ebene bzw. Teilebene eines Objektes, welche aufgrund interner oder externer Kräfte ihre räumliche Position verändert.

##### **6. Fläche eines unbeweglichen Objektes**

Ebene bzw. Teilebene eines Objektes, welche aufgrund interner oder externer Kräfte ihre räumliche Position nicht verändern kann.

##### **7. Volumen eines beweglichen Objektes**

Volumen eines Objektes, welches aufgrund interner oder externer Kräfte seine räumliche Position verändert.

##### **8. Volumen eines unbeweglichen Objektes**

Volumen eines Objektes, welches aufgrund interner oder externer Kräfte seine räumliche Position nicht verändern kann.

##### **9. Geschwindigkeit**

Das Tempo, mit dem eine Aktion oder ein Prozess zeitlich vorangebracht wird.

**10. Kraft**

Die Fähigkeit, physikalische Veränderungen an einem Objekt hervorrufen zu können. Die Veränderung kann vollständig oder teilweise, permanent oder temporär sein.

**11. Spannung oder Druck**

Die Intensität der auf ein Objekt einwirkenden Kräfte, gemessen als Kraft oder Spannung pro Fläche.

**12. Form**

Die äußerliche Erscheinung oder Kontur eines Objektes. Die Form kann sich vollständig oder teilweise, permanent oder temporär aufgrund einwirkender Kräfte verändern.

**13. Stabilität der Zusammensetzung des Objektes**

Die Widerstandsfähigkeit eines ganzen Objektes gegen aufgezwungene Formänderungen oder Instabilität.

**14. Festigkeit**

Die Fähigkeit eines Objektes, innerhalb definierter Grenzen Kräfte oder Belastungen auszuhalten, ohne zerstört zu werden.

**15. Haltbarkeit (Dauer des Wirkens) eines beweglichen Objektes**

Die Zeitspanne, während der ein sich räumlich bewegendes Objekt in der Lage ist, seine Funktion erfolgreich zu erfüllen.

**16. Haltbarkeit (Dauer des Wirkens) eines unbeweglichen Objektes**

Die Zeitspanne, während der ein räumlich fixiertes Objekt in der Lage ist, seine Funktion erfolgreich zu erfüllen.

**17. Temperatur**

Der Verlust oder Gewinn von Wärme als mögliche Gründe für Verlängerungen an einem Objekt während des geforderten Funktionsablaufes.

**18. Helligkeit (Sichtverhältnisse)**

Lichtenergie pro beleuchteter Fläche, Qualität und Charakteristik des Lichtes, Grad der Ausleuchtung.

**19. Energieverbrauch eines beweglichen Objektes**

Der Energiebedarf eines sich aufgrund interner oder externer Kräfte räumlich bewegendes Objektes.



**20. Energieverbrauch eines unbeweglichen Objektes**

Der Energiebedarf eines sich trotz äußerer Kräfte räumlich nicht bewegendes Objektes.

**21. Leistung, Kapazität**

Das für die betreffende Aktion benötigte Verhältnis aus Aufwand und Zeit. Dient zur Charakterisierung benötigter, aber unerwünschter Veränderungen in der Leistung eines Systems.

**22. Energieverluste**

Unfähigkeit eines Objektes Kräfte auszuüben, insbesondere wenn nicht gearbeitet oder produziert wird.

**23. Materialverluste**

Abnahme oder Verschwinden von Material, insbesondere wenn nicht gearbeitet oder produziert wird.

**24. Informationsverluste**

Abnahme oder Verlust an Informationen oder Daten.

**25. Zeitverluste**

Zunehmender Zeitbedarf zur Erfüllung einer vorgegebenen Funktion.

**26. Materialmenge**

Die benötigte Zahl an Elementen oder die benötigte Menge eines Elementes für die Erzeugung eines Objektes.

**27. Zuverlässigkeit (Sicherheit)**

Die Fähigkeit, über eine bestimmte Zeit oder Zyklenanzahl die vorgegebene Funktion erfüllen zu können.

**28. Messgenauigkeit**

Der Grad an Übereinstimmung zwischen gemessenem und wahren Wert der zu messenden Eigenschaft.

**29. Fertigungsgenauigkeit**

Das Maß an Übereinstimmung mit Spezifikationen.

**30. Von außen auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren**

Die auf ein Objekt einwirkenden, Qualität und Effizienz beeinflussenden äußeren Faktoren.

**31. Vom Objekt selbst erzeugte schädliche Faktoren**

Intern erzeugte Effekte, die die Qualität und Effizienz eines Objektes beeinträchtigen.

**32. Fertigungsfreundlichkeit**

Komfort und Einfachheit, mit der ein Produkt erzeugt werden kann.

**33. Bedienkomfort**

Komfort und Einfachheit, mit der ein Objekt bedient oder benutzt werden kann.

**34. Instandsetzungsfreundlichkeit (Reparaturfreundlichkeit)**

Komfort und Einfachheit, mit der ein Objekt nach Beschädigung oder Abnutzung wieder in den arbeitsfähigen Zustand zurückversetzt werden kann.

**35. Adaptionfähigkeit, Universalität**

Die Fähigkeit, sich an veränderliche externe Bedingungen anpassen zu können.

**36. Kompliziertheit der Struktur**

Anzahl und Diversität der Einzelbestandteile einschließlich deren Verknüpfung. Weiterhin ist hier die Schwierigkeit, ein System als Benutzer zu beherrschen, gemeint.

**37. Kompliziertheit der Kontrolle und Messung**

Anzahl und Diversität von Elementen bei der Steuerung und Kontrolle des Systems, aber auch der Aufwand, mit akzeptabler Genauigkeit zu messen.

**38. Automatisierungsgrad**

Die Fähigkeit, ohne menschliche Interaktion zu funktionieren.

**39. Produktivität (Funktionalität)**

Das Verhältnis zwischen Zahl der abgeschlossenen Aktionen und des dazu notwendigen Zeitbedarfes.

Widerspruchsmatrix (1 / 10)

| A: Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert (vergrößert, verringert, verbessert)? |  | B: Was verändert (vergrößert, verringert, verschlechtert) sich unzulässig, wenn Veränderungen gemäß A mit herkömmlichen Verfahren herbeigeführt werden? |                                 |                               |                                 |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     |      |  |            |   |   |            |                   |  |  |
|--|--|---|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|---------------------|------|--|------------|---|---|------------|-------------------|--|--|
|  |  | Masse des beweglichen Objekts   | Masse des unbeweglichen Objekts | Länge des beweglichen Objekts | Länge des unbeweglichen Objekts | Fläche des beweglichen Objekts | Fläche des unbeweglichen Objekts | Volumen des beweglichen Objekts | Volumen des unbeweglichen Objekts | Geschwindigkeit | Kraft | Spannung oder Druck | Form | Stabilität der Zusammensetzung des Objekts | Festigkeit | Dauer des Wirkens des beweglichen Objekts | Dauer des Wirkens des unbeweglichen Objekts | Temperatur | Sichtverhältnisse | Energieverbrauch des beweglichen Objekts | Energieverbrauch des unbeweglichen Objekts |
|  |  | 1   | 2                               | 3                             | 4                               | 5                              | 6                                | 7                               | 8                                 | 9               | 10    | 11                  | 12   | 13   | 14         | 15  | 16  | 17         | 18                | 19                                       | 20   |
| 1 Masse des beweglichen Objekts  |  |   |                                 | 15                            |                                 | 29                             |                                  | 29                              |                                   | 2               | 8     | 10                  | 10   | 1  | 28         | 5   |   | 6          | 19                | 35                                       |  |
|  |  |   | 8                               |                               | 17                              |                                | 2                                |                                 | 8                                 | 10              | 36    | 14                  | 35   | 27   | 34         |   | 29  | 1          | 12                |  |  |
|  |  |   | 29                              |                               | 38                              |                                | 40                               |                                 | 15                                | 18              | 37    | 35                  | 19   | 18   | 31         |   | 4   | 32         | 34                |  |  |
|  |  |   | 34                              |                               | 34                              |                                | 28                               |                                 | 38                                | 37              | 40    | 40                  | 39   | 40   | 35         |   | 38  |            | 31                |  |  |
| 2 Masse des unbeweglichen Objekts  |  |   |                                 | 10                            |                                 | 35                             |                                  | 5                               |                                   | 8               | 13    | 13                  | 26   | 28   |            | 2   | 28  | 19         |                   | 18                                       |  |
|  |  |   |                                 | 1                             |                                 | 30                             |                                  | 35                              |                                   | 10              | 29    | 10                  | 39   | 2  |            | 27  | 19  | 32         |                   | 19                                       |  |
|  |  |   |                                 | 29                            |                                 | 13                             |                                  | 14                              |                                   | 19              | 10    | 29                  | 1    | 10   |            | 19  | 32  | 35         |                   | 28                                       |  |
|  |  |   |                                 | 35                            |                                 | 2                              |                                  | 2                               |                                   | 35              | 18    | 14                  | 40   | 27   |            | 6   | 22  |            |                   | 1  |  |
| 3 Länge des beweglichen Objekts  |  | 8   |                                 |                               |                                 | 15                             |                                  | 7                               |                                   | 13              | 17    | 1                   | 1    | 1  | 8          | 19  |   | 10         | 32                | 8  |  |
|  |  | 15  |                                 |                               |                                 | 17                             |                                  | 17                              |                                   | 4               | 10    | 8                   | 8    | 8  | 35         |   |   | 15         |                   | 35                                       |  |
|  |  | 29  |                                 |                               |                                 | 4                              |                                  | 4                               |                                   | 8               | 4     | 35                  | 10   | 15   | 29         |   |   | 19         |                   | 24                                       |  |
|  |  | 34  |                                 |                               |                                 |                                |                                  | 35                              |                                   |                 |       |                     | 29   | 34   | 34         |   |   |            |                   |  |  |
| 4 Länge des unbeweglichen Objekts  |  |   | 35                              |                               |                                 |                                |                                  | 17                              |                                   | 35              |       | 28                  | 1    | 13   | 39         | 15  |   | 1          | 3                 | 3  |  |
|  |  |   | 28                              |                               |                                 |                                |                                  | 7                               |                                   | 8               |       | 10                  | 14   | 14   | 37         | 14  |   | 40         | 35                | 25                                       |  |
|  |  |   | 40                              |                               |                                 |                                |                                  | 10                              |                                   | 2               |       |                     | 35   | 15   | 35         | 28  |   | 35         | 39                |  |  |
|  |  |   | 29                              |                               |                                 |                                |                                  | 40                              |                                   | 14              |       |                     |      | 7  |            | 26  |   |            | 18                |  |  |
| 5 Fläche des beweglichen Objekts   |  | 2   |                                 | 14                            |                                 |                                |                                  | 7                               |                                   | 29              | 19    | 10                  | 5    | 11   | 3          | 6   |   | 2          | 15                | 19                                       |  |
|  |  | 17  |                                 | 15                            |                                 |                                |                                  | 14                              |                                   | 30              | 30    | 15                  | 34   | 2  | 15         | 3   |   | 15         | 32                | 32                                       |  |
|  |  | 29  |                                 | 18                            |                                 |                                |                                  | 17                              |                                   | 4               | 35    | 36                  | 29   | 13   | 40         |   |   | 16         | 19                |  |  |
|  |  | 4   |                                 | 4                             |                                 |                                |                                  | 4                               |                                   | 34              | 2     | 28                  | 4    | 39   | 14         |   |   |            | 13                |  |  |
| 6 Fläche des unbeweglichen Objekts   |  |   | 30                              |                               | 26                              |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 1     | 10                  |      | 2  | 40         |   | 2   | 35         |                   |  |  |
|  |  |   | 2                               |                               | 7                               |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 18    | 15                  |      | 38   |            |   | 10  | 39         |                   |  |  |
|  |  |   | 14                              | 9                             | 9                               |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 35    | 36                  |      |  |            |   | 19  | 38         |                   |  |  |
|  |  |   | 18                              |                               | 39                              |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 36    | 37                  |      |  |            |   | 30  |            |                   |  |  |
| 7 Volumen des beweglichen Objekts  |  | 2   |                                 | 1                             |                                 | 1                              |                                  |                                 |                                   | 29              | 15    | 6                   | 1    | 28   | 9          | 6   |   | 34         | 2                 | 35                                       |  |
|  |  | 26  |                                 | 7                             |                                 | 7                              |                                  |                                 |                                   | 4               | 35    | 35                  | 15   | 10   | 14         | 35  |   | 39         | 13                |  |  |
|  |  | 29  |                                 | 4                             |                                 | 4                              |                                  |                                 |                                   | 38              | 36    | 36                  | 29   | 1  | 15         | 4   |   | 10         | 10                |  |  |
|  |  | 40  |                                 | 35                            |                                 | 17                             |                                  |                                 |                                   | 34              | 37    | 37                  | 4    | 39   | 7          |   |   | 18         |                   |  |  |
| 8 Volumen des unbeweglichen Objekts  |  |   | 35                              | 19                            | 35                              |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 2     | 24                  | 7    | 34   | 9          |   | 35  | 35         |                   |  |  |
|  |  |   | 10                              | 14                            | 8                               |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 18    | 35                  | 2    | 28   | 14         |   | 34  | 6          |                   |  |  |
|  |  |   | 19                              |                               | 2                               |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 37    |                     | 35   | 35   | 17         |   | 38  | 4          |                   |  |  |
|  |  |   | 14                              |                               | 14                              |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     |      |  | 40         | 15  |   |            |                   |  |  |



Widerspruchsmatrix (3 / 10)

| A: Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert (vergrößert, verringert, verbessert)? |    | B: Was verändert (vergrößert, verringert, verschlechtert) sich unzulässig, wenn Veränderungen gemäß A mit herkömmlichen Verfahren herbeigeführt werden? |                                 |                               |                                 |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     |      |  |            |   |   |            |                   |  |  |
|--|----|---|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|---------------------|------|--|------------|---|---|------------|-------------------|--|--|
|  |    | Masse des beweglichen Objekts   | Masse des unbeweglichen Objekts | Länge des beweglichen Objekts | Länge des unbeweglichen Objekts | Fläche des beweglichen Objekts | Fläche des unbeweglichen Objekts | Volumen des beweglichen Objekts | Volumen des unbeweglichen Objekts | Geschwindigkeit | Kraft | Spannung oder Druck | Form | Stabilität der Zusammensetzung des Objekts | Festigkeit | Dauer des Wirkens des beweglichen Objekts | Dauer des Wirkens des unbeweglichen Objekts | Temperatur | Sichtverhältnisse | Energieverbrauch des beweglichen Objekts | Energieverbrauch des unbeweglichen Objekts |
|  |    | 1   | 2                               | 3                             | 4                               | 5                              | 6                                | 7                               | 8                                 | 9               | 10    | 11                  | 12   | 13   | 14         | 15  | 16  | 17         | 18                | 19                                       | 20   |
| <b>9</b> Geschwindigkeit   | 8  |   | 13                              |                               | 29                              |                                | 7                                |                                 |                                   |                 | 13    | 6                   | 35   | 28   | 8          | 3   |   | 28         | 10                | 8  |  |
|  | 28 |   | 14                              |                               | 30                              |                                | 29                               |                                 |                                   |                 | 28    | 18                  | 15   | 33   | 3          | 19  |   | 30         | 13                | 15                                       |  |
|  | 13 |   | 8                               |                               | 34                              |                                | 34                               |                                 |                                   |                 | 15    | 38                  | 18   | 1  | 26         | 35  |   | 36         | 19                | 35                                       |  |
|  | 38 |   |                                 |                               |                                 |                                |                                  |                                 |                                   |                 | 19    | 40                  | 34   | 18   | 14         | 5   |   | 2          |                   |  | 38   |
| <b>10</b> Kraft  | 8  | 18  | 17                              | 28                            | 19                              | 1                              | 15                               | 2                               | 13                                |                 |       | 18                  | 10   | 35   | 35         | 19  |   | 35         |                   | 19                                       | 1  |
|  | 1  | 13  | 19                              | 10                            | 10                              | 18                             | 9                                | 36                              | 28                                |                 |       | 21                  | 35   | 10   | 10         | 2   |   | 10         |                   | 17                                       | 16   |
|  | 37 | 1   | 9                               |                               | 15                              | 36                             | 12                               | 18                              | 15                                |                 |       | 11                  | 40   | 21   | 14         |   |   | 21         |                   | 10                                       | 36   |
|  | 18 | 28  | 36                              |                               |                                 | 37                             | 37                               | 37                              | 12                                |                 |       |                     |      | 34   |            | 27  |   |            |                   |  |  |
| <b>11</b> Spannung oder Druck  | 10 | 13  | 35                              | 35                            | 10                              | 10                             | 6                                | 35                              | 6                                 | 36              |       | 35                  | 35   | 9  | 19         |   | 35  |            | 14                |  |  |
|  | 36 | 29  | 10                              | 1                             | 15                              | 15                             | 35                               | 24                              | 35                                | 35              |       | 4                   | 33   | 18   | 3          |   | 39  |            | 24                |  |  |
|  | 37 | 10  | 36                              | 14                            | 36                              | 36                             | 10                               |                                 | 36                                | 21              |       | 15                  | 2    | 3  | 27         |   | 19  |            | 10                |  |  |
|  | 40 | 18  |                                 | 16                            | 28                              | 37                             |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     | 10   | 40   | 40         |   | 2   |            | 37                |  |  |
| <b>12</b> Form   | 8  | 15  | 29                              | 13                            | 5                               |                                | 14                               | 7                               | 35                                | 35              | 34    |                     | 33   | 30   | 14         |   | 22  | 13         | 2                 |  |  |
|  | 10 | 10  | 34                              | 14                            | 34                              |                                | 4                                | 2                               | 15                                | 10              | 15    |                     | 1    | 14   | 26         |   | 14  | 15         | 6                 |  |  |
|  | 29 | 26  | 5                               | 10                            | 4                               |                                | 15                               | 35                              | 34                                | 37              | 10    |                     | 18   | 10   | 9          |   | 19  | 32         | 34                |  |  |
|  | 40 | 3   | 4                               | 7                             | 10                              |                                | 22                               |                                 | 18                                | 40              | 14    |                     | 4    | 40   | 25         |   | 32  |            | 14                |  |  |
| <b>13</b> Stabilität der Zusammensetzung   | 21 | 26  | 13                              | 37                            | 2                               | 39                             | 28                               | 34                              | 33                                | 10              | 2     | 22                  |      | 17   | 13         | 39  | 35  | 32         | 13                | 27                                       |  |
|  | 35 | 39  | 15                              |                               | 11                              |                                | 10                               | 28                              | 15                                | 35              | 35    | 1                   |      | 9  | 27         | 3   | 1   | 3          | 19                | 4  |  |
|  | 2  | 1   | 1                               |                               | 13                              |                                | 19                               | 35                              | 28                                | 21              | 40    | 18                  |      | 15   | 10         | 35  | 32  | 27         |                   | 29                                       |  |
|  | 39 | 40  | 28                              |                               |                                 |                                | 39                               | 40                              | 18                                | 16              |       | 4                   |      |  | 35         | 23  |   | 15         |                   | 18                                       |  |
| <b>14</b> Festigkeit   | 1  | 40  | 1                               | 15                            | 3                               | 9                              | 10                               | 9                               | 8                                 | 10              | 10    | 10                  | 13   |  | 27         |   | 30  | 35         | 19                | 35                                       |  |
|  | 8  | 26  | 15                              | 14                            | 34                              | 40                             | 15                               | 14                              | 13                                | 18              | 3     | 30                  | 17   |  | 3          |   | 10  | 19         | 35                |  |  |
|  | 40 | 27  | 8                               | 28                            | 40                              | 28                             | 14                               | 17                              | 26                                | 3               | 18    | 35                  | 35   |  | 26         |   | 40  |            | 10                |  |  |
|  | 15 | 1   | 35                              | 26                            | 29                              |                                | 7                                | 15                              | 14                                | 14              | 40    | 40                  |      |  |            |   |   |            |                   |  |  |
| <b>15</b> Dauer des Wirkens des beweglichen Objekts  | 19 |   | 2                               |                               | 3                               | 10                             |                                  |                                 | 3                                 | 19              | 19    | 14                  | 13   | 27   |            |   | 19  | 2          | 28                |  |  |
|  | 5  |   | 19                              |                               | 17                              |                                | 2                                |                                 | 35                                | 2               | 3     | 26                  | 3    | 3  |            |   | 35  | 19         | 6                 |  |  |
|  | 34 |   | 9                               |                               | 19                              |                                | 19                               |                                 | 5                                 | 16              | 27    | 28                  | 35   | 10   |            |   | 39  | 4          | 35                |  |  |
|  | 31 |   |                                 |                               |                                 |                                | 30                               |                                 |                                   |                 |       |                     | 25   |  |            |   |   | 35         | 18                |  |  |
| <b>16</b> Dauer des Wirkens des unbeweglichen Objekts  |    | 6   |                                 | 1                             |                                 |                                |                                  |                                 | 35                                |                 |       |                     |      | 39   |            |   |   | 19         |                   |  |  |
|  |    | 27  |                                 | 40                            |                                 |                                |                                  |                                 | 34                                |                 |       |                     |      | 3  |            |   |   | 18         |                   |  |  |
|  |    | 19  |                                 | 35                            |                                 |                                |                                  |                                 | 38                                |                 |       |                     |      | 35   |            |   |   | 36         |                   |  |  |
|  |    | 16  |                                 |                               |                                 |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     |      | 23   |            |   |   | 40         |                   |  |  |

**Widerspruchsmatrix (4 / 10)**

|  |  | B: Was verändert (vergrößert, verringert, verschlechtert) sich unzulässig, wenn Veränderungen gemäß A mit herkömmlichen Verfahren herbeigeführt werden? |                 |                  |                      |              |               |                 |                 |                       |   |  |                          |               |                               |                                   |                              |   |                      |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|---|-----------------|------------------|----------------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|--|--------------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|----------------------|---------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| A: Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert (vergrößert, verringert, verbessert)? |  | Leistung, Kapazität   | Energieverluste | Materialverluste | Informationsverluste | Zeitverluste | Materialmenge | Zuverlässigkeit | Mefßgenauigkeit | Fertigungsgenauigkeit | Von außen auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren | Vom Objekt selbst erzeugte schädliche Faktoren | Fertigungsfreundlichkeit | Bedienkomfort | Instandsetzungsfreundlichkeit | Adaptionsfähigkeit, Universalität | Kompliziertheit der Struktur | Kompliziertheit der Kontrolle und Messung | Automatisierungsgrad | Produktivität |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 21  | 22              | 23               | 24                   | 25           | 26            | 27              | 28              | 29                    | 30  | 31   | 32                       | 33            | 34                            | 35                                | 36                           | 37  | 38                   | 39            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>9</b> Geschwindigkeit   |  | 19  | 14              | 10               | 13                   |              | 10            | 11              | 28              | 10                    | 1   | 2  | 35                       | 32            | 34                            | 15                                | 10                           | 3   | 10                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 35  | 20              | 13               | 26                   |              | 19            | 35              | 32              | 28                    | 28  | 24   | 13                       | 28            | 2                             | 10                                | 28                           | 34  | 18                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 38  | 19              | 28               |                      |              | 29            | 27              | 1               | 32                    | 35  | 35   | 8                        | 13            | 28                            | 26                                | 4                            | 27  |                      |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>10</b> Kraft  |  | 2   | 35              | 38               |                      |              | 38            | 28              | 24              | 25                    | 23  | 21   | 1                        | 12            | 27                            |                                   | 34                           | 16  |                      |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 19  | 14              | 8                |                      | 10           | 14            | 3               | 35              | 28                    | 1   | 13   | 15                       | 1             | 15                            | 15                                | 36                           | 36  | 2                    | 3             |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 35  | 15              | 35               |                      | 37           | 29            | 35              | 10              | 29                    | 35  | 3  | 37                       | 28            | 1                             | 17                                | 35                           | 37  | 35                   | 28            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>11</b> Spannung oder Druck  |  | 18  |                 | 40               |                      | 36           | 18            | 13              | 23              | 37                    | 40  | 36   | 18                       | 3             | 11                            | 18                                | 10                           | 10  |                      | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 37  |                 | 5                |                      | 36           | 21            | 24              | 36              | 18                    | 24  | 1  | 25                       |               | 20                            | 18                                | 19                           |   | 37                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 10  | 2               | 10               |                      | 37           | 10            | 10              | 6               | 3                     | 22  | 2  | 1                        | 11            | 2                             | 35                                | 19                           | 2   | 35                   | 10            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>12</b> Form   |  | 35  | 36              | 36               |                      | 36           | 14            | 13              | 28              | 35                    | 2   | 33   | 35                       |               |                               |                                   | 1                            | 36  | 21                   | 14            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 14  | 25              | 3                |                      | 4            | 36            | 19              | 25              |                       | 37  | 27   | 16                       |               |                               |                                   | 35                           | 37  |                      | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |   |                 | 37               |                      |              |               | 35              |                 |                       |   | 18   |                          |               |                               |                                   |                              |   |                      | 37            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>13</b> Stabilität der Zusammensetzung   |  | 4   | 14              | 35               |                      | 14           | 36            | 10              | 28              | 32                    | 22  | 35   | 1                        | 32            | 15                            | 13                                | 15                           | 29  | 13                   | 1             | 26 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 6   |                 | 29               |                      | 10           | 22            | 40              | 32              | 30                    | 1   | 1  | 32                       | 15            | 13                            | 15                                | 29                           | 13  | 1                    |               | 26 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 2   |                 | 3                |                      | 34           |               | 16              | 1               | 40                    | 2   |  | 17                       | 26            | 1                             | 29                                | 1                            | 39  | 32                   | 34            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>14</b> Festigkeit   |  |   |                 | 5                |                      | 17           |               |                 |                 |                       | 35  |  | 28                       |               |                               |                                   | 28                           |   |                      | 10            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 32  | 14              | 2                |                      | 35           | 15            |                 | 13              | 18                    | 35  | 35   | 35                       | 32            | 2                             | 35                                | 2                            | 35  | 1                    | 23            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 35  | 2               | 14               |                      | 27           | 32            |                 |                 |                       | 24  | 40   | 19                       | 35            | 35                            | 30                                | 35                           | 22  | 8                    | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>15</b> Dauer des Wirkens des beweglichen Objekts  |  | 27  | 39              | 30               |                      | 35           |               |                 |                 |                       | 30  | 27   |                          | 30            | 10                            | 34                                | 22                           | 39  | 35                   | 40            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 31  | 6               | 40               |                      |              |               |                 |                 |                       | 18  | 39   |                          |               | 16                            | 2                                 | 26                           | 23  |                      | 3             |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 10  | 35              | 35               |                      | 29           | 29            | 11              | 3               | 3                     | 18  | 15   | 11                       | 32            | 27                            | 15                                | 2                            | 27  | 15                   | 29            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>16</b> Dauer des Wirkens des unbeweglichen Objekts  |  | 26  |                 | 28               |                      | 3            | 10            | 3               | 27              | 27                    | 35  | 35   | 3                        | 40            | 11                            | 3                                 | 13                           | 3   |                      | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 35  |                 | 31               |                      | 28           | 25            |                 | 16              |                       | 37  | 22   | 10                       | 28            | 3                             | 32                                | 28                           | 15  |                      | 10            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 28  |                 | 40               |                      | 10           |               |                 |                 |                       | 1   | 2  | 32                       | 2             |                               |                                   | 10                           | 40  |                      | 14            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>15</b> Dauer des Wirkens des beweglichen Objekts  |  | 19  |                 | 28               | 10                   | 20           | 3             | 11              | 3               | 3                     | 22  | 21   | 27                       | 12            | 29                            | 1                                 | 4                            | 19  | 6                    | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 10  |                 | 27               |                      | 10           | 35            | 2               |                 | 27                    | 15  | 39   | 1                        | 27            | 10                            | 35                                | 29                           | 29  | 10                   | 17            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 35  |                 | 3                |                      | 28           | 10            | 13              |                 | 16                    | 33  | 16   | 4                        |               | 27                            | 13                                | 15                           | 39  |                      | 14            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>16</b> Dauer des Wirkens des unbeweglichen Objekts  |  | 38  |                 | 18               |                      | 18           | 40            |                 |                 | 40                    | 28  | 22   |                          |               |                               |                                   | 35                           |   | 19                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 16  |                 | 27               | 10                   | 28           | 3             | 34              | 10              |                       | 17  | 22   | 35                       | 1             | 1                             | 2                                 |                              | 25  | 1                    | 20            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |   |                 | 16               |                      | 20           | 35            | 27              | 26              |                       | 1   |  | 10                       |               |                               |                                   |                              | 34  |                      | 10            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |   | 18              |                  | 10                   | 31           | 6             | 24              |                 | 40                    |   |  |                          |               |                               |                                   | 6                            |   | 16                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |   | 38              |                  | 16                   |              | 40            |                 |                 | 33                    |   |  |                          |               |                               |                                   | 35                           |   | 38                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |







**Widerspruchsmatrix (7 / 10)**

| A: Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert (vergrößert, verringert, verbessert)? |  | B: Was verändert (vergrößert, verringert, verschlechtert) sich unzulässig, wenn Veränderungen gemäß A mit herkömmlichen Verfahren herbeigeführt werden? |                                 |                               |                                 |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     |      |  |            |   |   |            |                   |  |  |
|--|--|---|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|---------------------|------|--|------------|---|---|------------|-------------------|--|--|
|  |  | Masse des beweglichen Objekts   | Masse des unbeweglichen Objekts | Länge des beweglichen Objekts | Länge des unbeweglichen Objekts | Fläche des beweglichen Objekts | Fläche des unbeweglichen Objekts | Volumen des beweglichen Objekts | Volumen des unbeweglichen Objekts | Geschwindigkeit | Kraft | Spannung oder Druck | Form | Stabilität der Zusammensetzung des Objekts | Festigkeit | Dauer des Wirkens des beweglichen Objekts | Dauer des Wirkens des unbeweglichen Objekts | Temperatur | Sichtverhältnisse | Energieverbrauch des beweglichen Objekts | Energieverbrauch des unbeweglichen Objekts |
|  |  | 1   | 2                               | 3                             | 4                               | 5                              | 6                                | 7                               | 8                                 | 9               | 10    | 11                  | 12   | 13   | 14         | 15  | 16  | 17         | 18                | 19                                       | 20   |
| <b>25</b> Zeitverluste   |  | 10  | 10                              | 15                            | 30                              | 26                             | 10                               | 2                               | 35                                |                 | 10    | 37                  | 4    | 35   | 29         | 20  | 28  | 35         | 1                 | 35                                       | 1  |
|  |  | 20  | 20                              | 2                             | 24                              | 4                              | 35                               | 5                               | 16                                |                 | 37    | 36                  | 10   | 3  | 3          | 10  | 20  | 29         | 19                | 38                                       |  |
|  |  | 37  | 26                              | 29                            | 14                              | 5                              | 17                               | 34                              | 32                                |                 | 36    | 4                   | 34   | 22   | 28         | 28  | 10  | 21         | 26                | 19                                       |  |
|  |  | 35  | 5                               |                               | 5                               | 16                             | 4                                | 10                              | 18                                |                 | 5     |                     | 17   | 5  | 18         | 18  | 16  | 18         | 17                | 18                                       |  |
| <b>26</b> Materialmenge  |  | 35  | 27                              | 29                            |                                 | 15                             | 2                                | 15                              |                                   | 35              | 35    | 10                  | 35   | 15   | 14         | 3   | 3   | 3          |                   | 34                                       | 3  |
|  |  | 6   | 26                              | 14                            |                                 | 14                             | 18                               | 20                              |                                   | 29              | 14    | 36                  | 14   | 2  | 35         | 35  | 35  | 17         |                   | 29                                       | 35   |
|  |  | 18  | 18                              | 35                            |                                 | 29                             | 40                               | 29                              |                                   | 34              | 3     | 14                  |      | 17   | 34         | 10  | 31  | 39         |                   | 16                                       | 31   |
|  |  | 31  | 35                              | 18                            |                                 |                                | 4                                |                                 |                                   | 28              |       | 3                   |      | 40   | 10         | 40  |   |            |                   | 18                                       |  |
| <b>27</b> Zuverlässigkeit  |  | 3   | 3                               | 15                            | 15                              | 17                             | 32                               | 3                               | 2                                 | 21              | 8     | 10                  | 35   |  | 11         | 2   | 34  | 3          | 11                | 21                                       | 36   |
|  |  | 8   | 10                              | 9                             | 29                              | 10                             | 35                               | 10                              | 35                                | 35              | 28    | 24                  | 1    |  | 28         | 35  | 27  | 35         | 32                | 11                                       | 23   |
|  |  | 10  | 8                               | 14                            | 28                              | 14                             | 40                               | 14                              | 24                                | 11              | 10    | 35                  | 16   |  |            | 3   | 6   | 10         | 13                | 27                                       |  |
|  |  | 40  | 28                              | 4                             | 11                              | 16                             | 4                                | 24                              |                                   | 28              | 3     | 19                  | 11   |  |            | 25  | 40  |            |                   |  | 19   |
| <b>28</b> Meßgenauigkeit   |  | 32  | 28                              | 28                            | 32                              | 26                             | 26                               | 32                              |                                   | 28              | 32    | 6                   | 6    | 32   | 28         | 28  | 10  | 6          | 6                 | 3  |  |
|  |  | 35  | 34                              | 26                            | 28                              | 28                             | 28                               | 13                              |                                   | 13              | 2     | 28                  | 28   | 35   | 6          | 6   | 26  | 19         | 1                 | 6  |  |
|  |  | 26  | 25                              | 5                             | 3                               | 32                             | 32                               | 6                               |                                   | 32              |       | 32                  | 32   | 13   | 32         | 32  | 24  | 28         | 32                | 32                                       |  |
|  |  | 28  | 26                              | 16                            | 16                              | 3                              | 3                                |                                 |                                   | 24              |       |                     |      |  |            |   | 24  |            |                   |  |  |
| <b>29</b> Fertigungsgenauigkeit  |  | 28  | 28                              | 10                            | 2                               | 28                             | 2                                | 32                              | 25                                | 10              | 28    | 3                   | 32   | 30   | 3          | 2   |   | 19         | 1                 | 32                                       |  |
|  |  | 32  | 35                              | 28                            | 32                              | 33                             | 29                               | 28                              | 10                                | 28              | 19    | 35                  | 30   | 18   | 27         | 27  |   | 26         | 32                | 2  |  |
|  |  | 13  | 27                              | 29                            | 10                              | 29                             | 18                               | 2                               | 35                                | 32              | 34    |                     | 40   |  |            | 40  |   |            |                   |  |  |
|  |  | 18  | 9                               | 37                            |                                 | 32                             | 36                               |                                 |                                   |                 | 36    |                     |      |  |            |   |   |            |                   |  |  |
| <b>30</b> Von außen auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren                                      |  | 22  | 2                               | 17                            | 1                               | 22                             | 27                               | 22                              | 34                                | 21              | 13    | 22                  | 22   | 35   | 18         | 22  | 17  | 22         | 1                 | 1  | 10   |
|  |  | 21  | 22                              | 1                             | 18                              | 1                              | 2                                | 23                              | 39                                | 22              | 35    | 2                   | 1    | 24   | 35         | 15  | 1   | 33         | 19                | 24                                       | 2  |
|  |  | 27  | 13                              | 39                            |                                 | 33                             | 39                               | 37                              | 19                                | 35              | 39    | 37                  | 3    | 30   | 37         | 33  | 40  | 35         | 32                | 6  | 22   |
|  |  | 39  | 24                              | 4                             |                                 | 28                             | 35                               | 35                              | 27                                | 28              | 18    |                     | 35   | 18   | 1          | 28  | 33  | 2          | 13                | 27                                       | 37   |
| <b>31</b> Vom Objekt selbst erzeugte schädliche Faktoren   |  | 19  | 35                              | 17                            |                                 | 17                             | 22                               | 17                              | 30                                | 35              | 35    | 2                   | 35   | 35   | 15         | 15  | 21  | 22         | 19                | 2  | 19   |
|  |  | 22  | 22                              | 15                            |                                 | 2                              | 1                                | 2                               | 18                                | 28              | 28    | 33                  | 1    | 40   | 35         | 22  | 39  | 35         | 24                | 35                                       | 22   |
|  |  | 15  | 1                               | 16                            |                                 | 18                             | 40                               | 40                              | 35                                | 3               | 1     | 27                  |      | 27   | 22         | 33  | 16  | 2          | 39                | 6  | 18   |
|  |  | 39  | 39                              | 22                            |                                 | 39                             |                                  |                                 | 4                                 | 23              | 40    | 18                  |      | 39   | 2          | 31  | 22  | 24         | 32                |  |  |
| <b>32</b> Fertigungsfreundlichkeit   |  | 28  | 1                               | 1                             | 15                              | 13                             | 16                               | 13                              | 35                                | 35              | 35    | 35                  | 1    | 11   | 1          | 27  | 35  | 27         | 28                | 28                                       | 1  |
|  |  | 29  | 27                              | 29                            | 17                              | 1                              | 40                               | 29                              |                                   | 13              | 12    | 19                  | 28   | 13   | 3          | 1   | 16  | 26         | 24                | 26                                       | 4  |
|  |  | 15  | 36                              | 13                            | 27                              | 26                             |                                  | 1                               |                                   | 8               |       | 1                   | 13   | 1  | 10         | 4   |   | 18         | 27                | 27                                       |  |
|  |  | 16  | 13                              | 17                            |                                 | 12                             |                                  | 40                              |                                   | 1               |       | 37                  | 27   |  | 32         |   |   |            | 1                 | 1  |  |

Widerspruchsmatrix (8 / 10)

| A: Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert (vergrößert, verringert, verbessert)? |  | B: Was verändert (vergrößert, verringert, verschlechtert) sich unzulässig, wenn Veränderungen gemäß A mit herkömmlichen Verfahren herbeigeführt werden? |                 |                  |                      |              |               |                 |                |                       |   |  |                          |               |                               |                                   |                              |   |                      |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|---|-----------------|------------------|----------------------|--------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------------|---|--|--------------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|----------------------|---------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  | Leistung, Kapazität   | Energieverluste | Materialverluste | Informationsverluste | Zeitverluste | Materialmenge | Zuverlässigkeit | Meßgenauigkeit | Fertigungsgenauigkeit | Von außen auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren | Vom Objekt selbst erzeugte schädliche Faktoren | Fertigungsfreundlichkeit | Bedienkomfort | Instandsetzungsfreundlichkeit | Adaptionsfähigkeit, Universalität | Kompliziertheit der Struktur | Kompliziertheit der Kontrolle und Messung | Automatisierungsgrad | Produktivität |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 21  | 22              | 23               | 24                   | 25           | 26            | 27              | 28             | 29                    | 30  | 31   | 32                       | 33            | 34                            | 35                                | 36                           | 37  | 38                   | 39            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 25 Zeitverluste  |  | 35  | 10              | 35               | 24                   |              | 35            | 10              | 24             | 24                    | 35  | 35   | 35                       | 4             | 32                            | 35                                | 6                            | 18  | 24                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 20  | 5               | 18               | 26                   |              | 38            | 30              | 34             | 26                    | 18  | 22   | 28                       | 28            | 1                             | 28                                | 29                           | 28  | 28                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 10  | 18              | 10               | 28                   |              | 18            | 4               | 28             | 28                    | 34  | 18   | 34                       | 10            | 10                            |                                   |                              | 32  | 35                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 6   | 32              | 39               | 32                   |              | 16            |                 | 32             | 18                    |   | 39   | 4                        | 34            |                               |                                   |                              | 10  | 30                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 26 Materialmenge   |  | 35  | 7               | 6                | 24                   | 35           |               | 18              | 3              | 33                    | 35  | 3  | 29                       | 35            | 2                             | 15                                | 3                            | 3   | 8                    | 13            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 18  | 3               | 28               | 38                   |              | 3             | 2               | 30             | 33                    | 35  | 1  | 29                       | 32            | 3                             | 13                                | 27                           | 35  | 29                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 25  | 10              | 35               | 18                   |              | 28            | 28              |                | 29                    | 40  | 35   | 25                       | 10            | 29                            | 27                                | 29                           |   | 3                    |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |   |                 | 24               | 16                   |              | 40            |                 |                | 31                    | 39  | 27   | 10                       | 25            |                               | 10                                | 18                           |   | 27                   |               |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 27 Zuverlässigkeit   |  | 21  | 10              | 10               | 10                   | 10           | 21            |                 | 32             | 11                    | 27  | 35   |                          | 27            | 1                             | 13                                | 13                           | 27  | 11                   | 1             |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 11  | 11              | 35               | 28                   | 30           | 28            |                 | 3              | 32                    | 35  | 2  |                          | 17            | 11                            | 35                                | 35                           | 40  | 13                   | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 26  | 35              | 29               |                      | 4            | 40            |                 | 11             | 1                     | 2   | 40   |                          | 40            |                               | 8                                 | 1                            | 28  | 27                   | 29            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 31  |                 | 39               |                      | 3            |               | 23              |                | 40                    | 26  |  |                          |               |                               | 24                                |                              |   |                      | 38            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 28 Meßgenauigkeit  |  | 3   | 26              | 10               |                      | 24           | 2             | 5               |                |                       | 28  | 3  | 6                        | 1             | 1                             | 13                                | 27                           | 26  | 28                   | 10            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 6   | 32              | 16               |                      | 34           | 6             | 11              |                |                       | 24  | 33   | 35                       | 13            | 32                            | 35                                | 35                           | 24  | 2                    | 34            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 32  | 27              | 31               |                      | 28           | 32            | 1               |                |                       | 22  | 39   | 25                       | 17            | 13                            | 2                                 | 10                           | 32  | 10                   | 28            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |   |                 | 28               |                      | 32           |               | 23              |                |                       | 26  | 10   | 18                       | 34            | 11                            |                                   | 34                           | 28  | 34                   | 32            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 29 Fertigungsgenauigkeit   |  | 32  | 13              | 35               |                      | 32           | 32            | 11              |                |                       | 26  | 4  |                          | 1             | 25                            |                                   | 26                           |   | 26                   | 10            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 2   | 32              | 31               |                      | 26           | 30            | 32              |                |                       | 28  | 17   |                          | 32            | 10                            |                                   | 2                            |   | 28                   | 18            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 2   | 2               | 10               |                      | 28           |               | 1               |                |                       | 10  | 34   |                          | 35            |                               |                                   | 18                           |   | 18                   | 32            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |   |                 | 24               |                      | 18           |               |                 |                |                       | 36  | 26   |                          | 23            |                               |                                   |                              |   | 23                   | 39            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 30 Von außen auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren   |  | 19  | 21              | 33               | 22                   | 35           | 35            | 27              | 28             | 26                    |   |  |                          | 24            | 2                             | 35                                | 35                           | 22  | 22                   | 33            | 22 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 22  | 22              | 22               | 10                   | 18           | 33            | 24              | 33             | 28                    |   |  |                          | 35            | 25                            | 10                                | 11                           | 19  | 19                   | 3             | 35 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 31  | 35              | 19               | 2                    | 34           | 29            | 2               | 23             | 10                    |   |  |                          | 2             | 28                            | 2                                 | 22                           | 29  | 29                   | 34            | 13 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 2   | 2               | 40               |                      |              | 31            | 40              | 26             | 18                    |   |  |                          | 39            |                               | 31                                | 40                           | 40  |                      | 24            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 31 Vom Objekt selbst erzeugte schädliche Faktoren  |  | 2   | 21              | 10               | 10                   | 1            | 3             | 24              | 3              | 4                     |   |  |                          |               |                               |                                   |                              | 19  | 2                    | 2             | 22 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 35  | 35              | 1                | 21                   | 22           | 24            | 2               | 33             | 17                    |   |  |                          |               |                               |                                   | 1                            | 21  |                      | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 18  | 2               | 34               | 29                   |              | 39            | 40              | 26             | 34                    |   |  |                          |               |                               |                                   | 31                           | 27  |                      | 18            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 22  |                 |                  |                      |              | 1             | 39              | 26             |                       |   |  |                          |               |                               |                                   |                              | 1   |                      | 39            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 32 Fertigungsfreundlichkeit  |  | 27  | 19              | 15               | 32                   | 35           | 35            |                 | 1              |                       | 24  |  |                          | 2             | 35                            | 2                                 | 27                           | 6   | 8                    | 35            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 1   | 35              | 34               | 24                   | 28           | 23            |                 | 35             |                       | 2   |  |                          | 5             | 1                             | 13                                | 26                           | 28  | 28                   | 1             |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 12  |                 | 33               | 18                   | 34           | 1             |                 | 12             |                       |   |  |                          | 13            | 11                            | 15                                | 1                            | 11  | 1                    | 10            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 24  |                 |                  | 16                   | 4            | 24            |                 | 18             |                       |   |  |                          | 16            | 9                             |                                   |                              | 1   |                      | 28            |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Widerspruchsmatrix (9 / 10)**

|  |    | B: Was verändert (vergrößert, verringert, verschlechtert) sich unzulässig, wenn Veränderungen gemäß A mit herkömmlichen Verfahren herbeigeführt werden? |                                 |                               |                                 |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     |      |  |            |   |   |            |                   |  |  |
|--|----|---|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|---------------------|------|--|------------|---|---|------------|-------------------|--|--|
|  |    | Masse des beweglichen Objekts   | Masse des unbeweglichen Objekts | Länge des beweglichen Objekts | Länge des unbeweglichen Objekts | Fläche des beweglichen Objekts | Fläche des unbeweglichen Objekts | Volumen des beweglichen Objekts | Volumen des unbeweglichen Objekts | Geschwindigkeit | Kraft | Spannung oder Druck | Form | Stabilität der Zusammensetzung des Objekts | Festigkeit | Dauer des Wirkens des beweglichen Objekts | Dauer des Wirkens des unbeweglichen Objekts | Temperatur | Sichtverhältnisse | Energieverbrauch des beweglichen Objekts | Energieverbrauch des unbeweglichen Objekts |
| A: Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert (vergrößert, verringert, verbessert)? |    | 1   | 2                               | 3                             | 4                               | 5                              | 6                                | 7                               | 8                                 | 9               | 10    | 11                  | 12   | 13   | 14         | 15  | 16  | 17         | 18                | 19                                       | 20   |
| <b>33</b> Bedienkomfort  | 25 | 6   | 1                               |                               | 1                               | 18                             | 1                                | 4                               | 18                                | 28              | 2     | 15                  | 32   | 32   | 29         | 1   | 26  | 13         | 1                 |  |  |
|  | 2  | 13  | 17                              |                               | 17                              | 16                             | 16                               | 18                              | 13                                | 13              | 32    | 34                  | 35   | 40   | 3          | 16  | 27  | 17         | 13                |  |  |
|  | 13 | 1   | 13                              |                               | 13                              | 15                             | 35                               | 39                              | 34                                | 35              | 12    | 29                  | 30   | 3  | 8          | 25  | 13  | 1          | 24                |  |  |
|  | 15 | 25  | 12                              |                               | 26                              | 39                             | 15                               | 31                              |                                   |                 |       |                     | 28   |  | 28         | 25  |   |            | 24                |  |  |
| <b>34</b> Instandsetzungsfreundlichkeit  | 2  | 2   | 1                               | 3                             | 15                              | 16                             | 25                               | 1                               | 34                                | 1               | 13    | 1                   | 2    | 11   | 11         | 1   | 4   | 15         | 15                |  |  |
|  | 27 | 27  | 28                              | 18                            | 13                              | 25                             | 2                                |                                 | 9                                 | 11              |       |                     | 13   | 35   | 1          | 29  |   | 10         | 1                 | 1  |  |
|  | 35 | 35  | 10                              | 31                            | 32                              |                                | 35                               |                                 |                                   |                 | 10    |                     | 2    |  | 2          | 28  |   |            | 13                | 28                                       |  |
|  | 11 | 11  | 25                              |                               |                                 |                                | 11                               |                                 |                                   |                 |       |                     | 4    |  | 9          | 27  |   |            |                   | 16                                       |  |
| <b>35</b> Adaptionsfähigkeit, Universalität  | 1  | 19  | 35                              | 1                             | 35                              | 15                             | 15                               |                                 | 35                                | 15              | 35    | 15                  | 35   | 35   | 13         | 2   | 27  | 6          | 19                |  |  |
|  | 6  | 15  | 1                               | 35                            | 30                              | 16                             | 35                               |                                 | 10                                | 17              | 16    | 37                  | 30   | 3  | 1          | 16  | 2   | 22         | 35                |  |  |
|  | 15 | 29  | 29                              | 16                            | 29                              |                                | 29                               |                                 | 14                                | 20              |       | 1                   | 14   | 32   | 35         |   | 3   | 26         | 29                |  |  |
|  | 8  | 16  | 2                               |                               | 7                               |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     | 8    |  | 6          |   |   | 35         | 1                 | 13                                       |  |
| <b>36</b> Kompliziertheit der Struktur   | 26 | 2   | 1                               | 26                            | 14                              | 6                              | 34                               | 1                               | 34                                | 26              | 19    | 29                  | 2    | 2  | 10         |   | 2   | 24         | 27                |  |  |
|  | 30 | 26  | 19                              |                               | 1                               | 36                             | 26                               | 16                              | 10                                | 16              | 1     | 13                  | 22   | 13   | 4          |   | 17  | 17         | 2                 |  |  |
|  | 34 | 35  | 26                              |                               | 13                              |                                | 6                                |                                 | 28                                |                 | 35    | 28                  | 17   | 28   | 28         |   | 13  | 13         | 29                |  |  |
|  | 36 | 39  | 24                              |                               | 16                              |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     | 15   | 19   |            | 15  |   |            |                   | 28                                       |  |
| <b>37</b> Kompliziertheit der Kontrolle und Messung  | 27 | 6   | 16                              | 26                            | 2                               | 2                              | 29                               | 2                               | 3                                 | 36              | 35    | 27                  | 11   | 27   | 19         | 25  | 3   | 2          | 35                | 19                                       |  |
|  | 26 | 13  | 17                              |                               | 13                              | 39                             | 1                                | 18                              | 4                                 | 28              | 36    | 13                  | 22   | 3  | 29         | 34  | 27  | 24         | 38                | 35                                       |  |
|  | 28 | 28  | 26                              |                               | 18                              | 30                             | 4                                | 26                              | 16                                | 40              | 37    | 1                   | 39   | 15   | 39         | 6   | 35  | 26         |                   | 16                                       |  |
|  | 13 | 1   | 24                              |                               | 17                              | 16                             | 16                               | 31                              | 35                                | 19              | 32    | 39                  | 30   | 28   | 25         | 35  | 16  |            |                   |  |  |
| <b>38</b> Automatisierungsg rad  | 28 | 28  | 14                              | 23                            | 17                              |                                | 35                               |                                 | 28                                | 2               | 13    | 15                  | 18   | 25   | 6          |   | 26  | 8          | 2                 |  |  |
|  | 26 | 26  | 13                              |                               | 14                              |                                | 13                               |                                 | 10                                | 35              | 35    | 32                  | 1    | 13   | 9          |   | 2   | 32         | 32                |  |  |
|  | 18 | 35  | 17                              |                               | 13                              |                                | 16                               |                                 |                                   |                 |       |                     | 1    |  |            |   | 19  | 19         | 13                |  |  |
|  | 35 | 10  | 28                              |                               |                                 |                                |                                  |                                 |                                   |                 |       |                     | 13   |  |            |   |   |            |                   |  |  |
| <b>39</b> Produktivität  | 35 | 28  | 18                              | 30                            | 10                              | 10                             | 2                                | 35                              |                                   | 28              | 10    | 14                  | 35   | 29   | 35         | 20  | 35  | 26         | 35                | 1  |  |
|  | 26 | 27  | 4                               | 7                             | 26                              | 35                             | 6                                | 37                              |                                   | 15              | 37    | 10                  | 3    | 28   | 10         | 10  | 21  | 17         | 10                |  |  |
|  | 24 | 15  | 28                              | 14                            | 34                              | 17                             | 34                               | 10                              |                                   | 10              | 14    | 34                  | 22   | 10   | 2          | 16  | 28  | 19         | 38                |  |  |
|  | 37 | 3   | 38                              | 26                            | 31                              | 7                              | 10                               | 2                               |                                   | 36              |       | 40                  | 39   | 18   | 18         | 38  | 10  | 1          | 19                |  |  |

Widerspruchsmatrix (10 / 10)

|  |                     | B: Was verändert (vergrößert, verringert, verschlechtert) sich unzulässig, wenn Veränderungen gemäß A mit herkömmlichen Verfahren herbeigeführt werden? |                  |                      |              |               |                 |                |                       |   |  |                          |               |                               |                                   |                              |   |                      |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|---------------------|---|------------------|----------------------|--------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------------|---|--|--------------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|----------------------|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| A: Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert (vergrößert, verringert, verbessert)? | Leistung, Kapazität | Energieverluste   | Materialverluste | Informationsverluste | Zeitverluste | Materialmenge | Zuverlässigkeit | Mefgenauigkeit | Fertigungsgenauigkeit | Von außen auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren | Vom Objekt selbst erzeugte schädliche Faktoren | Fertigungsfreundlichkeit | Bedienkomfort | Instandsetzungsfreundlichkeit | Adaptionsfähigkeit, Universalität | Kompliziertheit der Struktur | Kompliziertheit der Kontrolle und Messung | Automatisierungsgrad | Produktivität |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 21                  | 22  | 23               | 24                   | 25           | 26            | 27              | 28             | 29                    | 30  | 31   | 32                       | 33            | 34                            | 35                                | 36                           | 37  | 38                   | 39            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 33 Bedienkomfort   | 35                  | 2   | 28               | 4                    | 4            | 12            | 17              | 25             | 1                     | 2   |  | 2                        |               | 12                            | 15                                | 32                           |   | 1                    | 15            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 34                  | 19  | 32               | 10                   | 28           | 35            | 27              | 13             | 32                    | 25  |  | 5                        |               | 26                            | 34                                | 26                           |   | 34                   | 1             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2                   | 13  | 2                | 27                   | 10           |               | 8               | 2              | 35                    | 28  |  | 12                       |               | 1                             | 1                                 | 12                           |   | 12                   | 28            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 10                  |   | 24               | 22                   | 34           |               | 40              | 34             | 23                    | 39  |  |                          |               | 32                            | 16                                | 17                           |   | 3                    |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 34 Instandsetzungsfreundlichkeit   | 15                  | 15  | 2                |                      | 32           | 2             | 11              | 10             | 25                    | 35  |  | 1                        | 1             |                               | 7                                 | 35                           |   | 34                   | 1             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 10                  | 1   | 35               |                      | 1            | 28            | 10              | 2              | 10                    | 10  |  | 35                       | 12            |                               | 1                                 | 1                            |   | 35                   | 32            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 32                  | 32  | 34               |                      | 10           | 10            | 1               | 13             |                       | 2   |  | 11                       | 26            |                               | 4                                 | 13                           |   | 7                    | 10            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2                   | 19  | 27               |                      | 25           | 25            | 16              |                |                       | 16  |  | 10                       | 15            |                               | 16                                | 11                           |   | 13                   |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 35 Adaptionsfähigkeit, Universalität   | 19                  | 18  | 15               |                      | 35           | 3             | 35              | 35             |                       | 35  |  | 1                        | 15            | 1                             |                                   | 15                           | 1   | 27                   | 35            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1                   | 15  | 10               |                      | 28           | 35            | 13              | 5              |                       | 11  |  | 13                       | 34            | 16                            |                                   | 29                           |   | 34                   | 28            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 29                  | 1   | 2                |                      |              | 15            | 8               | 1              |                       | 32  |  | 31                       | 1             | 7                             |                                   | 37                           |   | 35                   | 6             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                     |   | 13               |                      |              |               | 24              | 10             |                       | 31  |  |                          | 16            | 4                             |                                   | 28                           |   |                      | 37            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 36 Kompliziertheit der Struktur  | 20                  | 10  | 35               |                      | 6            | 13            | 35              | 2              | 26                    | 22  | 19   | 27                       | 27            | 1                             | 29                                |                              | 15  | 15                   | 12            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 19                  | 35  | 10               |                      | 29           | 3             | 13              | 26             | 24                    | 19  | 1  | 26                       | 9             | 13                            | 15                                |                              | 10  | 1                    | 17            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 30                  | 13  | 28               |                      |              | 27            | 1               | 10             | 32                    | 29  |  | 1                        | 26            |                               | 28                                |                              | 37  | 24                   | 28            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 34                  | 2   | 29               |                      |              | 10            |                 | 34             |                       | 40  |  | 13                       | 24            |                               | 37                                |                              | 28  |                      |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 37 Kompliziertheit der Kontrolle und Messung   | 19                  | 35  | 1                | 35                   | 18           | 3             | 27              | 26             |                       | 22  | 2  | 5                        | 2             | 12                            | 1                                 | 15                           |   | 34                   | 35            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1                   | 3   | 18               | 33                   | 28           | 27            | 40              | 24             |                       | 19  | 21   | 28                       | 5             | 26                            | 15                                | 10                           |   | 21                   | 18            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 16                  | 15  | 10               | 27                   | 32           | 29            | 28              | 32             |                       | 29  |  | 11                       |               |                               |                                   | 37                           |   |                      |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 10                  | 19  | 24               | 22                   | 9            | 18            | 8               | 28             |                       | 28  |  | 29                       |               |                               |                                   | 28                           |   |                      |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 38 Automatisierungsgrad  | 28                  | 23  | 35               | 35                   | 24           | 35            | 11              | 28             | 28                    | 2   | 2  | 1                        | 1             | 1                             | 27                                | 15                           | 34  |                      | 5             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2                   | 28  | 10               | 33                   | 28           | 13            | 27              | 26             | 26                    | 33  |  | 26                       | 12            | 35                            | 4                                 | 24                           | 27  |                      | 12            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 27                  |   | 18               |                      | 35           |               | 32              | 10             | 18                    |   |  | 13                       | 34            | 13                            | 1                                 | 10                           | 25  |                      | 35            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                     |   | 5                |                      | 30           |               |                 | 34             | 23                    |   |  |                          | 3             |                               | 35                                |                              |   |                      | 26            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 39 Produktivität   | 35                  | 28  | 28               | 13                   |              | 35            | 1               | 1              | 18                    | 22  | 35   | 35                       | 1             | 1                             | 1                                 | 12                           | 35  | 5                    |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 20                  | 10  | 10               | 15                   |              | 38            | 35              | 10             | 10                    | 35  | 22   | 28                       | 28            | 32                            | 35                                | 17                           | 18  | 12                   |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 10                  | 29  | 35               | 23                   |              |               | 10              | 34             | 32                    | 13  | 18   | 2                        | 7             | 10                            | 28                                | 28                           | 27  | 35                   |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                     | 35  | 23               |                      |              |               | 28              | 28             | 1                     | 24  | 39   | 24                       | 19            | 25                            | 37                                | 24                           | 2   | 26                   |               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

#### **40 Innovative Prinzipien nach Altschuller**

##### **1. Prinzip der Zerlegung (Differential-Konstruktion)**

- a) Das Objekt ist in unabhängige Teile zu zerlegen.
- b) Das Objekt ist zerlegbar auszuführen.
- c) Der Grad der Zerlegung des Objektes ist zu erhöhen.

##### **2. Prinzip der Abtrennung**

- a) Vom Objekt ist der "störende" Teil oder die "störende" Eigenschaft abzutrennen.
- b) Vom Objekt ist der einzige notwendige Teil oder die einzige notwendige Eigenschaft abzutrennen.

Im Unterschied zum 1. Prinzip, in dem es um die Zerlegung des Objektes in gleiche Teile ging, wird hier vorgeschlagen, das Objekt in unterschiedliche Teile zu zerlegen.

##### **3. Prinzip der örtlichen Qualität**

- a) Von der homogenen Struktur des Objektes oder des umgebenden Mediums (des äußeren Einflusses) ist zu einer inhomogenen Struktur überzugehen.
- b) Die verschiedenen Teile des Objektes sollen unterschiedliche Funktionen erfüllen.
- c) Jedes Teil des Objektes soll sich unter solchen Bedingungen befinden, die seiner Arbeit am meisten zuträglich sind.

##### **4. Prinzip der Asymmetrie**

- a) Von der symmetrischen Form des Objektes ist zu einer asymmetrischen Form überzugehen.
- b) Wenn das Objekt schon asymmetrisch ist, so ist der Grad der Asymmetrie zu erhöhen.

##### **5. Prinzip der Kopplung**

- a) Gleichartige oder für zu koordinierende Operationen bestimmte Objekte sind zu koppeln.
- b) Gleichartige oder zu koordinierende Operationen sind zu koppeln.

##### **6. Prinzip der Universalität (Integral-Konstruktion)**

Das Objekt erfüllt mehrere unterschiedliche Funktionen, wodurch weitere Objekte überflüssig werden.

**7. Prinzip der “Steckpuppe” – Matrjoschka (Schachtelung)**

- a) Ein Objekt ist im Inneren eines anderen untergebracht, das sich wiederum im Inneren eines dritten befindet usw.
- b) Ein Objekt verläuft durch den Hohlraum eines anderen Objektes.

**8. Prinzip der Gegenmasse**

- a) Die Masse des Objektes ist durch Kopplung mit einem anderen Objekt mit entsprechender Tragfähigkeit zu koppeln.
- b) Die Masse des Objektes ist durch Wechselwirkung mit einem Medium zu kompensieren.

**9. Prinzip der vorherigen Gegenwirkung**

Wenn gemäß den Bedingungen der Aufgabe eine bestimmte Wirkung erzielt werden soll, muss eine erforderliche Gegenwirkung vorab gewährleistet werden.

**10. Prinzip der vorherigen Wirkung**

- a) Die erforderliche Wirkung ist vorher zu erzielen (vollständig oder auch teilweise).
- b) Die Objekte sind vorher so aufzustellen bzw. einzusetzen, dass sie ohne Zeitverlust vom geeignetsten Ort aus wirken können.

**11. Prinzip des “vorher untergelegten Kissens”**

Eine unzureichende Zuverlässigkeit des Objektes wird durch vorher bereitgestellte Schädenvorbeugungsmittel ausgeglichen.

**12. Prinzip des Äquipotentials**

Die Arbeitsbedingungen sind so zu verändern, dass das Objekt weder angehoben noch herabgelassen werden muss.

**13. Prinzip der Funktionsumkehr**

- a) Statt der Wirkung, die durch die Bedingungen der Aufgabe vorgeschrieben wird, ist die umgekehrte Wirkung zu erzielen.
- b) Der bewegliche Teil des Objektes oder des umgebenden Mediums ist unbeweglich und der unbewegliche ist beweglich zu machen.
- c) Das Objekt ist “auf den Kopf zu stellen” oder umzukehren.

**14. Prinzip der Kugelähnlichkeit**

- a) Von geradlinigen Konturen ist zu krummlinigen, von ebenen Flächen ist zu sphärischen und von Teilen, die als Würfel oder Parallelepiped ausgeführt sind, ist zu kugelförmigen Konstruktionen überzugehen.
- b) Zu verwenden sind Rollen, Kugeln und Spiralen.
- c) Von der geradlinigen Bewegung ist zur Rotation überzugehen; die Fliehkraft ist auszunutzen.

### **15. Prinzip der Dynamisierung**

- a) Die Kennwerte des Objektes oder des umgebenden Mediums müssen so verändert werden, dass sie in jeder Arbeitsetappe optimal sind.
- b) Das Objekt ist in Teile zu zerlegen, die sich zueinander verstellen oder verschieben lassen.
- c) Falls das Objekt insgesamt unbeweglich ist, so ist es beweglich (verstellbar) zu machen.

### **16. Prinzip der partiellen oder überschüssigen Wirkung**

Wenn 100% des erforderlichen Effekts schwer zu erzielen sind, muss "ein bisschen weniger" oder "ein bisschen mehr" erzielt werden.

### **17. Prinzip des Übergangs zu höheren Dimensionen**

- a) Schwierigkeiten, die aus der Bindung der Bewegung eines Objektes an eine Linie resultieren, werden beseitigt, wenn das Objekt die Möglichkeit erhält, sich in einer Ebene zu bewegen. Analog werden auch die Schwierigkeiten, die mit der Bewegung von Objekten auf einer Ebene verbunden sind, beim Übergang in den dreidimensionalen Raum überwunden.
- b) Statt Anordnung in nur einer Ebene (Etag) werden Objekte in mehreren Ebenen (Etagen) angeordnet.
- c) Das Objekt ist geneigt aufzustellen.
- d) Die Rückseite des gegebenen Objektes ist auszunutzen.
- e) Auszunutzen sind die Lichtströme, die auf die Umgebung oder auf die Rückseite des gegebenen Objektes fallen.

### **18. Prinzip der Ausnutzung mechanischer Schwingungen**

- a) Das Objekt ist in Schwingungen zu versetzen.
- b) Falls eine solche Bewegung bereits erfolgt, ist ihre Frequenz zu erhöhen (bis hin zur Ultraschallfrequenz).
- c) Die Eigenfrequenz ist auszunutzen.
- d) Anstelle von mechanischen Vibratoren sind Piezovibratoren anzuwenden.
- e) Auszunutzen sind Ultraschallschwingungen in Verbindung mit elektromagnetischen Feldern.

### **19. Prinzip der periodischen Wirkung**

- a) Von der kontinuierlichen Wirkung ist zur periodischen (Impulswirkung) überzugehen.
- b) Wenn die Wirkung bereits periodisch erfolgt, ist die Periodizität zu verändern.
- c) Die Pausen zwischen den Impulsen sind für eine andere Wirkung auszunutzen.

### **20. Prinzip der Kontinuität (Permanenz) der Wirkprozesse**

- a) Die Arbeit soll kontinuierlich verlaufen (d. h. alle Teile des Objektes sollen ständig mit gleichbleibend voller Belastung arbeiten).
- b) Leerläufe und Unterbrechungen sind zu vermeiden.

### **21. Prinzip des Durcheilens**

Der Prozess oder einzelne seiner Etappen (z. B. schädliche oder gefährliche) sind mit hoher Geschwindigkeit zu Durchlaufen.

### **22. Prinzip der Umwandlung von Schädlichem in Nützlichem**

- a) Schädliche Faktoren (insbesondere schädliche Einwirkung eines Mediums) sind für die Erzielung eines positiven Effekts zu nutzen.
- b) Ein schädlicher Faktor ist durch Überlagerung mit anderen schädlichen Faktoren zu beseitigen.
- c) Ein schädlicher Faktor ist bis zu einem solchen Grade zu verstärken, bei dem er aufhört, schädlich zu sein.

### **23. Prinzip der Rückkopplung**

- a) Es ist eine Rückkopplung einzuführen.
- b) Falls eine Rückkopplung vorhanden ist, ist sie zu verändern.

### **24. Prinzip des "Vermittlers"**

- a) Es ist ein Zwischenobjekt zu benutzen, das die Wirkung überträgt oder weitergibt.
- b) Zeitweilig ist an das Objekt ein anderes (leicht zu entfernendes) Objekt anzuschließen.

### **25. Prinzip der Selbstbedienung**

- a) Das Objekt soll sich selbst bedienen sowie Hilfs- und Reparaturfunktionen selbst ausführen.
- b) Abfallprodukte (Energie, Material) sind zu nutzen.

### **26. Prinzip des Kopierens**

- a) Anstelle eines unzugänglichen, komplizierten, kostspieligen, schlecht handhabbaren oder zerbrechlichen Objektes sind vereinfachte und billige Kopien zu benutzen.
- b) Das Objekt oder das System von Objekten ist durch seine optischen Kopien (Abbildungen) zu ersetzen. Dabei ist der Maßstab zu verändern (die Kopien sind zu verkleinern oder vergrößern).
- c) Wenn optische Kopien benutzt wurden, so ist zu infraroten oder ultravioletten Kopien überzugehen.

### **27. Prinzip der billigen Kurzlebigkeit anstelle teurer Langlebigkeit**

Das teure Objekt ist durch ein Sortiment billiger Objekte zu ersetzen, wobei auf einige Qualitätseigenschaften verzichtet wird (z. B. Langlebigkeit).



### **28. Prinzip des Ersatzes mechanischer Systeme**

- a) Ein mechanisches System ist durch ein optisches, akustisches oder geruchsaktives System zu ersetzen.
- b) Wechselwirkungen elektrischer, magnetischer bzw. elektromagnetischer Felder mit dem Objekt sind auszunutzen.
- c) Von unbewegten Feldern ist zu bewegten Feldern, von konstanten zu veränderlichen, von strukturlosen zu strukturierten Feldern überzugehen.
- d) Die Felder sind in Verbindung mit ferromagnetischen Teilchen zu benutzen.

### **29. Prinzip der Abtrennung**

Anstelle der schweren Teile des Objektes sind gasförmige oder flüssige zu verwenden: Aufgeblasene oder mit Flüssigkeit gefüllte Teile, Luftkissen, hydrostatische und hydroreaktive Teile.

### **30. Prinzip der Anwendung biegsamer Hüllen und dünner Folien**

- a) Anstelle der üblichen Konstruktionen sind biegsame Hüllen und dünne Folien zu benutzen.
- b) Das Objekt ist mit Hilfe biegsamer Hüllen und dünner Folien vom umgebenden Medium zu isolieren.

### **31. Prinzip der Verwendung poröser Werkstoffe**

- a) Das Objekt ist porös auszuführen, oder es sind zusätzliche poröse Elemente (Einsatzstücke, Überzüge usw.) zu benutzen.
- b) Wenn das Objekt bereits porös ausgeführt ist, sind die Poren vorab mit einem bestimmten Stoff zu füllen.

### **32. Prinzip der Farbveränderung**

- a) Die Farbe des Objektes oder des umgebenden Mediums ist zu verändern.
- b) Der Grad der Durchsichtigkeit des Objektes oder des umgebenden Mediums ist zu verändern.
- c) Zur Beobachtung schlecht sichtbarer Objekte oder Prozesse sind färbende Zusätze zu benutzen.
- d) Wenn solche Zusätze bereits angewendet wurden, sind Leuchtstoffe zu benutzen.

### **33. Prinzip der Gleichartigkeit bzw. Homogenität**

Objekte, die mit dem gegebenen Objekt zusammenwirken, müssen aus dem gleichen Werkstoff (oder einem Werkstoff mit annähernd gleichen Eigenschaften) gefertigt sein.

#### **34. Prinzip der Beseitigung und Regenerierung von Teilen**

- a) Der Teil eines Objektes, der seinen Zweck erfüllt hat oder unbrauchbar geworden ist, wird beseitigt (aufgelöst, verdampft u. ä.) oder unmittelbar im Arbeitsgang umgewandelt.
- b) Verbrauchte Teile eines Objektes werden unmittelbar im Arbeitsgang wiederhergestellt.

#### **35. Prinzip der Veränderung des Aggregatzustands eines Objektes**

Hierzu gehören nicht nur einfache Übergänge, z. B. vom festen in den flüssigen Zustand, sondern auch die Übergänge in "Pseudo-" oder "Quasizustände" („Quasiflüssigkeit“) und in Zwischenzustände, z. B. Verwendung elastischer fester Körper.

#### **36. Prinzip der Anwendung von Phasenübergängen**

Die bei Phasenübergängen auftretenden Erscheinungen sind auszunutzen, z. B. Volumenveränderung, Wärmeentwicklung oder -absorption usw.

#### **37. Prinzip der Anwendung von Wärme(aus)dehnung**

- a) Die Wärmeausdehnung oder -verdichtung von Werkstoffen ist auszunutzen.
- b) Es sind mehrere Werkstoffe mit unterschiedlicher Wärmedehnzahl zu verwenden.
- c) Der Grad der Zerlegung des Objektes ist zu erhöhen.

#### **38. Prinzip der Anwendung starker Oxidationsmittel**

- a) Die normale Luft ist durch angereicherte zu ersetzen.
- b) Die angereicherte Luft ist durch Sauerstoff zu ersetzen.
- c) Die Luft / der Sauerstoff ist der Einwirkung ionisierender Strahlung auszusetzen.
- d) Es ist ozonisierter Sauerstoff zu benutzen.
- e) Ozonisierter (oder ionisierter) Sauerstoff ist durch Ozon zu ersetzen.

#### **39. Prinzip der Anwendung eines trägen Mediums**

- a) Das übliche Medium ist durch ein reaktionsträges zu ersetzen.
  - b) Der Prozess ist im Vakuum durchzuführen.
- Dieses Prinzip kann als Gegenstück zu dem vorangegangenen betrachtet werden.

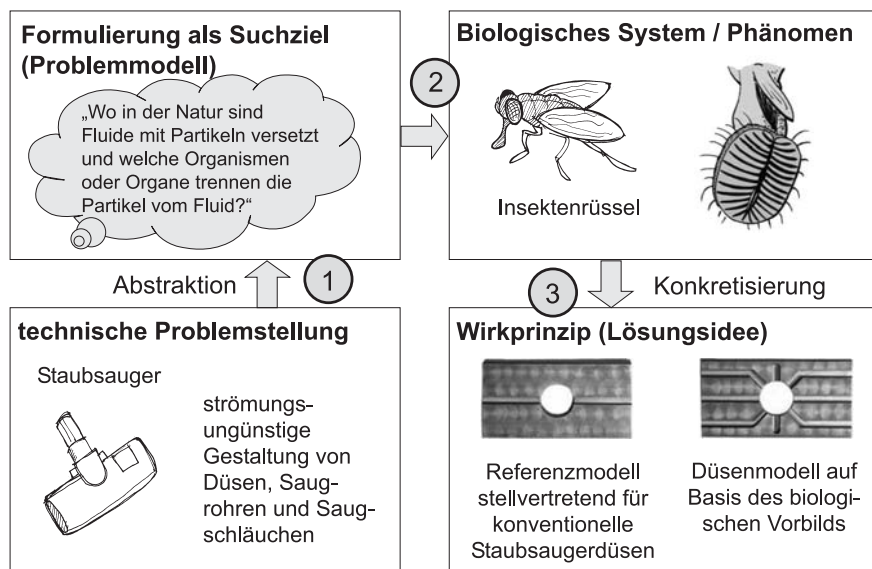
#### **40. Prinzip der Anwendung zusammengesetzter Stoffe**

Von gleichartigen Stoffen ist zu zusammengesetzten überzugehen.

**A3-5 Bionik**

Die Bionik (Kunstwort aus den Begriffen Biologie und Technik) beschäftigt sich mit der Übertragung biologischer Phänomene in die technische Anwendung, also der Synthese technischer Produkte und Systeme auf der Basis biologischer Vorbilder. Dabei bietet sich das gesamte Spektrum biologischer Systeme als Ideenquelle zur Lösung technischer Problemstellungen an. Die Methode erlaubt meist nur kleinere Entwicklungssprünge, da eine mögliche technische Umsetzung bereits bei der Ideensuche erkennbar sein muss.

| Nr | Schritt  | Methoden und Werkzeuge   |
|----|--|--|
| 1  | Abstraktion der Problemstellung:<br>Formulierung als Suchziel für eine gezielte Suche in der Biologie  | Relationsorientierte Funktionsmodellierung, Problemformulierung                            |
| 2  | Lösungssuche auf abstraktem Niveau:<br>Zuordnung biologischer Systeme beziehungsweise Phänomene  | Assoziationsliste, Katalog biologischer Effekte, Biologiebuch, Expertengespräch            |
| 3  | Übertragung auf die Problemstellung:<br>technische Umsetzung ausgewählter Aspekte des biologischen Vorbilds unter Berücksichtigung eines geeigneten Abstraktionsgrades | Kreativitätstechniken (zum Beispiel Brainstorming, Methode 6-3-5), Systematische Variation |



**A3-6 Assoziationsliste**

Bei der Assoziationsliste handelt es sich um eine Liste von Suchbegriffen für die Suche nach biologischen Systemen oder Phänomenen. Der Zugang zu diesen Begriffen erfolgt über technische Funktionen. Die Daten sind in Form der Literatur der Biologie und im Internet in sehr großer Menge vorhanden. Allein der Zugang dazu ist schwierig. Die angebotene Assoziationsliste setzt genau an dieser Schwierigkeit an. Ist erstmals ein Zugang zu Fachliteratur geschaffen, finden sich dort in der Regel auch noch weitere interessante Systeme. Die Assoziationsliste ist als einfaches lebendes Instrument zu verstehen, das erweitert und gegebenenfalls auch umstrukturiert werden kann.

| Funktion | Objekt / Feld / Parameter                   | Assoziationen (biologisch)  |
|----------|---|---|
| ändern   | Absorption elektromagnetischer Wellen       | Pigmentierung der Haut, Photosynthese (Chlorophyll)   |
| ändern   | chemische Parameter                         | in der Natur allgegenwärtig   |
| ändern   | Farbe                                       | Farbwechsel der Haut bei Chamäleons (Chamaeleo) und Tintenfischen (Cephalopoda)   |
| ändern   | Konzentration geladener Partikel            | Biochemisches Potenzial an Zellmembranen  |
| ändern   | Konzentration von Defekten                  | Immunsystem, Heilprozesse   |
| ändern   | Konzentration von submolekularen Partikeln  | Stoffwechsel an biologischen Membranen, Exo- und Endocytose, Microtubuli, Osmose  |
| ändern   | Konzentration (Parameter)                   | Osmose  |
| ändern   | Verformung (Parameter)                      | Turgorbewegung, Nutationsbewegung, Myofilamente, Wachstum, Turgor, Abductin (Muscheln (Bivalvia), vernetztes Polymer), Resilin (Insekten (Insecta), vernetztes Polymer), Elastin (Aorta, globuläre Proteinkomplexe), Collagen (Haut, Kontraktion durch Ionen) |
| ändern   | Abmessung                                   | Wachstum (Zellteilung)  |
| ändern   | Anordnung von Objekten                      | Kernteilungsspindeln, Peristaltik   |
| ändern   | elektrischer Strom                          | Elektroplax des Zitteraals (Electrophorus)  |
| ändern   | elektrisches Feld                           | Elektroplax des Zitteraals (Electrophorus)  |
| ändern   | elektrische Parameter                       | Elektroplax des Zitteraals (Electrophorus)  |
| ändern   | Parameter von elektromagnetischer Induktion | Lorenzini-Ampullen der Haie (Selachii)  |

| Funktion | Objekt / Feld / Parameter                          | Assoziationen (biologisch)   |
|----------|--|--|
| ändern   | Energie eines bewegten Objekts                     | Muskulararbeit, Segel und Tragflächenkonstruktionen von Pflanzensamen und Tieren, Fibrillen, Extremitäten  |
| ändern   | Energie von submolekularen Partikeln               |  |
| ändern   | Flüssigkeitsstrom                                  | Schließmuskeln, Poren der Zellmembran (Flüssigmosaikmodell), Plasmaströmung in Zellen durch Aktomyosin   |
| ändern   | Parameter von Flüssigkeiten                        | Viskositätsänderung durch Konzentrationsänderungen von Sphäro- und Linearkolloiden, Blutgerinnung  |
| ändern   | Parameter von Kräften, Energie und Momenten        | zu und abnehmendes Ansprechen kaskadierter Aktoren (Muskeln und Muskelzellen), Gelenkstellung der Extremitäten von Wirbel- und Gliederfüßlern (Vertebrata und Arthropoda), Verformung der Sproßachse |
| ändern   | Reibungsparameter                                  | Sekretion (Speichel, Talg, Schleim), Blasenbildung, Haifischhaut (Selachii), Delphinhaut (Zahnwale: Odontoceti)  |
| ändern   | Feuchtigkeit                                       | Schleimhäute der Atemwege, Sekretion   |
| ändern   | Abbild   | Tarnung vor Hintergrund bei Kopffüßlern (Cephalopoda), allgemein Mimese  |
| ändern   | Intensität elektromagnetischer Wellen              | elastische Linsen von Wirbeltieren (Vertebrata) und Kopffüßlern (Cephalopoda)  |
| ändern   | Parameter von Interferenzmustern                   | Insektenaugen (Insecta)  |
| ändern   | Lichtausbreitung                                   | Leuchtorgane von spez. Krebsen und Kopffüßlern (Crustacea und Cephalopoda)   |
| ändern   | Parameter von mechanischen Wellen und Schallwellen | Stimmmodulation  |
| ändern   | mechanische Kräfte                                 | zu und abnehmendes Ansprechen kaskadierter Aktoren (Muskeln und Muskelzellen), Gelenkstellung der Extremitäten von Wirbel- und Gliederfüßlern (Vertebrata und Arthropoda), Verformung der Sproßachse |
| ändern   | Drehmoment   | zu und abnehmendes Ansprechen kaskadierter Aktoren (Muskeln und Muskelzellen), Gelenkstellung der Extremitäten von Wirbel- und Gliederfüßlern (Vertebrata und Arthropoda), Verformung der Sproßachse |

| Funktion    | Objekt / Feld / Parameter            | Assoziationen (biologisch)   |
|-------------|--------------------------------------|--|
| ändern      | Parameter von Bewegung und Vibration | zu und abnehmendes Ansprechen kaskadierter Aktoren (Muskeln und Muskelzellen), Gelenkstellung der Extremitäten von Wirbel- und Gliederfüßlern (Vertebrata und Arthropoda), Verformung der Sproßachse                                     |
| ändern      | Parameter von optischen Geräten      | elastische Linsen von Wirbeltieren (Vertebrata) und Kopffüßlern (Cephalopoda)  |
| ändern      | Eindringtiefe                        | Pigmentierung der Haut, Horn(haut)bildung  |
| ändern      | Druck                                | Osmose (regulierbar), Bombardierkäfer (Brachynus)  |
| ändern      | Feststoffparameter                   | Collagen (Haut, Kontraktion durch Ionen), Anordnung von Fasern (z. B. Zellulose bei Pflanzen, Resilin bei Insekten (Insecta), u.v.m.)  |
| ändern      | Ansprechzeit                         | Verschaltung von Neuronen, Schwellenwert für Nervenimpuls  |
| ändern      | Stoffdichte                          | Schwimmbüse bei Knochenfischen (Osteichthyes), Walrat des Pottwals (Physeter macrocephalus), Bombardierkäfer (Brachynus)   |
| ändern      | Oberflächenparameter                 | Haut der Tintenfische (Cephalopoda)  |
| ändern      | Temperatur                           | Hecheln (Wasserverdunstung), Schwitzen, Ohren abstellen (afrik. Elefant (Loxodonta africana)), Anpassung des Stoffwechsels, Bombardierkäfer (Brachynus)  |
| ändern      | thermische Parameter                 | Bombardierkäfer (Brachynus), Durchblutungsänderung (z.B. Vertebrata)   |
| ändern      | Zuverlässigkeit von Geräten          | Reparaturfunktion, extreme Kaskadierung (Muskeln), Wachstum (Zellteilung), Redundanz   |
| ändern      | Benetzbarkeit                        | Talgproduktion der Haut, Aufbau strukturierter Oberflächen (z. B. Wachscuticula der Pflanzen)  |
| ablageren   | Feststoffe                           | Schleim des Filters von Schwämmen (Porifera), Klebezungen bei Amphibien und Reptilien, Fangschleim des Sonnentaus (Drosera)  |
| ablageren   | strukturierte Stoffe                 | Schleim des Filters von Schwämmen (Porifera), Klebezungen bei Amphibien und Reptilien, Fangschleim des Sonnentaus (Drosera)  |
| absorbieren | elektromagnetische Wellen und Licht  | Färbungen zur Tarnung (z. B. bei Kopffüßlern (Cephalopoda)), Schwarze Haut des Eisbären (Ursus maritimus), Abplatten von Reptilien (Sonnebad)  |
| absorbieren | Kräfte, Energie und Momente          | Knorpel, Muskeln, Entzündungsreaktion (Blasenbildung), Aufhängung des Spechtsschnabels (Picidae), Lagerung von Horn und Geweih bei mänl. Paarhufern (Artiodactyla: Hirsche (Cervidae) und Hornträger (Bovinae: Rinder, Antilopen, etc.)) |

| Funktion         | Objekt / Feld / Parameter                   | Assoziationen (biologisch)  |
|------------------|---|---|
| absorbieren      | mechanische Wellen und Schallwellen         | Knorpel, Muskeln, Entzündungsreaktion, Aufhängung des Spechtsschnabels (Picidae), Ohrmuscheln (insbesondere von Fledermäusen (-tieren: Chiroptera) und anderen nachtaktiven Tieren) |
| absorbieren      | molekulare und submolekulare Partikel       | Darm, Lunge, Nasenschleimhaut, Geschmackszellen, Endocytose (Vesikel)   |
| absorbieren      | thermische Energie                          | Schwarze Haut des Eisbären (Ursus maritimus), Abplatten von Reptilien (Sonnebad)  |
| einbetten        | molekulare und submolekulare Partikel       | "Vergiftung" von Geweben  |
| speichern        | elektrische Energie                         | Elektroplax des Zitteraals (Electrophorus)  |
| speichern        | thermische Energie                          | Isolation (Fett), Thermische Zonung (Vogelbeine), Chemische Energie (Verbrennung), Fell/Federn sträuben   |
| messen, erkennen | chemische Verbindungen                      | Sensoren in Nasen und Mundschleimhaut (Geruch- und Geschmacksinn), Sensoren in Magenschleimwand   |
| messen, erkennen | Deformationsparameter                       | Muskelspindel (Wirbeltiere (Vertebrata)), Mechanorezeptoren   |
| messen, erkennen | elektromagnetische Wellen und Licht         | Sehzellen des Auges, Phototaxis von Bakterien (Prokaryonten), Photorezeptoren   |
| messen, erkennen | Polarisation von elektromagnetischen Wellen | Insekten (Hexapoda), insbesondere Bienen (Apis)   |
| messen, erkennen | Feststoffe, Feststoffelemente               | Tastsensoren der Haut, Sehzellen des Auges, Geschmackszellen  |
| messen, erkennen | Gas   | Sensoren in Nasen und Mundschleimhaut   |
| messen, erkennen | Konzentrations-parameter                    | Chemotaxis von Bakterien (Prokaryonten)   |
| messen, erkennen | mechanische Wellen und Schallwellen         | Thigmotaxis von Bakterien (Prokaryonten), Haarzellen der Labyrinthsinnesorgane bei Wirbeltieren (Vertebrata), Kommunikation holzbewohnender Insekten (Hexapoda)                     |
| messen, erkennen | Oberflächenparameter                        | Antennen der Insekten (Insecta)   |
| messen, erkennen | Parameter von elektrischen Feldern          | Elektroortung bei Fischen (z.B. Gymnarchus)   |
| messen, erkennen | Parameter von Flüssigkeiten                 | Seitenlinienorgan der Fische (Osteichthyes) und Amphibien (Amphibia) zur Druckmessung   |
| messen, erkennen | Parameter von Kräften, Energie und Momenten | Thigmo-, Thermo- und Gravitaxis von Bakterien (Prokaryonten); Mechanorezeptoren, Muskelspindel (Wirbeltiere (Vertebrata))   |

| Funktion         | Objekt / Feld / Parameter             | Assoziationen (biologisch)  |
|------------------|---------------------------------------|---|
| messen, erkennen | Parameter von magnetischen Feldern    | Magnetsinn bei Bakterien (Magnetotaxis), Vögeln (Aves), Termiten (Isoptera), Walen (Cetacea), Haien (Selachii) (Induktion) und Knochenfischen (Osteichthyes)      |
| messen, erkennen | thermische Parameter                  | Wärmesinn der Klapperschlange (Crotalus) und Insekten (Insecta), Thermotaxis der Bakterien (Prokaryonten)   |
| erzeugen         | Deformation                           | Muskelbewegung, Turgorbewegung, Wachstum  |
| erzeugen         | elektrischer Strom                    | Elektroplax (z.B. Electrophorus), Bakt. Rhodoferax ferrireducens  |
| erzeugen         | elektrische Entladung                 | Elektroplax (z.B. Electrophorus), Bakt. Rhodoferax ferrireducens  |
| erzeugen         | elektrisches Feld                     | Elektroplax (z.B. Electrophorus), Bakt. Rhodoferax ferrireducens  |
| erzeugen         | elektromagnetische Wellen und Licht   | Biolumineszenz (Leuchtkäfer (Lampyridae), Anglerfische (z. B. Lophius))   |
| erzeugen         | Feststoffelemente                     | Wachstum (Zellteilung)  |
| erzeugen         | Stoffstrom                            | Peristaltik, Flimmerepithel, Flagellenschlag im Filter der Schwämme (Porifera), Kontraktion von Cisternen, Blutsysteme  |
| erzeugen         | Kräfte, Energie und Momente           | Muskelaktivität, Turgor (Osmose), Quellen von Fasern (z. B. Sprengkräfte von Pflanzensamen), Stoffumsatz zur Wärmezeugung (nur bei homoiothermen Tieren)          |
| erzeugen         | Gas                                   | Bombardierkäfer (Brachynus)   |
| erzeugen         | geometrische Objekte                  | siehe Feststoffelemente   |
| erzeugen         | Abbild                                | Tarnung vor Hintergrund bei Kopffüßlern (Cephalopoda), allgemein Mimese   |
| erzeugen         | Flüssigkeiten                         | Sekretion (Speichel, Talg, Schleim)   |
| erzeugen         | mechanische Wellen und Schallwellen   | Stimmritze, Trommeln  |
| erzeugen         | molekulare und submolekulare Partikel | Stoffwechsel der Zelle  |
| erzeugen         | poröse Stoffe                         | Knochenwachstum, Schaum von Zikaden (Auchenorrhyncha) und Schnecken (Gastropoda), Kieselalgen (Diatomeen), Schwämme (Porifera), Schwammparenchym von Laubblättern |
| erzeugen         | Feststoffe                            | Sekretion, Zellteilung  |
| erzeugen         | strukturierte Stoffe                  | Sekretion, Zellteilung  |
| erzeugen         | technische Objekte und Stoffe         | siehe Biochemie   |
| erzeugen         | thermische Energie                    | Stoffwechsel, Muskelzittern, Bombardierkäfer (Brachynus)  |



| Funktion     | Objekt / Feld / Parameter             | Assoziationen (biologisch)   |
|--------------|---------------------------------------|--|
| erzeugen     | chemische Verbindungen                | Biochemische Reaktionen (Synthese)   |
| verdampfen   | Flüssigkeiten                         | Schwitzen (passiv), Schwammparenchym von Laubblättern (passiv), Bombardierkäfer (Brachynus) (aktiv)  |
| kondensieren | Gas                                   | Nasengänge, wüstenbewohnende Pflanzen und Tiere, Pflanzenblatt   |
| Schmelzen    | Feststoffe                            | Walrat des Pottwals (Physeter macrocephalus)   |
| trocknen     | Feststoffe                            | Gefiederspreizen (z.B. Kormoran (Phalacrocorax carbo)), Wasserentzug im Darm, Fellschütteln, Hydrophobierung durch Lipide, osmotisches Potenzial, Pflanzensamen  |
| vibrieren    | Feststoffe                            | Ein- auskoppelbarer Flügelschlag der Insekten (Insecta)  |
| rotieren     | Feststoffe                            | Geißelschlag (Cilien)  |
| heben        | lose Stoffe                           | Extremitäten zum Graben (Maulwurf (Talpa europaea), -sgrille (Gryllotalpa gryllotalpa)), Zungen, Mundwerkzeuge der Insekten (Insecta), Schweinerüssel (Suidae), Krallen  |
| heben        | Feststoffe                            | Hände, Schnäbel, Mäuler  |
| bewegen      | Gas                                   | Atmung (je nach Klasse sehr unterschiedlich), Bombardierkäfer (Brachynus), Termitenbau (Isoptera), Bau des Präriehundes (Cynomys ludovicianus)   |
| bewegen      | Flüssigkeiten                         | Cilien-/Flagellenschlag, Peristaltik, Spucken, Blutgefäße (optimal verzweigtes Röhrentransportsystem), Bewegung der Zellplasmas (Plasmaströmung des Actomyosin-Systems), Wassertransport in Pflanzen   |
| bewegen      | molekulare und submolekulare Partikel | Bewegung der Zellplasmas (Plasmaströmung des Actomyosin-Systems)   |
| bewegen      | Partikel                              | Strömung in Schwämmen, Flimmerepithel  |
| bewegen      | Feststoffe                            | Bewegung von Organismen zu Land, Luft, Wasser und unter der Erde, Peristaltik  |
| bewegen      | strukturierte Stoffe                  | Bewegung von Organismen zu Land, Luft, Wasser und unter der Erde, Peristaltik  |
| glätten      | Feststoffelemente                     | Insektenflügel nach dem Schlüpfen aus dem Kokon, Blattformfaltung aus Knospe, Furchung von Kakteen (wasserspeichernde Pflanzen: Sukkulente), Kehlsäcke (Vögel (Aves)), Schwellkörper, Mimik, Putzverhalten (Federn, Fell und Antennen)         |
| umformen     | Feststoffe                            | Kauwerkzeuge, Kiefer und Zähne, Wachstum, Turgor, Abductin (Muscheln (Bivalvia), vernetztes Polymer), Resilin (Insekten (Hexapoden), vernetztes Polymer), Elastin (Aorta, globuläre Proteinkomplexe), Collagen (Haut, Kontraktion durch Ionen) |

| Funktion    | Objekt / Feld / Parameter             | Assoziationen (biologisch)  |
|-------------|---------------------------------------|---|
| reinigen    | chemische Verbindungen                | Abbaureaktionen in der Leber, selektive Stoffaufnahme im Darm, Desinfektion im Magen (Säure)  |
| reinigen    | Feststoffelemente                     | Zungen (Wirbeltiere (Vertebrata)), kammförmige Zähne, Antennenputzapparat bei Insekten (Insecta), Lidschlag (Wirbeltiere (Vertebrata)), Wachs-Cuticula ("Lotuseffekt")  |
| reinigen    | Flüssigkeiten                         | Filterstrukturen der Schwämme (Porifera), Flamingos (Phoenicopterus) und Wale (Cetacea)   |
| reinigen    | Feststoffe                            | Zungen (Wirbeltiere), kammförmige Zähne (), Antennenputzapparat bei Insekten, Lidschlag (Wirbeltiere (Vertebrata)), Wachs-Cuticula ("Lotuseffekt")  |
| zerlegen    | Feststoffe                            | Kauwerkzeuge, Kiefer und Zähne, Krallen, Stachel der Holzwespen (Siricidae), Bohrmuscheln (Petricola pholadiformis), Verdauung  |
| zerstören   | chemische Verbindungen                | Enzymreaktionen, Abbau durch Säuren/Basen   |
| zerstören   | strukturierte Stoffe                  | Kauen und chemische Aufspaltung im Verdauungstrakt  |
| abtrennen   | Teile von Feststoffen                 | Kauwerkzeuge von Gliedertieren (Arthropoda), Kiefer und Zähne der Wirbeltiere (insb. selbstschärfende, nachwachsende Zähne von Nagetieren (Rodentia)), Krallen, Stachel der Holzwespe (Siricidae), Bohrmuscheln (Petricola pholadiformis) |
| abtrennen   | Feststoffe                            | Kauwerkzeuge, Kiefer und Zähne, Krallen, Bohrmuscheln (Petricola pholadiformis)   |
| entfernen   | chemische Verbindungen                | chem. Reaktionen  |
| entfernen   | Feststoffelemente                     | Verdauung   |
| entfernen   | Gas                                   | Atmung  |
| entfernen   | Flüssigkeiten                         | Dickdarm  |
| entfernen   | molekulare und submolekulare Partikel | chem. Reaktionen  |
| entfernen   | Partikel                              | chem. Reaktionen  |
| extrahieren | chemische Verbindungen                | Verdauung (Kohlenhydrate, Proteine, Fette, Ionen, Wasser), Stofftransport an Pflanzenwurzeln (Rhizom)   |
| extrahieren | Gas                                   | Kiemen der Fische (Pisces), Mollusken und Amphibien; Haut der Amphibien, Lungen   |
| extrahieren | Flüssigkeiten                         | Wasserentzug im Darm, Saugrüssel von Insekten (Insecta), osmotisches Potenzial (Pflanzenwurzeln)  |

| Funktion      | Objekt / Feld / Parameter             | Assoziationen (biologisch)   |
|---------------|---------------------------------------|--|
| schützen      | Feststoffelemente                     | Harz in Pflanzen, Giftstoffeinlagerung, Reparaturfunktionen (Immunsystem), Waabe (Wachs, Zellulose, ...), Nest (Gras, Äste, Lehm, ...), Verhornung der Haut, Wachs-Cuticula ("Lotuseffekt"), Pollenhülle (Sporopollenin), Stacheln   |
| schützen      | Flüssigkeitsstrom                     | Verdunstungsschutz der Pflanzen (Cuticula und Härchen der Königskerze (Verbascum))   |
| stabilisieren | Konzentrationsparameter               | Chemische Pufferung, adaptive und selektive Permeabilität biologischer Membranen   |
| stabilisieren | Parameter von elektrischen Feldern    | Neuronale Steuerung der Elektroplax, Ruhepotential der Neurone   |
| stabilisieren | Flüssigkeitsparameter                 | Aufrechterhaltung des Turgors  |
| stabilisieren | geometrische Parameter                | Strukturversteifung durch Zellulose (Pflanzen, Bakterien (Prokaryonten)), Kalk (Korallen (Anthozoa), Knochen), Kieselsäure (Kieselalgen (Diatomeen)) und Chitin (Insekten), Aufrechterhaltung einer Position durch Muskelspindel-Reflexbogen bei Wirbeltieren (Vertebraten)  |
| stabilisieren | Parameter von Bewegung und Vibration  | Selbsterregung des Herzens, neuronale Kontrolle, Bewegung des Zellplasmas  |
| stabilisieren | thermische Parameter                  | Speichern thermischer Energie (↑), Schwitzen, Fächeln (afrik. Elefant ( <i>Loxodonta africana</i> )), Durchblutungsregelung, Verbrennung von Nährstoffen   |
| ausrichten    | molekulare und submolekulare Partikel | Spindelapparat bei Zellteilung, Elementarmagnete für Magnetotaxis, piezoelektrischer Effekt des Knochens (Erregungsmechanisches Leitgerüst für den Transport von Kalziumverbindungen)  |
| ausrichten    | Feststoffe                            | Haken (an Hakenstrahlen) Federn  |
| zusammenfügen | Feststoffe                            | Krallen, Saugnäpfe (Kopffüßler (Cephalopoden)), Härchen (Gecko (Gekkonidae)), Hinterlaibsenden (Cerci) von Insekten (Insecta), Gespinste (Kokon), Sehnen, Bänder, Wurzeln, Heftorgan der Schiffshalterfische (Echeneidae), Schädelnähte (Sutura), Widerhaken (Klette (Arctium)), Wespenstachel (Vespidae), Fangzähne der Raubtiere (Carnivoren), ...), Haftlappen der Insektenextremitäten, Klebstoffe (Miesmuschel u.v.m. ( <i>Mytilus edulis</i> )), Hufe des Steinbocks ( <i>Capra ibex</i> ) |
| verteilen     | chemische Verbindungen                | Tracheen, Lungen, Kiemen, Blutsystem, Endo- und Exocytose, Duftdrüsen, Sekretion   |
| verteilen     | Druck                                 | Extremitäten der Tiere, Bandscheibe, Meniskus  |
| verteilen     | elektrische Energie                   | Elektroplax des Zitteraals (Electrophorus)   |
| verteilen     | elektrische Entladung                 | Elektroplax des Zitteraals (Electrophorus)   |
| verteilen     | elektrisches Feld                     | Elektroplax des Zitteraals (Electrophorus)   |

| Funktion  | Objekt / Feld / Parameter           | Assoziationen (biologisch)   |
|-----------|-------------------------------------|--|
| verteilen | elektromagnetische Wellen und Licht | Biolumineszenz (Leuchtkäfer (Lampyridae), Anglerfische (z. B. Lophius))                                      |
| verteilen | Feststoffe                          | Flugsamen der Pflanzen, Exkretion des Nilpferds (Hippopotamus)   |
| verteilen | Flüssigkeiten                       | Blutsystem (optimale Verzweigung), Wasserleitung bei Pflanzen  |
| verteilen | Gas                                 | Tracheen, Lungen, Kiemen, Blutsystem, Bauten von Termiten (Isoptera) und Präriehunden (Cynomys ludovicianus) |
| verteilen | Gewicht                             | Extremitäten der Tiere, Bandscheibe, Meniskus  |
| verteilen | Kräfte, Energie und Momente         | Extremitäten der Tiere, Bandscheibe, Meniskus  |
| verteilen | mechanische Wellen und Schallwellen | Ohren von Wirbeltieren (Vertebrata)  |
| verteilen | thermische Energie                  | Blutsystem, Bauten von Termiten (Isoptera), thermische Zonung  |

## Internet-Anhang A7.3

Aus dem Buch Ponn & Lindemann der Anhang

A4 „Baummodell“ (Nummerierung nach dem Buch Ponn & Lindemann, nicht nach IPE!)

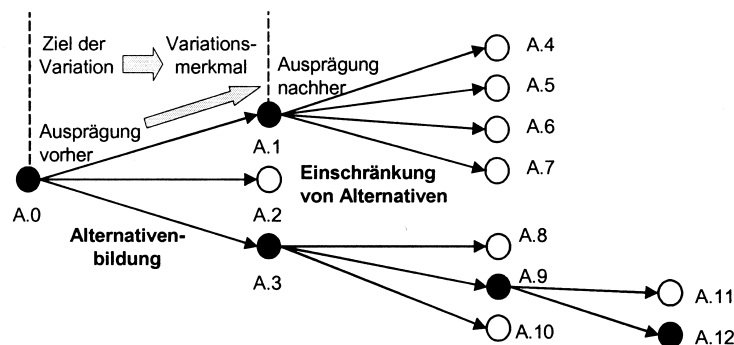
(Variation; Gestaltparameter und Prinzipien optimaler Systeme)

**A4 Baummodell** entspricht im Wesentlichen Kapitel 7.6 und 7.7 im Buch Ehrlenspiel, „Integrierte Produktentwicklung“. Nur anders angeordnet.

### A4-1 Systematische Variation

Die Systematische Variation kann anhand der **Ausprägung** unterschiedlicher **Merkmale** geschehen. Für jedes Produktmodell gibt es einen eigenen Satz an beschreibenden Merkmalen. Im Folgenden wird auf die systematische Variation der Produktgestalt eingegangen, hierbei findet folgendes Vorgehen allgemein Anwendung, wobei Schritt 5 nicht unmittelbar Teil der Systematischen Variation ist:

| Nr | Arbeitsschritt  | Methoden, Hilfsmittel                                    |
|----|---|--|
| 1  | <b>Ausgangsobjekte</b> bestimmen  | Produktrepräsentationen (Funktionsmodelle, Skizzen)      |
| 2  | <b>Variationsziel</b> bestimmen: Die Variation muss ein bestimmtes Ziel verfolgen (z. B. Gewichtsreduktion, Leistungserhöhung).                   | Anforderungsliste, Problemformulierung, Zielformulierung |
| 3  | <b>Variationsmerkmal</b> bestimmen: Dieses ergibt sich zum Teil schon aus dem Ziel (Gewichtsreduktion → zum Beispiel anderen Werkstoff verwenden) | Checkliste mit Gestaltparametern                         |
| 4  | <b>Neue Ideen</b> durch alternative Merkmalsausprägungen erzeugen: Hierbei beachten wie sich das betrachtete Merkmal in seiner Ausprägung ändert. | Checkliste mit Gestaltmerkmalen                          |
| 5  | Generierte Ideen auf Umsetzbarkeit prüfen, bewerten und auswählen   | Eigenschaftsanalyse, Bewertungsmethoden                  |



Voraussetzung für die Variation ist das Vorhandensein eines Ausgangsobjekts, auf dessen Basis die Variation erfolgen kann. Die Variation erfolgt in der Regel in mehreren Stufen, bis ein ausreichender Lösungsraum erzeugt worden ist. Sinnvoll ist die Verwendung von Checklisten zur systematischen Variation.

### A4-2 Checkliste mit Gestaltparametern

Die Variation von Gestaltparametern dient dem Zweck, unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten auf Ebene der Gestalt zu erzeugen. Die Genese von Alternativen soll zielbezogen erfolgen, um Schwachstellen an vorhandenen Lösungen zu eliminieren und die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt bestmöglich zu erfüllen.

Die aufgeführten Gestaltmerkmale Beispiele, die auf Ehrlenspiels Sammlung [Ehrlenspiel 2003] basieren, stellen einen Leitfaden für die systematische Gestaltvariation dar. Sie sollen als Anregung in der Lösungsfindung dienen.

Gestaltparameter können nach unterschiedlichen Gesichtspunkten gegliedert werden, eine eindeutige hierarchische Strukturierung ist dabei schwer möglich, für die Praxis aber ohnehin nicht unbedingt erforderlich.

Die folgende Gliederung von Gestaltparametern stellt eine Möglichkeit der Strukturierung dar, die sich in der Praxis als hilfreiches Werkzeug in der systematischen Lösungssuche bewährt hat. Die Auflistung von Gestaltparametern, die auch als eine Kombination anderer interpretiert werden könnte zielt dabei darauf ab, ein und dieselbe Problemstellung aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. In der Folge kann sich eine gewisse Redundanz ergeben, die in Überschneidungen der Ergebnisse resultiert. So kann eine ähnliche Gestaltalternative durch die Variation unterschiedlicher Gestaltparameter zustande kommen.

Die einzelnen Parameter sind prinzipiell in der Art gelistet, das jedes Merkmal allgemein erklärt wird. Zusätzlich werden sie anhand typischer allgemein-abstrakter Ausprägungen (auch im Sinne einer Klassifikation) und/oder konkreter Beispiele graphisch dargestellt.

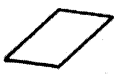










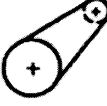



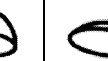



| Kategorie                                | Nr. | Gestaltmerkmal              |
|--|-----|-----------------------------|
| Flächen und Körper                       | 01  | Form                        |
|  | 02  | Lage                        |
|  | 03  | Zahl                        |
|  | 04  | Größe                       |
| Beziehungen zwischen Flächen und Körpern | 05  | Verbindungsart              |
|  | 06  | Berührungsart (Kontaktart)  |
|  | 07  | Kopplungsart                |
|  | 08  | Verbindungsstruktur         |
|  | 09  | Reihenfolge                 |
|  | 10  | Kompaktheit von Bauweisen   |
| Produktionsbezogene Eigenschaften        | 11  | Werkstoff                   |
|  | 12  | Fertigungsverfahren         |
| Bewegungen                               | 13  | Bezugssystem                |
|  | 14  | Bewegungsart                |
|  | 15  | Bewegungsverlauf (zeitlich) |
|  | 16  | Gelenkfreiheitsgrad         |
| Umkehrung                                | 17  | Umkehrung (Negation)        |

#### 01 Form

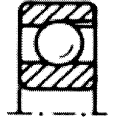
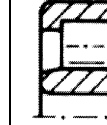
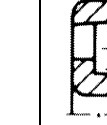
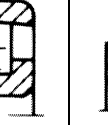
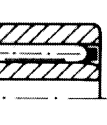
Der Gestaltungsparameter Form bezieht sich auf die geometrische Ausprägung von Objekten. Variiert werden kann hierbei zum einen die Gesamtform eines Volumenkörpers, aber auch nur eine Fläche oder Linie als Teil eines solchen. Beschreiben lässt sich die Form eines Körpers unter anderem durch Krümmungsradien,

Umriß-Polygone und Begrenzungsflächen. Die Form kann sich aber auch in Folge der Variation anderer Gestaltparameter, beispielsweise von Zahl oder Größe, verändern.

### Allgemein-abstrakte Ausprägungen

| Flächenpunkt ohne Krümmung (eben)  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Ebene  | Tetraeder  | Prisma   | Würfel   | Quader   | Sechskant  |  |
|   |   |   |   |   |   |  |
| Flächenpunkt mit einem Krümmungsradius   |  |  |  |  |  |  |
| Halbzylinder   | Halbkegel  | Wellenmaterial   | Zylinder   | Rohr   | Kegel  |  |
|   |   |   |   |   |   |  |
| Flächenpunkt mit zwei Krümmungsradien  |  |  |  |  |  |  |
|  | Sattel   | Kugel  | Halbkugel  | Linse  | Tonne  | Hyperboloid  |
|  |  |  |  |  |  |  |

### Konkrete Beispiele

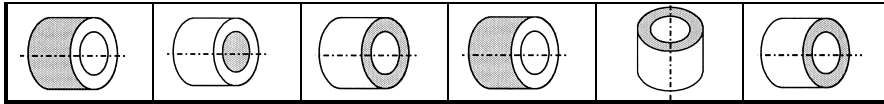
| Form von Wälzlagerkörpern   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| Kugel<br>(Rillenkugellager)   | Zylinder<br>(Zylinderrollenlager)   | Tonne<br>(Tonnenlager)  | Kegel<br>(Kegelrollenlager)   | Zylinder<br>(Nadellager)  |
|  |  |  |  |  |

## 02 Lage

Der Gestaltparameter Lage bezieht sich auf die relative oder absolute Lage geometrischer Objekte wie Linien (beispielsweise Begrenzungen oder Normalen), Flächen und Körpern. Die Variation der Lage von Linien oder Flächen an ein und demselben Körper hat dabei oft einen Einfluss seine Form und umgekehrt. Die Variation der Lage von mehreren Körpern (relativ) zueinander kann hingegen die Reihenfolge von Systemelementen sowie ihre Verbindungsstruktur innerhalb eines Systems als weitere Gestaltparameter bedingen.

### Allgemein-abstrakte Ausprägungen

| Gegensätzliche Lageaspekte |                  |                         |
|----------------------------|------------------|-------------------------|
| außen vs. innen            | radial vs. axial | horizontal vs. vertikal |



**Konkrete Beispiele**

| Lage von Wirkflächen an Schraubenköpfen in der Draufsicht |  |  |  |                  |  |  |  |
|---|--|--|--|------------------|--|--|--|
| Wirkfläche außen  |  |  |  | Wirkfläche innen |  |  |  |
|   |  |  |  |                  |  |  |  |

**03 Zahl**

Der Gestaltparameter Zahl bezieht sich auf die Anzahl an Systemelementen (Komponenten, Wirkflächen etc.). Eine Erhöhung kann z. B. zur Steigerung erwünschter Systemparameter beitragen (Durchsatz, Sicherheit etc.), eine Verringerung z. B. zur Senkung unerwünschter Parameter (Gewicht, träge Massen etc.).

**Konkrete Beispiele**

| Unterschiedliche Anzahl an Zylindern bei Verbrennungsmotoren            |   |   |     |     |    |
|---|---|---|-----|-----|----|
| 1   | 2 | 3 | ... |     |    |
|   |   |   |     |     |    |
| Unterschiedliche Anzahl an Ecken bei Schraubenköpfen (Wirkfläche außen) |   |   |     |     |    |
| 2   | 3 | 4 | 6   | ... | 16 |
|   |   |   |     |     |    |

**04 Größe**

Der Gestaltparameter Größe bezieht sich auf die Dimensionierung von Systemelementen (Komponenten, Wirkflächen etc.) aber auch auf die Auslegung von nichtgeometrischen Systemparametern (Leistung, Geschwindigkeit etc.). Bei der systematischen Variation kann die Größe entweder erhöht oder verringert werden.

**Konkrete Beispiele**

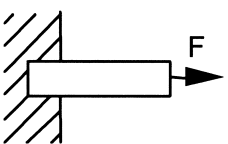
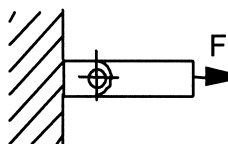
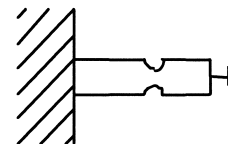
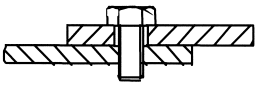
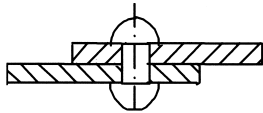
| Größe der Gelenke in einem Zweigelenk |                      |                              |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Gelenk 1 und 2 groß                   | Gelenk 1 und 2 klein | Gelenk 2 sehr viel größer    |
| <p>Gelenk 2<br/>Gelenk 1</p>          |                      | <p>Gelenk 2<br/>Gelenk 1</p> |

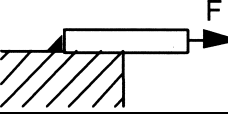
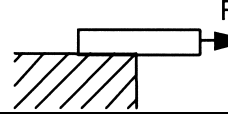
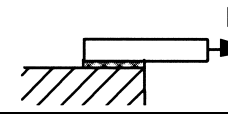
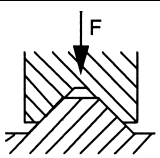
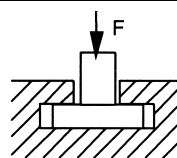
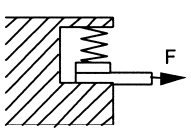
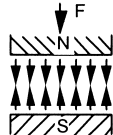


## 05 Verbindungsart

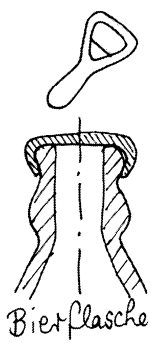
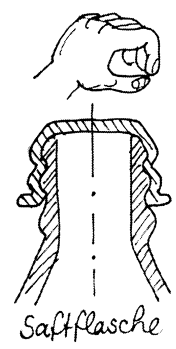
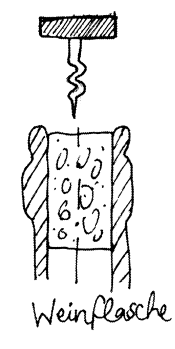
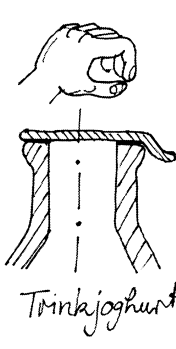
Der Gestaltparameter Verbindungsart bezieht sich auf die Art der Verbindung unterschiedlicher i.d.R. physikalischer Systemkomponenten. Neben der Beweglichkeit der Verbindung, die im Falle der gelenkigen Verbindung zu weiteren Variationsmerkmalen wie dem Freiheitsgrad des Gelenkes führt, können Verbindungen weiter in ihrer Lösbarkeit und ihrer Schlussart variiert werden.

### Allgemein-abstrakte Ausprägungen

| Beweglichkeit   |   |  |
|---|---|--|
| Starr   | Gelenkig  | Elastisch  |
|  |  |  |
| Lösbarkeit  |   |  |
| Lösbar (z. B. Schraubenverbindung)  |   | Unlösbar (z. B. Nietverbindung)  |
|  |   |  |

| Schlussart  |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Stoffschluss  |   |  |  |
| Schweißen   | Kleben/löten  | Elast. Zwischenkörper, anvulkanisiert  |  |
|  |  |  |  |
| Formschluss   |   | Kraftschluss   |  |
| Einseitig   | Beidseitig  | Reibschluss  | Feldschluss  |
|  |  |   |  |

**Konkrete Beispiele**


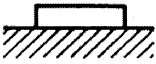

| Verbindungsarten bei Flaschenverschlüssen  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| Formschluss<br>(Kronkorken)  | Reibschluss<br>(Schraubverschluss)   | Reibschluss<br>(Korken)  | Stoffschluss<br>(Klebefolie)   |
|  <p>Bierflasche</p> |  <p>Saftflasche</p> |  <p>Weinflasche</p> |  <p>Trinkjoghurt</p> |

**06 Berührungsart (Kontaktart)**

Der Gestaltparameter Berührungsart bezieht sich auf die Art und Weise wie sich berührende physische Systemelemente (Körper) in Kontakt stehen. Die primär in Punkt-, Linien- oder Flächenberührungen einteilbare Kontaktarten haben einen unmittelbaren Einfluss auf Flächen- und Hertzsche Pressung zwischen den entsprechenden in Kontakt stehenden Komponenten. Die Variation der Kontaktart steht hierdurch in direktem Zusammenhang mit der zu erfüllenden Funktion der Berührung und somit auch der Verbindungsart.

**Allgemein-abstrakte Ausprägungen**

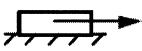


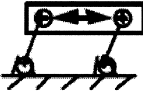


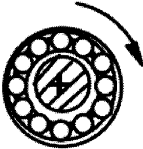

| Punktberührung  |   |   |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|
| An 1 Punkt  |   | An 2 Punkten  |  | An 3 Punkten   |  |
|  |   |  |  |  |  |
| Linienberührung   |   |   |  |  |  |
| Gerade Linie  |   |   | Kreisförmige Linie   |  |  |
|  |   |   |  |  |  |
| Flächenberührung  |   |   |  |  |  |
| Ebene Fläche  | Zylinderfläche  | Kugel-<br>fläche  | Kegel-<br>fläche   | Keil-<br>Dreh-<br>fläche   | Keil-<br>Schraub-<br>fläche  |
|  |  |  |   |   |  |

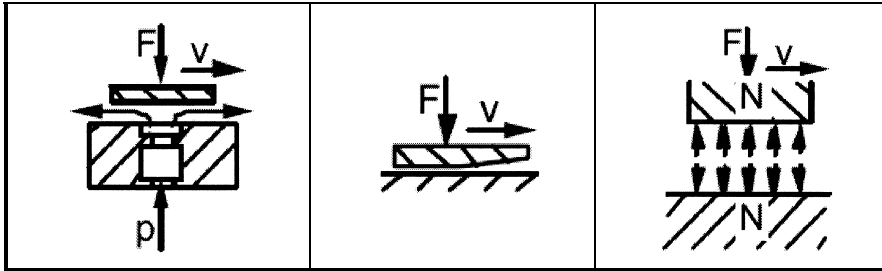
| Tribologische Einteilung  |   |  |
|---|---|--|
| Konform<br>= konvex-konkav  | Flach   | Kontraform<br>= konvex-konvex  |
|  |  |  |

## 07 Kopplungsart

Der Gestaltparameter Kopplungsart bezieht sich auf die Kopplung (Verbindung und Lagerung) in Berührung stehender Körper, die sich relativ zueinander bewegen. Die Variation der Kopplungsart steht immer in engem Zusammenhang mit der Bewegungsart der Körper zueinander. Da sie oft unmittelbar zur Veränderung von Reibwerten beiträgt sind Geschwindigkeiten und Massen der entsprechenden Körper stets zu berücksichtigen. Da die zu koppelnden Flächen sich nicht immer direkt berühren stellen auch die entsprechenden „Zwischenmedien“ Variationsgrößen dar. Hier kann unterschieden werden zwischen festen Medien wie beispielsweise Wälzkörpern in Lagern oder elastischen Lenkern als Zwischenelement und flüssig- oder gasförmigen Zwischenmedien, die in hydrostatischen oder -dynamischen genutzt werden können.

### Allgemein-abstrakte Ausprägungen

| Berührend (mit Festkörperberührung)   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Gleiten<br>(Gleitlager)   | Rollen  | Wälzen =<br>Gleiten + Rollen<br>(Wälzlager)   | Lenkerkopplung   |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| Nicht berührend (ohne Festkörperberührung)  |   |   |  |
| Hydrostatisches Lager<br>(Flüssigkeit/Gas)  | Hydrodynamisches<br>Lager (Flüssigkeit/Gas)   | Magnetlager   |  |



| Kopplungsart bei Lagern, Führungen und Gewinden |                     |                          |                         |
|---|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| Kopplungsart                                    | Lager<br>(Rotation) | Führung<br>(Translation) | Gewinde<br>(Schraubung) |
| Gleiten   |                     |                          |                         |
| Wälzen  |                     |                          |                         |

**Konkrete Beispiele**

**08 Verbindungsstruktur**

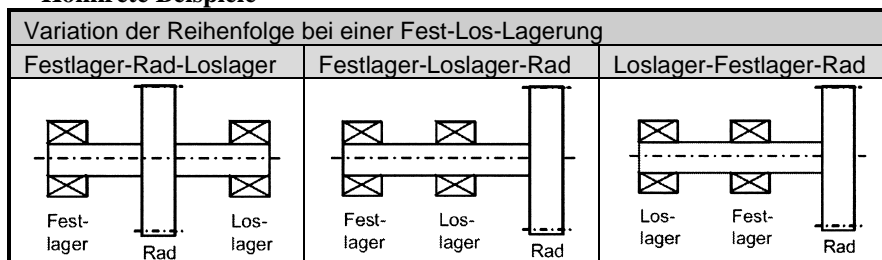
Der Gestaltparameter Verbindungsstruktur bezieht sich auf die Anordnung und Verbindung von Systemelementen. Von Bedeutung ist hier die Frage, wie sich bei einer gegebenen Menge an im Raum verteilten Elementen die Verbindungen gestalten (Anzahl der Verbindungen insgesamt? Verbindung vorhanden/nicht vorhanden bei jeweils zwei betrachteten Elementen?).

**Allgemein-abstrakte Ausprägungen**

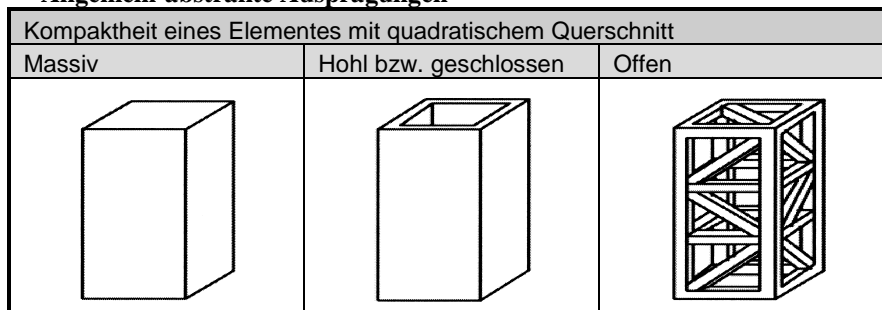
| Möglichkeiten der Verbindungsstruktur zwischen drei Elementen |                 |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| A-B-C (2 Verb.)   | A-C-B (2 Verb.) | B-A-C (2 Verb.) | A-B-C (3 Verb.) |
|   |                 |                 |                 |
|   |                 |                 |                 |

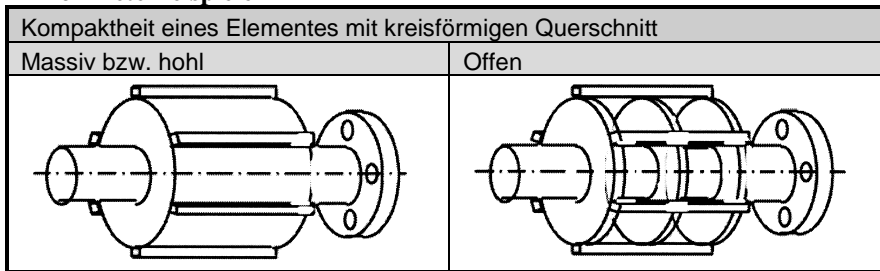
**Konkrete Beispiele****09 Reihenfolge**

Der Gestaltparameter Reihenfolge bezieht sich auf die Anordnung von Systemelementen (ähnlich zum Parameter Verbindungsstruktur). Hier steht die Frage im Vordergrund, welches Element an welcher Stelle (beispielsweise an erster, zweiter oder dritter Stelle) in einer Abfolge von Elementen steht.

**Konkrete Beispiele****10 Kompaktheit**

Der Gestaltparameter Kompaktheit (von Bauweisen) bezieht sich auf das genutzte Materialvolumen zur Realisierung eines Bauteils. Die Kompaktheit einer Bauweise hängt unmittelbar von den verwendeten Werkstoffen ab und beeinflusst ihrerseits, Steifigkeit, Belastbarkeit (Festigkeit) und Masse einer Struktur.

**Allgemein-abstrakte Ausprägungen**

**Konkrete Beispiele****11 Werkstoff**

Der Gestaltparameter Werkstoff bezieht sich auf Art, Qualität und Anzahl des beziehungsweise der verwendeten Werkstoffe. Neben der grundsätzlichen Variation von Werkstoffarten wie beispielsweise Kunststoff, Holz oder Metall und Werkstoffzusammensetzung (Verbundmaterial oder Legierung) können in diesem Zusammenhang auch der (stoffliche) Zustand, die makro- und mikroskopische Beschaffenheit sowie die Ausgangsform des entsprechenden Rohmaterials (beispielsweise des Halbzeugs bei Kunststoffen oder Metallen) variiert werden. Die Variation dieses Gestaltparameters steht in fast unlösbarem Zusammenhang mit dem Gestaltparameter des Fertigungsverfahrens.

**Allgemein-abstrakte Ausprägungen**

| Zustand  | Physikalisches bzw. chemisches Verhalten   | Makroskopische und mikroskopische Beschaffenheit   |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>fest, flüssig, gasförmig, amorph</li> <li>metallisch/nichtmetallisch</li> <li>organisch/anorganisch (Kunststoff)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>starr, elastisch, plastisch, viskos</li> <li>leitfähig/nicht leitfähig für Wärme, Elektrizität oder Magnetismus</li> <li>durchsichtig/undurchsichtig</li> <li>brennbar/nicht brennbar</li> <li>edel/unedel</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>„Festkörper“, körnig, pulvrig, staubförmig</li> <li>Gegenkörper (-stoff), Zwischenkörper (-stoff)</li> <li>Kristallstruktur, Textur, Einlagerungen (Stahl: Kohlenstoffeinlagerungen)</li> </ul> |


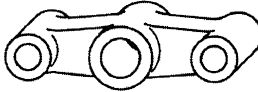
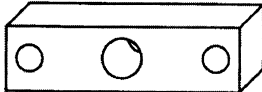

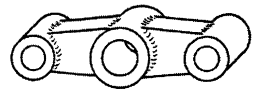
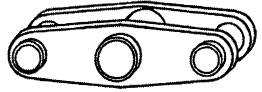
**Konkrete Beispiele**

| Merkmal                           | Ausprägung vorher    | Ausprägung nachher          | Bemerkungen (Einfluss auf die Gestalt)                  |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|
| Art des Werkstoffs                | St 37                | GG 20                       | Änderung des Fertigungsverfahrens (Guss)                |
| Qualität des Werkstoffs           | Unbehandelt          | HRC 55 gehärtet             | ggf. Schleifen nötig, dann ggf. Schleifauslauf vorsehen |
| Zahl unterschiedlicher Werkstoffe | Polyamid unverstärkt | Polyamid glasfaserverstärkt | andere Fertigungs- und Trennverfahren                   |
| Art des Halbzeugs                 | Profilmaterial       | Blech                       | ggf. umformgerecht gestalten                            |

## 12 Fertigungsverfahren

Nach DIN 8580 werden Fertigungsverfahren in die 6 Hauptkategorien Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaftenändern eingeteilt. Jede Kategorie enthält wiederum weitere spezielle Verfahren. Bei der Variation des Fertigungsverfahrens ist darauf zu achten, dass die Anforderungen an den verarbeiteten Werkstoff vom Verfahren abhängig sind.


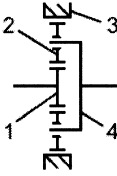
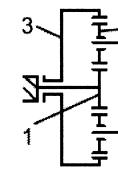
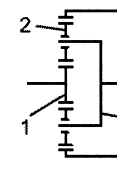
### Konkrete Beispiel

| Alternative Fertigungsverfahren für ein Bauteil                                    |  |   |
|--|--|---|
| Urformen<br>gegossen<br>(GG 20)  | Umformen<br>gesenkgeschmiedet<br>(St 37)   | Trennen<br>aus d. Vollen gespant<br>(St 37)   |
|   |   |   |
| Trennen/Umformen: aus<br>Blech gestanzt &<br>abgekantet (St 37)                    | Fügen<br>geschweißt<br>(St 37-3)   | Fügen<br>gelötet<br>(St 37)   |
|  |  |  |

## 13 Bezugssystem

Der Variationsparameter Bezugssystem bezieht sich auf den Standpunkt der Betrachtung eines Objektes beziehungsweise eines Systems unterschiedlicher Objekte. Durch die Variation des Bezugssystems können Bauteile einerseits in ihrer Gestalt verändert werden, ihnen kann darüber hinaus aber auch eine andere Funktion zukommen (beispielsweise Antrieb wird zum Abtrieb). Letzteres kann wiederum Einfluss auf die Bauteil- beziehungsweise Produktgestalt haben. Die Variation des Bezugssystems steht oft in Zusammenhang mit der Variation von Lage, Bewegungsart und -richtung sowie der Reihenfolge, kann aber auch zu ähnlichen Ergebnissen wie die Umkehrung führen.

### Konkrete Beispiele

| Gestellwechsel (kinematische Umkehr; Wechsel des absoluten Bezugssystems)   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Systemelemente  | Außenrad fest   | Sonnenrad fest  | Planeten fest  |
| 1 Sonnenrad<br>2 Planetenrad<br>3 Außenrad<br>4 Steg<br> Gestell |  |  |  |
| Art des Bezugssystems   |   |   |  |
| Eben  |   | Räumlich  |  |

| Antriebs- oder Abtriebswechsel                    |   |  |   |
|---|---|--|---|
| Antrieb<br>links unten<br>Abtrieb<br>rechts unten | Antrieb<br>rechts unten<br>Abtrieb<br>links unten | Antrieb<br>links unten<br>Abtrieb<br>rechts oben | Antrieb<br>rechts oben<br>Abtrieb<br>rechts unten |
|   |   |  |   |

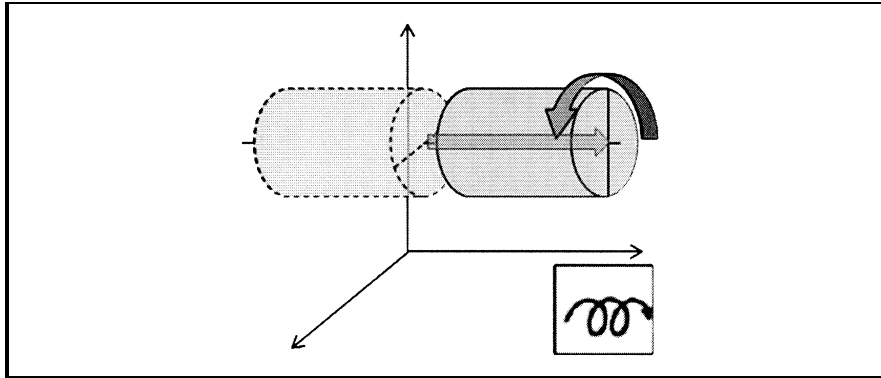
### 14 Bewegungsart und -richtung

Dieser Gestaltungsparameter bezieht sich auf die Bewegung von Bauteilen oder -komponenten zu einem entsprechenden Bezugssystem. Dieses kann dabei durch das Gesamtsystem oder auch durch andere Bauteile und Komponenten gebildet sein. Die Bewegungsart als Gestaltungsparameter ist zunächst unabhängig von anderen Parametern, die den Kontakt zwischen zwei Körpern näher bestimmen. In der praktischen Produktausgestaltung steht die Variation der Bewegungsart aber oft in direktem Zusammenhang mit der Berührungsart, vor allem aber der Kopplungsart. So beruhen „Gleiten“, „Rollen“ und „Wälzen“, aber auch „Bohren“ oder „Prallen“ immer auch auf einer bestimmten Bewegungsart von Bauteilen oder -komponenten. Neben der grundsätzlichen Variation der Bewegungsart in Form von translatorisch, rotatorisch und Kombinationen dieser beiden können des Weiteren die Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit variiert werden

#### Allgemein abstrakte Ausprägungen

| Art der Bewegung                      |             |
|---------------------------------------|-------------|
| translatorisch                        | rotatorisch |
|                                       |             |
| kombiniert rotatorisch/translatorisch |             |





### 15 Bewegungsverlauf (zeitliche Veränderung der Bewegung)

Neben der grundsätzlichen Variation einer Bewegungsart und -richtung kann auch ihr zeitlicher Verlauf variiert werden, um zu neuen Gestaltlösungen zu gelangen. Hierauf bezieht sich der Variationsparameter Bewegungsverlauf.

#### Allgemein-abstrakte Ausprägungen

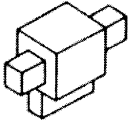
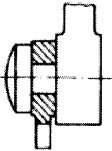
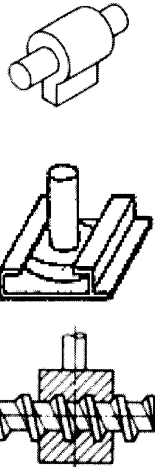
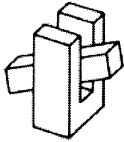

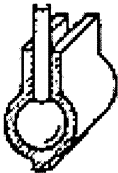
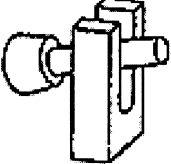

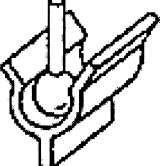
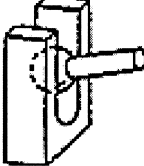
Orientierung: G = Gleichsinnig; W = Wechselsinnig (oszillierend, hin und her)

| Bewegungsverlauf                    | Stetig, kontinuierlich |   | Mit Rast, intermittierend |   | Mit Pilgerschritt (Teiltrücklauf) |   |
|-------------------------------------|------------------------|---|---------------------------|---|-----------------------------------|---|
|                                     | G                      | W | G                         | W | G                                 | W |
| Orientierung                        |                        |   |                           |   |                                   |   |
| Bew.art                             |                        |   |                           |   |                                   |   |
| Rotation                            |                        |   |                           |   |                                   |   |
| Translation                         |                        |   |                           |   |                                   |   |
| Kombiniert Rotation und Translation |                        |   |                           |   |                                   |   |

## 16 Gelenkfreiheitsgrad

Der Gestaltparameter Gelenkfreiheitsgrad beschreibt die Art eines Freiheitsgrades (translatorisch und rotatorisch) sowie die Anzahl der Freiheitsgrade eines Gelenks beziehungsweise einer gelenkigen Verbindung. Eine Variation dieses Parameters steht oft in direktem Zusammenhang mit einer Variation der Bewegungsart.

### Allgemeine Ausprägungen

| Gelenke und ihre Freiheitsgrade |   |   |  |
|---------------------------------|---|---|--|
|                                 | 0 translatorisch  | 1 translatorisch  | 2 translatorisch   |
| 0 rotatorisch                   | ---   |    |  |
| 1 rotatorisch                   |   |   |   |
| 2 rotatorisch                   |  |  |  |
| 3 rotatorisch                   |  |  |  |

## 17 Umkehrung

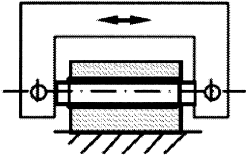
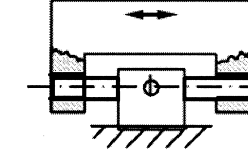
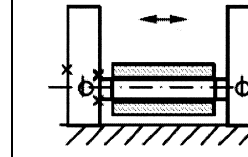
Das Variationsmerkmal Umkehrung stellt einen relativ abstrakten Variationsparameter dar, der auf unterschiedlichsten Konkretisierungsebenen Anwendung finden kann und auf eine Reihe von Variationsmöglichkeiten hinweist. Bezüglich der Erarbeitung der Produktgestalt bezieht sich eine Variation anhand dieses Merkmals oft auf geometrisch-

gegenständliche Aspekte und steht hierbei in engem Zusammenhang mit Variationsparametern wie der Lage, der Reihenfolge, der Verbindungsstruktur aber auch des Bezugssystems.

#### Allgemeine-abstrakte Ausprägungen

| Art der Variation | Ausprägung vorher  | Ausprägung nachher      |
|-------------------|--------------------|-------------------------|
| Negation          | Merkmal vorhanden  | Merkmal nicht vorhanden |
| Spiegelung        | Bild               | Spiegelbild             |
| Grenzwert         | Merkmal gegen Null | Merkmal gegen unendlich |
| Vertauschung      | Plus (+)           | Minus (-)               |
|                   | links              | rechts                  |
|                   | oben               | unten                   |
|                   | innen              | außen                   |
|                   | Antrieb            | Abtrieb                 |

#### Beispiel

| Zyklische Vertauschung: Geometrie, Kinematik                                       |  |   |
|--|--|---|
| Ausgangslösung   | Geometrische Umkehrung   | Kinematische Umkehrung  |
|  |  |  |

#### A4-3 Prinzipien optimaler Systeme

Die Prinzipien optimaler Systeme geben Hinweise und Ansatzpunkte zur Auslegung und Gestaltung optimaler Systeme beziehungsweise zur Optimierung von technischen Systemen. Abhängig von den konkreten Optimierungszielen müssen aus den Prinzipien die jeweils zielführenden ausgewählt und adaptiert werden. Entwicklungsprozesse können so deutlich effizienter ablaufen, da die Zahl der notwendigen Iterationen erheblich gesenkt werden kann. Aus Mechanik und Thermodynamik bekannte Grundlagen werden gestaltungsorientiert aufbereitet, bewusst gemacht und teilweise mit Erfahrungswissen angereichert.

| Bereich               | Prinzipien  |
|-----------------------|---|
| Energie               | Prinzip der Vermeidung von Irreversibilität<br>Prinzip der Suche nach regenerativen Lösungen          |
| Struktur-<br>ökonomie | Prinzip des Kraftflusses<br>Prinzip der Kaskadierung<br>Prinzip der belastungsgerechten Werkstoffwahl |
| Mechanismen           | Prinzip des Lastausgleichs<br>Prinzip des Kraftausgleichs   |

|         |  |
|---------|--|
|         | Prinzip der Selbsthilfe  |
| Systeme | Prinzip der Funktionsdifferenzierung / Funktionsintegration<br>Prinzip der Differenzialbauweise / Integralbauweise |

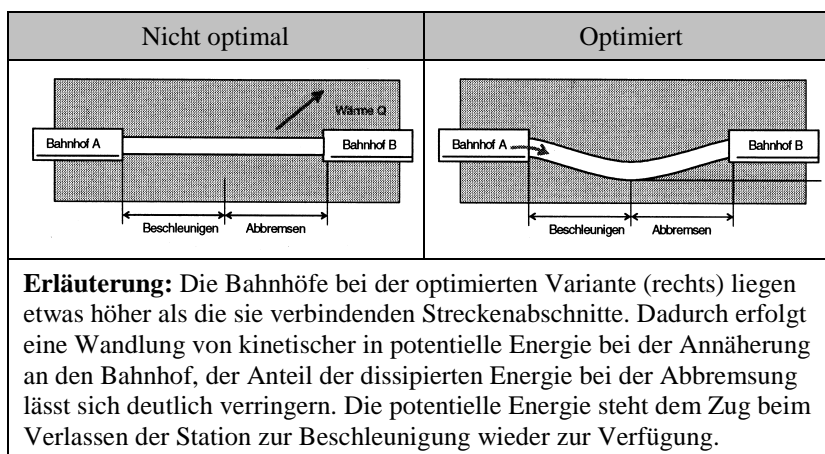
### A4-3-1 Prinzipien zu Energie

Ziel ist hier die Optimierung technischer Systeme in energetischer Hinsicht, das heißt eine Steigerung des energetischen Wirkungsgrads. Es gelten die Hauptsätze der Thermodynamik.

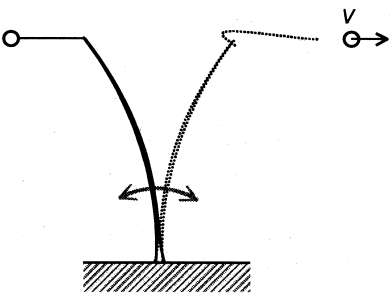
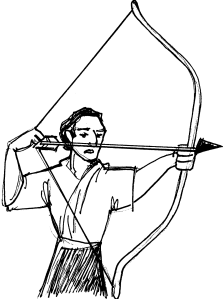
- Hauptsatz:** In einem abgeschlossenen System bleibt der Gesamtbetrag der Energie konstant. Innerhalb des Systems können die verschiedenen Energieformen ineinander umgewandelt werden. Dies bedeutet, dass es kein Perpetuum Mobile erster Art gibt, welches ständig Arbeit abgibt, ohne gleichzeitig entsprechende Energie aufzunehmen.
- Hauptsatz:** Alle natürlich ablaufenden und technischen Prozesse sind irreversibel. Reversible Vorgänge sind lediglich idealisierte Grenzfälle. Das heißt, es gibt auch kein Perpetuum Mobile zweiter Art, das Wärme aus einer Wärmequelle entnimmt und vollständig in mechanische Arbeit umwandelt. Prinzip der Vermeidung von Irreversibilität

Mechanische oder elektromagnetische Energieformen sind nach Möglichkeit in andere mechanische oder elektromagnetische Energieformen, nicht jedoch in Wärme umzuwandeln. Voraussetzung dafür ist die Zuführung aller Energieumsätze in einem technischen System zum energetischen Hauptumsatz.

### Beispiel: Trassenführung bei U-Bahnen



**Beispiel: Schleuder im Vergleich zu japanischem Kyudo-Bogen**

| Nicht optimal  | Optimiert  |
|--|--|
|   |  |
| <p><b>Erläuterung:</b> Im Gegensatz zu einer Schleuder (links) schwingt ein Kyudo-Bogen (rechts) nicht nach. Fast die gesamte (potentielle) Energie der Vorspannung kann in kinetische Energie umgewandelt werden.</p> |  |

**Prinzip der Suche nach regenerativen Lösungen**

Es ist nach regenerativen Lösungen zu suchen, die die (nicht vermeidbaren) irreversiblen Energieverluste eines technischen Systems so weit wie möglich reduzieren. Dieses Prinzip stellt eine praxisorientierte Umformulierung des ersten Prinzips dar.

**A4-3-2 Prinzipien zur Strukturökonomie**

Ziel ist hier die Erleichterung der Kompromissfindung zur Lösung des Zielkonflikts zwischen der Belastbarkeit einer Struktur und ihrer Masse. Es besteht grundsätzlich folgende Anforderung: Die Struktur muss bei minimaler Masse den geforderten Beanspruchungen standhalten.

**Prinzip des Kraftflusses**

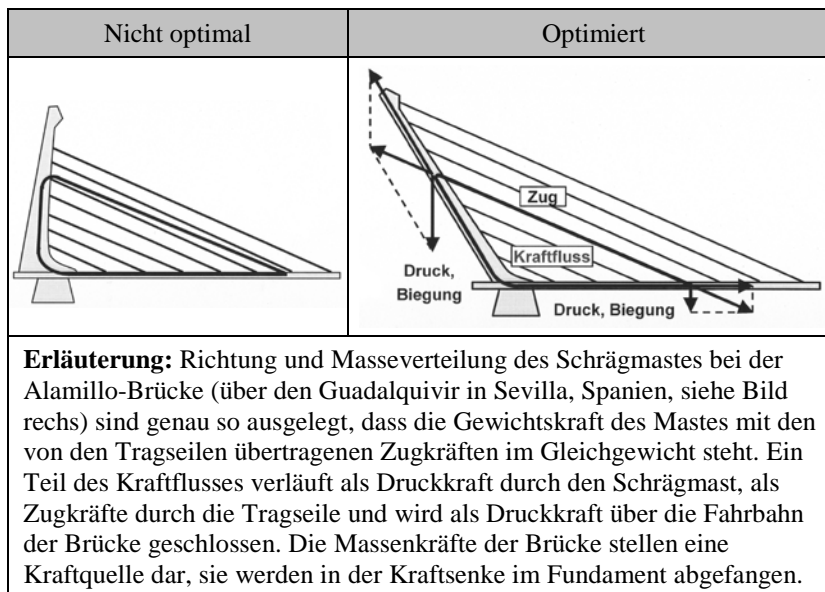
Der Kraftfluss ist eine Modellvorstellung, die Entwickler und Konstrukteure dabei unterstützen soll, mechanische Strukturen belastungsgerecht zu gestalten. Es wird davon ausgegangen, dass Kräfte in Bauteilen wie eine Flüssigkeit „zirkulieren“. Für die Aufstellung eines Kraftflusses gelten folgende Grundsätze:

- Der Kraftfluss in einem Bauteil muss immer geschlossen sein. Dies führt zu Schwierigkeiten bei Strukturen, in denen Massenkräfte eine bedeutende Rolle spielen. In diesem Fall kann der Kraftfluss in Gedanken entweder „durch die Luft“ geschlossen werden, oder die Bauteilmasse wird als „Kraftquelle“ betrachtet, der zum Beispiel eine „Kraftsenke“ im Fundament gegenübersteht.
- In einem Kraftfluss-Kreislauf ändert sich die Beanspruchungsart (zum Beispiel Zug, Druck oder Biegung).
- Der Kraftfluss sucht sich den kürzesten Weg. Kraftlinien drängen sich in engen Querschnitten zusammen, in weiten dagegen breiten sie sich aus.

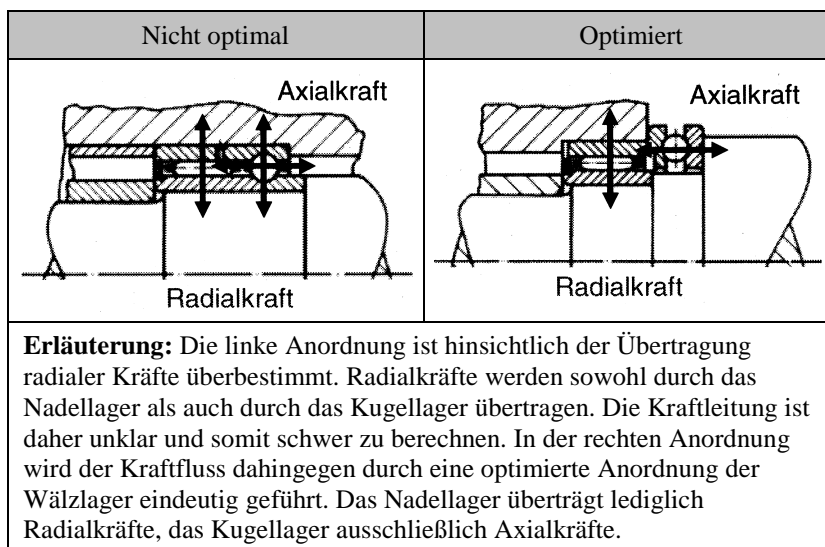
Regeln für die kraftflussgerechte Gestaltung von technischen Systemen:

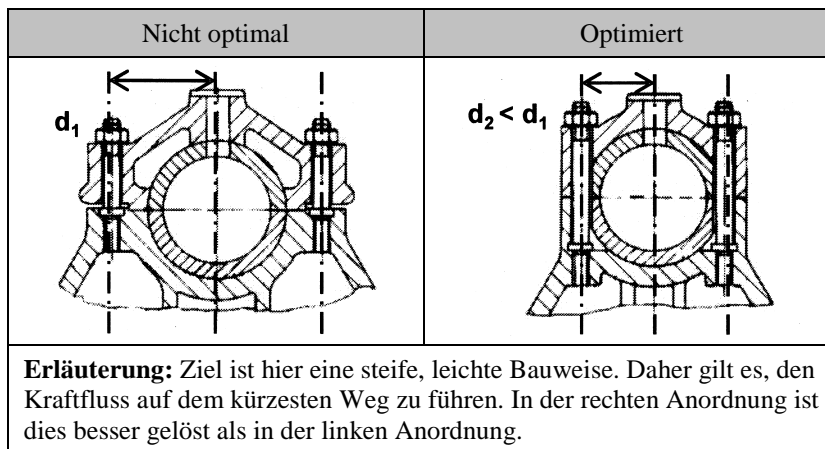
- 1) Der Kraftfluss ist eindeutig zu führen. Überbestimmtheiten sind zu vermeiden.
- 2) Für eine steife, leichte Bauweise ist der Kraftfluss auf kürzestem zu Weg führen: Biegung und Torsion sind zu vermeiden, Zug und Druck sowie symmetrische Kraftflüsse sind zu bevorzugen.
- 3) Für eine elastische, arbeitsspeichernde Bauweise ist der Kraftfluss auf einem weiten Weg zu führen: Biegung und Torsion sind zu bevorzugen, der Kraftfluss ist „spazieren zu führen“.
- 4) Sanfte Kraftumlenkungen sind anzustreben, da scharfe Umlenkungen Spannungsspitzen ergeben.

### Beispiel: Der Kraftfluss in der Alamillo-Brücke

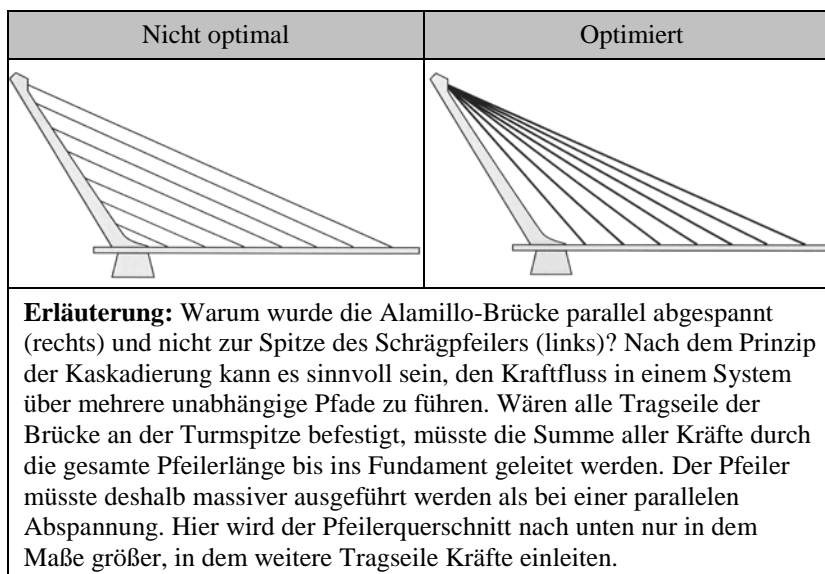


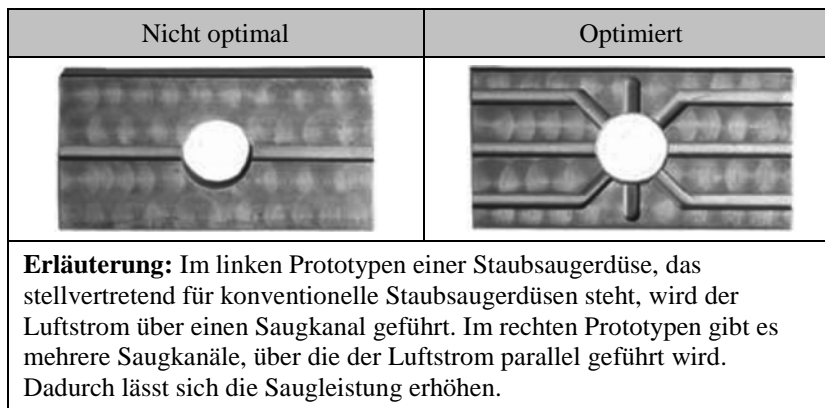
### Beispiel: Anordnungen von Wälzlagern [Pahl et al. 2005]



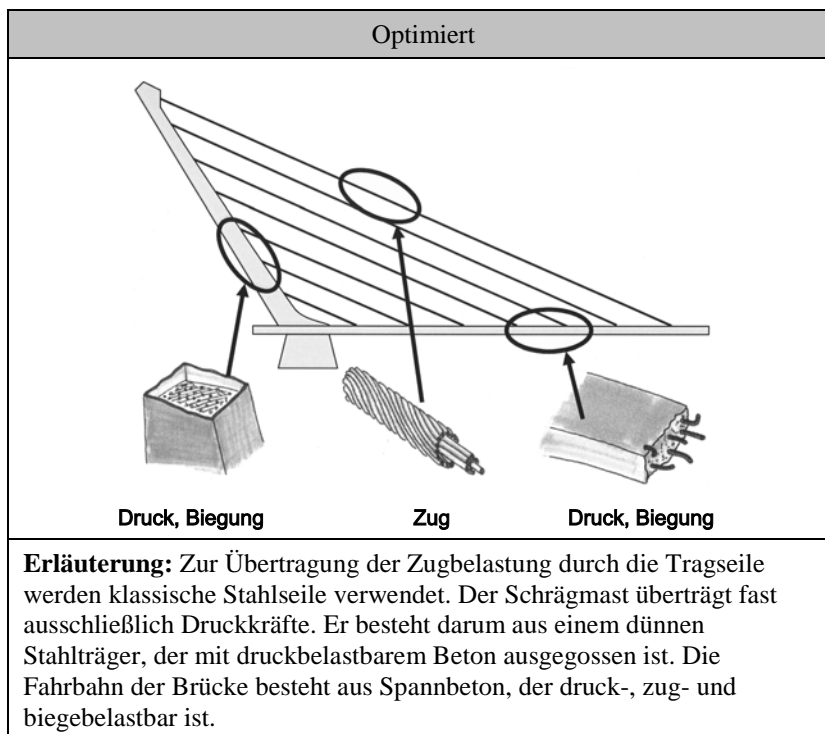
**Beispiel: Verschraubung von zwei Gehäuseteilen****Prinzip der Kaskadierung**

Der Kraftfluss in einem System ist über mehrere unabhängige Pfade zu führen (Parallelschaltung). Dadurch reduziert sich die in jedem der einzelnen Pfade wirkende Kraft in ihrer Größe.

**Beispiel: Kaskadierung bei der Alamillo-Brücke**

**Beispiel: Kaskadierung bei Staubsaugerdüsen [nach Gramann 2004]****Prinzip der belastungsgerechten Werkstoffwahl**

Werkstoffe in einem technischen System sollten nach Möglichkeit der Belastungsart angepasst werden.

**Beispiel: Belastungsgerechte Werkstoffwahl bei der Alamillo-Brücke****A4-3-3 Prinzipien zu Mechanismen**

Ziel ist die Entlastung von Bauteilen oder die gezielte Unterstützung der Funktion, damit der Mechanismus insgesamt zuverlässiger arbeitet, was sich unmittelbar in der Sicherheit, in der Wartung und damit auch in den Kosten niederschlägt.



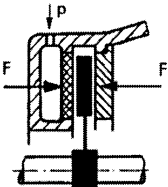
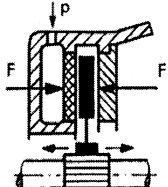
## Prinzip des Lastausgleichs

Mit dem Prinzip des Lastausgleichs wird die gleichmäßige Aufnahme von Kräften und Momenten bei einer Leistungsverzweigung an mechanisch parallel geschalteten Wirkflächen angestrebt. Das Ziel ist eine möglichst gleiche mechanische Belastung der statisch unbestimmten Komponenten [Ehrlenspiel 2003].

Der Lastausgleich bezieht sich in erster Linie auf Massenkräfte, die von außen auf das System wirken (im Gegensatz zum Kraftausgleich, der sich auf Reaktionskräfte bezieht, die durch die Funktion des Systems entstehen). Ausgangspunkt beim Lastausgleich ist ein System mit parallel geschalteten, statisch unbestimmten Wirkflächen. Probleme, die aufgrund eines ungenügenden Lastausgleichs auftreten, werden durch folgende Maßnahmen gelöst [Ehrlenspiel 2003]:

- Problem beseitigen: gelenkiger, elastischer oder hydrostatischer Lastausgleich zur Erreichung einer statischen Bestimmtheit
- Störgröße verringern: genaue Fertigung, Integralbauweise, bei Montage anpassen, plastisch verformen, einlaufen lassen, ungewollte elastische oder thermische Verformungen verringern
- Wirkung der Störgröße verringern: System schlupfläufig machen oder elastisch gestalten

### Beispiel: Gelenkiger Lastausgleich an Scheibenbremsen [Ehrlenspiel 2003]

| Nicht optimal   | Optimiert   |
|---|---|
|    |  |
| <p><b>Erläuterung:</b> Die linke Anordnung ist statisch unbestimmt. In der rechten Anordnung ist an der Welle ein zusätzliches Schubgelenk angebracht. Dieses erlaubt der Bremsscheibe soviel Axialbewegung, dass die einseitig eingeleitete hydrostatische Bremskraft F durch eine ebenso große Gegenkraft am rückwärtigen Reibbelag kompensiert wird.</p> |   |

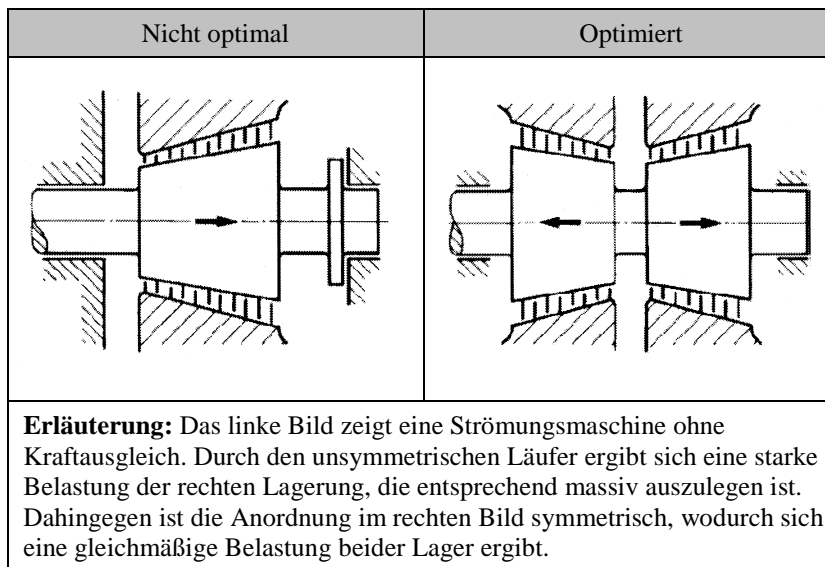
## Prinzip des Kraftausgleichs

Beim Kraftausgleich wird der Ausgleich beziehungsweise die Vermeidung großer Reaktionskräfte in Lagerungen angestrebt, insbesondere bei einer dynamischen Belastung des Systems. Der Kraftausgleich erfolgt in erster Linie durch den Einsatz von Ausgleichselementen oder symmetrische Anordnungen [Pahl et al. 2005].

Der Kraftausgleich bezieht sich auf Reaktionskräfte, die durch die Funktion des Systems entstehen (im Gegensatz zum Lastausgleich, der sich auf Massenkräfte bezieht, die von außen auf das System wirken). Funktionsbedingt kann es passieren, dass die Hauptgröße wie eine zunehmende Last oder ein steigendes Antriebsmoment die Reaktionskräfte ansteigen lässt. Diese belasten dann das Gehäuse oder andere Elemente des Produktes, so dass ein Ausgleich mit einfließen muss, damit die Belastung nicht zu groß wird. Aus

diesem Grund werden entweder Ausgleichselemente eingesetzt oder es wird eine symmetrische Anordnung angestrebt.

### Beispiel: Kraftausgleich bei Strömungsmaschinen [Pahl et al. 2005]



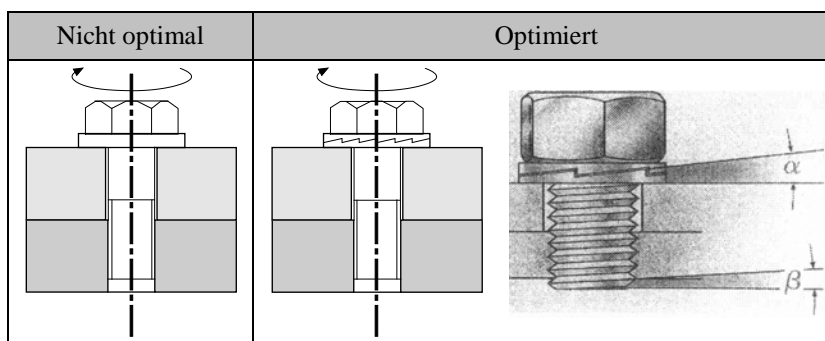
### Prinzip der Selbsthilfe

Es sind konstruktive Anordnungen anzustreben, bei der ein besonderes oder geeignetes Element unterstützend eingreift, um die Funktion besser zu erfüllen. Dies geschieht meist mit einem geschlossenen Kraftfluss [Pahl et al. 2005, Ehrlenspiel 2003].

Folgende Ausprägungen werden unterschieden:

- Selbstverstärkung: bei Normallasten ergibt sich eine Hilfswirkung, die zusammen mit der Ursprungswirkung eine verstärkende Gesamtwirkung erzeugt.
- Selbstausgleich: Hier kann sich bei Normallast eine Hilfswirkung einstellen, die der ursprünglichen Wirkung entgegen wirkt und damit einen Ausgleich schafft, damit das System trotz einer eventuellen Störung betriebsbereit ist
- Selbstschutz: Bei einer Überlast tritt eine Hilfswirkung ein, bei der dann eine Umverteilung der Hauptgröße stattfindet.

### Beispiel: Selbstverstärkung bei einer Schraubensicherung



**Erläuterung:** Die dargestellte Schraubensicherung (rechts) besteht aus zwei Scheiben und wird zwischen Bauteil und Schraubenkopf montiert. Die Steigung der Keilflächen des Sicherungselements ( $\alpha$ ) ist größer als die Gewindesteigung der Schraube ( $\beta$ ). Werden Schraube und/oder Mutter angezogen, so erzeugen die Keilflächen einen Formschluss. Dabei wird die Flächenpressung zwischen den Radialrippen erhöht. Die gegenseitig auflaufenden Keilflächen verklemmen sich ineinander und die so erhöhte Vorspannkraft verhindert ein Losdrehen. Wird die Schraube gelöst, nimmt sie ihre formschlüssige Scheibe mit, so dass sie mit ihren Schrägflächen unmittelbar auf den Schrägflächen der Gegenseite aufläuft. Auf diese Weise wird der Keileffekt ausgenutzt und die Vorspannkraft erhöht.

### Beispiel: Selbsthilfe bei Turbinenschaufeln [Ehrlenspiel 2003]

| Nicht optimal  | Optimiert |
|--|-----------|
|  |           |
| <p><b>Erläuterung:</b> Die Belastungen für die Schaufeln (von Turbinen und Verdichtern in Gasturbinen) setzen sich unter anderem aus Gasbiegekräften und Fliehkräften zusammen. Die Gaskräfte können in Axial- und Tangentialkomponenten zerlegt werden. Sie rufen Biegespannungen in der Schaufel hervor, die im Schaufelfuß ein Maximum erreichen. Diese Spannungen können durch eine leichte Neigung der Schaufelachse in Drehrichtung durch das dann entstehende Fliehkraftmoment für eine Betriebsbelastung und Drehzahl ausgeglichen werden (Bild rechts). Für andere Belastungen tritt damit eine Verminderung der Biegebelastung ein. Somit können die Belastungen einer Schaufel deutlich reduziert werden.</p> |           |


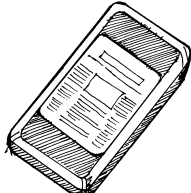
#### A4-3-4 Prinzipien zu Systemen

Die Prinzipien zu Systemen betreffen die Systemarchitektur beziehungsweise die Systemstruktur. Zum Beispiel helfen die zugehörigen Prinzipien dabei, eine Aussage hinsichtlich der optimalen Verknüpfung zwischen Funktionsebene und Bauebene zu treffen.

#### Prinzip der Funktionsdifferenzierung / Funktionsintegration

Bei der Funktionsdifferenzierung erfüllt ein Bauteil zwei oder mehrere Funktionen.  
Bei der Funktionsintegration erfüllt jedes Bauteil eine einzige Funktion.

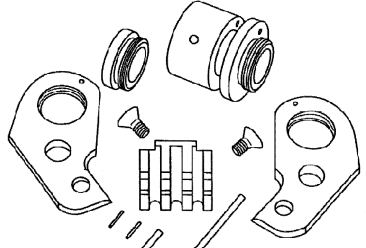
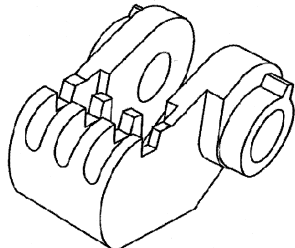
### Beispiel: Funktionsdifferenzierung und -integration bei Mobiltelefonen

| Funktionsdifferenzierung   | Funktionsintegration  |
|--|---|
|   |  |
| <p><b>Erläuterung:</b> Im linken Modell werden die Funktionen Anzeige und Eingabe durch unterschiedliche Systemelemente realisiert. Im rechten Modell sind diese Funktionen in ein Systemelement integriert.</p> |   |

### Prinzip der Differenzialbauweise / Integralbauweise

Unter Differenzialbauweise versteht man die Auflösung eines Einzelteils in mehrere Werkstücke, die günstig gefertigt und montiert werden können. Sie wird meist bei kleinen Stückzahlen eingesetzt, da sie kostengünstiger in der Auslegung und in der Fertigung ist. Unter Integralbauweise versteht man die Zusammenfassung mehrerer Einzelteile, die aus einem einheitlichen Werkstoff bestehen, zu einem Werkstück. Die Anwendung dieses Prinzips ist nützlich, wenn eine hohe Stückzahl angestrebt wird. Weiter wird auch die Logistik wesentlich vereinfacht.

### Beispiel: Unterschiedliche Bauweisen [Ehrlenspiel 2003]

| Differenzialbauweise  | Integralbauweise   |
|---|--|
|    |  |
| <p><b>Erläuterung:</b> Beide Bilder zeigen einen Funktionsträger. Links ist dieser aus 11 Bauteilen, die miteinander verschraubt werden, in Differenzialbauweise dargestellt. Dies ist bei einem Maschinenprototyp in Einzelfertigung aus Halbzeugen gerechtfertigt. Rechts ist der gleiche Funktionsträger nur noch als ein Feingussteil (Integralbauweise) mit weniger als ein Drittel der Kosten gezeigt, wie er in der Serienfertigung verwendet werden sollte.</p> |  |

## Anhang A8

Wir verzichten in der 6.Auflage des Buches darauf, die Dissertationen der Lehrstühle nach 2012 hier aufzuführen, da sie im Internet des Lehrstuhls für Produktentwicklung TU München ([www.pe.mw.tum.de/forschung/publikationen/dissertationen](http://www.pe.mw.tum.de/forschung/publikationen/dissertationen)) /bzw. des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg ([www.mfk.tf.fau.de/forschung/dissertationen](http://www.mfk.tf.fau.de/forschung/dissertationen)) aktuell einsehbar sind..

## Dissertationsliste

Lehrstuhl für Produktentwicklung  
Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching  
Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und
- Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:  
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:  
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.  
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:  
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.  
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:  
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.  
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:  
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.  
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:  
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.  
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:  
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.  
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:  
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.  
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:  
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.  
München: TU, Diss. 1977.

- D10 WEBER, J.:  
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1978.
- D11 HEISIG, R.:  
Längencodierer mit Hilfsbewegung.  
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:  
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:  
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.  
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60).  
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:  
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:  
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.  
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:  
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.  
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:  
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.  
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.  
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:  
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.  
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:  
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.  
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:  
Konstruieren als gedanklicher Prozess.  
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMAN, H. J.:  
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.  
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:  
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.  
München: TU, Diss. 1987.

- D24 JOHN, T.:  
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.  
München: TU, Diss. 1987.
- D25 FIGEL, K.:  
Optimieren beim Konstruieren.  
München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

## Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:  
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:  
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.  
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITTSTEINER, H.-J.:  
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.  
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:  
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluss an ein CAD-System.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:  
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.  
Datenbankgestützte Teilverwaltung und Wiederholteilsuche.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:  
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.  
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:  
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.  
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D34 BRAUNSPERGER, M.:  
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.  
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:  
Systematischer Entwicklungsprozess am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:  
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

- D37 WACH, J. J.:  
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D38 LENK, E.:  
Zur Problematik der technischen Bewertung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:  
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D40 SCHIEBELER, R.:  
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:  
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:  
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:  
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:  
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D45 STOLZ, P.:  
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:  
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.  
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:  
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:  
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.  
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.



- D49 DANNER, S.:  
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:  
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.  
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996  
u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem
- D51 AMBROSY, S.:  
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOULIS, A.:  
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D53 STEINMEIER, E.:  
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:  
Prozess- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D55 GÜNTHER, J.:  
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:  
Methode für Kraftereinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.  
München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:  
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.  
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:  
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖSSER, R.:  
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:  
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:  
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:  
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.  
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:  
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ASSMANN, G.:  
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:  
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.  
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:  
Method Implementation in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:  
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:  
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:  
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:  
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:  
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:  
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.  
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:  
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.  
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:  
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:  
Elementarmethoden zur Lösungssuche.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:  
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51). Zugl. München: TU, Diss. 2002.

- D78 GERST, M.:  
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 52). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:  
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.  
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung München, Band 53). Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D80 FÖRSTER, M.:  
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.  
München: TU, Diss. 2003.
- D81 GRAMANN, J.:  
Problemmodelle und Bionik als Methode.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 55). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D82 PULM, U.:  
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2004. (Produktentwicklung München, Band 56). Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D83 HUTTERER, P.:  
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 57). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D84 FUCHS, D.:  
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 58). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D85 PACHE, M.:  
Sketching for Conceptual Design.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 59). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D86 BRAUN, T.:  
Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld.  
München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60). Zugl. München: TU, Diss. 2005.
- D87 JUNG, C.:  
Anforderungsklä rung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 61). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D88 HEBLING, T.:  
Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 62). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D89 STRICKER, H.:  
Bionik in der Produktentwicklung unter der Berücksichtigung menschlichen Verhaltens.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 63). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D90 NIBL, A.:  
Modell zur Integration der Zielkostenverfolgung in den Produktentwicklungsprozess.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 64). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D91 MÜLLER, F.:  
Intuitive digitale Geometriemodellierung in frühen Entwicklungsphasen.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 65). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D92 ERDELL, E.:  
Methodenanwendung in der Hochbauplanung – Ergebnisse einer Schwachstellenanalyse.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 66). Zugl. München: TU, Diss. 2006.

- D93 GAHR, A.:  
Pfadkostenrechnung individualisierter Produkte.  
München: Dr. Hut 2006. (Produktentwicklung München, Band 67). Zugl. München: TU, Diss. 2006.
- D94 RENNER, I.:  
Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D95 PONN, J.:  
Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D96 HERFELD, U.:  
Matrix-basierte Verknüpfung von Komponenten und Funktionen zur Integration von Konstruktion und numerischer Simulation.  
München: Dr. Hut 2007. (Produktentwicklung München, Band 70). Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D97 SCHNEIDER, S.:  
Model for the evaluation of engineering design methods.  
TU München: 2007. (als Dissertation eingereicht)
- D98 FELGEN, L.:  
Systemorientierte Qualitätssicherung für mechatronische Produkte.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D99 GRIEB, J.:  
Auswahl von Werkzeugen und Methoden für verteilte Produktentwicklungsprozesse.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D100 MAURER, M.:  
Structural Awareness in Complex Product Design.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D101 BAUMBERGER, C.:  
Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten .  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D102 KEIJZER, W.:  
Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie.  
München: Dr. Hut 2007 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2007.
- D103 LORENZ, M.:  
Handling of Strategic Uncertainties in Integrated Product Development.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung) Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D104 KREIMEYER, M.:  
Structural Measurement System for Engineering Design Processes.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D105 DIEHL, H.:  
Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungsabhängigkeiten mechatronischer Automobilsysteme.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D106 DICK, B.:  
Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwicklerteams in der Lösungssuche.  
München: Dr. Hut 2009 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2009.
- D107 GAAG, A.:  
Entwicklung einer Ontologie zur funktionsorientierten Lösungssuche in der Produktentwicklung.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.

- D108 ZIRKLER, S.:  
Transdisziplinäres Zielkostenmanagement komplexer mechatronischer Produkte.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D109 LAUER, W.:  
Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2010 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2010.
- D110 MEIWALD, T.:  
Konzepte zum Schutz vor Produktpiraterie und unerwünschtem Know-how-Abfluss.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D111 ROELOFSEN, J.:  
Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D112 PETERMANN, M.:  
Schutz von Technologiewissen in der Investitionsgüterindustrie.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D113 GORBEA, C.:  
Vehicle Architecture and Lifecycle Cost Analysis in a New Age of Architectural Competition.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D114 FILOUS, M.:  
Lizenzierungsgerechte Produktentwicklung – Ein Leitfaden zur Integration lizenzierungsrelevanter Aktivitäten in Produktentstehungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D115 ANTON, T.:  
Entwicklungs- und Einführungsmethodik für das Projektierungswerkzeug Pneumatiksimulation.  
München: Dr. Hut 2011 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2011.
- D116 KESPER, H.:  
Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden.  
München: Dr. Hut 2012 (Reihe Produktentwicklung). Zugl. München: TU, Diss. 2012.
- D117 KIRSCHNER, R.:  
Methodische Offene Produktentwicklung.  
München: TU, Diss. 2012.
- D118 HEPPERLE, C.:  
Planung lebenszyklusgerechter Leistungsbündel.  
TU München: 2012. (als Dissertation eingereicht)
- D119 HELLENBRAND, D.:  
Transdisziplinäre Planung und Synchronisation mechatronischer Produktentwicklungsprozesse.  
TU München: 2012. (als Dissertation eingereicht)

## Anhang A 8/2

### Dissertationsliste des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

#### 2012:

- Pausch, M.:  
Untersuchung des Einflusses von definiert gefertigten Mikrostrukturen auf Schmierfilmbildung

und Kontaktpressung in hoch belasteten Wälzkontakten  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2012

- Stöber, C.:  
Eigenschaftsbasierte Unterstützung für die Entwicklung von Produkten für ältere Personen  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2012
- Krehmer, H.:  
Vorgehensmodell zum Iterations- und Produktreifegradmanagement in der eigenschaftsbasierten  
Produktentwicklung  
Düsseldorf: VDI-Verlag 2012 – Fortschritt-Bericht VDI Reihe 1; Nr. 416
- Stoll, T.:  
Einsatzmöglichkeiten von virtuellen, nichtidealen Prototypen in der Toleranzsynthese und –  
analyse  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2012

### 2011:

- Voß, R.:  
Toleranzanalyse komplexer Gussbauteile mittels stochastischer Simulation der  
Fertigungseinflüsse  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2011; ISBN 978-3-8442-1865-7
- Stahl, T.:  
Einfluss von Drehzahl- und Lastkollektiven auf die Entwicklung von Reibmoment und  
Temperatur in Wälzlagern  
Düsseldorf: VDI-Verlag, 2011 – Fortschritt Berichte VDI Reihe 1; 412
- Stockinger, A.:  
**Computer Aided Robust Design – Verknüpfung rechnerunterstützter Entwicklung und  
virtueller Fertigung als Baustein des Toleranzmanagements.**  
Düsseldorf : VDI-Verlag, 2011. - Fortschritt-Bericht VDI Reihe 1; 409
- Stuppy, J.:  
**Methodische und rechnerunterstützte Toleranzanalyse für bewegte technische Systeme.**  
Fortschritt-Berichte VDI Reihe 20 Nr. 433. Düsseldorf: VDI, 2011
- Wittmann, S.:  
**Verfahren zur Simulation und Analyse der Auswirkungen toleranzbedingter  
Bauteilabweichungen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2011.

### 2010:

- Tremmel, S.:  
**Ein Beitrag zur Auslegung beschichteter Bauteile unter zyklischer Beanspruchung im  
Wälz-Gleit-Kontakt.**  
Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 406. Düsseldorf: VDI, 2010.

### 2009:

- Bauer, S.:  
**Entwicklung eines Werkzeugs zur Unterstützung multikriterieller Entscheidungen im  
Kontext des Design for X.**  
Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 404 Düsseldorf 2009.

**2008:**

- Lustig, R.:  
**Integration und Verarbeitung von Verformungsinformationen im Umfeld rechnerunterstützter Toleranzanalysen.**  
VDI Fortschritt-Berichte Reihe 20.

**2007:**

- Seitz, A.:  
**Charakterisierung und Verbesserung des Verschleißverhaltens typischer Gleitkontakte in Piezo Common-Rail Diesel-Einspritzsystemen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2007.

**2006:**

- Hauck, C.:  
**Beitrag zur methodischen, rechnerunterstützten Konzeption und Prinziplösungsmodellierung flächiger Leichtbaukomponenten.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2006.
- Koch, A.:  
**Entwicklung einer Methode zur Visualisierung der Auswirkungen von Form- und Lagetoleranzen auf die Bauteilgestalt.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2005.

**2005:**

- Koch, M.:  
**Ein bauraumorientierter Ansatz zur durchgängigen Unterstützung der frühen Konstruktionsphasen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2006.
- Kahlert, M.:  
**Entwurf eines Prinzipienkatalogs für multidisziplinäre Lösungsansätze.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2006.

**2004:**

- Steinmann, M.:  
**Beitrag zur Entwicklung neuartiger PVD-Festschmierstoffschichten für den Einsatz in trockenlaufenden Maschinenelementen, insbesondere wälzgelagerten Linearführungen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2004.
- Rosemann, B.:  
**Framework eines umweltorientierten, interdisziplinären Produktinnovationsprozesses unter Einsatz rechnergestützter Werkzeuge.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2004.

**2003:**

- Schaufler, C.:  
**Beitrag zur Entwicklung von PVD-Festschmierstoffsystemen für den Betrieb von Maschinenelementen unter extremen Umgebungsbedingungen (Vakuum und hohe**

Temperaturen).

Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2003.

- Shi, B.:  
**Design for Multi-Technology Systems**  
- an Integrated Conceptual Design Approach.
- Paetzold, K.:  
**Die Auslegung von Wellgetrieben aus Kunststoff am Beispiel des WAVE DRIVE-Getriebes.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2003.
- Schmidt, W.:  
**Methodische Entwicklung innovativer Leichtbau-Produkte.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2003.
- Puri, W.:  
**Semantische Funktionsmodellierung als Basis für effizientes Product LifeCycleManagement.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2003.

## 2002:

- Kasan, R.:  
**Ein Regelwerk für die rechnerinterpretierbare Abbildung von Baureihen und Baukästen in einem Konstruktionssystem.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2002.
- Hochmuth, R.:  
**Methoden und Werkzeuge als Teil eines Assistenzsystems zur rechnergestützten Analyse und Optimierung robuster Produkte.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2002.
- Adunka, R.:  
**Rechnerunterstützter Bewertungsprozess im Umfeld methodischer Produktentwicklung.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2002.

## 2001:

- Sander, S.:  
**Konzept einer digitalen Lösungsbibliothek für die integrierte Produktentwicklung .**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2001.
- Mogge, C.:  
**Konzept für ein rechnerbasiertes System zur Unterstützung des verteilten methodischen Produktentwicklungsprozesses.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2001.
- Harbauer, J.:  
**Konzept zur Integration von Umwelt- und Recyclingaspekten in den verkürzten Entwicklungsprozeß komplexer Produkte.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2001.
- Musayev, Y.:  
**Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von Stahl/Stahl-Gleitpaarungen für Präzisionsbauteile durch Diffusionschromierung im Vakuum.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2001.
- Heynen, C.:  
**Wissensmanagement im Berechnungsprozess der Produktentwicklung.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2001.



**2000:**

- Hennig, H.:  
**Konzept für den Aufbau von Bauteil- und Baugruppeninformationen für komplexe Produkte auf Basis eines funktionierenden Strukturmodells.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2000.
- Schön, A.:  
**Konzept und Architektur eines Assistenzsystems für die mechatronische Produktentwicklung.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2000.
- Wartzack, S.:  
**Predictive Engineering - Assistenzsystem zur multikriteriellen Analyse alternativer Produktkonzepte.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 2000, VDI-Verlag Düsseldorf.

**1999:**

- Hambrecht, R.:  
**Anschmiererscheinungen in Wälzlagern bei Fettschmierung.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1999.
- Fruth, W.:  
**Beitrag zur Verbesserung der tribologischen Eigenschaften von Metall/Kunststoff-Gleitpaarungen durch PVD- und Plasma-CVD-Beschichtungen**  
.
- Krumpiegl, T.:  
**Entwicklung von PVD-Verschleißschutzschichten durch mechanisch-tribologische Charakterisierung für den Einsatz in Gelenklagern mit Stahl/Stahl-Paarungen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1999.

**1997:**

- Bachschuster, S.:  
**Architektur und Konzept zur Realisierung eines produktspezifisch erweiterbaren Konstruktionssystems.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1997.
- Spors, K.:  
**Ein systemtechnisches Konzept zur Unterstützung des Produktentstehungsprozesses eines PKW**  
.
- Löffel, C.:  
**Integration von Berechnungswerkzeugen in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1997.
- Weber, J.:  
**Konzept eines rechnerunterstützten Assistenzsystems für die Entwicklung umweltgerechter Produkte.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1997.

**1996:**

- Rösch, S.:  
**Konstruktionssystem für ein rechnerunterstütztes Konzipieren und Entwerfen komplexer Blechteile.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1996.

- Storath, E.:  
**Kontextsensitive Wissensbereitstellung in der Konstruktion.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1996.

**1995:**

- Eglinger, M.:  
**Einfluß des Schmierstoffes und der Rollenbeschaffenheit auf die Entstehung von Anschmierungen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1995.

**1993:**

- Wadewitz, M.:  
**Ursachen der Anschmierungen im Wälz-/Gleitkontakt.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1993.

**1992:**

- Weber, A.:  
**Ein relationsbasiertes Datenmodell als Grundlage für die Bauteiltolerierung.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1992.
- Hagen, G.:  
**Erkennen und Verstehen durch Datenstrukturanalyse beim Konstruieren mit CAD-Möglichkeiten zur Analyse von Informationen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1992.
- Krause, D.:  
**Rechnerunterstütztes Konzipieren und Entwerfen mit Integration von Analysen, insbesondere Berechnungen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1992.

**1991:**

- Räse, U.:  
**Gußgerechtes Konstruieren mit CAD - Möglichkeiten zur Beschreibung und Analyse von Gußteilen**

**1990:**

- Finkenwirth, K.:  
**Fertigungsgerecht Konstruieren mit CAD - Konzept eines Konstruktionssystems zur Informationsverarbeitung mit CAD-Systemen.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1990.

**1989:**

- Hiltcher, G.:  
**Anschmierungen bei Wälzlagern - ein Beitrag zur theoretischen und experimentellen Lösung des Problems.**  
Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg 1989.

## Anhang A9

**Was ist neu?** in den jeweiligen Auflagen des IPE-Buches gegenüber dem Vorläufer

### 3. Auflage (2007) gegen 2. Auflage (2003)

| Kapitel | Seite in Auflage 3 | neue Inhalte  |
|---------|--------------------|---|
| 1.3     | 10-11              | Geschichtliche Entwicklung der Konstruktionswissenschaft  |
| 1.4     | 14                 | Forschungsbedarf neu formuliert   |
| 3       | 64                 | neue denkpsychologische und gehirnphysiologische Erkenntnisse   |
| 3.2.2   | 65-67              | Zweistufen-Vorgehen (Normalbetrieb des Gehirns = Stufe 1; Rationalbetrieb = Stufe 2)                              |
| 3.3.2   | 98-102             | Neue Darstellungen von Problemlösungszyklen (VDI 2206; MVM); Bild 3.3-20  |
| 3.4     | 115                | Skizzieren kann die Kreativität unterstützen (Diss. Pache)  |
| 3.5     | 126-128            | Gruppenprozesse in der Praxis, Kritische Situationen (Buch Badke-Schaub; Frankenberger)                           |
| 3.6     | 132-136            | Verbesserung denkökonomischen Vorgehens   |
| 3.7     | 139; 141           | Fehlerverhütungskosten; Rule of Ten; Bild 3.7-2   |
| 3.8.3   | 152                | Effektive Lehre der Methodik  |
| 3.9     | 154                | Natürliches oder streng systematisches Vorgehen   |
| 3.9     | 155                | Modell des Konstruierens  |
| 4.2.1   | 188                | Integrierte Produkterstellung; Bild 4.1-22a   |
| 4.2.2   | 190                | Bewußtseinsänderung   |
| 4.3.3.1 | 207                | Vorteil von Kleingruppen  |
| 5.1.3.2 | 252                | Skizzieren von Hand; Anfertigung einfacher Modelle erhöht die Qualität; CA-Skizzierverfahren fehlen in der Praxis |
| 5.1.3.4 | 255                | Komplexität der Einzelteilgestaltung  |
| 5.1.4.4 | 267-270            | Mechatronische Produkte; VDI 2206   |
| 5.2     | 274                | Management in Entwicklung und Konstruktion  |
| 5.2.1.1 | 275-278            | Strukturen in Entwicklung und Konstruktion, neuere Zahlen   |
| 5.2.1.4 | 282                | Führungsanforderungen   |
| 6.2.3   | 308                | Untersuchungen von Hacker zum natürlichen Vorgehen in E & K   |
| 6.2.3   | 309-311            | Zweistufen-Vorgehen (Normalbetrieb des Gehirns = Stufe 1; Rationalbetrieb = Stufe 2)                              |
| 7.2     | 344                | Produktplanung erweitert; Bild 7.2-1a   |
| 7.2     | 374                | Innovation erweitert; Bild 7.2-3a   |
| 7.2.3   | 352                | Produktpotential erweitert; Bild 7.2-6a   |
| 7.2.3   | 357                | Bionik erweitert; Bild 7.2-10a  |
| 7.5.1   | 401                | Grundlagen der Lösungssuche erweitert; Bild 7.5-1   |
| 7.5.4   | 404-406            | Kreativität erweitert   |
| 7.5.4   | 406                | Brainstorming erweitert   |
| 7.10.5  | 524                | Nutzung von Datenbanken   |

|   |     |             |
|---|-----|-------------|
| 9.2.2   | 625 | Zukaufteile |
| Durchweg wurde versucht, den Text verständlicher zu formulieren und neue Literatur zu bringen |     |             |

#### 4. Auflage (2009) gegen 3. Auflage (2007)

| Kapitel         | Seite in Auflage 4 | neue Inhalte  | Anregung von ...                |
|-----------------|--------------------|---|---------------------------------|
| 2.3.2b          | 37                 | Komplexitäts-Begriff schärfer gefasst   | eigen                           |
| 2.3.3d          | 49-51              | Komplexitätsmanagement neu  | Lit., Dr.Maurer                 |
| 3.1.1           | 59                 | Intelligenz des Unbewussten, Bauchregeln nach Prof.Gigerenzer   | Literatur, Vortrag              |
| 3.2.1           | 66                 | Bedeutung der Gefühle für Merkfähigkeit, Motivation   | Literatur                       |
| 3.2.2           | 69                 | Vorgehen nach Stufe 1 (intuitiv) und 2 (methodisch) besser begründet  | Literatur                       |
| 3.2.2           | 71                 | „Magischer Würfel“ als Beispiel für intuitives / rationales Problemlösen                                      | eigen                           |
| 3.8.1           | 150                | Notwendigkeit der Situationsanalyse zur Wahl der richtigen Methode  | Diss. Ponn / HILTI              |
| 3.8.3           | 158, Bild 3.8-3a   | Umfrage VDMA über die in der Praxis eingesetzte Methoden  | VDMA                            |
| 3.8.3           | 158                | bessere aktive Lehrformen, damit Können vermittelt wird   | Literatur                       |
| 4.1.2           | 167, Bild 4.1-3a   | Großunternehmen, Klein und. Mittelunternehmen, ihr Einfluss auf Methodeneinsatz                               | Diss. Heßling                   |
| 4.1.5           | 179                | beispielhaftes methodisches Vorgehen in der Praxis  | HILTI; Dr. Günther              |
| 4.3.2           | 214-215            | Zeiteinsparung durch Parallelisierung der Arbeiten in Abteilungen; Durchlaufzeiten, Bearbeitungszeiten in E&K | VDMA                            |
| 4.3.4.2         | 222 - 224,         | Projektpläne, Projektmanagement   | VDMA                            |
| 4.4.1.4         | 235                | Realisierung von Simultaneous Engineering in der Praxis   | Literatur, Diss. Herfeld / AUDI |
| 4.4.2b          | 238                | Erfolg des Betrieblichen Vorschlagswesens in der Praxis   | Literatur                       |
| 5.1.5           | 285                | Wie arbeitet man sich als Neuling in ein neues Produktspektrum ein?   | Anregung von Prof. Artur Jung   |
| 5.2.1.1         | 287 u. folg.       | Statistische Daten aus Praxis Entwicklung und Konstruktion  | VDMA                            |
| 5.2.2.5         | 309 - 312          | Überblick zum Computereinsatz heute und in Zukunft (Anregung Prof. Birkhofer)                                 | Prof. K. Shea, Dr. Herfeld/AUDI |
| 7.2.1           | 364, 380           | Innovation, Verfehlung der Zukunftskunden   | Prof. Christensen; Literatur    |
| 7.6             | 452                | die Werkstoffart in den Begriff der Gestalt einbezogen  | Ponn, Lindemann                 |
| 7.9.2;<br>7.9.6 | 523, 530           | reale Bewertungs- und Entscheidungsprozesse   | Prof. Frey, Prof. Gigerenzer    |

|  |     |  |                        |
|--|-----|--|------------------------|
| 7.10.4c  | 543 | Methoden zum „Plagiatschutz“                       | Prof. Lindemann        |
| 9.1.1  | 624 | Life-Cycle-Engineering, Nachhaltigkeit             | Literatur, Dr. Günther |
| 9.2.2  | 645 | kostengünstig Konstruieren mit Zulieferkomponenten | Prof. Birkhofer        |
| 9.4.4.2  | 689 | Produkt-Konfigurationssysteme                      | Literatur              |
| Einführung der neuen Deutschen Schreibweise<br>Durchweg wurde versucht, den Text verständlicher zu formulieren und neue Literatur zu bringen |     |  |                        |

## 5. Auflage (2013) gegenüber 4. Auflage (2009)

K. Ehrlenspiel und H. Meerkamm

| Kapitel           | Seite in Auflage 5 | neue Inhalte   | Anregung von ...                      |
|-------------------|--------------------|--|---------------------------------------|
| 2.3.3d            | 48                 | Überarbeitung „Komplexitätsmanagement“   | Frau Dipl.-Ing. Kirner, IPE           |
| 4.2               | 193                | neue Inhalte zu IPE und neue Bilder: „Kleblattbilder“  | Prof. Dr.Meerkamm                     |
| 4/<br>7.2.1/7.2.4 | 161; 371;<br>380   | Dienstleistung als „neues“ Entwicklungsziel  | Dipl.-Ing. Schenkl, IPE               |
| 4.2.4             | 210                | „Produktmanagement“ des Vertriebs als Analogon der „Integrierten Produktentwicklung“                           | Literatur aus dem Vertrieb            |
| 5.1.4.4           | 280                | Mechatronik Beispiel: „Das elektronische Stabilitätsprogramm ESP in der Mercedes A-Klasse“                     | Prof. Dr.Meerkamm                     |
| 5.1.4.4           | 285                | Mechatronik Beispiel: „Lidar-Verstellung“  | Frau Dr. Stefanie Zirkler             |
| 5.2.1             | 292; 293           | Aktualisierung zur Unternehmensorganisation im Bereich Produktentwicklung                                      | VDMA Dr.Susanne Krebs und Dr. M. Lutz |
| 5.2.2.5           | 312                | Aktualisierung des Kapitels „Computereinsatz...“   | Dr. Grieb, Fa.itredaktion             |
| 6.5.2             | 353                | Aktualisierung „Design for X“  | Prof. Dr. Meerkamm                    |
| 7.2.4d            | 385                | „Mind Mapping“ als Kreativmethode  | Prof. K.-J. Conrad, FHS Hannover      |
| 7.2.4d            | 384; 385           | Die „Scenariotechnik“ zum Finden von Produktideen und die „Aktive Kundeneinbindung“ aus IPE- Vorhaben „AKINET“ | Dipl.-Ing. A. Lang                    |
| 7.5.4b            | 434                | „Hybride Gruppenarbeit“ als Alternative zu Brainstorming   | Prof. Dr. Hacker                      |
| 7.9.5c            | 536                | Bewertungs-Programm mit dem Bayes-Theorem  | Dr. Ingo Schulz, SKF                  |
| 7.9.7             | 542                | Multikriterielles Bewerten   | Prof. Dr. Meerkamm                    |
| 7.10.4c           | 551                | Aktualisierung „Produktpiraterie“ IPE-Untersuchungen   | Dipl.-Ing. Schenkl, IPE               |
| 7.10.6            | 554                | „Schutzrecht-Strategien“ im Produkt-Lebenszyklus   | Frau Dr. Alexandra Nißl               |
| 8.8               | 632                | ein neues Beispiel für DfX: „Straßenbahn Avenio“   | Prof. Dr. Meerkamm                    |
| 9.4.1             | 716                | Aktualisierung Produktvielfalt und ihre Verringerung   |                                       |

|   |
|---|
| Durchweg wurde versucht, den Text verständlicher zu formulieren und neue Literatur zu bringen |
|---|

## 6. Auflage (2017) gegenüber 5. Auflage (2013)

Wir verweisen außerdem auf die Aufzählung neuer Inhalte mit Kapitelangabe im Vorwort der 6.Auflage des Buches,

| Kapitel                 | Seite in Auflage 6 | neue Inhalte   | Anregung von ...                             |
|-------------------------|--------------------|--|--|
| 1.1d                    | 6                  | Die Bedeutung des intuitiven Entwickelns   |  |
| 2.4                     | 64                 | Lebensdauerplanung von Produkten   | Prof. Meerkamm und Prof. Albers              |
| 3.8<br>Ende             | 187                | Wann wird Methodik in der Praxis wirksam?  | Diss. M.Graner [128/3]                       |
| 3.10                    | 192                | Persönliche Integrationsfähigkeit  | Prof. F.Lang                                 |
| 4.2.2                   | 242                | es fehlt eine „Integrationswissenschaft“ mit Begriffen und Verfahren, die für alle Disziplinen und praxisnahen Anwendungen einsichtig und fruchtbar wären. | Aufsatz der Autoren 2016 [94/4]              |
| 4.4.2                   | 286                | Qualität und Sicherheit  |  |
| 5.1.3;<br>6.2.3         | 318-321;402        | Richtlinie VDI 2221neu „integrierter methodischer Ablauf“  | Prof. Mantwill                               |
| 5.1.4.4                 | 348                | zur Entwicklung von mechatronischen Produkten  |  |
| 7.2.1<br>Ende           | 449                | Das Scheitern von Innovationen   | Prof. R.Bauer [35/7.2]                       |
| 7.2.4d                  | 464                | Open Innovation  | Dr. Gürtler [26/1]                           |
| 7.2.5                   | 469                | Organisatorische u. psychologische Maßnahmen zur Förderung der Innovationsfähigkeit  | Prof. Badke-Schaub; Dr. Frankenberger [76/3] |
| 7.3.6                   | 495                | Anforderungsmanagement   |  |
| 7.5.4                   | 523                | Überarbeitung des Kapitels zur Kreativität   | Dipl.-Ing. Chr. Münzberg                     |
| 7.5.5.4                 | 549                | Methode TRIZ   | Dipl.-Ing. Chr. Münzberg                     |
| 7.10.1                  | 656                | Wie ist persönliches (ex- und implizites) Wissen vermittel- und beschaffbar?   |  |
| 7.10.4c                 | 665                | Änderungsmanagement  |  |
| 7.10.7                  | 674                | Wie sich verhalten in einer Krise?   | Dipl.-Ing. Chr. Münzberg                     |
| 8.9                     | 789                | Praxisbeispiel Entstaubung von Baumwollfasern  |  |
| 9.1                     | 796                | Was am Kapitel 9 (kosten) bleibt gültig?   |  |
| 9.4;<br>9.4.3;<br>9.4.7 | 864; 871; 891      | Variantenmanagement; Baukasten-Strategien (Modul-Bauweise; Modularisierung; Produktarchitektur)  | Dr. Ponn, HILTI; Prof. Krause                |

|   |
|---|
| Durchweg wurde versucht, den Text verständlicher zu formulieren und neue Literatur zu bringen |
|---|

## Anhang A10 Kontakt mit den Autoren

Liebe Leserin, lieber Leser,  
hier können Sie Anregungen und Kritik zu dem IPE-Buch rein schreiben und bitte direkt per Email an uns schicken. Wir freuen uns über den Kontakt. – Bisher hat Leser-Kritik viel dazu beigetragen, das Buch besser werden zu lassen.



Unsere **Email**-Adressen sind:

[ehrlenspiel@mytum.de](mailto:ehrlenspiel@mytum.de)

[meerkamm@mfk.fau.de](mailto:meerkamm@mfk.fau.de)

**1. Korrekturen** (Hier sollen vor allem für das Verständnis wichtige Fehler aufgelistet werden.)

**2. Anregungen.** was könnte bei der nächsten Auflage besser gemacht werden?

**3. Welche Inhalte fehlen?**

**4. Was könnte entfallen? Ist überflüssig?**