

Universität Stuttgart
Institut für Medizingerätetechnik

Diese Vorlesung basiert auf Vorarbeiten von Prof. Dr.-Ing. T. Maier
Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design

**Skript zur
Vorlesung**

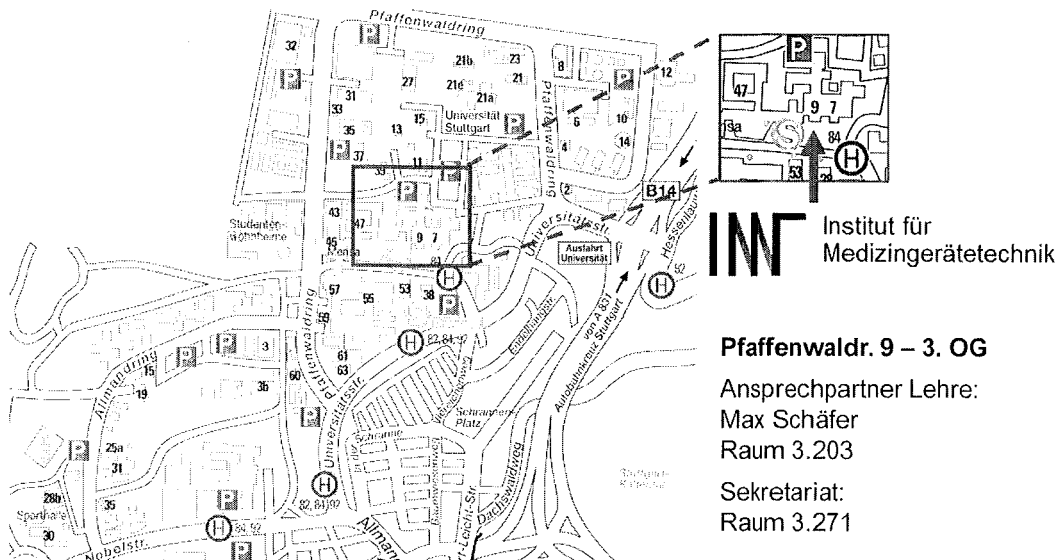
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

**Prof. Dr. rer. nat.
Peter P. Pott
Max Schäfer, M.Sc.**

**Wintersemester
2019/2020**

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Organisatorisches

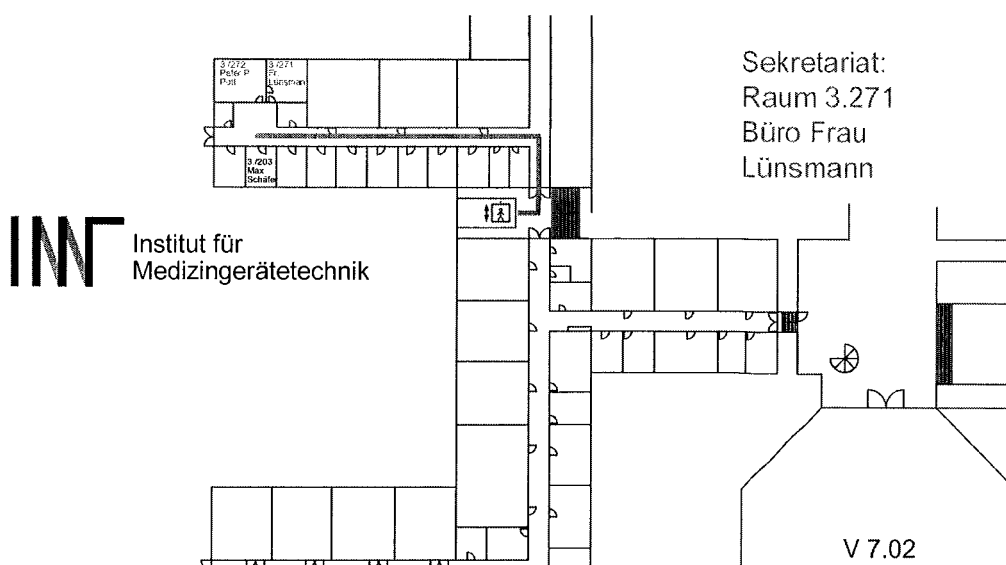


Prof. Peter P. Pott
 Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 1

Institut für **INM**
 Medizingerätetechnik

Organisatorisches



Prof. Peter P. Pott
 Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 2

Institut für **INM**
 Medizingerätetechnik

Organisatorisches

- Konstruktion in der Medizingerätetechnik (KMT) für Medizintechnik
- Beinhaltet Vorlesungen und Übungen
- KMT I 2V / 1Ü
- Zusätzlich EFL im Wintersemester: 1V / 1Ü

- Kontakt: kmt@imt.uni-stuttgart.de
- <https://www.imt.uni-stuttgart.de/lehre/vorlesungen>

Organisatorisches

Vorlesung

- Donnerstags, 15.45 – 17.15 Uhr, im Hörsaal V 27.02, Pfaffenwaldring 27
 - Beginn: heute
- Skript zur Vorlesung
 - soll und kann den Besuch der Vorlesung nicht ersetzen
 - ist auch als Nachschlagewerk für die Bearbeitung der Übungsaufgaben und die spätere berufliche Praxis konzipiert
- Verkauf
 - Dienstag, 15.10.2019, von 09:45 bis 10:45 Uhr
 - Freitag, 18.10.2019, von 08:45 bis 09:45 Uhr

Organisatorisches

Übungen

- Mittwochs, 14.00 – 15.30 Uhr, im Hörsaal V 7.03 bzw. im Gruppenübungsraum gemäß IMT-Website/C@MPUS
 - Beginn: 23.10.2019
- Die Gruppeneinteilung erfolgt Mitte November.
- Skriptverkauf für „Technisches Zeichnen“
- Skriptverkauf für „Technisches Zeichnen“:
 - Dienstag, 15.10.2019, von 09:45 bis 10:45 Uhr
 - Freitag, 18.10.2019, von 08:45 bis 09:45 Uhr

Organisatorisches

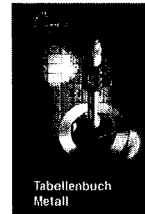
Prüfung

Das Modul beinhaltet

- Eine Prüfung in EFL
- Eine Prüfung in KMT bestehend aus zwei Teilen
 - Kurzfragen (ohne Hilfsmittel)
 - Konstruktions-/ Berechnungsaufgabe (mit Hilfsmitteln)

Literaturempfehlungen

- ▷ Hoischen: Technisches Zeichnen, Cornelsen / Giradet
- ▷ **Tabellenbuch Metall, Europa Lehrmittel**
- ▷ Fachkunde Metall, Europa Lehrmittel
- ▷ Wittel, H, Muhs D. et al.: Roloff/Matek:
Maschinenelemente



1. Einführung

- 1.1 Ausbildungsziele
- 1.2 Vorlesungsinhalte
- 1.3 Definition des Begriffs „Konstruieren“
- 1.4 Der Konstruktionsprozess als Teil des Produktentstehungsprozesses
- 1.5 Tätigkeiten in Entwicklung und Konstruktion
- 1.6 Konstruktionsarten
- 1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens
- 1.8 Analoger Designprozess – Tübingen Scientific Manipulator
- 1.9 Literaturverzeichnis

1.1 Ausbildungsziele

Ziel der Vorlesung und Übung „Konstruktion in der Medizingerätetechnik“ ist es, einen wesentlichen Beitrag zur Ingenieurausbildung durch Vermittlung von

- Fachwissen
- Methodenwissen
- Fähigkeiten und
- Fertigkeiten

zum Entwickeln und Konstruieren (medizin-)technischer Produkte zu leisten.

1.1 Ausbildungsziele

- Faszination für Innovations- und Gestaltungsprozesses wecken
- Ingenieurmäßige Fähigkeiten wie analytisches und systematisches Denken, Kreativität, technisches und wirtschaftliches Beurteilungsvermögen fördern.
- Kenntnisse vermitteln über
 - Grundlagen der Berechnungen
 - Gestaltung von Maschinen bzw. Maschinenelementen
 - Funktion, Wirkprinzip, Einsatzgebiete und systematische Zusammenhänge verschiedener Maschinenelemente
- Verschiedene Methoden erlernen
- Übertragung der Kenntnisse auch auf komplexere Aufgabenstellungen
- Skizzieren und Technisches Zeichnen erlernen

1.2 Vorlesungsinhalte

Maschinenelemente in einem technischen System



Mechanisch:

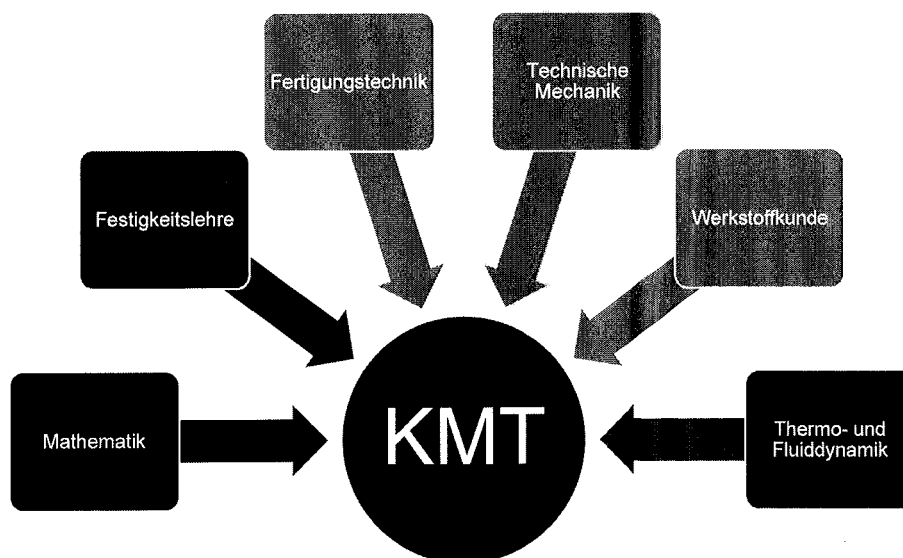
- Achsen / Wellen
- Lager
- Zahnräder
- Kupplung
- Planetengetriebe
- Spannelemente
- Schrauben
- Bolzen
- Dichtungen
- Federn

Elektrisch/ Elektronisch:

- Motor
- Schalter
- Drehzahlregler
- Motorelektronik

1.2 Vorlesungsinhalte

Synergien mit anderen Vorlesungen



1.2 Vorlesungsinhalte

Allgemeine Grundlagen und Verbindungstechnik

1. Einführung
2. Maschinenelemente und technisches Zeichnen
3. Grundlagen der Statik
4. Ermittlung der Spannungen
5. Gestaltung
6. Antriebstechnik
7. Umwandlung von Bewegungsformen
8. Die Produktentwicklung
9. Produkt und Produktprogramm

KMT I

1.2 Vorlesungsinhalte

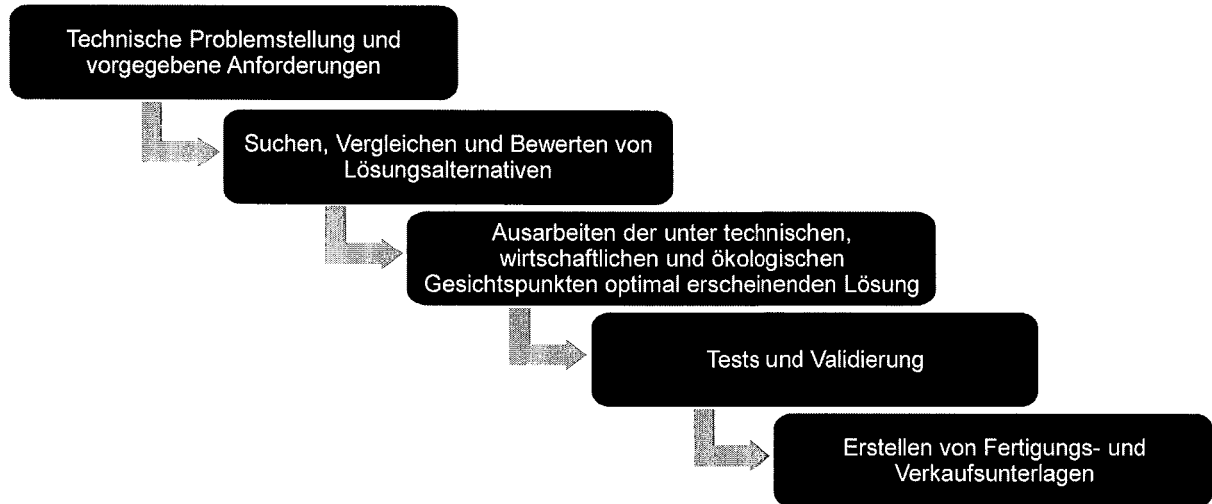
Verbindungs- und Antriebstechnik

10. Achsen und Wellen
11. Welle-Nabe-Verbindungen
12. Lager
13. Kupplungen
14. Getriebe
15. Dichtungen
16. Federn
17. Bolzen- und Stiftverbindungen
18. Schraubenverbindungen
19. Klebverbindungen
20. Lötverbindungen
21. Schweißverbindungen

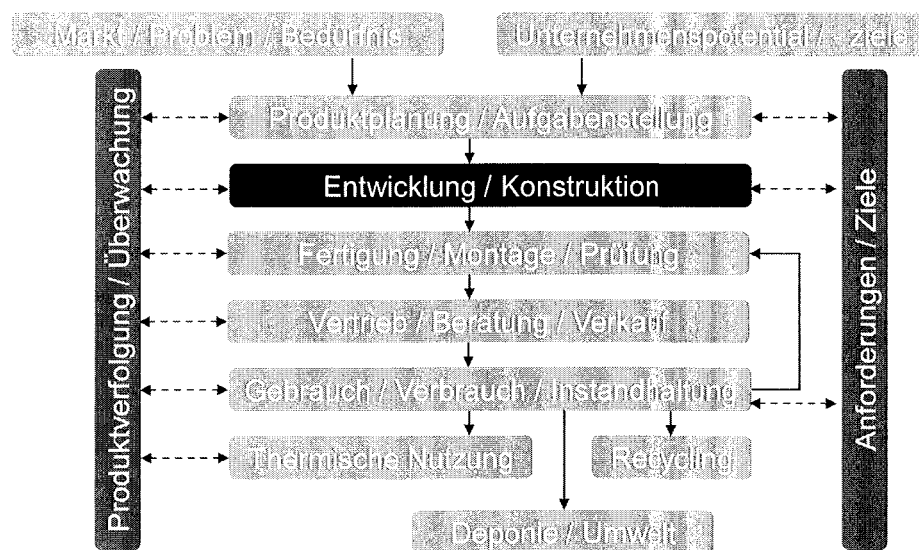
KMT II

1.3 Definition des Begriffs „Konstruieren“

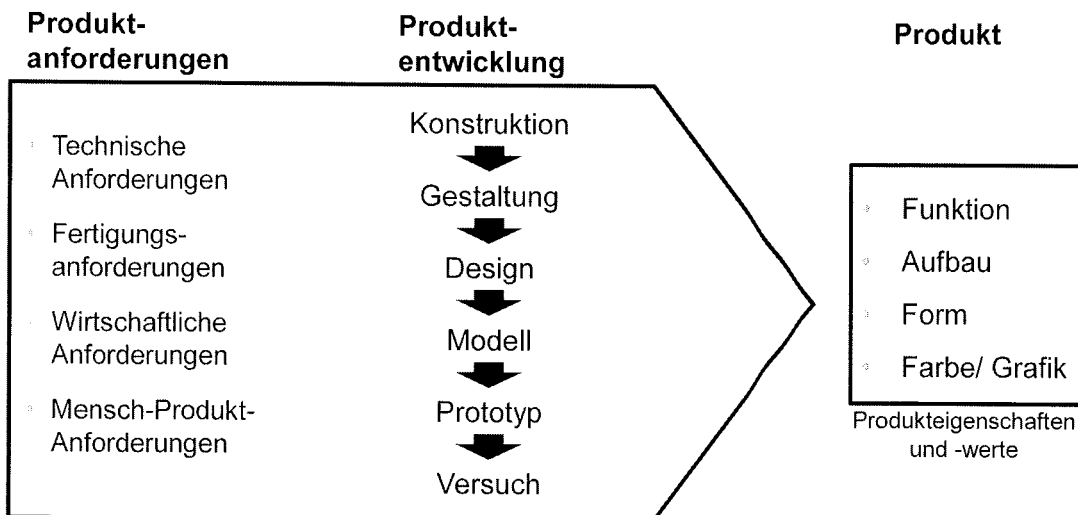
Schöpferische Tätigkeit:



1.4 Der Konstruktionsprozess als Teil des Produktlebenszyklus



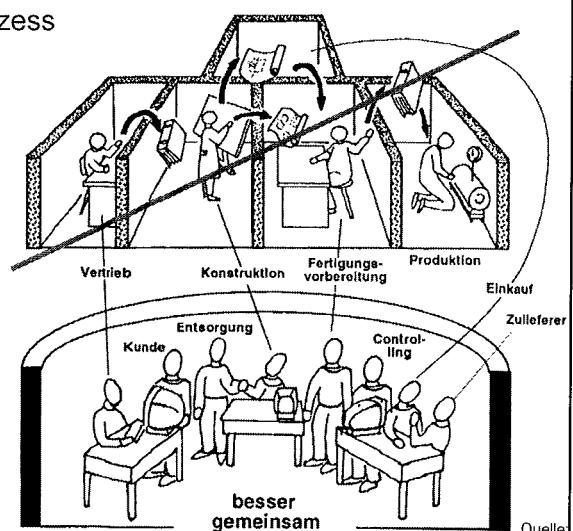
1.4 Der Konstruktionsprozess als Teil des Produktentstehungsprozesses



Quelle:
Seeger, Maier

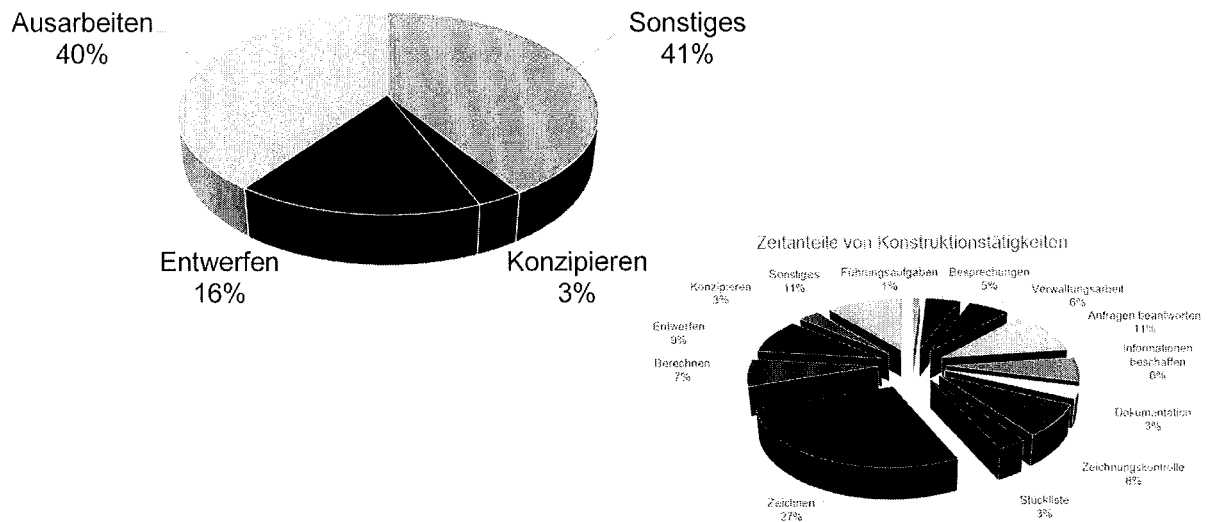
1.5 Tätigkeiten in Entwicklung / Konstruktion

- Einbindung in gesamten Produktentstehungsprozess
- Projektarbeit in interdisziplinären Teams
- Simultaneous Engineering
- Teamarbeit sehr wichtig

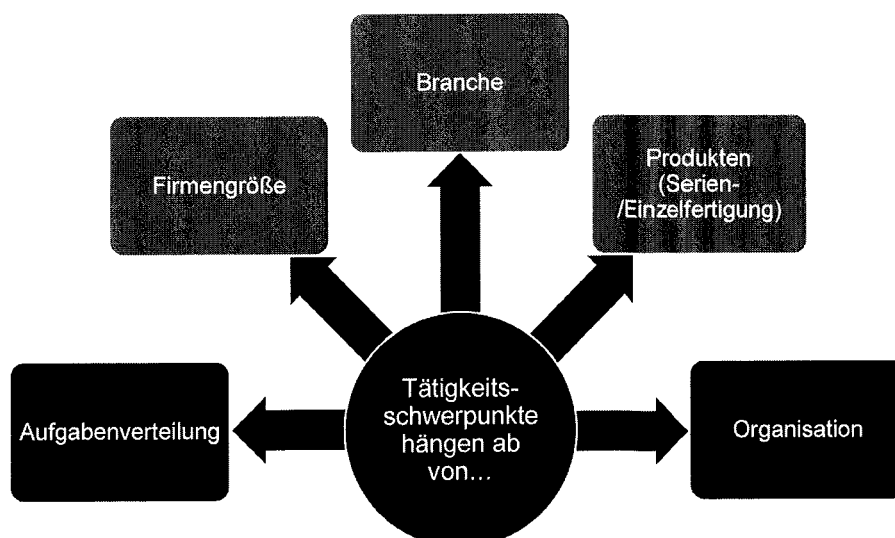


1.5 Tätigkeiten in Entwicklung / Konstruktion

Zeitanteile von Konstruktionstätigkeiten



1.5 Tätigkeiten in Entwicklung / Konstruktion



1.6 Konstruktionsarten



→ In der Praxis lassen sich bei den Konstruktionsarten häufig keine scharfen Abgrenzungen finden

1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

- Konstruktionsprozess = informationstechnischer Prozess
- Informationen werden gewonnen, verarbeitet und ausgegeben.
- Alle Hilfsmittel und Methoden, die den Prozess wirkungsvoll unterstützen, tragen dazu bei,
 - die Qualität der Konstruktionsarbeit zu verbessern,
 - die Durchlaufzeit in der Konstruktion zu reduzieren und damit auch
 - die Entwicklungs- und Konstruktionskosten zu senken

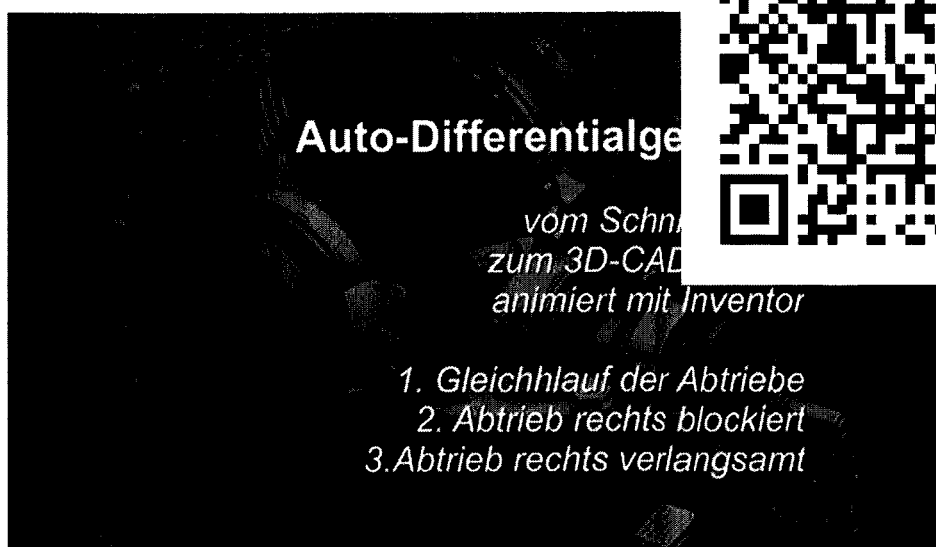
1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

Rechnerunterstützung in der Konstruktion

- Zeichnen/ Konstruieren → CAD-System
- Berechnen → FEM-Programme
- Strömungen und Wärmetransfer berechnen → Computational Fluid Dynamics (CFD)
- Zeichnungen verwalten → Engineering-Daten-Management-System (EDM)
- Wiederholteile suchen → Engineering-Daten-Management-System (EDM)
- Zukaufteile suchen → Internet-Katalog mit Auswahlprogrammen
- Verwaltung und Steuerung von Produktdaten und Prozessen → Product Lifecycle Management (PLM)

1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

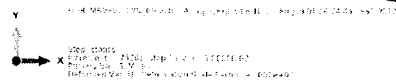
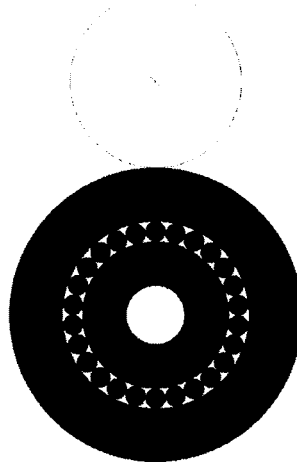
CAD- System



Quelle: INA
[Rickert@GIB-liestal.ch]

1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

FEM-Programme



Quelle:
INA

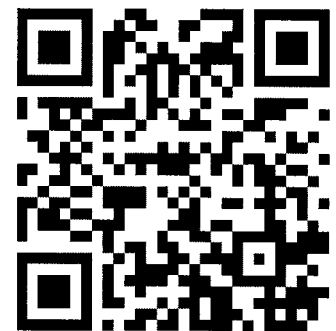
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 25

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

CFD-Programme



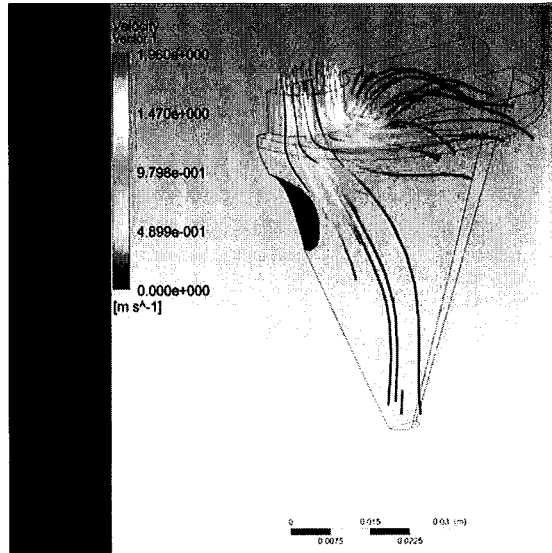
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 26

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

CFD-Programme



Quelle:
Vladimir Kudriavtsev

1.7 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

Methoden

Methoden zum Konstruieren sollen...

- ein planvolles und problemorientiertes Vorgehen ermöglichen, d.h. prinzipiell bei jeder konstruktiven Tätigkeit branchenunabhängig anwendbar sein
- erfindungs- und erkenntnisfördernd sein, d.h. das Finden optimaler Lösungen erleichtern
- Lösungen nicht zufallsbedingt erzeugen
- eine Übertragung der Lösung auf verwandte Aufgaben ermöglichen
- lehr- und erlernbar sein
- Arbeit erleichtern und Zeit sparen
- Fehlentscheidungen vermeiden

1.8 Analoger Designprozess – Tübingen Scientific Manipulator

Anwendungsfall: Minimalinvasive Chirurgie z.B. Magenbypass- und Magenbandoperation



Quelle:
flatron.eu

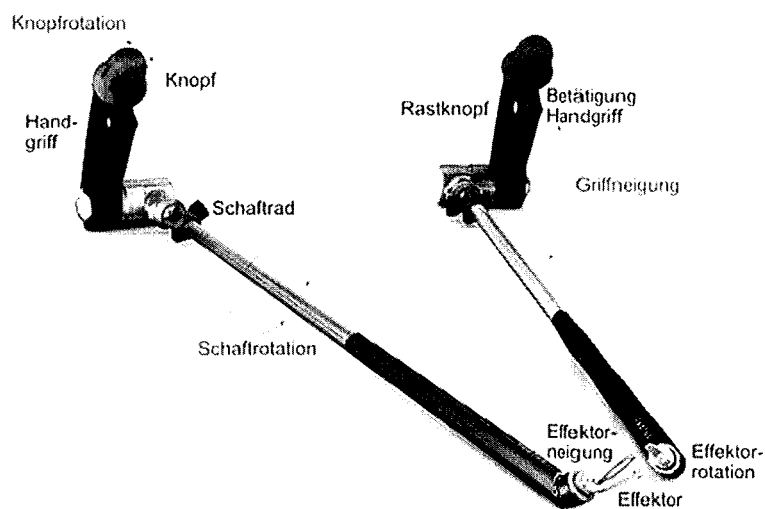
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 29

Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

1.8 Analoger Designprozess – Tübingen Scientific Manipulator

Bestehendes Produkt: Radius T Surgical System



Quelle: Tübingen Scientific,
IKDT Universität Stuttgart

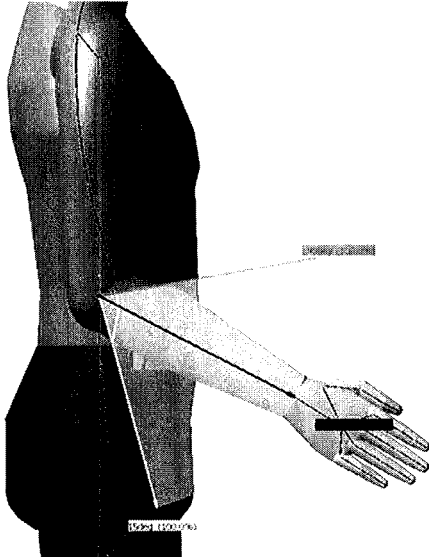
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 30

Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

1.8 Analoger Designprozess – Tübingen Scientific Manipulator

Ergonomieuntersuchung



Quelle: Tübingen Scientific,
IKDT Universität Stuttgart

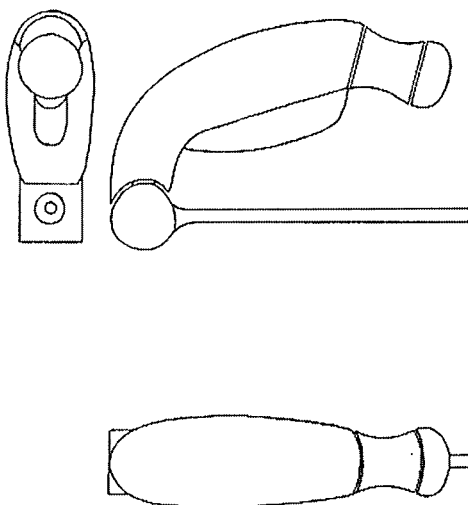
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 31

Institut
für Medizingerätetechnik **INW**

1.8 Analoger Designprozess – Tübingen Scientific Manipulator

Konzept und Plastilin-Modell für einen Einwegmanipulator



Quelle: Tübingen Scientific,
IKDT Universität Stuttgart

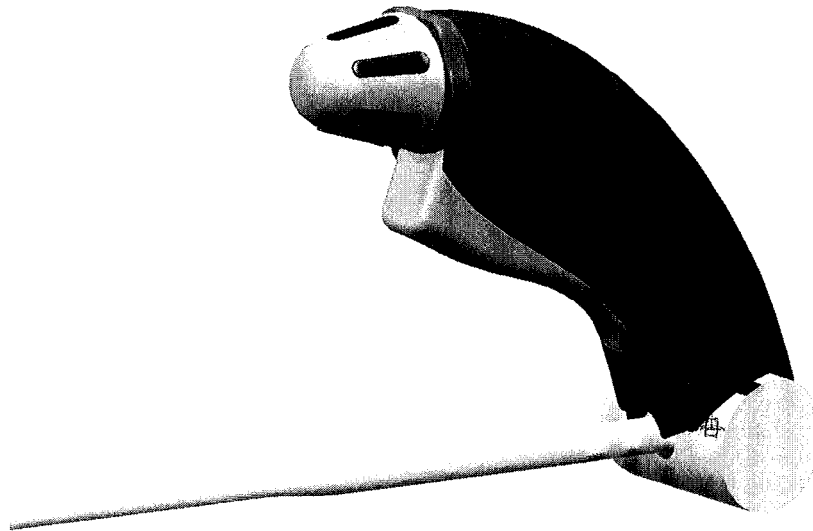
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 32

Institut
für Medizingerätetechnik **INW**

1.8 Analoger Designprozess – Tübingen Scientific Manipulator

Entwurf des besten Konzepts in CAD



Quelle: Tübingen Scientific
IKDT Universität Stuttgart

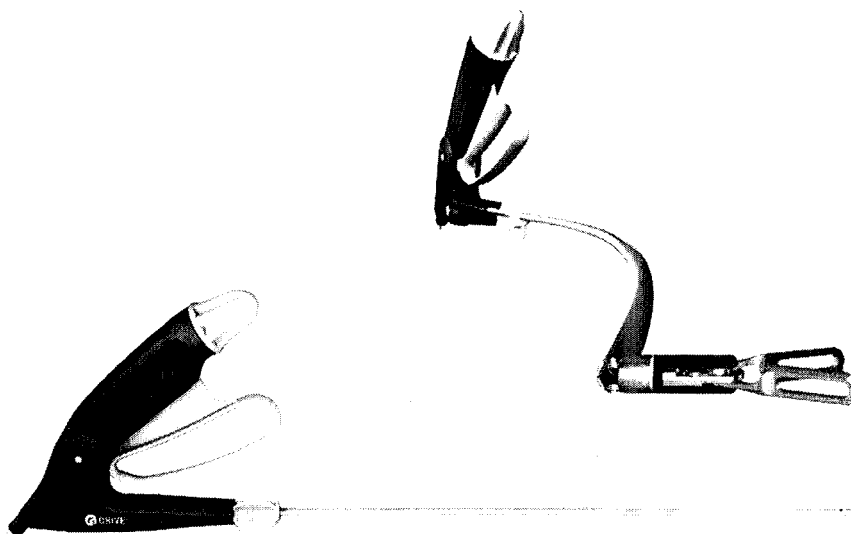
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 33

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

1.8 Analoger Designprozess – Tübingen Scientific Manipulator

Realisation: neue Einwegmanipulatoren



Quelle: Tübingen Scientific
IKDT Universität Stuttgart

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 34

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

1.9 Literaturverzeichnis

- Wittel, H, Muhs D. et al.: Roloff/Matek Maschinenelemente, 22. Auflage, Vieweg-Verlag, 2015
- Krause, W.: Grundlagen der Konstruktion, 9. Auflage, Hanser-Verlag München Wien, 2012
- Steinhilper, W.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus, 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
- Niemann, G. Winter, H., Höhn, B.: Maschinenelemente Band 1, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005
- Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998
- Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre, Grundlagen, 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013
- Claussen, U., Rodenacker, W. G.: Maschinensystematik und Konstruktionsmethodik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998
- Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band I+II, 3. erg. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000
- VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Beuth Verlag Berlin, 1993
- Welp, E. G.: Maschinenelemente, Band 1: Grundlagen der Methodik, Gestaltung und Beschreibung, Umdruck zur Vorlesung und Übung, Umdruck zur Vorlesung und Übung, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät Maschinenbau

2. Maschinenelemente

Inhalt

2.1 Achsen und Wellen

- 2.1.1 Unterscheidung
- 2.1.2 Achsen
- 2.1.3 Wellen
- 2.1.4 Technische Zeichnung

2.2 Wellen-Naben-Verbindungen

- 2.2.1 Unterteilung
- 2.2.2 Formschlüssige Verbindungen
- 2.2.3 Kraftschlüssige Verbindungen
- 2.2.4 Stoffschlüssige Verbindungen

2.3 Lager

- 2.3.1 Aufgaben
- 2.3.2 Wälzlager
- 2.3.3 Gleitlager
- 2.3.4 Vergleich der Lagerarten

2. Maschinenelemente

Inhalt

2.4 Kupplungen

- 2.4.1 Unterteilung
- 2.4.2 Fremdbetätigte Kupplung
- 2.4.2 Selbstschaltende Kupplung
- 2.4.3 Nicht-schaltbare Kupplung

2.5 Getriebe

- 2.5.1 Aufgabe
- 2.5.2 Zahnradgetriebe
- 2.5.3 Zugmittelgetriebe

2.6 Dichtung

- 2.6.1 Allgemeines
- 2.6.2 Statische Dichtung
- 2.6.3 Dynamische Dichtung

2. Maschinenelemente

Inhalt

2.7 Federn

- 2.7.1 Allgemeines
- 2.7.2 Schraubenfedern
- 2.7.3 Tellerfedern
- 2.7.4 Stabfedern
- 2.7.5 Ringfedern
- 2.7.6 Spiralfedern
- 2.7.7 Gummifedern
- 2.7.8 Gasdruckfedern
- 2.7.9 Einbaubeispiel

2. Maschinenelemente

Inhalt

2.8 Verbindungen

- 2.8.1 Unlösbare Verbindungen
- 2.8.2 Bedingt lösbare Verbindungen
- 2.8.3 Lösbare Verbindungen
- 2.8.4 Einbaubeispiel

2.9 Literaturverzeichnis

2. Maschinenelemente

Definition „Maschinenelemente“

- **Maschinenelemente** sind nicht sinnvoll weiter zerlegbare Bauteile für Maschinen, Apparate, Geräte, Vorrichtungen oder allgemein, technische Systeme.
- **Konstruktionselemente** sind funktionstechnische Systeme/Baueinheiten für technische Konstruktionen. Sie bestehen aus mehreren Bauteilen (Maschinenelementen), die in ihrer Kombination eine Einheit bilden und sich **von der Funktion her gesehen nicht weiter zerlegen lassen**.

→ Im folgenden wird „Maschinenelement“ als Oberbegriff für beide Elemente-Gruppen verwendet

2. Maschinenelemente

- Ein Maschinenelement kann bestehen aus:
 - Einem Teil (z.B. Schraube, Mutter, Feder, etc.)
 - Mehreren Teilen (z.B. Wälzlager, Ringfeder-Spannelement, Gleitringdichtung, etc.)
 - Mehreren einfachen Maschinenelementen (z.B. Kupplung, Riementrieb, Zahnradgetriebe, Ventil, etc.)
- „Mechatronische Komponenten“ bestehen aus Kombinationen von mechanischen, elektrischen/ elektronischen bzw. pneumatischen/ hydraulischen Elementen

2. Maschinenelemente

- Die Maschinenelemente müssen unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden und deshalb auch unterschiedliche Funktionen erfüllen.
- Systematische Einteilung der Maschinenelemente: Gliederung nach

Funktion

Wirkprinzip

Gestaltung

2. Maschinenelemente

Maschinenelemente der Verbindungstechnik

- Klebverbindungen
- Lötverbindungen
- Schweißverbindungen
- Schraubenverbindungen
- Nietverbindungen
- Bolzen- und Stiftverbindungen
- Federn

Maschinenelemente der Antriebstechnik

- Achsen und Wellen
- Welle-Nabe-Verbindungen
- Lager
- Dichtungen

Konstruktionselemente der Antriebstechnik

- Kupplungen
- Zahnräder und Zahnradgetriebe
- Zugmittelgetriebe
- Mechatronische Komponenten
- Hydraulische Komponenten

2.1 Achsen und Wellen



2.1 Achsen und Wellen

2.1.1 Unterscheidung

- Achsen und Wellen sind Bauteile, die bei Rotationsbewegungen eingesetzt werden

Achsen:

- Tragen und lagern rotierende Elemente. Dabei kann
 - das rotierenden Element fest mit der Achse verbunden sein → Umlaufende Achse
 - sich das rotierende Element lose auf der Achse drehen → Feststehende Achse
- Achsen leiten die Rotation nicht weiter → **übertragen kein Drehmoment**

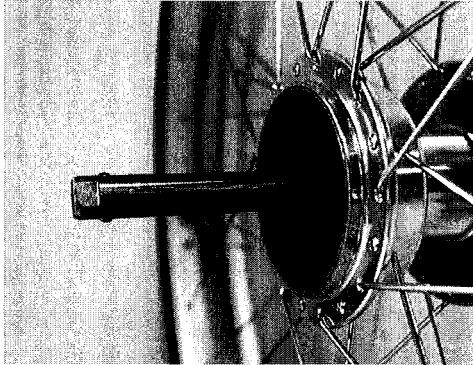
Wellen:

- Rotieren immer mit
- Übertragen die Rotation auf weitere Bauelemente → **übertragen ein Drehmoment**

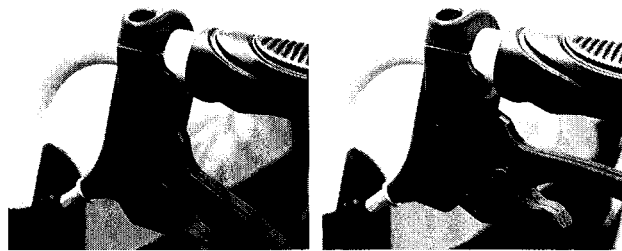
2.1 Achsen und Wellen

2.1.2 Achsen

- Übertragen Kräfte aber keine Drehmomente



Steckachse am Rollstuhl

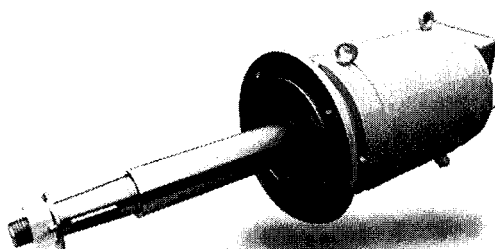


Bolzenachse am Bremshebel
des Rollstuhls

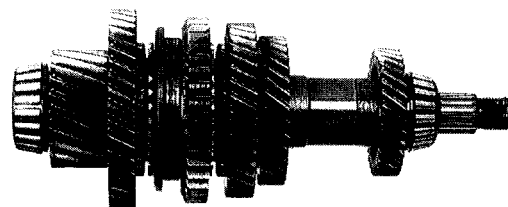
2.1 Achsen und Wellen

2.1.3 Wellen

- Drehmomentübertragung



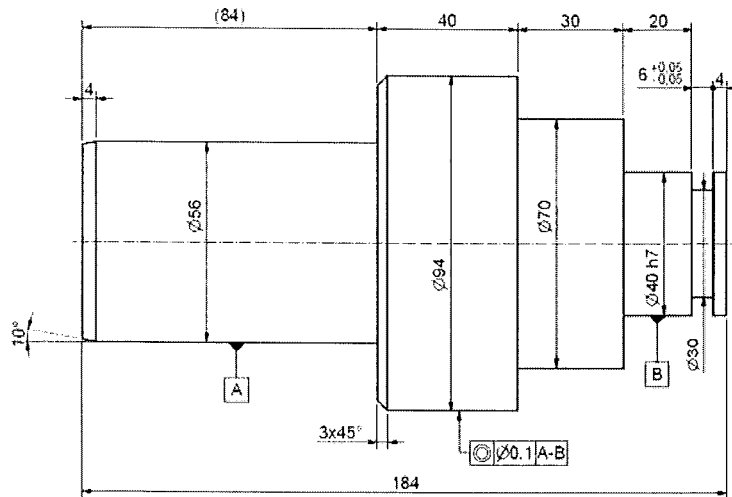
Elektromotor mit verstärkter Welle



Getriebewelle

2.1 Achsen und Wellen

2.1.4 Technische Zeichnung



$6^{+0,05}_{-0,05}$

→ Toleranz

$\varnothing 40 h7$

→ Passung h7

$\varnothing 0,1$ A-B

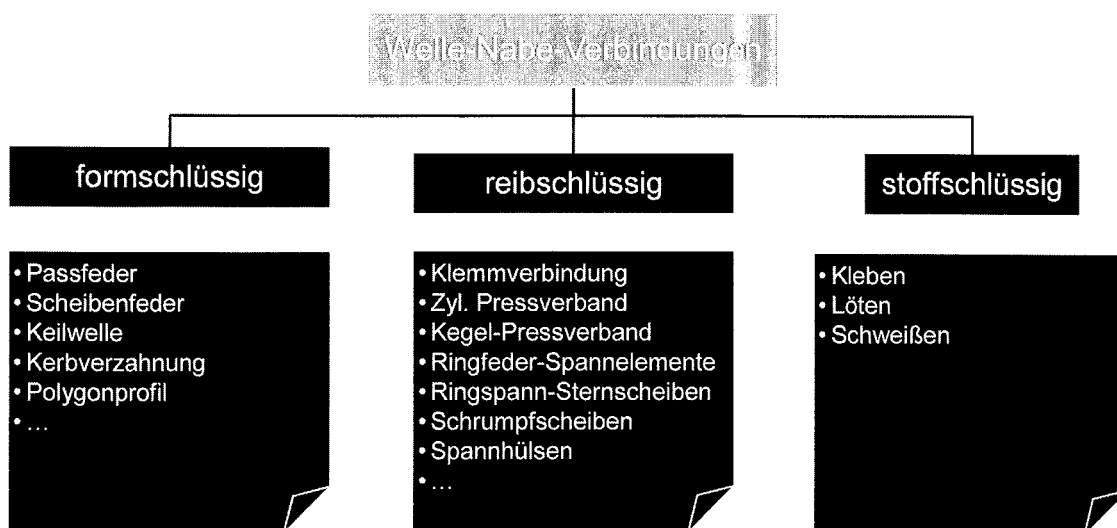
→ Lagetoleranz
(Konzentrität)

A B

→ Bezugsebenen

Quelle:
technisches-zeichnen.net

2.2 Welle-Nabe-Verbindung



2.2 Welle-Nabe-Verbindung

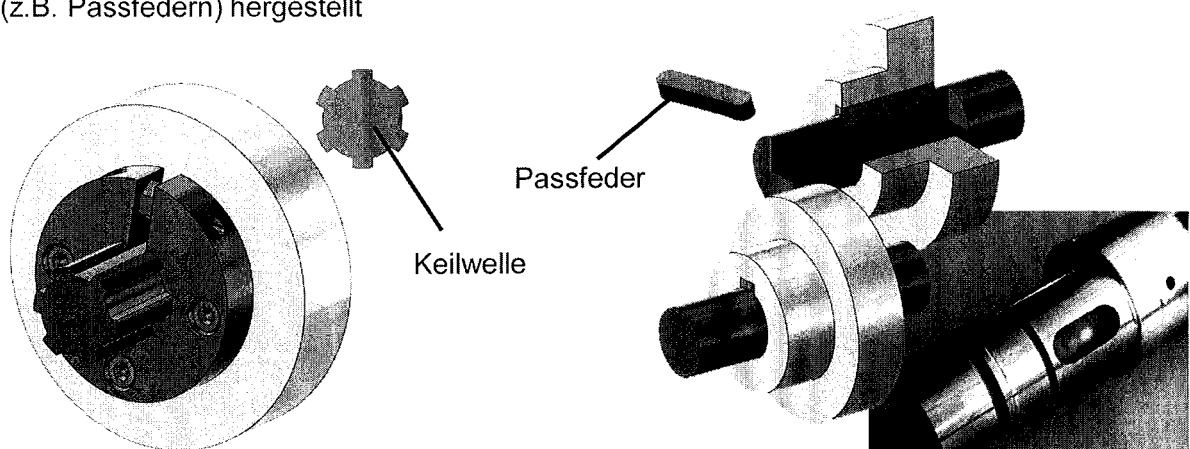
2.2.1 Unterteilung

- Um eine Rotationsbewegung von einer Wellen auf ein anderes Bauteil zu übertragen ist eine Welle-Nabe-Verbindung nötig
- Diese Verbindungen können unterteilt werden in:
 - Formschlüssige Verbindungen
 - Kraftschlüssige Verbindungen
 - Stoffschlüssige Verbindungen

2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.2 Formschlüssige Verbindungen

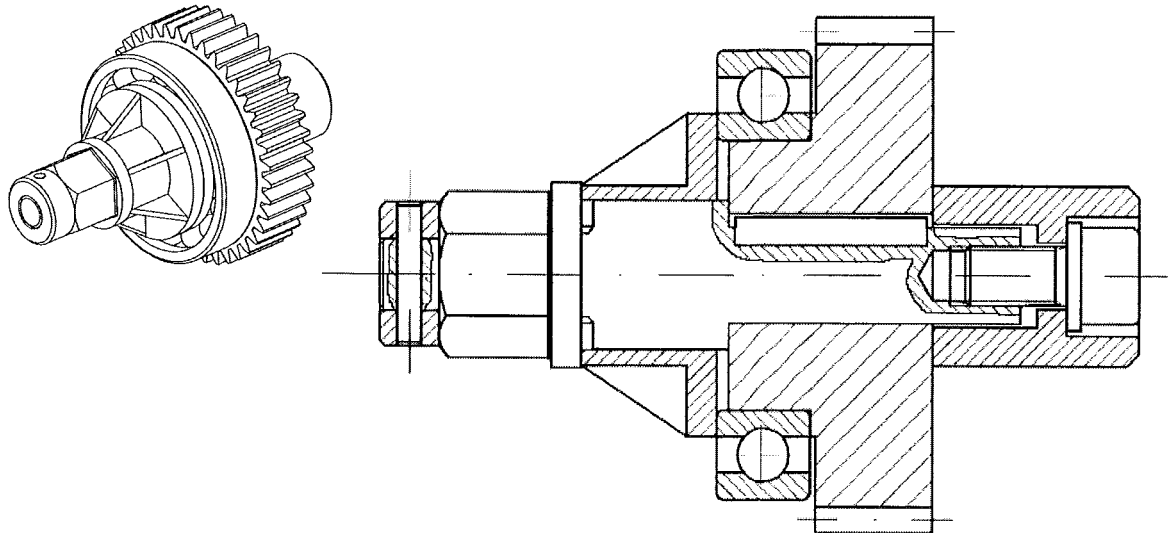
- Die Verbindung wird durch spezielle Formen (z.B. Keilwellen) oder zusätzliche Elemente (z.B. Passfedern) hergestellt



Quellen:
Lader.com, konstruktionsatlas.de

2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.2 Formschlüssige Verbindungen - Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

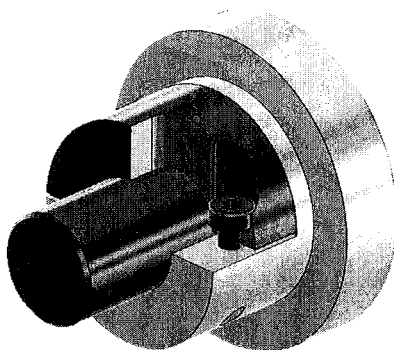
Folie 17

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

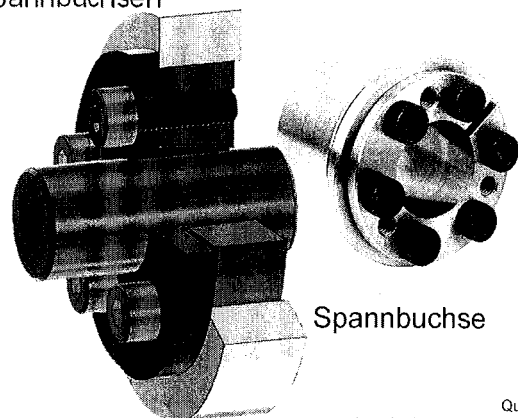
2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.3 Kraftschlüssige Verbindung

- Die Verbindung zwischen Welle und Nabe erfolgt durch Reibung → Anpressen eines Bauteils
- Beispiele hierfür sind Klemmverbindungen und Spannbuchsen



Klemmverbindung



Spannbuchse

Quellen:
norelem.de, konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

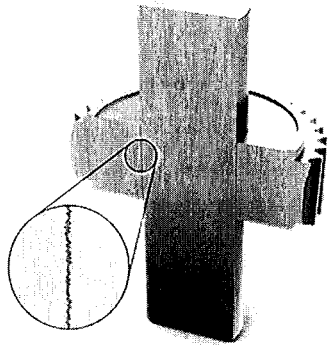
Folie 18

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

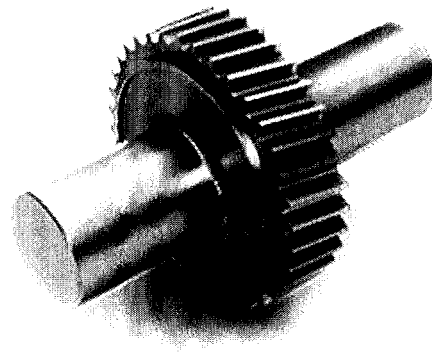
2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.4 Stoffschlüssige Verbindungen

- Stoffschlüssige Wellen-Naben-Verbindungen sind z.B. Kleben, Schweißen oder Löten



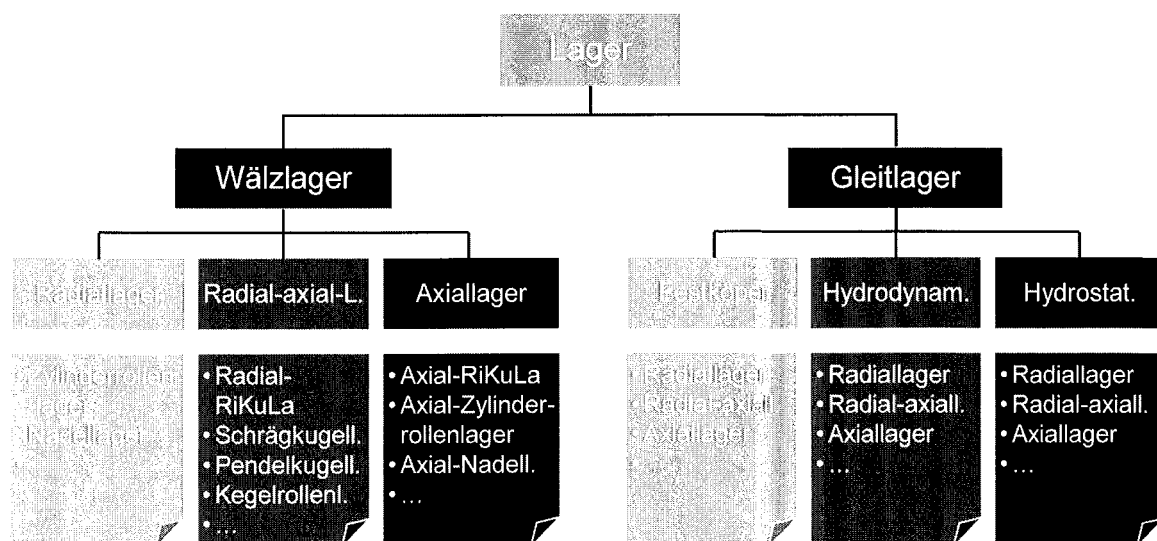
Klebeverbindung



Schweißverbindung

Quelle:
fahrzeug-instandhaltung.ch

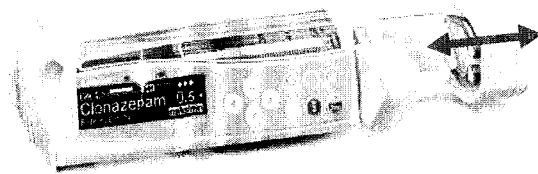
2.3 Lager



2.3 Lager

2.3.1 Aufgaben

Verbindung von beweglichen und feststehenden Teilen



Quellen:
ottobock.de, bbraun.de

2.3 Lager

2.3.1 Aufgaben

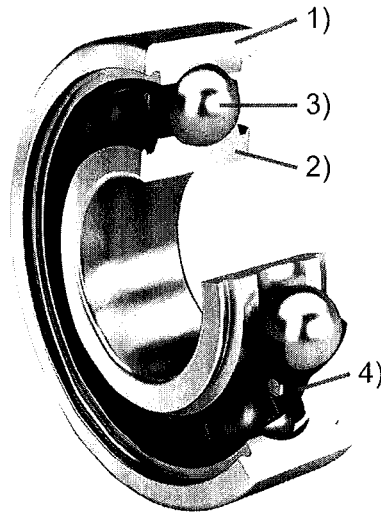
- › Stützen und führen bewegliche Teile, die sich relativ zueinander bewegen
- › Lassen nur Bewegung in vorgesehene Richtung zu
- › Nehmen äußere Kräfte und Momente auf
- › Reduzierung der Reibung zwischen zwei bewegten Teilen → reduzieren Verschleiß
- › Unterscheidung zwischen Wälz- und Gleitlagern

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Allgemeiner Aufbau

Wälzlager bestehen im allgemeinen aus

- 1) Außenring
- 2) Innenring
- 3) Wälzkörper
- 4) Käfig

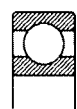


Quelle:
schaeffler.de

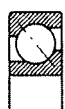
2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Formen

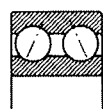
- Es sind verschiedene Bauarten und Anordnungen möglich



Rillen-
kugellager



Schräggugellager
einreihig



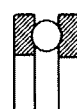
zweireihig



Vierpunkt-
lager



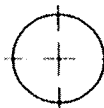
Pendel-
kugellager



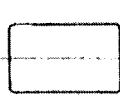
Axial-Rillenkugellager

- Die Wälzkörper können unterschiedliche Formen haben

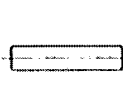
- Die häufigsten Formen sind:



Kugel



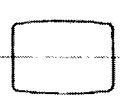
Zylinderrolle



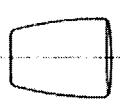
Nadelrolle



Kegelrolle



symmetr.
Tonnenrolle

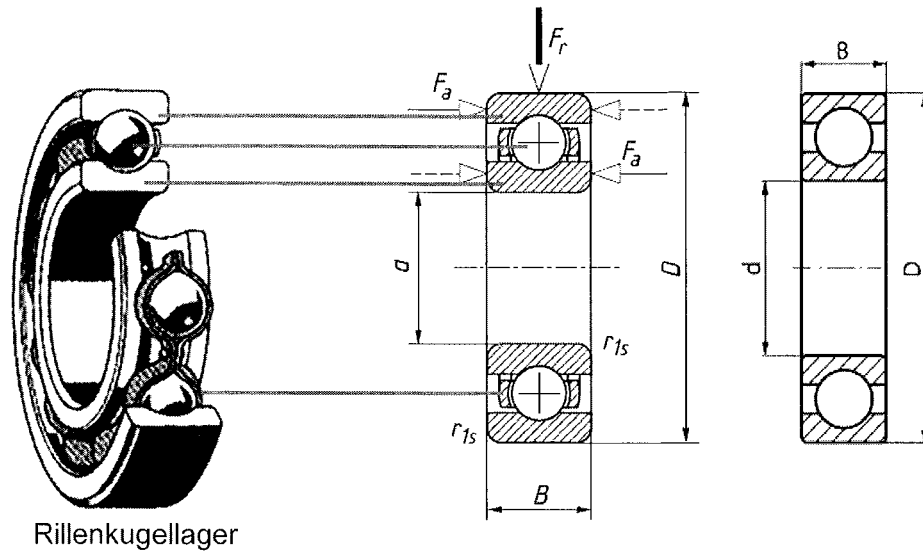


unsymmetr.
Tonnenrolle

Quellen:
Hinzen, FAG

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Technische Zeichnung



Quellen:
Matek, Hinzen, maedler.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

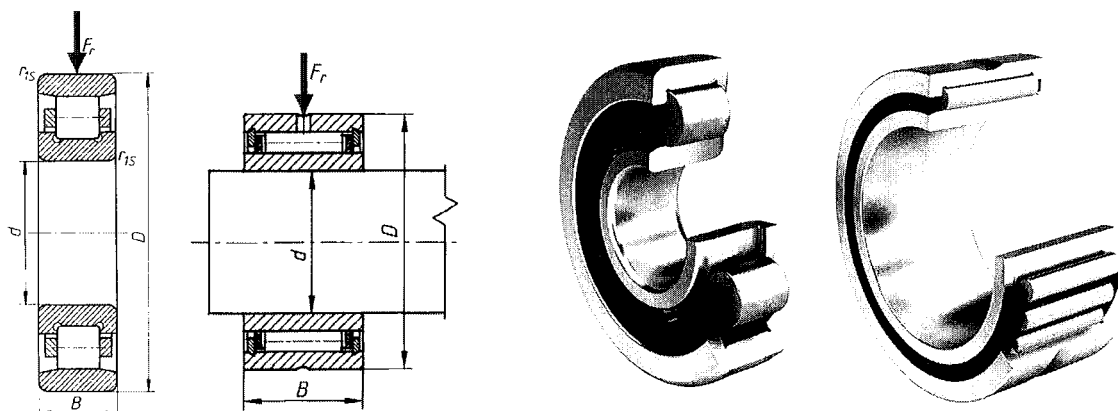
Folie 25

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Radiallager

• Zylinderrollenlager, Nadellager



Quelle:
schaeffler.de, Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

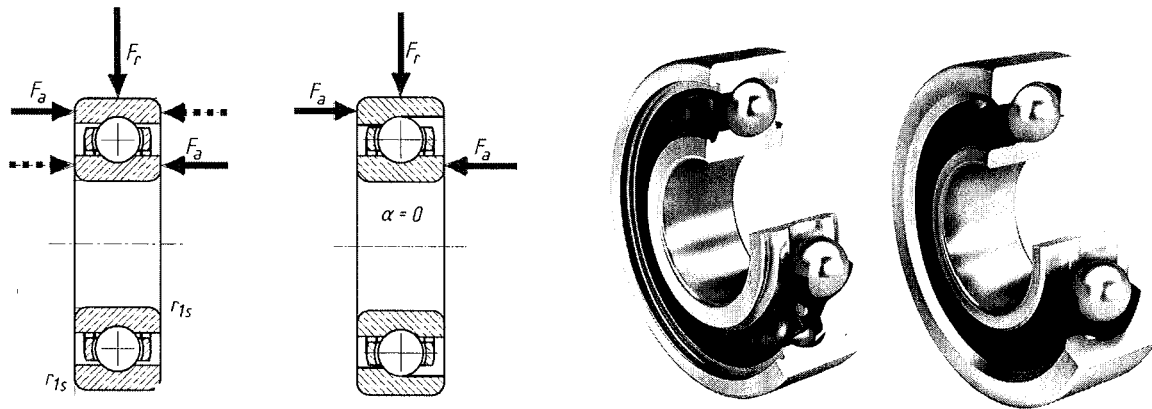
Folie 26

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Radial-Axial-Lager

- Radial-Rillenkugellager, Schrägkugellager,...



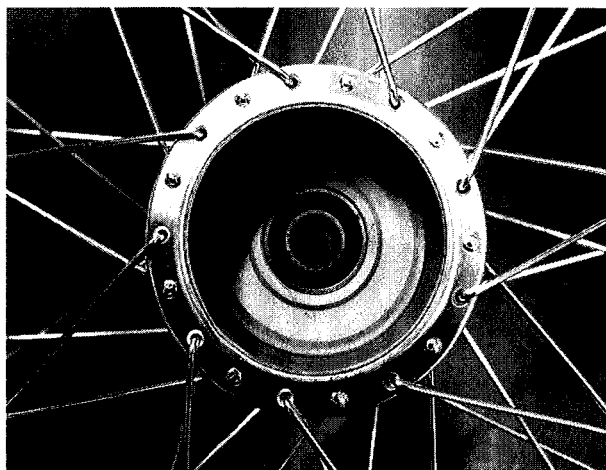
Quelle:
schaeffler.de, Matek

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager

- Radial-Rillenkugellager

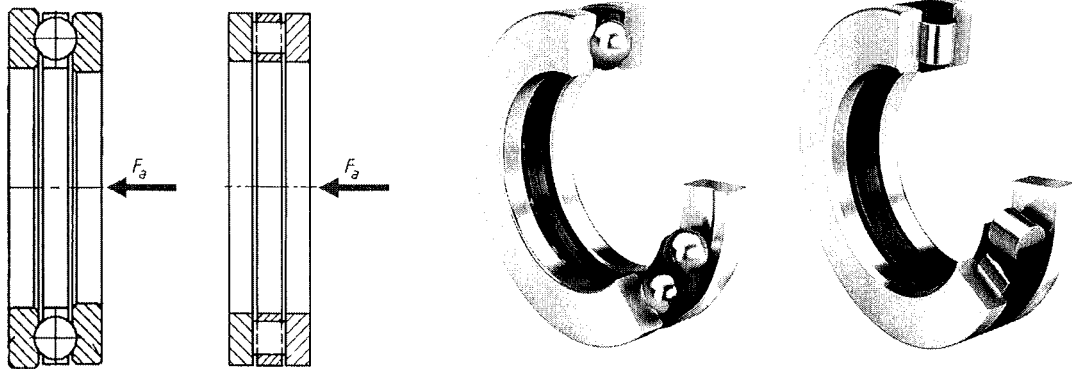
Radial-Rillenkugellager mit
Deckscheiben am Rollstuhlrad



2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager - Axiallager

- Axial-Rillenkugellager, Axial-Zylinderrollenlager



Quelle:
schaeffler.de, Matek

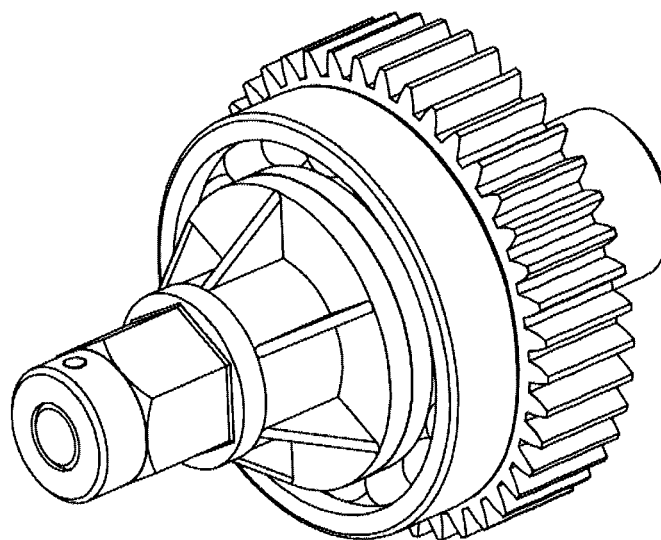
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 29

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

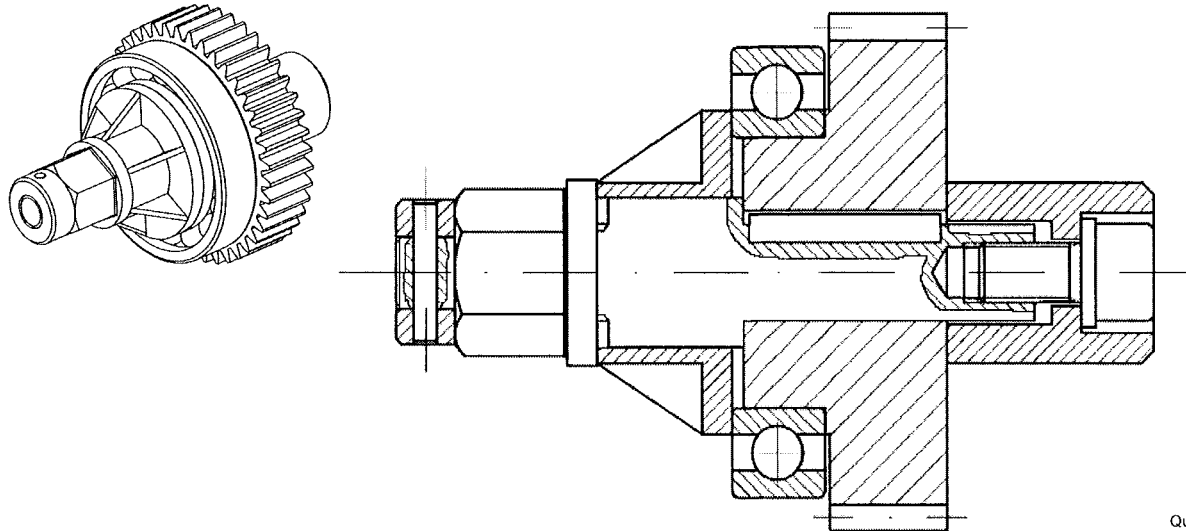
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 30

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

2.3 Lager

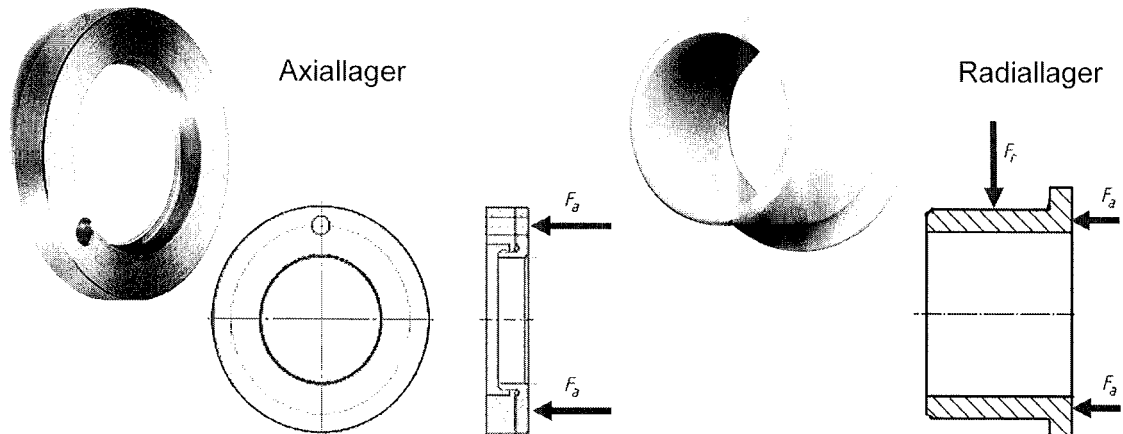
2.3.3 Gleitlager

- Das ruhende und das bewegte Element gleiten aneinander vorbei
- Die entstehende Reibung kann auf verschiedene Arten verringert werden:
 - durch die Wahl eines geeigneten Schmierstoffs (z.B.: Öle, Gase, Fette, Wasser, Festschmierstoffe)
 - Durch die Wahl geeigneter Werkstoffpaarungen
- Der Schmierstoff kann, wenn nötig, durch eine externe Pumpe in den Zwischenraum eingebracht werden

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager

- Die einfachste Form von Gleitlagern sind Lagerbuchsen, die auf die Welle aufgesteckt werden

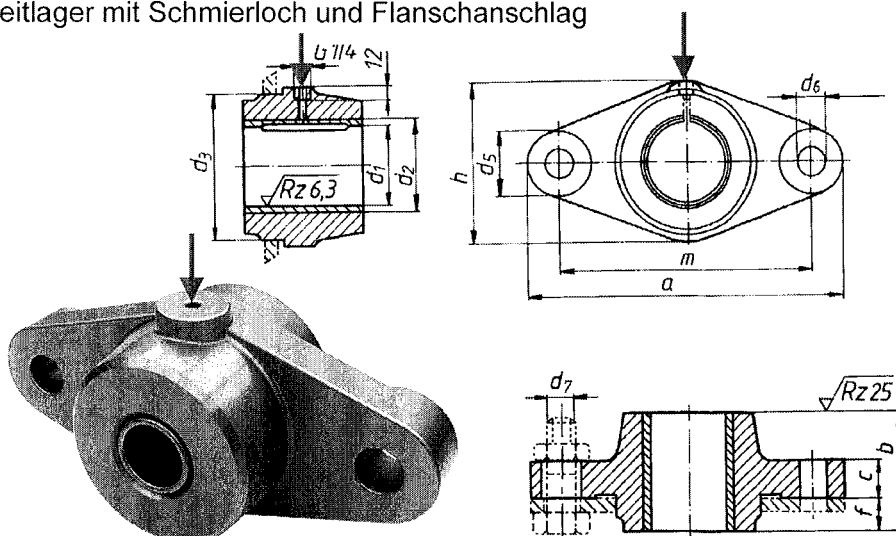


Quellen:
schaeffler.de, maedler.de

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager

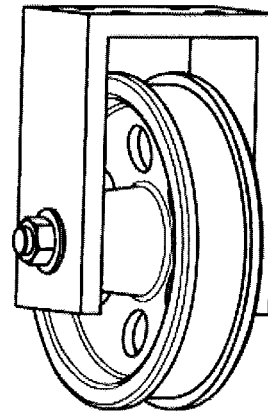
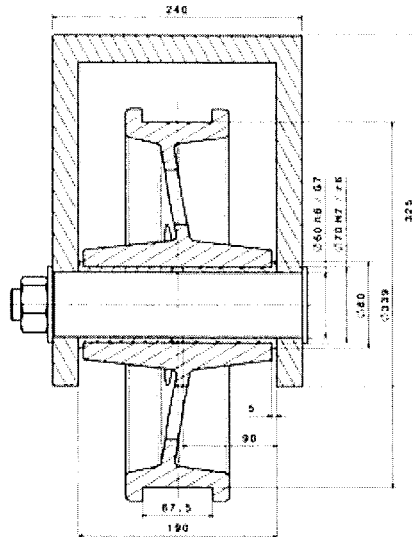
- Gleitlager mit Schmierloch und Flanschanschlag



Quelle:
Matek, desch.com

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager – Anwendungsbeispiel



Quelle:
Hinzen

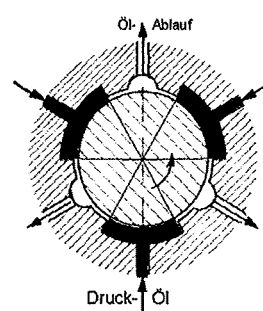
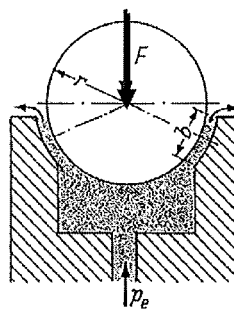
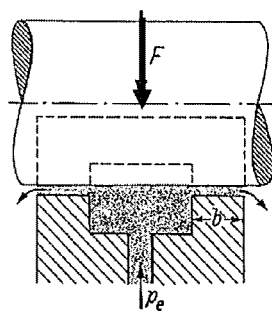
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 35

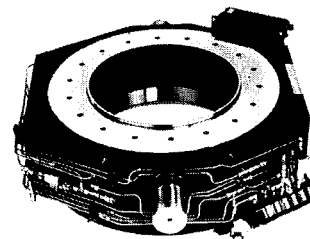
Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager - Hydrostatisch



Externe Druckerzeugung:
Nötiger Schmierstoffdruck wird
außerhalb durch eine Pumpe
erzeugt.



Quelle: link.springer.com, Stuttgart.de

Quelle:
netzkonstrukteur.de,
directindustry.de

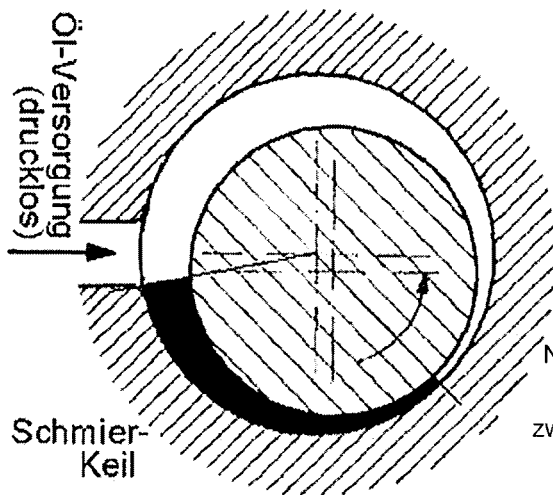
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 36

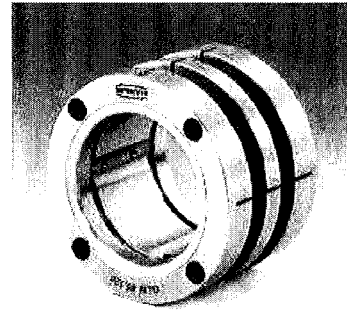
Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager - Hydrodynamisch



Interne Druckerzeugung:
Nötiger Schmierstoffdruck baut
sich aus Relativbewegung
zwischen Welle und Lagerschale
auf.



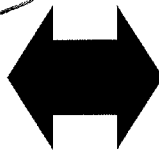
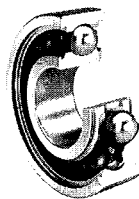
Quellen:
spieth-maschinenelemente.de, netzkonstrukteur.de

2.3 Lager

2.3.4 Vergleich der Lagerarten

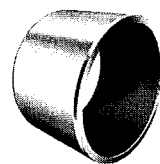
Wälzlager

- + Geringe Reibung
- + Verschleißarm
- + Geringe Anlaufkräfte
- + Geringer Schmierstoffbedarf
- + Für geringe Drehzahlen geeignet



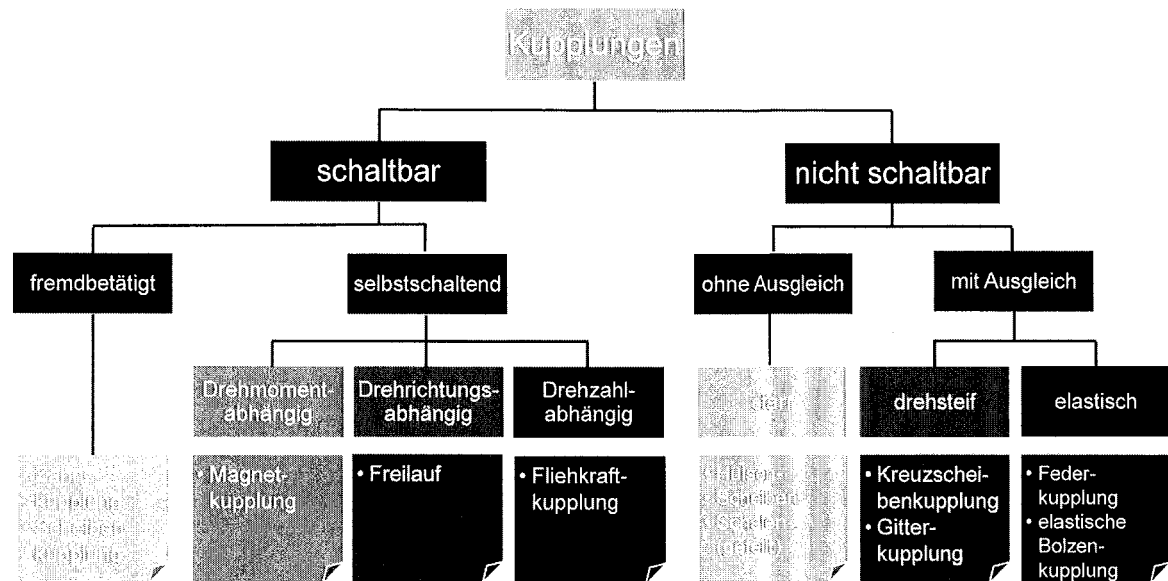
Gleitlager

- + Geräuscharm
- + Stoßunempfindlich
- + Geringes Bauvolumen (Platzbedarf und Gewicht)
- + Unempfindlich gegenüber Verschmutzung
- + Großer Temperaturbereich
- + Für hohe Drehzahlen geeignet
- + Kosten



Quelle:
schaeffler.de

2.4 Kupplungen



2.4 Kupplungen

2.4.1 Unterteilung

- Hauptfunktion:

Übertragung von Rotationsenergie
(Drehmomente, Drehbewegungen)

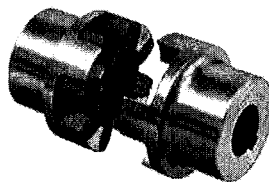
- Mögliche Nebenfunktionen:

Ausgleich von
Wellenverlagerungen



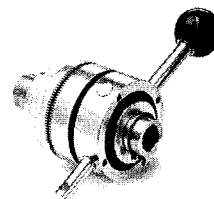
Ausgleichskupplung

Dämpfung



Elastische Kupplung

Schaltung

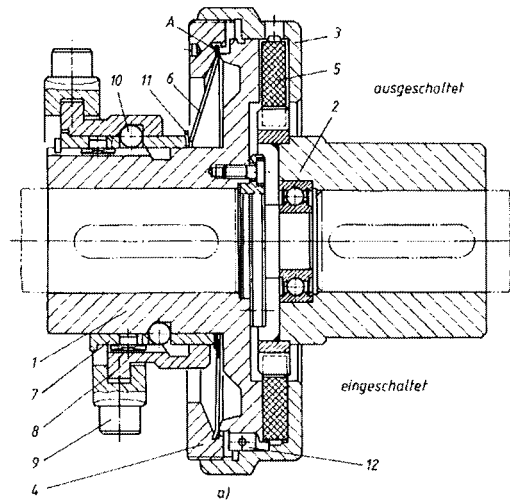


Schaltkupplung

2.4 Kupplungen

2.4.2 Fremdbetätigte Kupplung

• Schaltkupplung



Mechanisch betätigte Zweiflächen-(Einscheiben-)Kupplung mit Rastung:

Ringspann-Schaltkupplung mit Rastung in ausgeschaltetem (oben) und eingeschaltetem (unten) Zustand

- Drehmoment wird von Mitnehmernabe (2) über Zahn-/Bolzenverbindung in die Reibscheibe (5) eingeleitet
- Einkuppeln: Kupplungsring (3) wird über Einstellring (4) durch Anpressfeder (6) nach links gegen Reibscheibe (5) und Kupplungsnahe (1) gepresst
- Anpressfeder wird mittels Schaltring (9) über Schaltmuffe (8), Schaltbuchse (7) und Tellerfeder (11) verspannt (eingeschalteter Zustand) oder entlastet
- Hierbei rasten die Kugeln (1) in den jeweiligen Endstellungen in Ringnuten ein und entlasten dadurch den Schaltring
- Ein- & Nachstellen der Kupplung: Mithilfe des in den Kupplungsring eingeschraubten Einstellring
- In den Nuten geführte Zylinderrollen (12) ermöglichen das Verschieben der Teile (1) und (3) zueinander und verhindern Verdrehen gegeneinander
- Gegenüber Lamellenkupplungen haben Zweiflächenkupplungen den...
 - ...Vorteil, dass die anfallende Reibungswärme besser gespeichert und abgeführt werden kann.
 - ...Vorteil, dass das Leerlaufmoment kleiner ist.
 - ...Nachteil, dass sie größer und teurer sind.

Quelle:
Roloff/Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

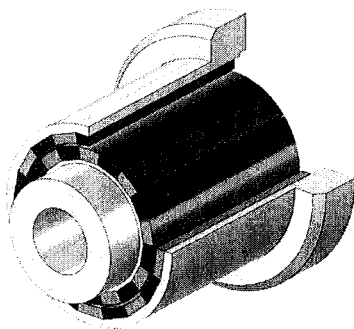
Folie 41

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

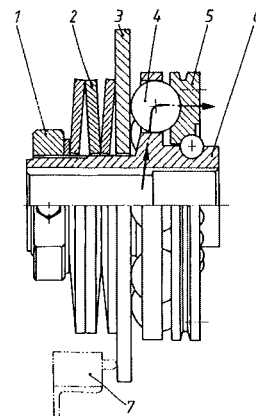
2.4 Kupplungen

2.4.3 Selbstschaltende Kupplung

• Drehmomentabhängig



Magnetkupplung



Sperrkörper-Sicherheitskupplung

Quelle:
konstruktionsatlas.de; Roloff/Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

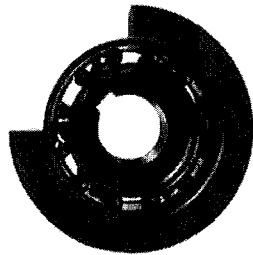
Folie 42

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

2.4 Kupplungen

2.4.3 Selbstschaltende Kupplung

- Drehrichtungsabhängig: Freilauf

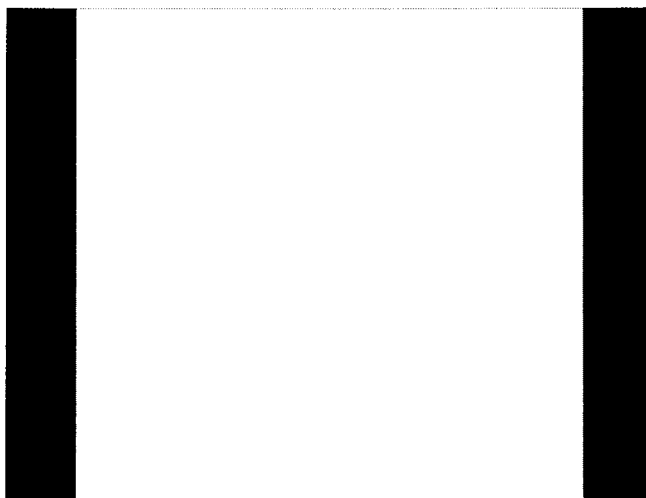


Quelle:
renold.com

2.4 Kupplungen

2.4.3 Selbstschaltende Kupplung

- Drehzahlabhängig: Fliehkraftkupplung

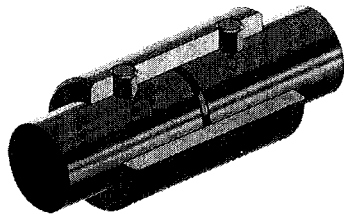


Quelle:
youtube.com/DihavGnar

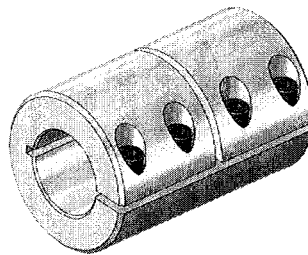
2.4 Kupplungen

2.4.4 Nicht-schaltbare Kupplung

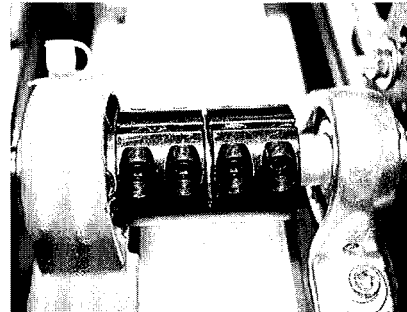
- **starr**



Hülsenkupplung



Schalenkupplung



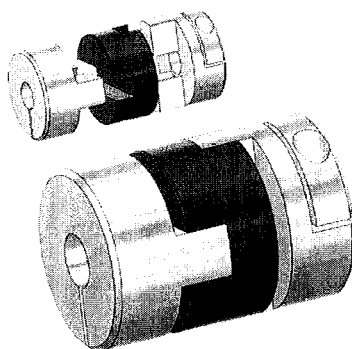
Schalenkupplung an der
Nonsense-Maschine

Quelle:
konstruktionsatlas.de

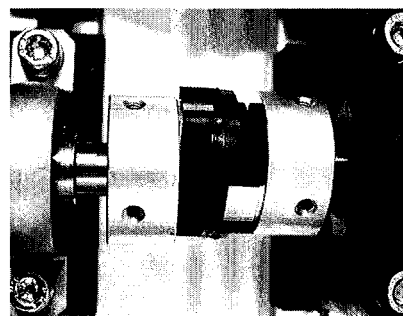
2.4 Kupplungen

2.4.4 Nicht-schaltbare Kupplung

- **Drehsteife** (Ausgleich von Wellenversatz)



Kreuzscheibenkupplung
(bei axialem Versatz)



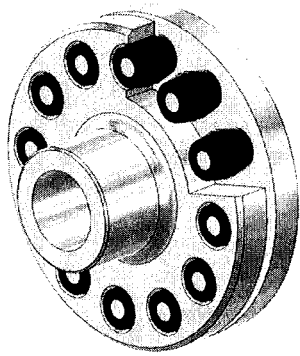
Kreuzscheibenkupplung an
der Nonsense-Maschine

Quelle:
konstruktionsatlas.de

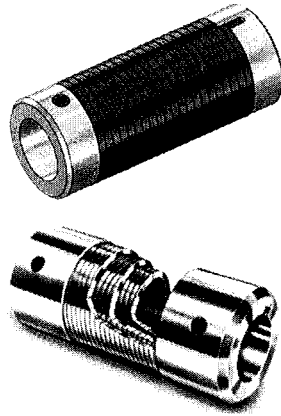
2.4 Kupplungen

2.4.4 Nicht-schaltbare Kupplung

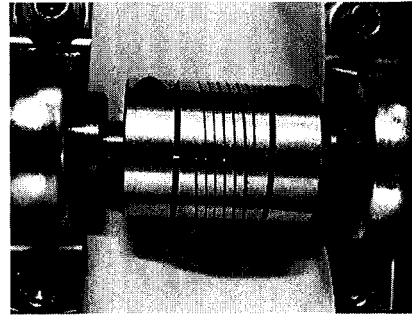
- **Elastische** (Minimierung von Schwingungen und Stöße)



Elastische Bolzenkupplung



Federkupplung



Wendelkupplung an der
Nonsense-Maschine

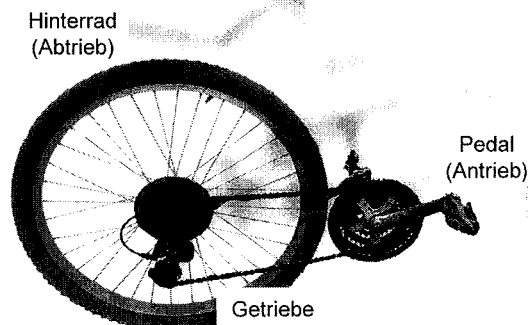
Quelle:

konstruktionsatlas.de; Günther, Matek

2.5 Getriebe

2.5.1 Aufgabe

- Ein Getriebe wird zwischen dem **Antrieb** und dem **Abtrieb** eines Gerätes eingesetzt
- Ein Antrieb kann z.B. ein Motor oder die Pedale eines Fahrrads sein
- Ein Abtrieb kann z.B. ein Rad oder ein Bohrfutter sein



Quelle:
ahoefer.de

2.5 Getriebe

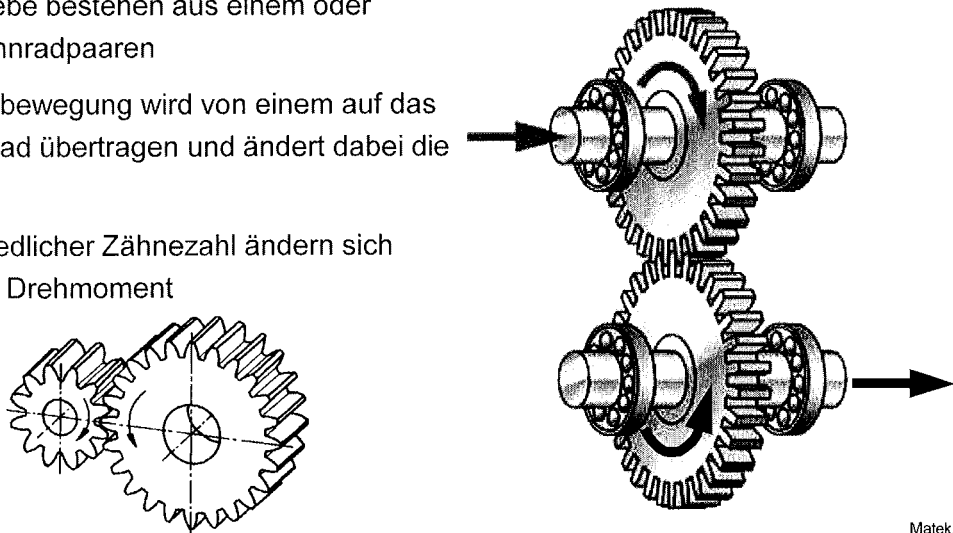
2.5.1 Aufgabe

- Mithilfe eines Getriebes wird die zugeführte Leistung in eine hohe Geschwindigkeit (**Drehzahl**) oder eine große Kraft (**Drehmoment**) umgesetzt
- Eine Erhöhung des Drehmoments führt zu einer verringerten Drehzahl
- Eine Erhöhung der Drehzahl führt zu einem verringerten Drehmoment
- Es gibt verschiedene Bauarten z.B.: **Zahnradgetriebe** oder **Zugmittelgetriebe**
- Auch ungleichförmige Übertragungen (z.B. Rotation zu Translation beim Scheibenwischer) zählen zu den Getrieben

2.5 Getriebe

2.5.2 Zahnradgetriebe

- Zahnradgetriebe bestehen aus einem oder mehreren Zahnradpaaren
- Die Rotationsbewegung wird von einem auf das andere Zahnrad übertragen und ändert dabei die Richtung
- Bei unterschiedlicher Zähnezahl ändern sich Drehzahl und Drehmoment

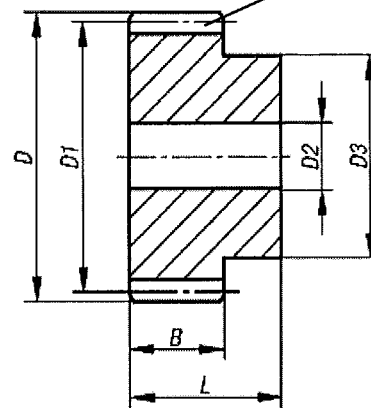
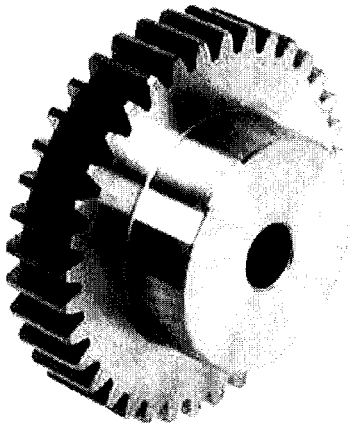


Quellen:
Matek, kbs.com

2.5 Getriebe

2.5.2 Zahnradgetriebe – Das Zahnrad

- Zahnräder werden zur Drehmomentübertragung genutzt

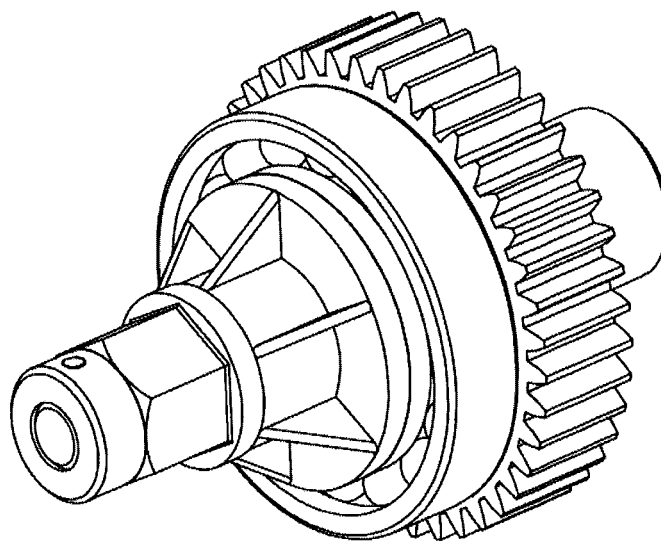


Die Zähne werden in der Zeichnung nicht geschnitten

Quellen:
meadler.com, norelem.de

2.5 Getriebe

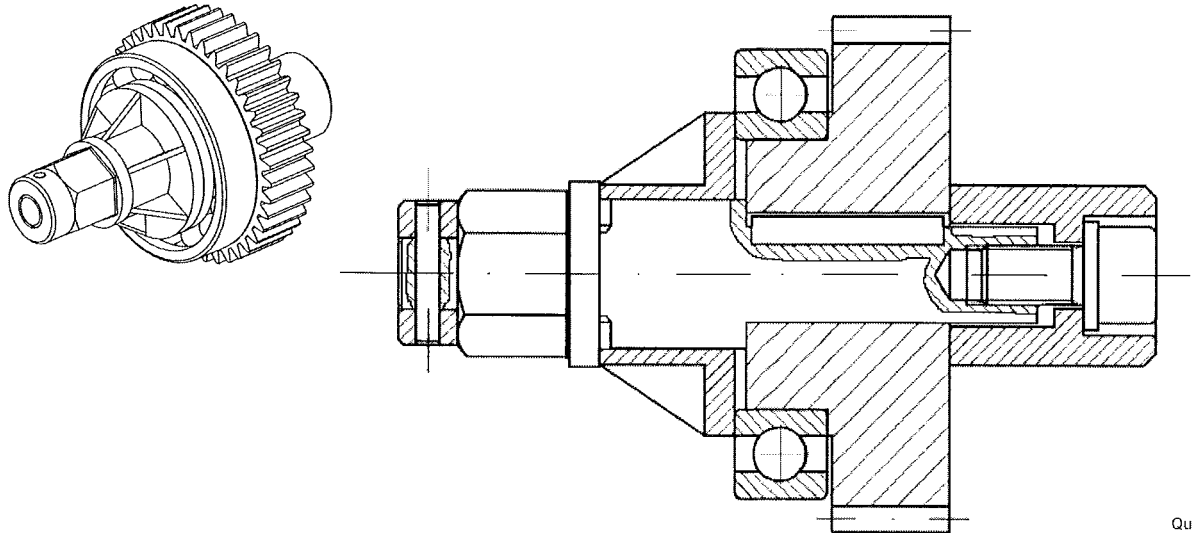
2.5.2 Zahnradgetriebe – Das Zahnrad: Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

2.5 Getriebe

2.5.2 Zahnradgetriebe – Das Zahnrad: Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

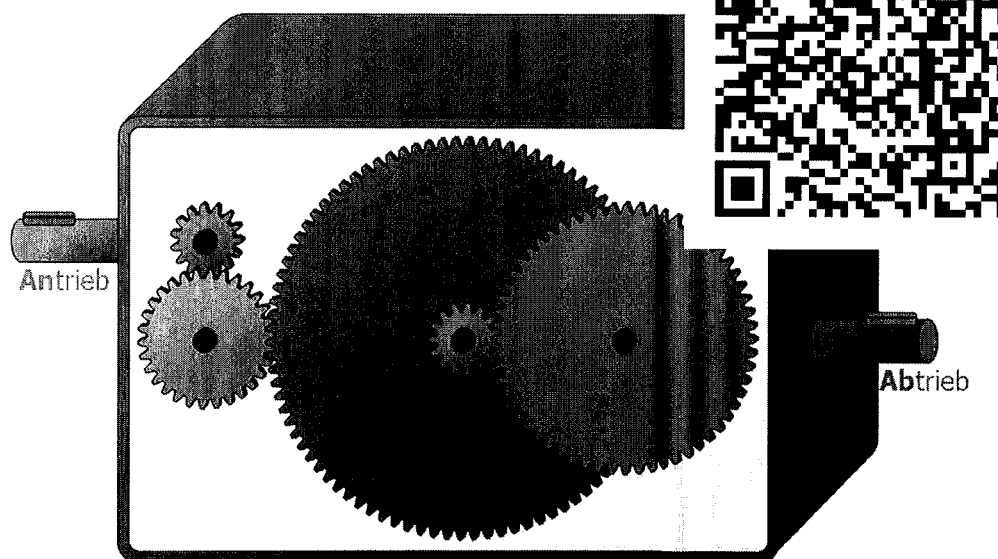
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 53

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.5 Getriebe

2.5.2 Zahnradgetriebe



Quelle:
ahoeffer.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

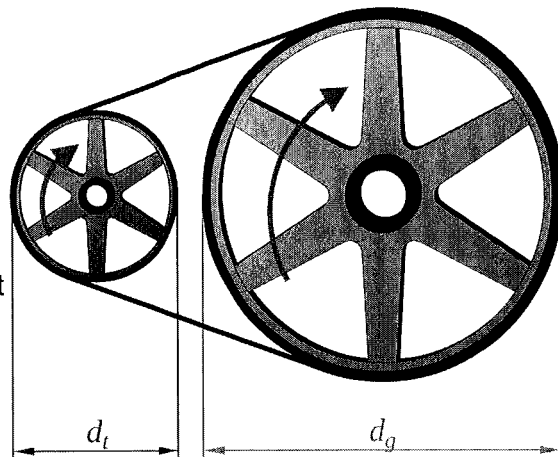
Folie 54

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.5 Getriebe

2.5.3 Zugmittelgetriebe

- Die Rotationsbewegung wird über ein Zugmittel zwischen zwei Rädern/Scheiben übertragen
- Zugmittel können z.B. Riemen (**Riemengetriebe**) oder Ketten (**Kettengetriebe**) sein
- Die Rotationsrichtung ändert sich dabei nicht
- Bei unterschiedlichem Raddurchmesser ändern sich Drehzahl und Drehmoment

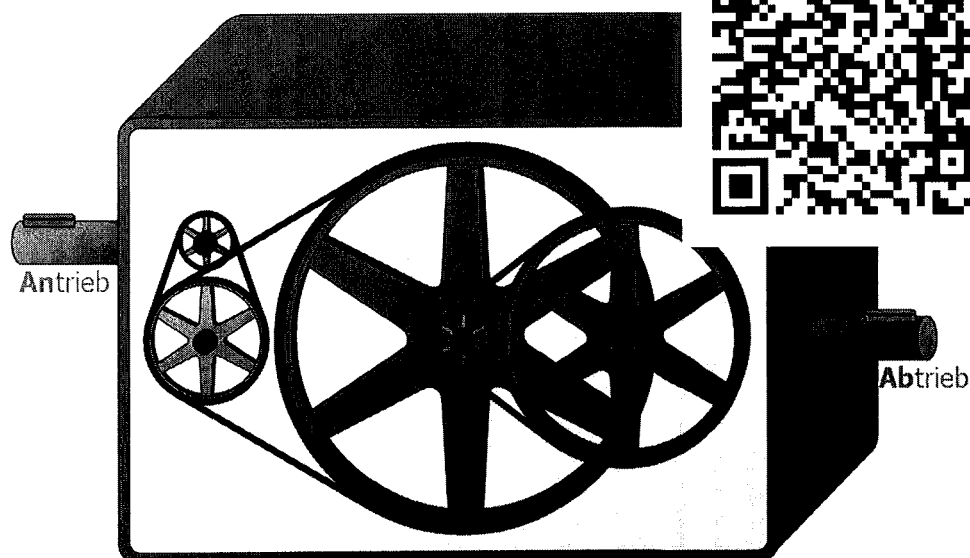


Riemengetriebe

Quelle:
ahoefer.de

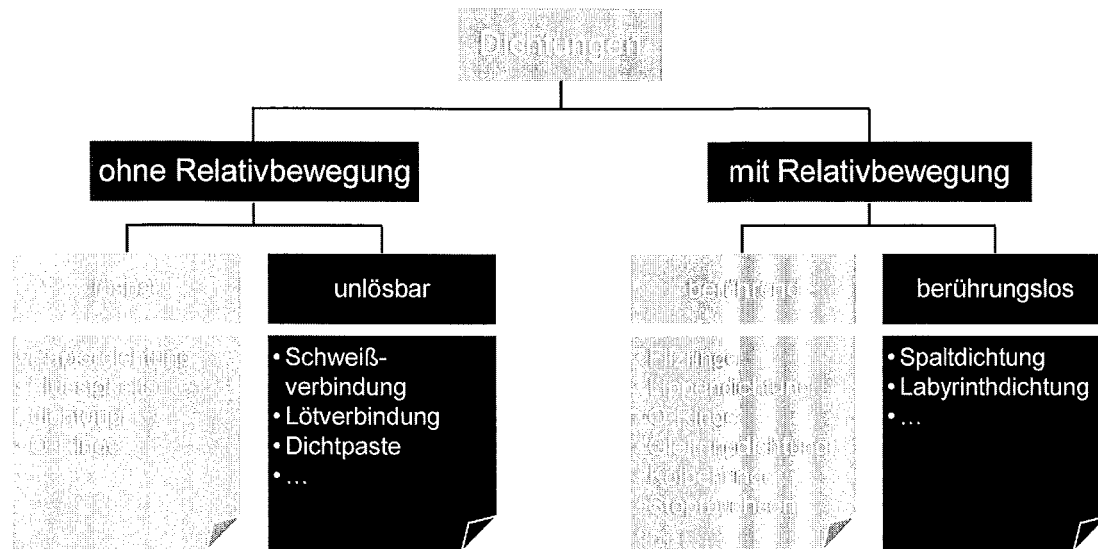
2.5 Getriebe

2.5.3 Zugmittelgetriebe



Quelle:
ahoefer.de

2.6 Dichtung



2.6 Dichtung

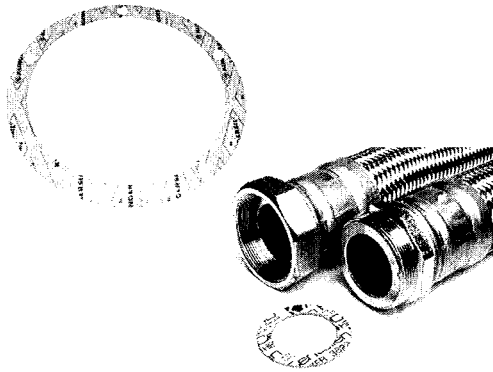
2.6.1 Allgemeines

- Dichtungen verhindern oder begrenzen Stoffaustausch (fest, flüssig oder gasförmig) zwischen zwei Räumen z.B.:
 - Verhindern Ölaustritt aus Lagern
 - Verhindern Wasseraustritt aus Leitungen
 - Verhindern Eindringen von Verschmutzungen in Lagern
- Die erreichbare Dichtheit hängt von der Anwendung ab
- Man unterscheidet
 - Statische Dichtungen: Dichtung zwischen zwei ruhenden Bauteilen
 - Dynamische Dichtung: Dichtung zwischen bewegten Bauteilen

2.6 Dichtung

2.6.2 Statische Dichtung - Lösbar

▫ Papierdichtung



▫ O-Ring



Quellen: der-schlauchfritze.de, mohlpage.de

Quellen: shop.campbellsupplyco.com, iframe.murrplastik.de, Hagebau.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

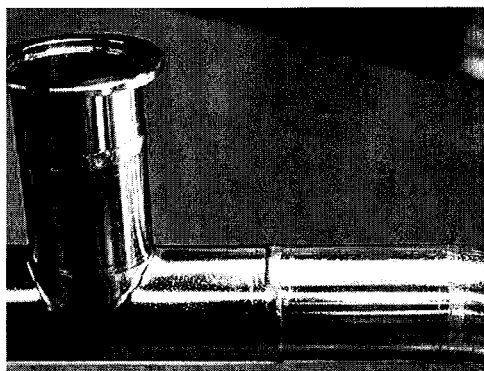
Folie 59

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

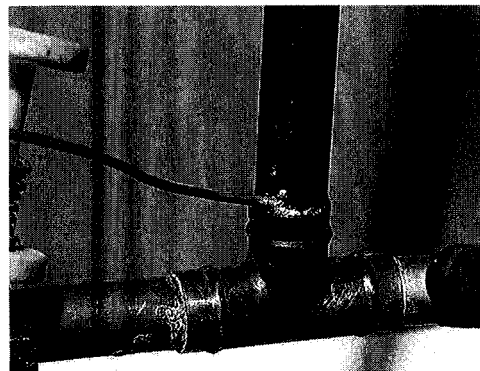
2.6 Dichtung

2.6.2 Statische Dichtung - Unlösbar

▫ Schweißverbindung



▫ Lötverbindung



Quellen: wigtec.de, praxistipps.focus.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

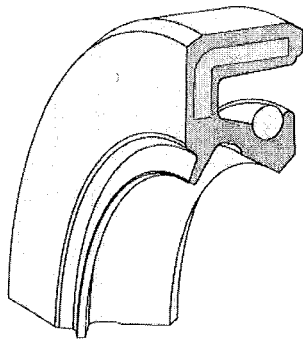
Folie 60

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.6 Dichtung

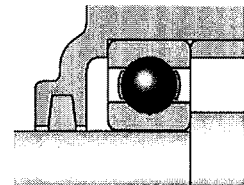
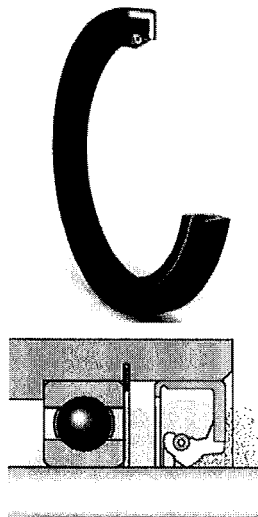
2.6.3 Dynamische Dichtung - Berührend

• Radialwellendichtring



Quelle: ludwigmeister.de

• Filzring

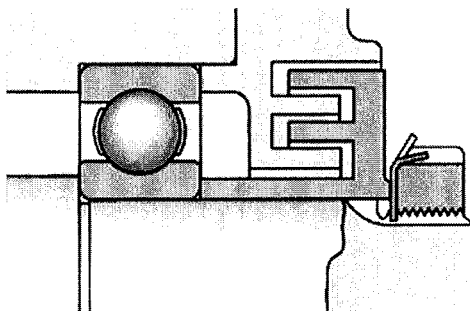


Quelle: link.springer.com, juraprofi.de

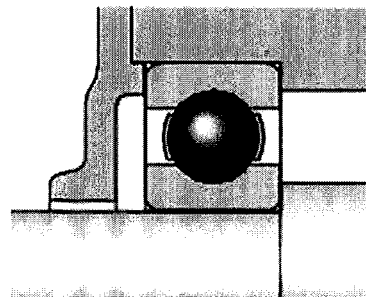
2.6 Dichtung

2.6.3 Dynamische Dichtung - Berührungslos

• Labyrinthdichtung

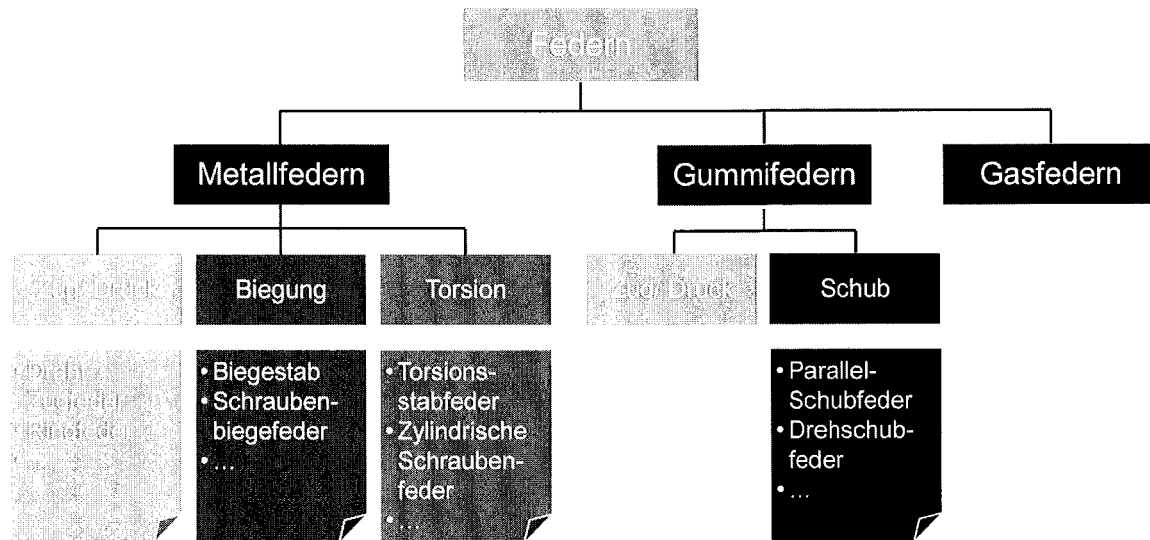


• Spaltdichtung



Quelle:
skf.com, juraprofi.de

2.7 Federn



2.7 Federn

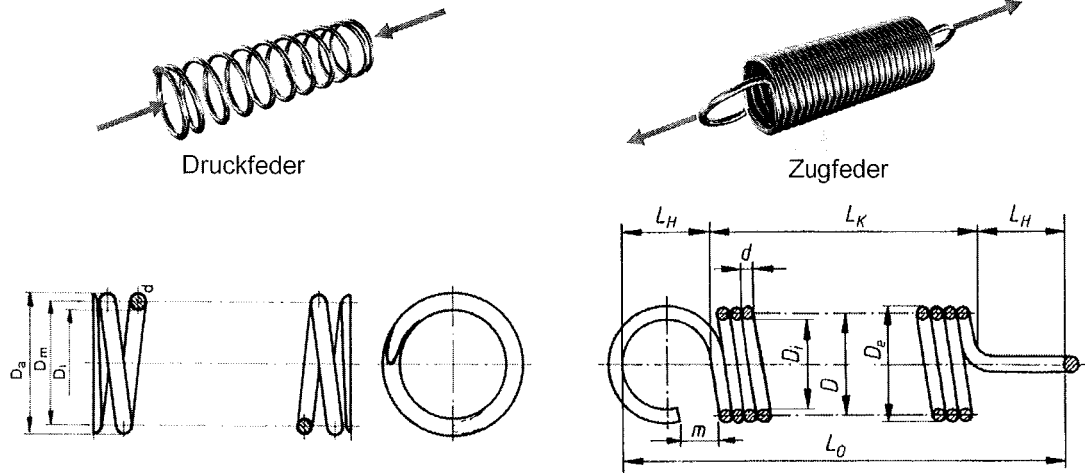
2.7.1 Allgemeines

- ⇒ Federn sind elastische Bauelemente
- ⇒ Können durch Kontraktion, Dehnung oder Verdrehen Kraft aufnehmen und in Form von potentieller Energie speichern wieder abgeben.
- ⇒ Je nach Gestalt unterscheidet man z.B.
 - Schraubenfedern
 - Tellerfedern
 - Stabfedern
 - Ringfedern
 - Spiralfedern
 - Blattfedern
 - Torsionsfedern
 - Teleskopfedern
- ⇒ Mehrere Federn können zu Federsysteme zusammengeschaltet werden

2.7 Federn

2.7.2 Schraubenfeder

- Schraubenfedern können auf Druck oder Zug beansprucht werden

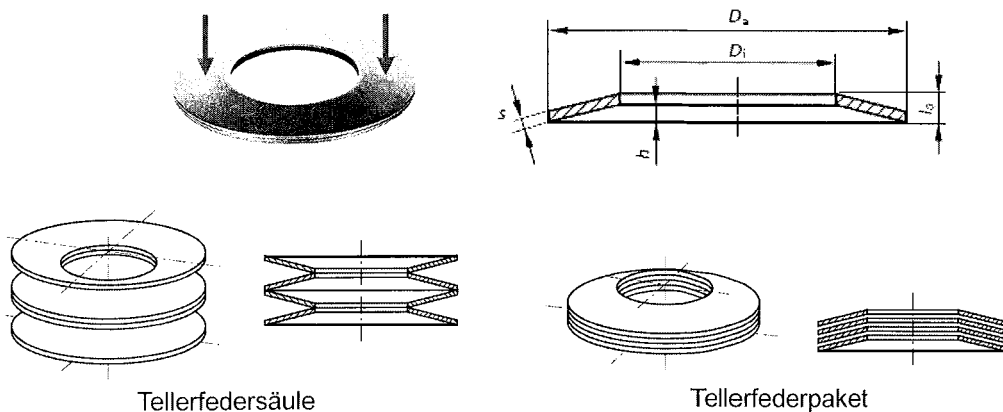


Quellen: blog.federnshop.com,
lehrerfreunde.de, Matek

2.7 Federn

2.7.3 Tellerfeder

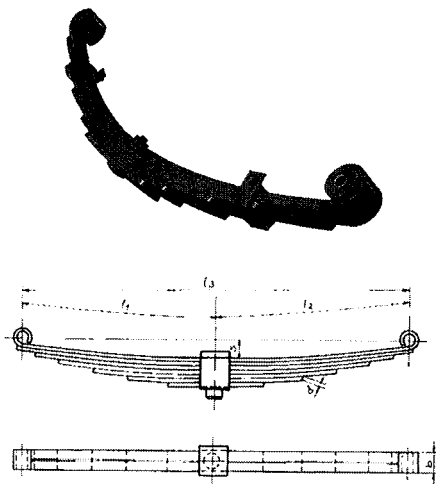
- Tellerfedern haben durch ihre Schalenform eine federnde Wirkung
- Werden oft zu Federpaketen oder Federsäulen zusammengesetzt



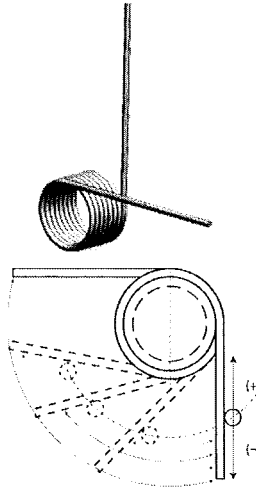
Quellen:
me-irt.de, Matek
essentrecomponents.de

2.7 Federn

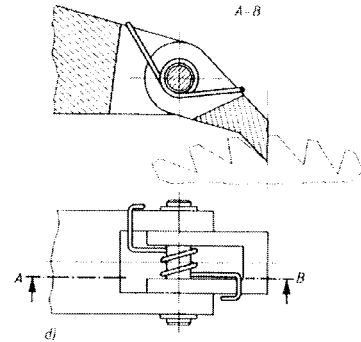
2.7.4 Stabfedern



Blattfeder



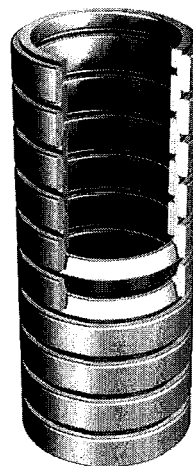
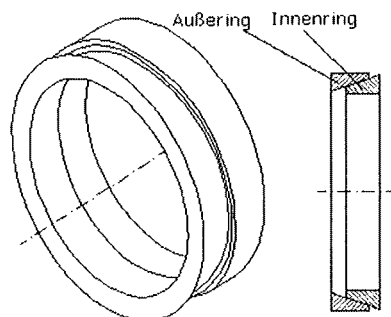
Drehfeder



Quellen:
federnwerk-bischoff.de
ingenieurkurse.de, sodemann-federn.de

2.7 Federn

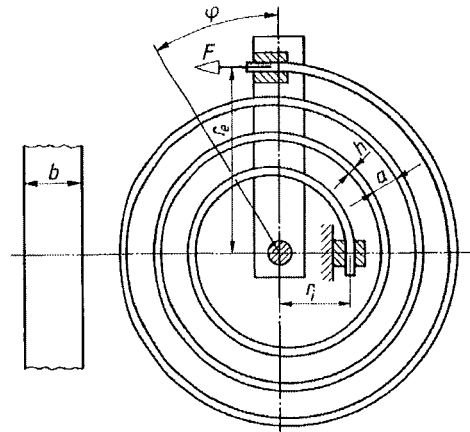
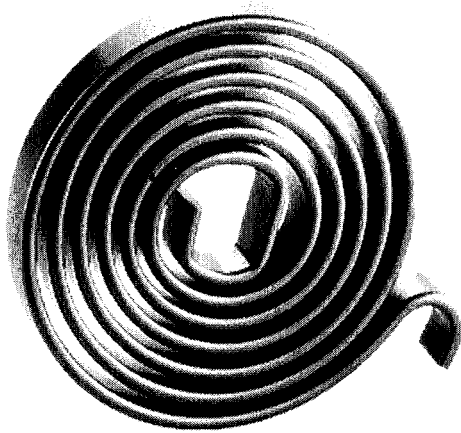
2.7.5 Ringfeder



Quellen:
tedata.com, directindustry.it

2.7 Federn

2.7.6 Spiralfeder



Quellen:
kern-liebers.com, Matek

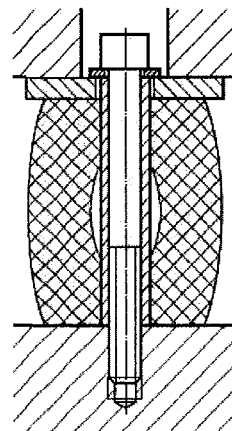
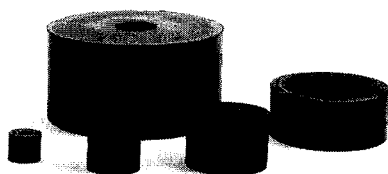
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 69

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

2.7 Federn

2.7.7 Gummifedern



Quellen:
sahlberg.de, bs-wiki.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

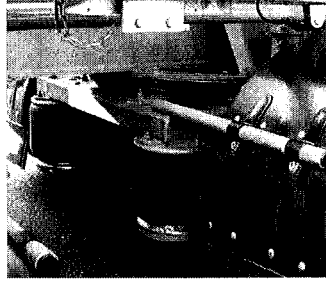
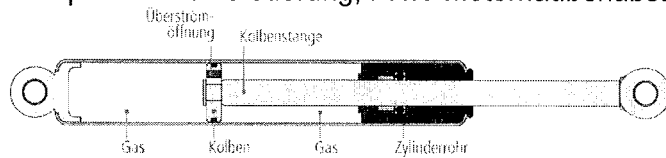
Folie 70

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

2.7 Federn

2.7.8 Gasdruckfedern

- Nutzen Komprimierbarkeit von Gasen für federnde Wirkung
- Bsp.: Fahrwerksfederung, PKW-Motorhaubenabstützung



Quellen:
hadel.net, t4-wiki.de, ludwigmeister.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

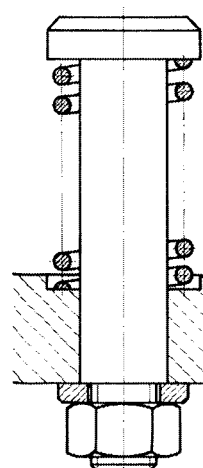
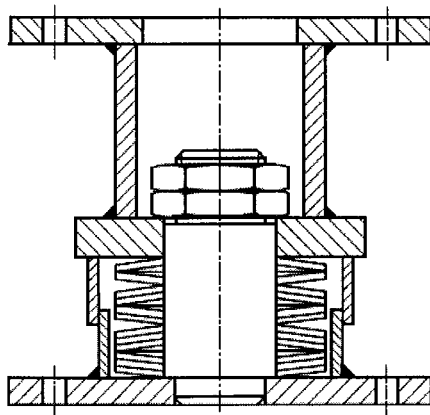
Folie 71

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.7 Federn

2.7.9 Einbaubeispiel

- Schwingungsdämpfer aus Tellerfedern
- Federbolzen mit Druckfeder



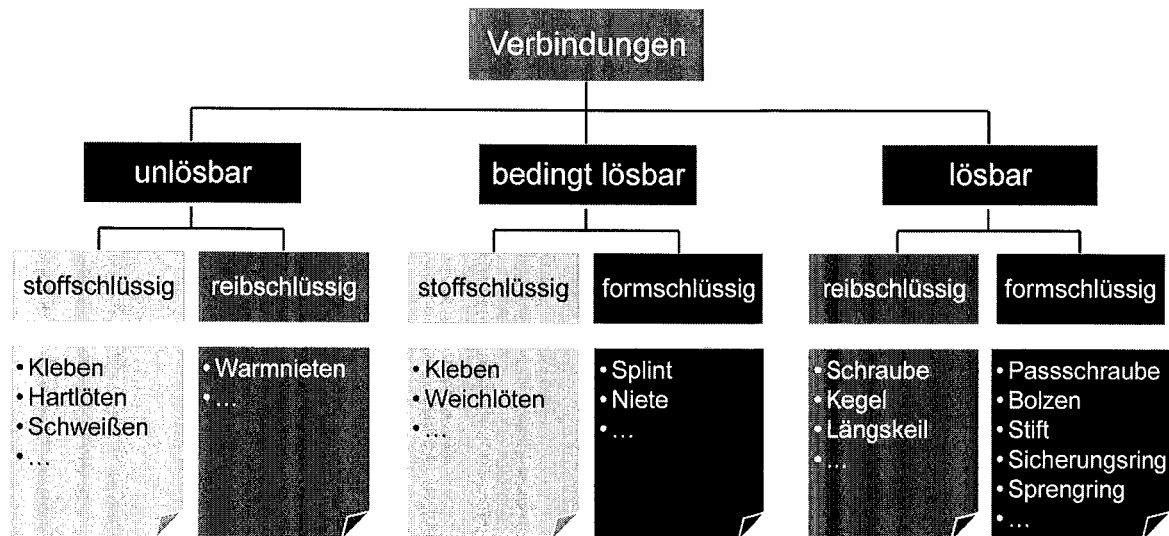
Quellen:
me-lrt.de, lehrerfreunde.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 72

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.8 Verbindungen

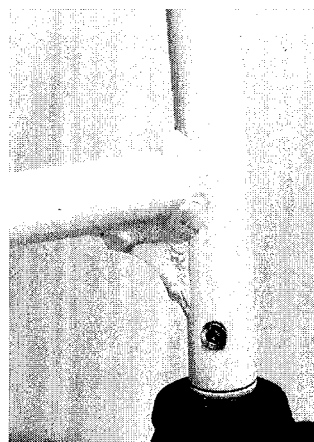


2.8 Verbindungen

2.8.1 Unlösbare Verbindungen

Stoffschlüssig

- » Kleben
- » Hartlöten
- » Schweißen



Schweißverbindung
am Rollstuhl

Reibschlüssig

- » Warmnieten

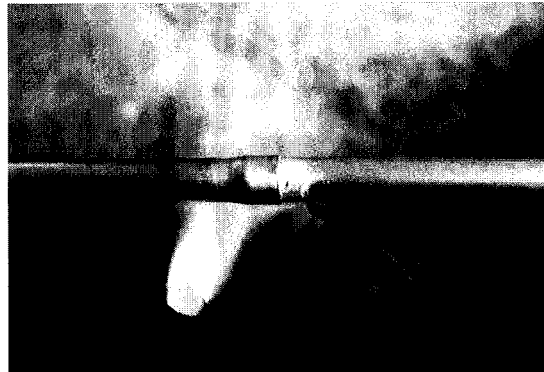


Quelle:
gatzsch.de

2.8 Verbindungen

2.8.1 Unlösbare Verbindungen - Lötverbindungen

- Thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Werkstoffen bei dem eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes entsteht.
- Die Schmelztemperatur der Grundwerkstoffe wird nicht erreicht
- Je nach Löttemperatur unterscheidet man
 - Weichlöten (unter 450°C)
 - Hartlöten (über 450°C)
 - Hochtemperaturlöten (über 900°C)

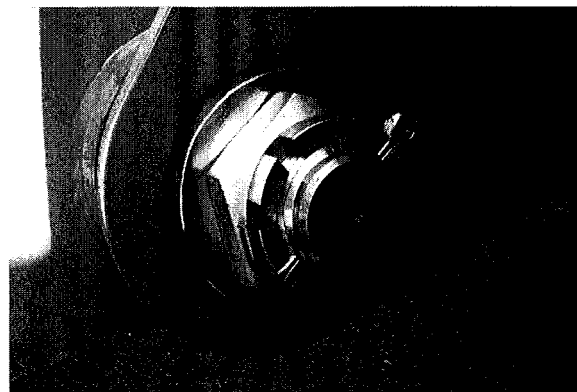
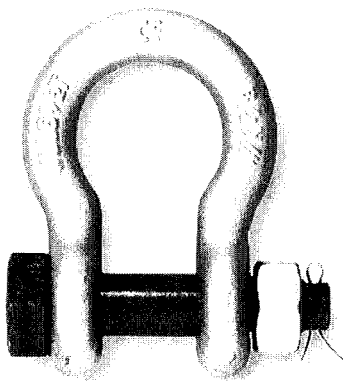


Quelle:
hausjournal.net

2.8 Verbindungen

2.8.2 Bedingt lösbare Verbindungen - Formschlüssig

- Splint: Sicherung gegen axiales Verschieben

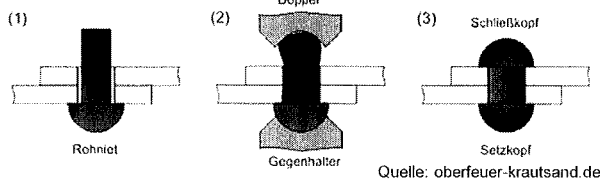
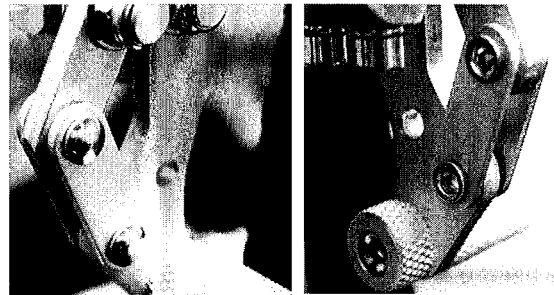
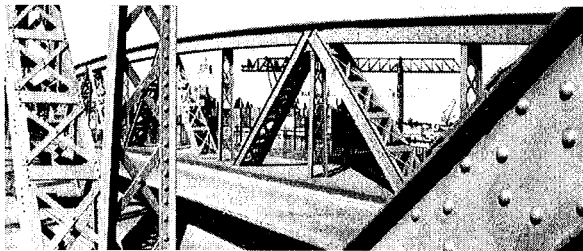


Quellen:
siegener-seilwerk.de, wikipedia.org

2.8 Verbindungen

2.8.2 Bedingt lösbare Verbindungen - Formschlüssig

- Nieten



Niete an der Feststellbremse
des Rollstuhls

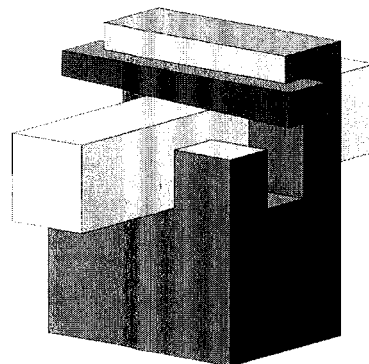
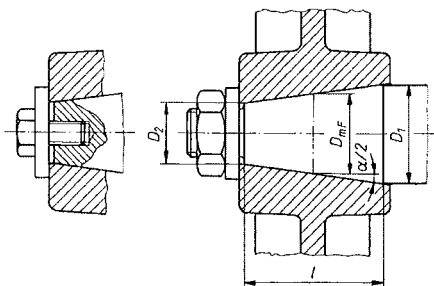
Quelle: oberfeuer-krautsand.de

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Reibschlüssig

- Kegolverbindung

- Keilverbindung

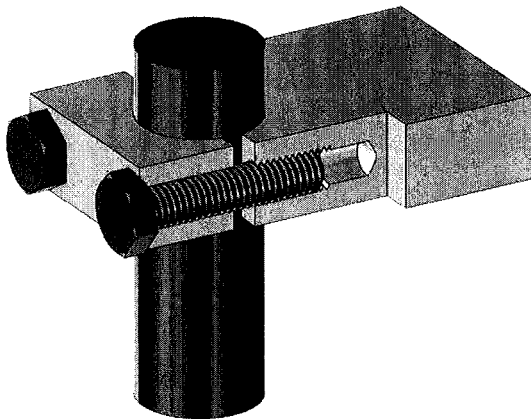


Quellen:
Matek, konstruktionsatlas.de

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Reibschlüssig

- Schraub-Klemmverbindung



Schraub-Klemmverbindung am Rollstuhl

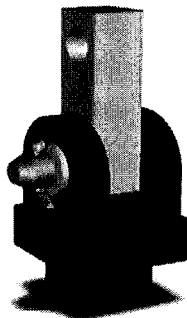
Quelle:
konstruktionsatlas.de

2.8 Verbindungen

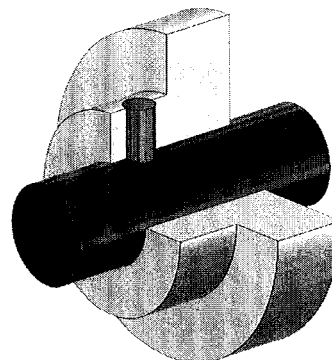
2.8.3 Lösbare Verbindungen

Bolzen- und Stiftverbindungen

- Bolzen werden für bewegliche Verbindungen von Bauteilen genutzt (z.B. Gelenkbolzen)



- Stifte verbinden Bauteile fest miteinander (Presspassung)

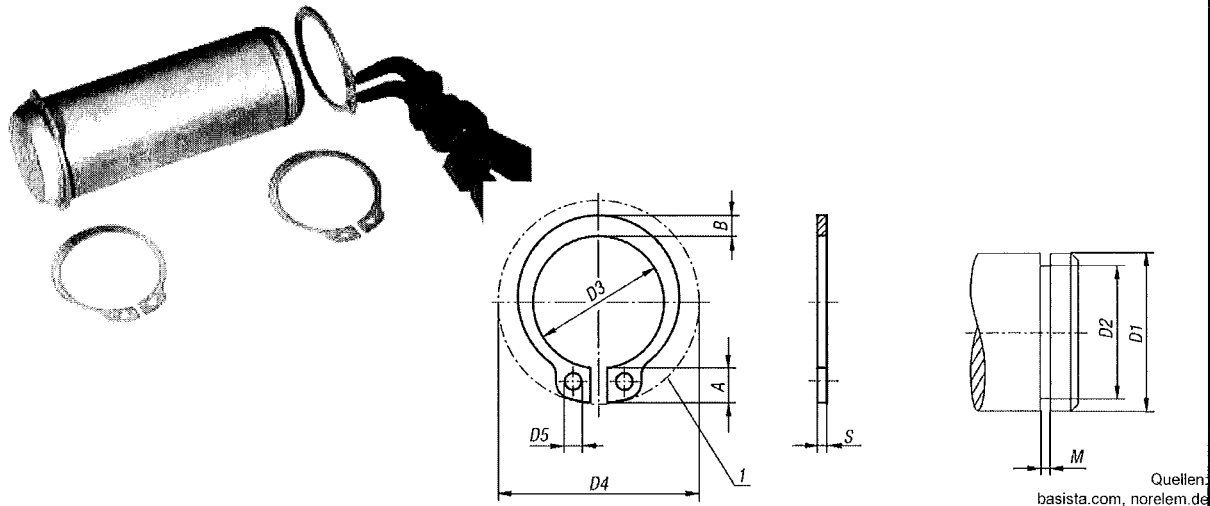


Quelle:
TU-Dresden, konstruktionsatlas.de

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen

◦ Sicherungsring



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

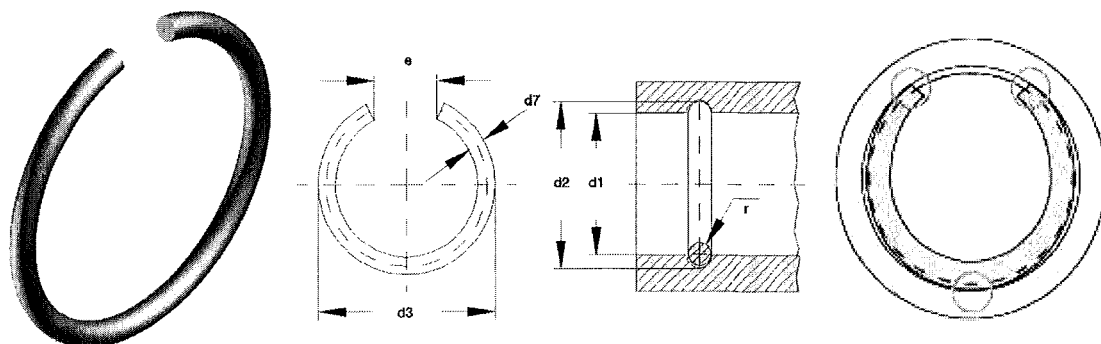
Folie 81

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen

◦ Sprengring



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

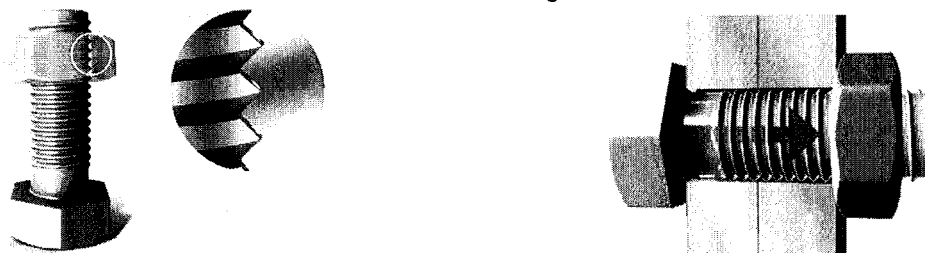
Folie 82

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Schraubverbindung

- Schrauben zählen zu den am häufigsten verwendeten Maschinen- und Verbindungselementen
- Die Schraubenverbindung beruht auf der Paarung einer Schraube/ eines Gewindestifts mit Außengewinde und einem Bauteil mit Innengewinde (z.B. Mutter)
- Befestigungsschrauben verbinden Bauelemente durch Vorspannkraft
- Die verbundenen Bauteile lassen sich zerstörungsfrei voneinander lösen

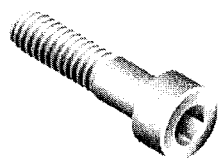


Quelle:
konstruktionspraxis.vogel.de

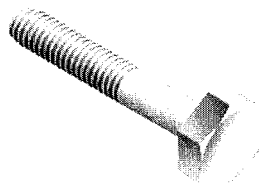
2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Schraubverbindung

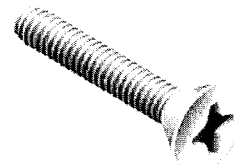
- Der Schraubenkopf kann verschiedene Formen haben und verschiedene Antriebe haben



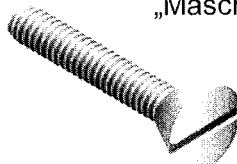
Zylinderschraube
mit Innensechskant
(Imbus®)



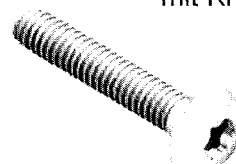
Sechskantschraube
„Maschinenschraube“



Senkschraube
mit Kreuzschlitz



Senkschraube
mit Schlitz



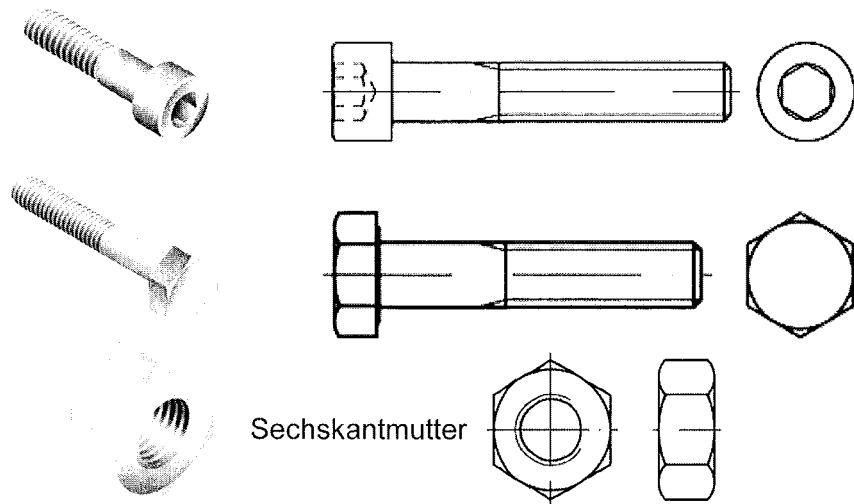
Flachkopfschraube
mit Innensechsrund (Torx®)

Quelle:
frantos.com

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Schraubverbindung

- Technische Zeichnung:

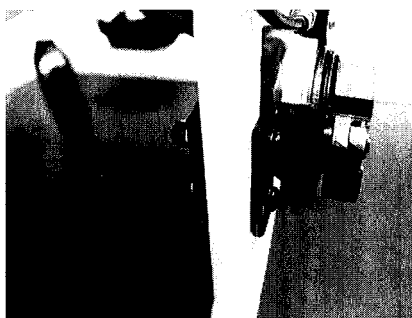


Quelle:
frantos.com

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Schraubverbindung

- Am Rollstuhl:



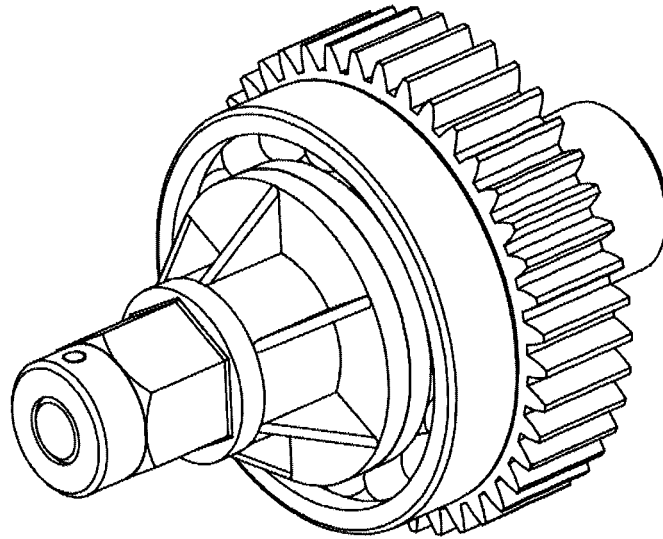
reibschlüssige Schraubverbindung
am Rollstuhl



formschlüssige Schraubverbindung
am Rollstuhl

2.8 Verbindungen

2.8.4 Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

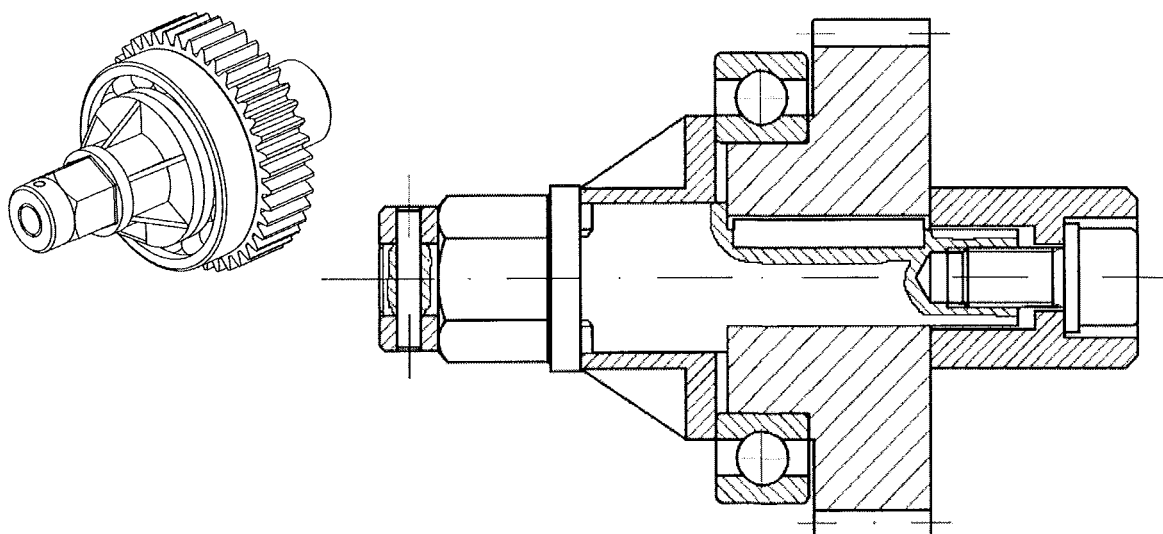
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 87

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

2.8 Verbindungen

2.8.4 Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 88

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

2.9 Literaturverzeichnis

- › Wittel, H., Muhs D. et al.: Roloff/Matek Maschinenelemente, 21. Auflage, Springer Vieweg Verlag, 2013
- › Hinzen, H.: Basiswissen Maschinenelemente, 2. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, 2014
- › Höfler, A.: Getriebetechnik, unter
<https://www.ahoefer.de/maschinenbau/getriebetechnik.html> (abgerufen am 10.10.2018)

3. Grundlagen der Statik

Inhalt

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1 Kräfte

3.1.1.1 Einzelkraft

3.1.1.2 Linienkraft

3.1.1.3 Flächenkraft

3.1.1.4 Volumen- und Massenkraft

3.1.2 Gleichgewichtsaxiom

3.1.3 Verschiebbarkeit der Kräfte längs ihrer Wirkungslinie

3.1.4 Axiom vom Kräfteparallelogramm

3.1.5 Kräftezerlegung durch Umkehrung des Axioms vom Kräfteparallelogramm

3.1.6 Reaktionsgesetz

3.2 Kräftepaar und Moment

3.2.1 Kräftepaar

3. Grundlagen der Statik

Inhalt

3.2.2 Momente um einen Punkt

3.2.3 Analytische Bestimmung des Momentes

3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

3.3.1 Vorgehen beim Ermitteln der Reaktionen

3.4 Freischneiden von Bauteilen

3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.1 Eine Auflagerreaktion, 2 Freiheitsgrade

3.5.2 Zwei Auflagerreaktionen, 1 Freiheitsgrad

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen, kein Freiheitsgrad

3.6 Innere Beanspruchungen

3.7 Reibung

3.8 Literaturverzeichnis

3. Grundlagen der Statik

Mechanik:

- Teilgebiet der Physik
- befasst sich mit Bewegungen und Kräften in der Natur

Statik:

- Teilgebiet der Mechanik
- befasst sich mit dem Grenzfall, bei dem die Bewegung gleich Null ist → Zustand der Ruhe
- Unterteilung in zwei Hauptthemen:
 - Geometrie der Kräfte: Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte
 - Gleichgewicht der Kräfte: Bedingungen für die Erhaltung des Zustandes der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

Statik:

- Die Verformung der Körper unter der Einwirkung von Kräften bleibt unberücksichtigt.
- Alle Körper werden als starr angesehen.

Erstarrungsprinzip:

- Die Gesetze der Statik gelten auch für verformbare Körper, wenn der sich einstellende Ruhezustand bei Einwirkung von Kräften als quasi-starr angesehen wird.

→ Im Maschinenbau sind die Verformungen unter Last meist klein, so dass sie häufig außer Acht gelassen werden können, insbesondere bei der Untersuchung des Gleichgewichtszustandes.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1 Kräfte

- Unterscheidung nach der Entstehung der Kräfte:
 - Äußere oder eingeprägte Kräfte:
Belastungen, sogenannte Aktionskräfte
 - Innere Kräfte:
Stützkkräfte, sogenannte Reaktionskräfte
- Nach Newton:
 - Symbol: F
 - Einheit: $1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$

3.1 Grundbegriffe und Axiome

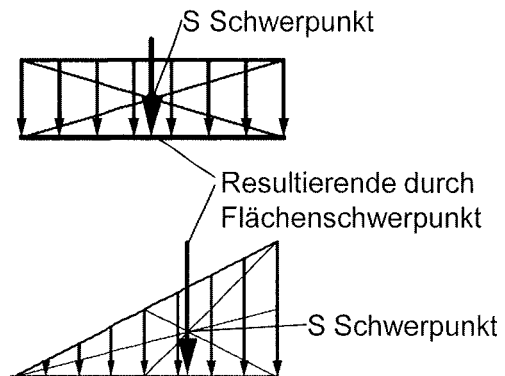
3.1.1.1 Einzelkraft

- greift an einem Punkt an und ist definiert durch:
 - Größe oder Betrag
 - Wirkungslinie
 - Richtungssinn
 - Lage (Punkt auf der Wirkungslinie, Angriffspunkt)
- Die Kraft ist eine vektorielle Größe
- Soweit die Angabe des Betrages nicht ausreicht, wird die Kraft als Pfeil dargestellt.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1.2 Linienkraft

- ☛ Greift entlang der Linie verteilt an
- ☛ Einheit: 1 N/mm
- ☛ Zeichnerische Darstellung: Pfeilschar
- ☛ Gleichmäßig verteilt durch Flächenschwerpunkt:
- ☛ Ungleichmäßig, linear verteilte Streckenlast:



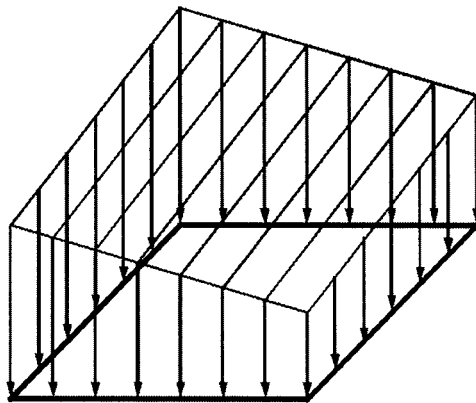
3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1.3 Flächenkraft

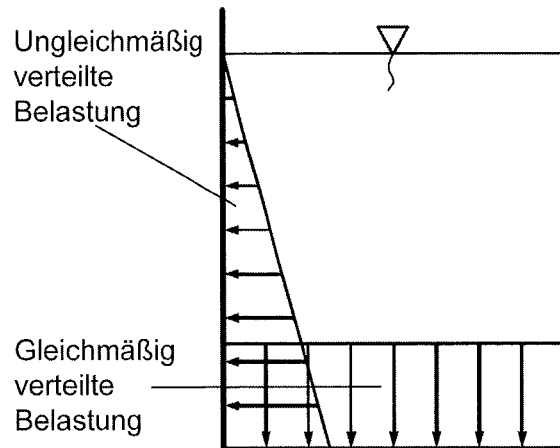
- ☛ greift über eine Fläche eines Körpers verteilt an
- ☛ Einheit der Flächenkraft: 1 N/mm²
- ☛ Dimension der Flächenkraft ist gleichzeitig die Dimension des Druckes und der Spannung
- ☛ Darstellung erfolgt meist zweidimensional in senkrechter Projektion
- ☛ Flächenkraft kann gleichmäßig oder ungleichmäßig verteilt sein

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1.3 Flächenkraft



Ungleichmäßig verteilte Flächenbelastung, z.B. Stapelgut



Ungleichmäßig verteilte Belastung

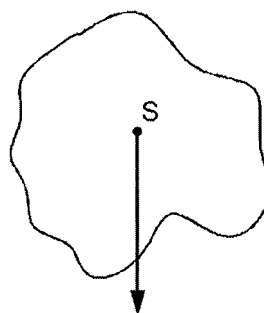
Gleichmäßig verteilte Belastung

Belastung eines mit Flüssigkeit gefüllten Behälters

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1.4 Volumen- oder Massenkraft

- greift über das Volumen des Körpers verteilt an den kleinsten Massenelementen an
- Einheit der Volumen-/Massenkraft: 1 N/mm^3
- Darstellung erfolgt meist durch eine im Schwerpunkt des Körpers angreifende Einzelkraft



3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1.4 Volumen- oder Massenkraft

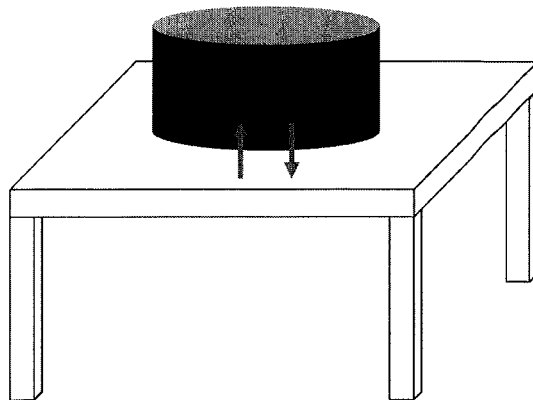
Merke:

- Bei der Betrachtung der nach Art und Weise des Kraftangriffs (der Verteilung) unterschiedenen Kräfte ist zu beachten, dass Einzelkraft und Linienkraft technisch nur näherungsweise realisierbar sind. Alle Kräfte greifen an (unter Umständen sehr kleinen) Flächen an.
- In der Statik lassen sich alle Kräfte durch (im Schwerpunkt der Fläche oder des Volumens angreifende) Einzelkräfte ersetzen.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

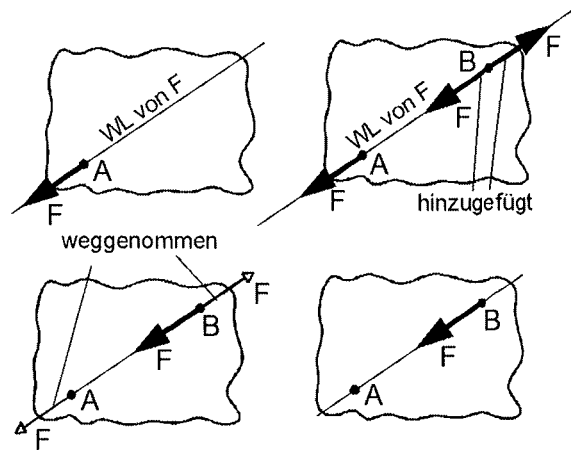
3.1.2 Gleichgewichtsaxiom

- Ein Körper ist im Gleichgewicht, wenn er unter der Einwirkung der an ihm angreifenden Kräfte in Ruhe verharrt oder in gleichförmiger Bewegung bleibt.



3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.3 Verschiebbarkeit der Kräfte längs ihrer Wirkungslinie



An einem **starren** Körper kann eine Kraft beliebig auf ihrer Wirkungslinie verschoben werden

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.4 Axiom vom Kräfteparallelogramm

Addition von Kräften:

- **Zwei Kräfte** mit demselben Angriffspunkt sind hinsichtlich ihrer Wirkung **einer Kraft** gleichwertig, die in diesem Punkt angreift und nach Größe und Richtung der Diagonalen des Parallelogramms entspricht, dessen Seiten von den beiden Kräften gebildet werden.
- Es genügt, die Kräfte zu einem Kräftedreieck aneinanderzusetzen

Live-Inhalt

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.5 Kräftezerlegung

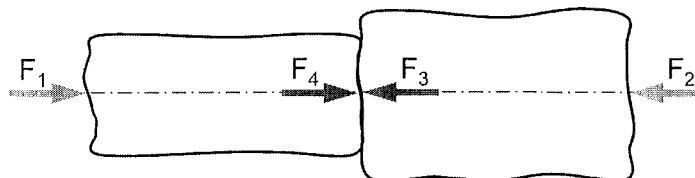
- So wie zwei Kräfte zu einer Resultierenden zusammen-gesetzt werden können, ist auch eine **Zerlegung der Kraft in zwei vorgegebene Richtungen**, die sich im Kraftangriffspunkt schneiden, möglich.
- Die Teilkräfte F_1 und F_2 werden als **Komponenten** bezeichnet.

Live-Inhalt

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.6 Reaktionsgesetz

- Werden zwei Körper durch **äußere Kräfte** F_1 und F_2 unter der Voraussetzung zusammengedrückt, dass das Erstarungsprinzip und das Gleichgewichtsaxiom gelten, so können beide Körper als ein **quasi-starrer Gesamtkörper** angesehen werden.



- Es ist dann: $F_1 - F_2 = 0 \Rightarrow F_1 = F_2$
- Für diesen Fall sind dann die an der Berührungsstelle auftretenden Kräfte F_3 und F_4 **innere Kräfte** (Reaktionskräfte)

3.1 Grundbegriffe und Axiome

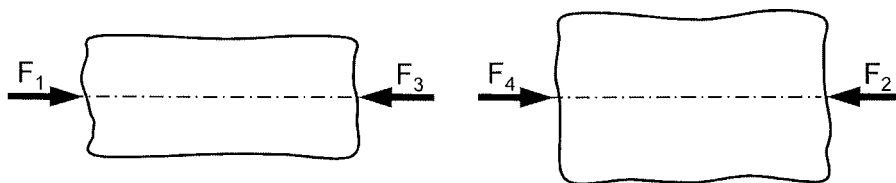
3.1.6 Reaktionsgesetz

- Gleichgewichtsaxiome für jeden einzelnen Körper:

$$F_1 - F_3 = 0, \quad F_4 - F_2 = 0 \quad \text{und} \quad F_3 = F_4 = F_1 = F_2$$

- F_3 und F_4 sind Reaktionskräfte $\rightarrow$ Reaktionsgesetz gilt:

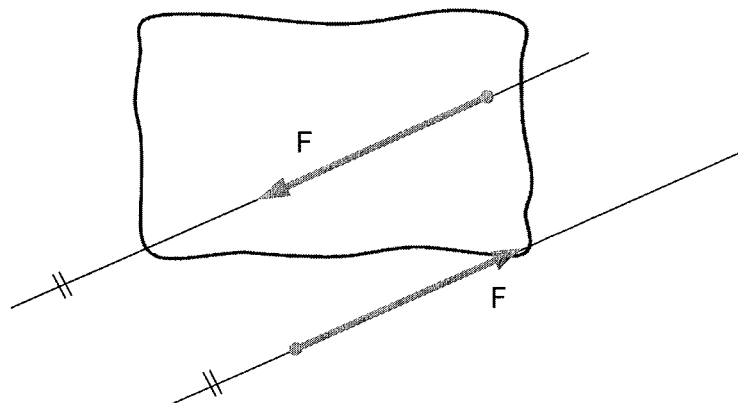
Wird von einem Körper auf einen zweiten eine Kraft ausgeübt, so wird an der Berührungsstelle eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft (Reaktionskraft) hervorgerufen, die von dem zweiten Körper auf den ersten ausgeübt wird



3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.1 Kräftepaar

- Greifen an einem Körper zwei gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kräfte auf parallelen Wirkungslinien an, so werden diese Kräfte als Kräftepaar bezeichnet.



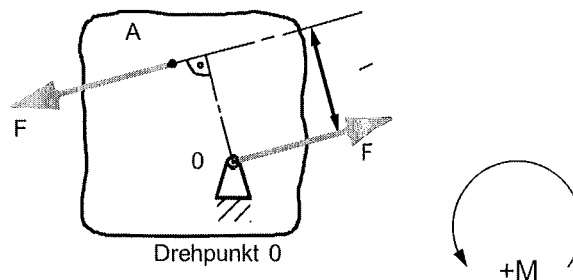
3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Moment um einen Punkt

- › Moment:
Drehwirkung einer Kraft bzw. eines Kräftepaares um einen festen Punkt bzw. Achse
- › Moment einer Einzelkraft an einem drehbar gelagerten Körper um Drehpunkt 0:

$$M_0 = F \cdot l \quad (3.1)$$

- › Im Drehpunkt 0 tritt die Reaktionskraft $-F$ auf.



3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Momente um einen Punkt

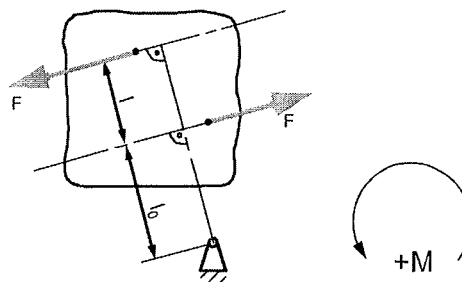
- › Kräftepaar außerhalb des Drehpunktes:

$$M_0 = F \cdot (l + l_0) - F \cdot l_0$$

$$M_0 = F \cdot l + F \cdot l_0 - F \cdot l_0 \quad (3.2)$$

$$M_0 = F \cdot l \quad (3.3)$$

- › Da l_0 beliebig $\rightarrow$ Das Moment eines Kräftepaares ist bezüglich aller beliebigen Drehpunkte gleich groß

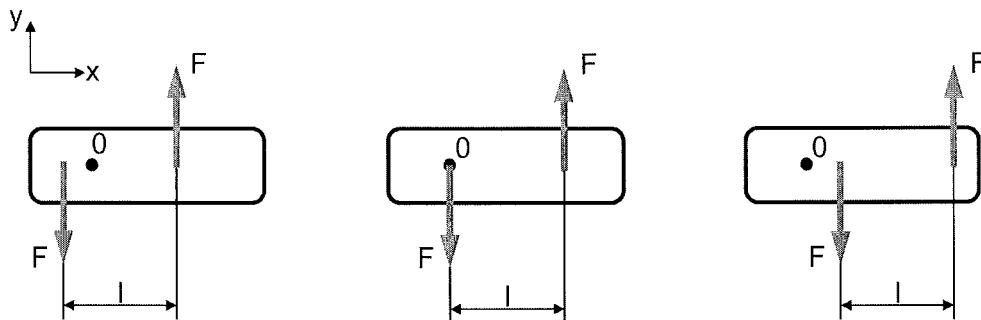


3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Momente um einen Punkt

Folgerung:

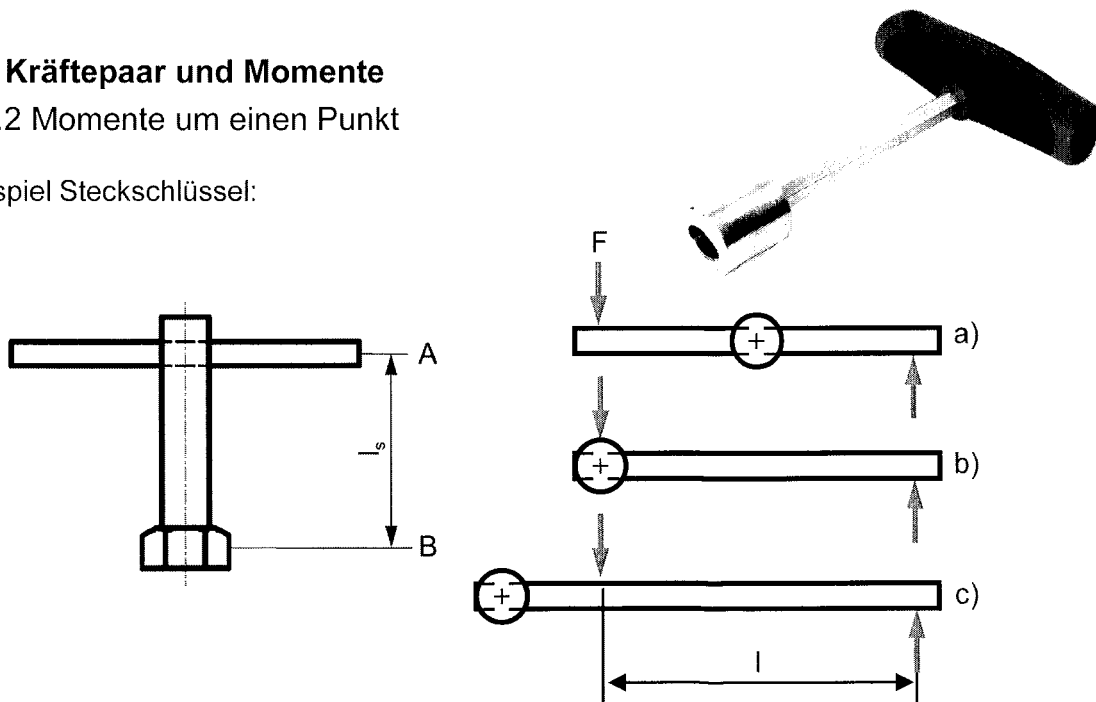
- Ein Kräftepaar kann in seiner Wirkungsebene (x-y-Ebene) beliebig verschoben werden, ohne dass sich seine Wirkung auf den starren Körper ändert.
- $M_0 = F \cdot l = \text{konstant}$



3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Momente um einen Punkt

Beispiel Steckschlüssel:



3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Momente um einen Punkt

Folgerung:

- Ein Kräftepaar kann in eine **zu seiner** Wirkungsebene parallelen Ebene verschoben werden, ohne dass sich seine Wirkung ändert.

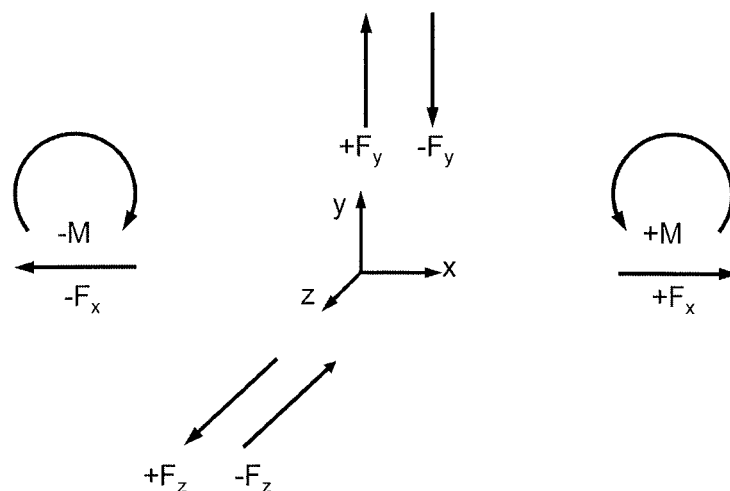
Oder anders ausgedrückt:

- Ein Moment kann in Richtung der Achse, um die es dreht, verschoben werden.

3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.3 Analytische Bestimmung des Momentes

Vorzeichenkonventionen für Kräfte und Momente:



3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.3 Analytische Bestimmung des Momentes

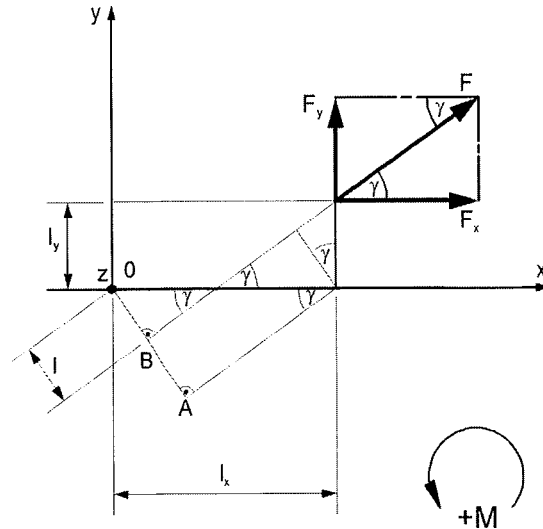
- F lässt sich in die Komponenten F_x und F_y zerlegen:

$$F_x = F \cdot \cos \gamma \quad (3.4)$$

$$F_y = F \cdot \sin \gamma \quad (3.5)$$

- Moment von F um 0 (um z-Achse):

$$M_z = F \cdot l \quad (3.6)$$



3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.3 Analytische Bestimmung des Momentes

- Momente der Komponenten um 0:

$$M_{zx} = -F_x \cdot l_y \quad (3.7)$$

$$M_{zy} = F_y \cdot l_x \quad (3.8)$$

- Moment M_z von F um 0 :

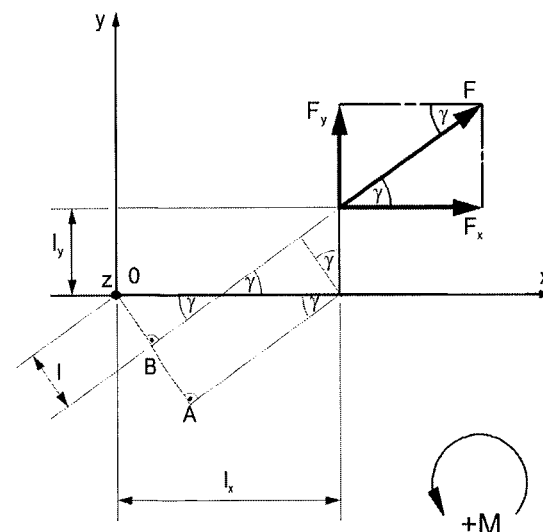
$$M_z = F_y \cdot l_x - F_x \cdot l_y \quad (3.9)$$

- Mit Gl. (3.7) und (3.8):

$$M_z = M_{zy} + M_{zx} \quad (3.10)$$

Das bedeutet:

- Das Moment einer Kraft ist gleich der Summe der Momente ihrer Komponenten



3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

Es gilt allgemein im Raum:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum M_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad \sum M_y = 0$$

$$\sum F_z = 0 \quad \sum M_z = 0$$

→ Auflagerkräfte/ Einspannmomente (Reaktionen)

→ Mehr unbekannte Reaktionen als Gleichgewichtsbedingungen → statisch unbestimmtes System

3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

3.3.1 Vorgehen beim Ermitteln der Reaktionen

1. Skizze anfertigen

2. Koordinatenrichtungen
festlegen

3. Äußere Kräfte und Momente
unter Beachtung der Wirkrichtung
vorzeichenrichtig einsetzen

4. Reaktionskräfte und
Reaktionsmomente positiv
ansetzen

3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

3.3.1 Vorgehen beim Ermitteln der Reaktionen – Beispiel: Belasteter Balken

Live-Inhalt

- Wie groß sind die Reaktionskräfte in A und B?

3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

3.3.1 Vorgehen beim Ermitteln der Reaktionen – Beispiel: Belasteter Balken

$$\sum F_x = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{Ax} = 0 \quad (3.11)$$

$$\sum F_y = 0 \quad \Rightarrow \quad -F + F_{Ay} + F_{By} = 0 \quad (3.12)$$

$$\sum M_z = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{By} \cdot (l_1 + l_2) - F \cdot l_1 = 0 \quad (3.13)$$

Moment um A $\rightarrow F_{Ay}$ liefert kein Moment!

3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

3.3.1 Vorgehen beim Ermitteln der Reaktionen – Beispiel: Belasteter Balken

Aus (3.13):

$$F_{By} = F \cdot \frac{l_1}{l_1 + l_2} \quad (3.14)$$

Aus (3.12):

$$F_{Ay} + F_{By} = F \quad (3.15)$$

$$F_{Ay} + F \cdot \frac{l_1}{l_1 + l_2} = F \Rightarrow F_{Ay} = F \cdot \frac{l_2}{l_1 + l_2} \quad (3.16)$$

Oder Moment um B:

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow -F_{Ay} \cdot (l_1 + l_2) + F \cdot l_2 = 0 \quad (3.17)$$

Moment um B $\rightarrow F_{By}$ liefert kein Moment!

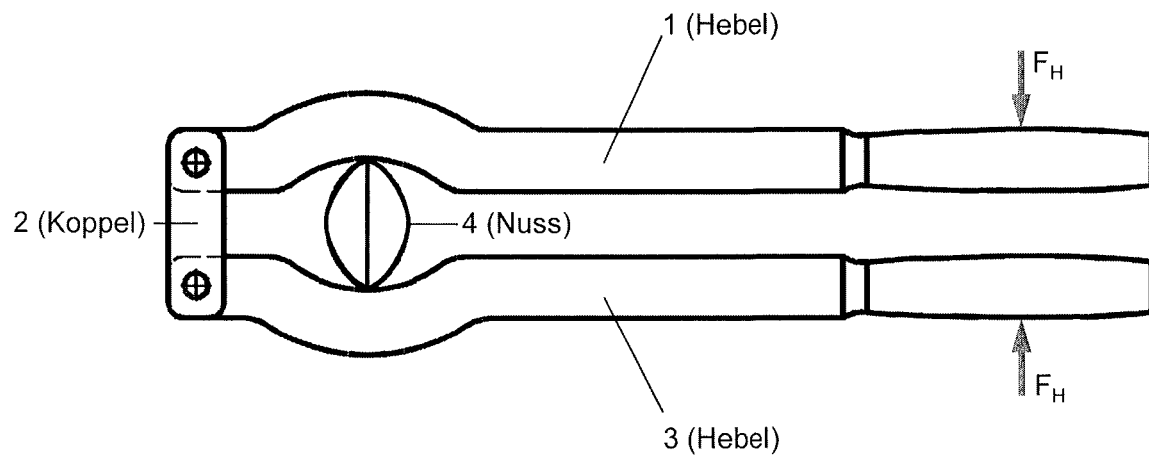
$$F_{Ay} = F \cdot \frac{l_2}{l_1 + l_2} \quad (3.18)$$

3.4 Freischneiden von Bauteilen

- Maschine $\rightarrow$ System von ruhenden und bewegten Elementen, die Kräfte und Momente aufeinander ausüben
- Freischneiden:
 - System der Elemente gedanklich in einzelne starre Körper auflösen oder zerlegen
 - entsprechend dem Reaktionsgesetz, an dem jeweils zu untersuchenden Körper äußere Kräfte anbringen, die den Belastungen entsprechen, die von den abgetrennten Elementen auf ihn ausgeübt werden

3.4 Freischneiden von Bauteilen

Beispiel: Äußere Kräfte an einem Nussknacker



3.4 Freischneiden von Bauteilen

Beispiel: Äußere Kräfte an einem Nussknacker

Live-Inhalt

3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

- Für die Ermittlung von Reaktionskräften und beim Freischneiden von Bauteilen ist es wichtig zu wissen, wie die benachbarten Teile auf das betrachtete Teil wirken.
- Nur wenn die Art des „Anschlusses“ bekannt ist, kann die richtige Reaktionskraft ermittelt oder die richtige Belastung am freigeschnittenen Teil angebracht werden.

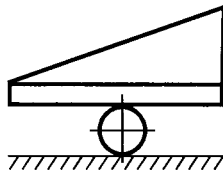
3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

- Ein in der x-y-Ebene frei beweglicher starrer Körper hat drei Freiheitsgrade:
 1. Translation in x - Richtung
 2. Translation in y - Richtung
 3. Rotation um die z - Achse
- Aufgabe der Stützen und Auflager:
Diese Freiheitsgrade vollständig oder teilweise aufheben.
- Unter der Voraussetzung, dass entsprechende äußere Kräfte und Momente wirken, ergibt sich aus jedem aufgehobenen Freiheitsgrad eine Reaktion.
- Für die vereinfachte Darstellung der Auflagerungen (oder Anschlüsse) werden Symbole verwendet.

3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.1 Eine Auflagerreaktion, 2 Freiheitsgrade

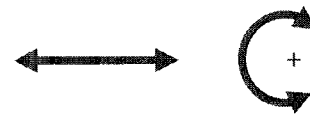
Beispiel:



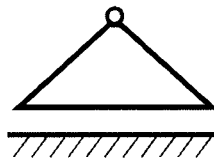
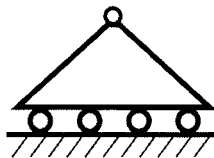
Reaktion



Freiheitsgrade



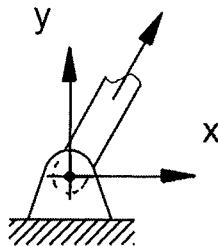
Symbol:



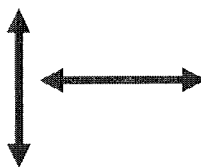
3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.2 Zwei Auflagerreaktionen, 1 Freiheitsgrad

Beispiel:



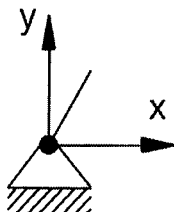
Reaktion



Freiheitsgrade



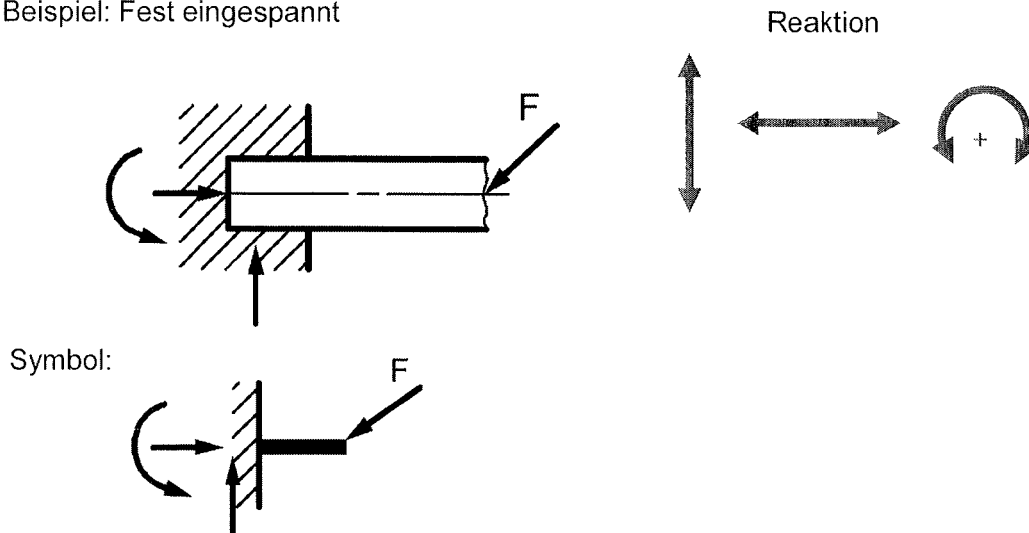
Symbol:



3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen, kein Freiheitsgrad

Beispiel: Fest eingespannt



3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen, kein Freiheitsgrad

Merke:

- Abstützungen mit maximal drei Reaktionen sind statisch bestimmte Fälle. Die Reaktionskräfte bzw. -momente lassen sich mit Hilfe der drei Gleichgewichtsbedingungen bestimmen.
- Abstützungen mit mehr Auflagerreaktionen als aufzuhebende Freiheitsgrade heißen statisch unbestimmte Systeme. Statisch unbestimmte Systeme lassen sich mit Hilfe der Elastostatik berechnen.

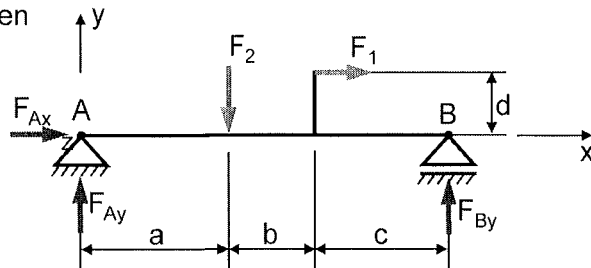
3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen

Beispiel: Statisch bestimmt gelagerter Balken

Lösungsansatz:

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$



Momente um A:

$$\sum M_z = -F_1 \cdot d - F_2 \cdot a + F_{By} \cdot (a + b + c) = 0 \quad (3.19)$$

$$F_{By} = \frac{F_1 \cdot d + F_2 \cdot a}{a + b + c} \quad (3.20)$$

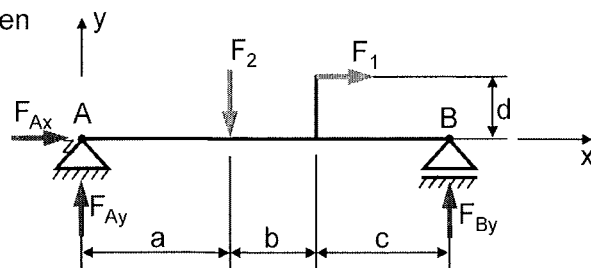
3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen

Beispiel: Statisch bestimmt gelagerter Balken

Lösungsansatz:

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$



Kräfte in x-Richtung:

$$\sum F_x = F_1 + F_{Ax} \quad (3.21)$$

$$F_{Ax} = -F_1 \quad (3.22)$$

d.h. F_{Ax} wirkt entgegengesetzt zu Richtung F_1 !

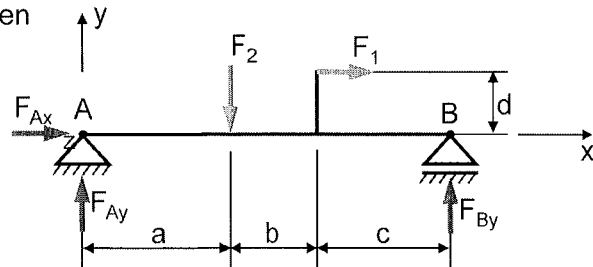
3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen

Beispiel: Statisch bestimmt gelagerter Balken

Lösungsansatz:

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$



Kräfte in y-Richtung:

$$\sum F_y = -F_2 + F_{Ay} + F_{By} = 0 \quad (3.23)$$

$$-F_2 + F_{Ay} + \frac{F_1 \cdot d + F_2 \cdot a}{a+b+c} = 0 \rightarrow F_{Ay} = \frac{F_2 \cdot (b+c) - F_1 \cdot d}{a+b+c} \quad (3.24)$$

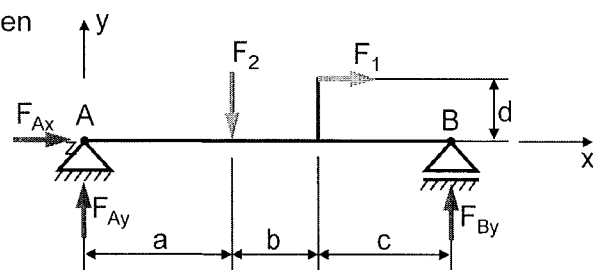
3.5 Stützungs- und Lagerungsarten in der Ebene

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen

Beispiel: Statisch bestimmt gelagerter Balken

Lösungsansatz:

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$



Moment um B:

$$\sum M_z = F_2 \cdot (b+c) - F_1 \cdot d - F_{Ay} \cdot (a+b+c) = 0 \quad (3.25)$$

$$F_{Ay} = \frac{F_2 \cdot (b+c) - F_1 \cdot d}{a+b+c} \quad (3.26)$$

3.6 Innere Beanspruchungen

Voraussetzungen für Dimensionierung von Bauteilen

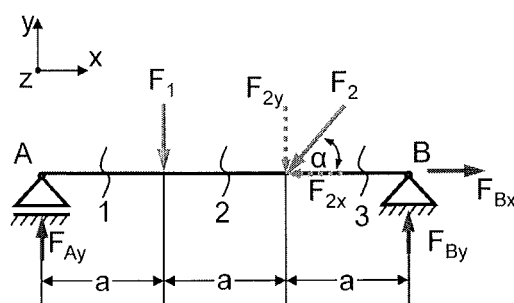
- Ermittlung aller an einem Körper wirkenden äußeren Kräfte und Momente (einschließlich der Reaktionskräfte und -momente)
- Ermittlung der inneren Beanspruchungen

Ermitteln innerer Kräfte und Momente

- Bauteil gedanklich an der interessierenden Stelle durchschneiden
- Gleichgewichtsbedingungen für eines der beiden Teilstücke

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Balken auf zwei Stützen



Gegeben: F_1, F_2, α, a

Gesucht: F_{Ay}, F_{By}, F_{Bx}

1,2,3: Schnittstellen

Ermittlung der Auflagerreaktionen:

$$\sum F_x = 0 \quad \rightarrow F_{Bx} - F_{2x} = 0 \quad \rightarrow \boxed{F_{Bx} = F_{2x}} \quad (3.27)$$

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow F_{Ay} - F_1 - F_{2y} + F_{By} = 0 \quad (3.28)$$

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Balken auf zwei Stützen

Moment um A: (F_{Ay} liefert kein Moment)

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -F_1 \cdot a - F_{2y} \cdot 2a + F_{By} \cdot 3a = 0 \quad (3.29)$$

$$F_{By} = \frac{F_1 \cdot a + F_{2y} \cdot 2a}{3a}$$

$$\rightarrow F_{By} = \frac{1}{3} \cdot (F_1 + 2F_{2y}) \quad (3.30)$$

Moment um B: (F_{By} liefert kein Moment)

$$\sum M_z = 0 \rightarrow F_{2y} \cdot a + F_1 \cdot 2a - F_{Ay} \cdot 3a = 0 \quad (3.31)$$

$$F_{Ay} = \frac{F_{2y} \cdot a + F_1 \cdot 2a}{3a}$$

$$\rightarrow F_{Ay} = \frac{1}{3} \cdot (F_{2y} + 2F_1) \quad (3.32)$$

3.6 Innere Beanspruchungen

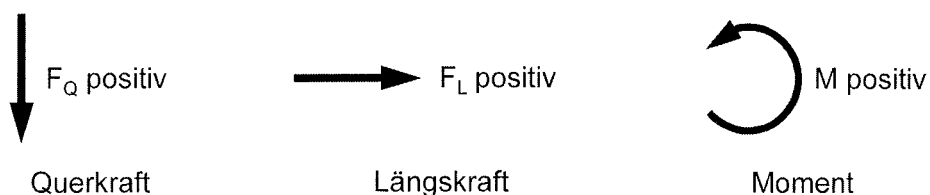
Beispiel: Balken auf zwei Stützen

Ermittlung der inneren Beanspruchungen:

- Schnittstellen-Betrachtung:

In jeden Zwischenraum zwischen zwei benachbarten Beanspruchungs- oder Einleitungsstellen wird eine Schnittstelle gelegt.

- Für die Schnittreaktionen an der Schnittstelle des linken Teiles wird definiert:



3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Balken auf zwei Stützen

a) **Schnittstelle 1:** Schnittkräfte am linken Schnitтуer

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{L1} = 0 \quad (3.33)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{Ay} - F_{Q1} = 0 \rightarrow F_{Q1} = F_{Ay} \quad (3.34)$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -F_{Ay} \cdot x_1 + M_1 = 0 \rightarrow M_1 = F_{Ay} \cdot x_1 \quad (3.35)$$

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Balken auf zwei Stützen

b) **Schnittstelle 2:**

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{L2} = 0 \quad (3.36)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{Ay} - F_1 - F_{Q2} = 0 \rightarrow F_{Q2} = F_{Ay} - F_1 \quad (3.37)$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -F_{Ay} \cdot x_2 + F_1 \cdot (x_2 - a) + M_2 = 0 \quad (3.38)$$

$$\rightarrow M_2 = F_{Ay} \cdot x_2 - F_1 \cdot (x_2 - a) \quad (3.39)$$

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Balken auf zwei Stützen

c) Schnittstelle 3:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{L3} - F_{2x} = 0 \rightarrow \boxed{F_{L3} = F_{2x}} \quad (3.40)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{Ay} - F_1 - F_{2y} - F_{Q3} = 0 \quad (3.41)$$

$$\rightarrow \boxed{F_{Q3} = F_{Ay} - F_1 - F_{2y}} \quad (3.42)$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -F_{Ay} \cdot x_3 + F_1 \cdot (x_3 - a) + F_{2y} \cdot (x_3 - 2a) + M_3 = 0$$
$$\rightarrow \boxed{M_3 = F_{Ay} \cdot x_3 - F_1 \cdot (x_3 - a) - F_{2y} \cdot (x_3 - 2a)} \quad (3.43)$$

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Balken auf zwei Stützen – Beanspruchungsverlauf

Gegeben: $F_1 = 150\text{N}$, $F_{2x} = 120\text{N}$, $F_{2y} = 180\text{N}$, $\tan(\alpha) = 1,5$, $a = 1\text{m}$

◦ **Lagerreaktionskräfte:**

$$\text{Aus (3.27): } F_{Bx} = F_{2x} = 120\text{N}$$

$$\text{Aus (3.30): } F_{By} = \frac{1}{3}(F_1 + 2F_{2y}) = \frac{1}{3}(150\text{N} + 2 \cdot 180\text{N}) = 170\text{N}$$

$$\text{Aus (3.32): } F_{Ay} = \frac{1}{3}(F_{2y} + 2F_1) = \frac{1}{3}(180\text{N} + 2 \cdot 150\text{N}) = 160\text{N}$$

◦ **a) für $0 \leq x_1 \leq a$:**

$$\text{Aus (3.34): } F_{Q1} = F_{Ay} = 160\text{N}$$

$$\text{Aus (3.35) an der Stelle } x_1 = 0: M_1 = F_{Ay} \cdot x_1 = 160\text{N} \cdot 0 = 0$$

$$\text{Aus (3.35) an der Stelle } x_1 = a: M_1 = F_{Ay} \cdot a = 160\text{N} \cdot 1\text{m} = 160\text{Nm}$$

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Balken auf zwei Stützen – Beanspruchungsverlauf

Gegeben: $F_1 = 150\text{N}$, $F_{2x} = 120\text{N}$, $F_{2y} = 180\text{N}$, $\tan(\alpha) = 1,5$, $a = 1\text{m}$

▸ **b) für $a \leq x_2 \leq 2a$**

Aus (3.37): $F_{Q2} = F_{Ay} - F_1 = 10\text{N}$

Aus (3.39) an der Stelle $x_2 = 2a$: $M_2 = F_{Ay} \cdot 2a - F_1 \cdot a = 170\text{Nm}$

▸ **c) für $2a \leq x_3 \leq 3a$:**

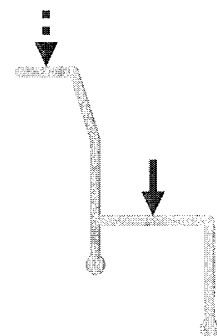
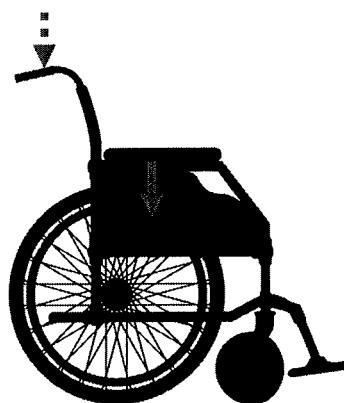
Aus (3.40): $F_{L3} = F_{2x} = 120\text{N}$

Aus (3.42): $F_{Q3} = F_{Ay} - F_a - F_{2y} = -170\text{N}$

Aus (3.43) an der Stelle $x_3 = 3a$: $M_3 = F_{Ay} \cdot 3a - F_1 \cdot 2a - F_{2y} \cdot a = 0$

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Rollstuhl



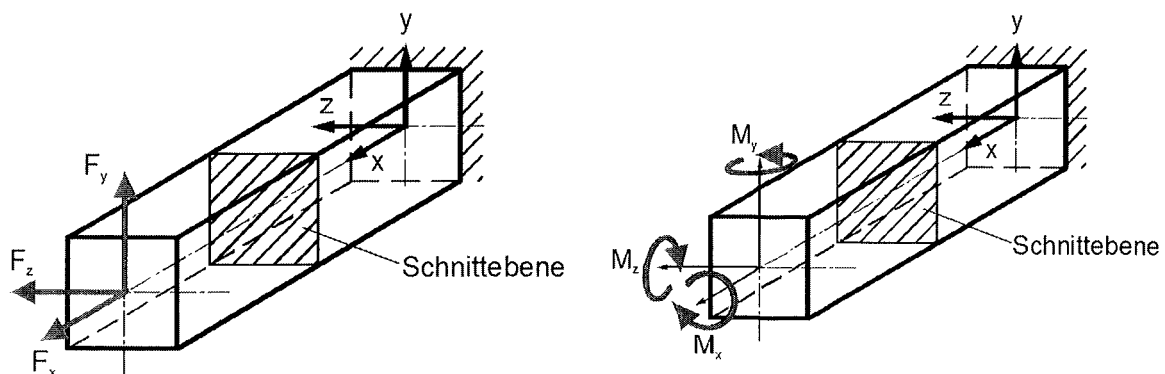
3.6 Innere Beanspruchungen

Allgemein

- Im allgemeinen Fall des in allen drei Koordinatenrichtungen belasteten Balkens treten in jedem Querschnitt sechs Beanspruchungsgrößen auf, die mit Hilfe der sechs Gleichgewichtsbedingungen im Raum zu ermitteln sind.
- Es handelt sich um
 - zwei Querkräfte (in y- und z- Richtung)
 - eine Längskraft (in x- Richtung)
 - zwei Biegemomente (um z- und y- Achse) und
 - ein Torsionsmoment (um x- Achse)

3.6 Innere Beanspruchungen

Mögliche Kräfte/ Momente an eingespannten einem Balken



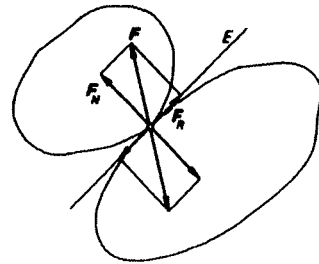
3.7 Reibung

Wenn sich zwei feste Körper berühren, wird an der Berührungsstelle eine Druckkraft F übertragen. Die in der Berührungsebene E liegende Komponente F_R dieser Kraft heißt Reibungskraft.

Der Betrag der Haftreibungskraft F_{R0} kann einen Maximalwert nicht überschreiten

→ Coloumb'sches Reibungsgesetz:

$$F_{R0} \leq \mu_0 F_N = \text{Max}(F_{R0}) \quad (3.44)$$



F_N : Normalkraft

$\mu_0 = \tan(\alpha)$: Haftreibungsbeiwert;
abh. von Material, Oberfläche, Temperatur, etc.

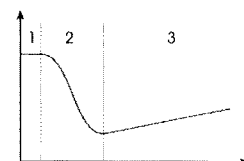
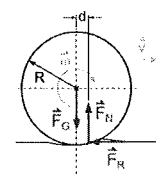
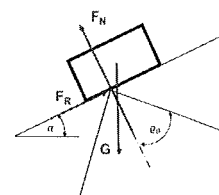
3.7 Reibung

• **Haftreibung**: Reaktionskraft, die innerhalb der Grenzen des Systems die stets eine solche Größe annimmt, sodass ein Gleichgewicht vorhanden ist: $F_R = \mu_0 F_N = \mu_0 \cdot G \cdot \cos(\alpha)$ (3.45)

• **Gleitreibung**: Ist die Tangentialkraft größer als der Maximalwert von F_R , ist kein Haften mehr möglich

• **Rollreibung**: ist die Kraft, die beim Abrollen eines Rades oder Wälzkörpers entsteht und der Bewegung entgegengerichtet ist.

• **Stribeck-Kurve**: beschreibt den Verlauf der Reibkraft in Abhängigkeit von der Reibgeschwindigkeit im Falle hydrodynamischer Reibung: Grenzreibung (1), Mischreibung (2), Flüssigkeitsreibung (3)



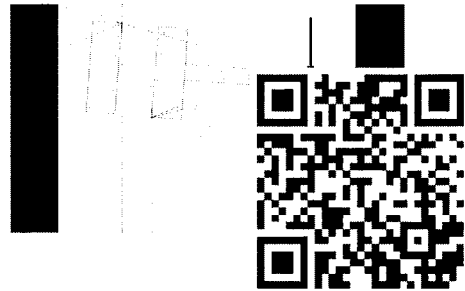
3.7 Reibung

3.7.1 Selbsthemmung

- › **Selbsthemmung:** Der durch Reibung verursachte Widerstand gegen ein Verrutschen oder ein Verdrehen zweier aneinander liegender Körper.

$$\alpha < \mu$$

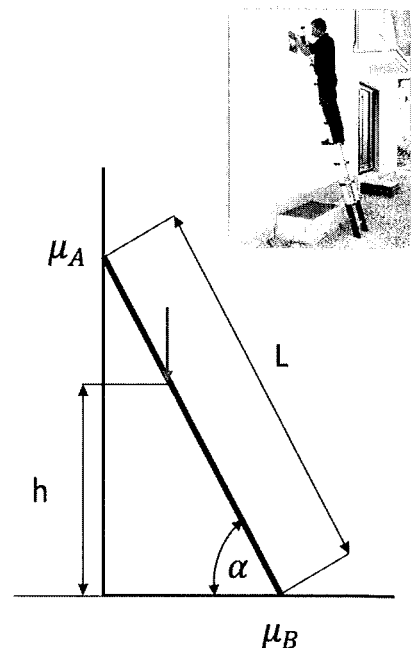
- › Sobald die Haftreibung überschritten ist, sind die Körper nicht mehr **selbsthemmend**.
- › Beeinflussende Parameter sind
 - der Neigungswinkel
 - die Oberflächenrauigkeit der Auflageflächen
 - die Werkstoffpaarung
 - der Schmierstoff und die Erwärmung



3.7.1 Selbsthemmung

Bespielrechnung

- › Bis zu welcher maximalen Höhe h können Sie auf der skizzierten Karriereleiter der Länge L steigen, ohne dass diese abrutscht?
- › Die Reibungskoeffizienten zwischen Wand bzw. Boden und Leiter haben die Werte μ_A bzw. μ_B
- › $\mu_A=1,2$; $\mu_B=0,5$; $\alpha=60^\circ$



Live-Inhalt

3.8 Literaturverzeichnis

- Müller, H. H., Magnus K.: Grundlagen der Technischen Mechanik, 7. Auflage, Stuttgart, Vieweg + Teubner, 2005
- Schnell, Gross, Hauger: Technische Mechanik 1, 12. Auflage Darmstadt, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013
- Ziegler H.: Vorlesungen über Mechanik, Stuttgart, Birkhäuser Verlag 1977
- Holzmann, Meyer, Schumpich: Technische Mechanik Teil 1 Statik, 12. Auflage, Teubner Verlag Stuttgart, 2009
- Binz, H.: Konstruktionslehre I Vorlesungsskript, Universität Stuttgart 2016

4. Ermittlung der Spannungen

Inhalt

4.1 Grundlagen

4.1.1 Grundbelastungsfälle

4.1.2 Spannungen

4.1.3 Flächenmomente

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente

4.2 Normalspannung aus Längskraft

4.3 Normalspannung aus Biegung

4.4 Schubspannung infolge Querkraft

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte

4.5.2 Dünnwandige Querschnitte

4.5.3 Rechteckige Querschnitte

4.5.4 Zusammengesetzte Querschnitte

4. Ermittlung der Spannungen

Inhalt

4.5.5 Ergänzungen zur Schubspannung aus Torsion

4.5.5.1 Verdrehung des Bauteils unter Torsion

4.5.5.2 Vergleich offene / geschlossene Querschnitte

4.5.6 Flächenträgheits- und Widerstandsmomente (Auszug)

4.6 Flächenpressung

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

4.7.1 Gleichartige Spannungen

4.7.2 Ungleichartige Spannungen

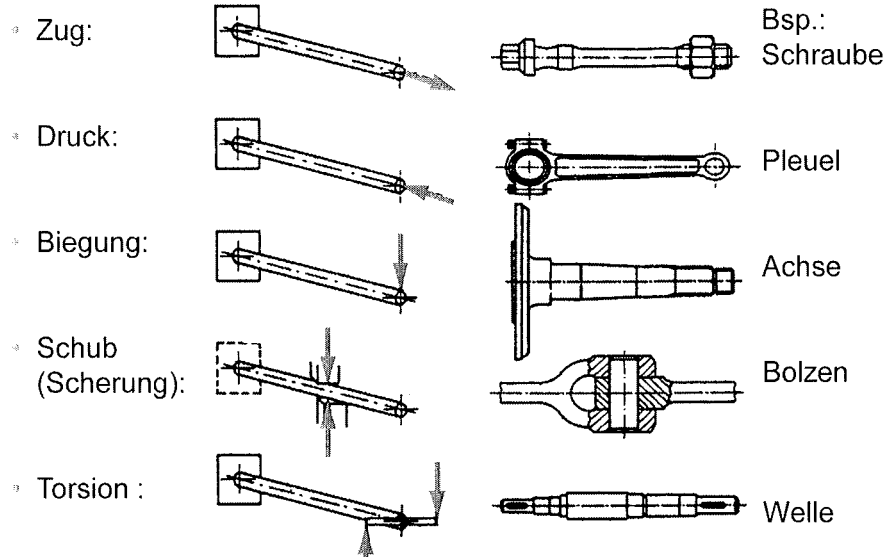
4.7.3 Praktisches Vorgehen

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

4.9 Literaturverzeichnis

4.1 Grundlagen

4.1.1 Grundbelastungsfälle



Quelle:
H. Dietmann

4.1 Grundlagen

4.1.2 Spannungen

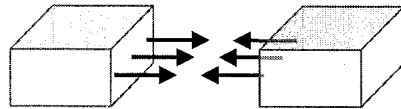
- Grundlage für die Beurteilung der Festigkeit:
Beziehung: Kraft $\leftrightarrow$ beanspruchtem Querschnitt
- $$\frac{F}{A} \text{ bzw. } \frac{dF}{dA} \quad (4.1)$$
- Diese beiden Quotienten kennzeichnen Flächenkräfte.
- Die in einem Querschnitt im Innern eines Körpers auftretenden Flächenkräfte nennt man Spannungen.
- Einheit der Spannung 1 N/mm² (entspricht 1 MPa)
- Man unterscheidet Normalspannungen und Schubspannungen

4.1 Grundlagen

4.1.2 Spannungen - Ursachen

Normalspannungen σ

für Spannungen **senkrecht** zum Querschnitt



Ursache: Längskräfte und Biegemomente

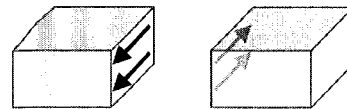
Kraft über
betrachteten
Querschnitt:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ bzw. } \sigma = \frac{dF}{dA} \quad (4.2)$$

- Ungleichmäßige Verteilung $\left(\frac{dF}{dA}\right)$ für bestimmte, besonders interessierende Punkte des betrachteten Querschnitts.
- In der Regel interessieren Ort und Größe der maximalen Spannung $\sigma_{\max}$ bzw. $\tau_{\max}$.

Schubspannungen τ

für Spannungen **parallel** zum Querschnitt



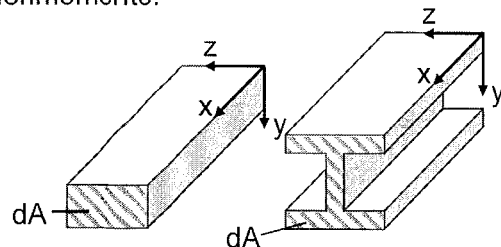
Querkräfte und Torsionsmomente

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ bzw. } \tau = \frac{dF}{dA} \quad (4.3)$$

4.1 Grundlagen

4.1.3 Flächenmomente

- Der Querschnitt einer Fläche ist eine wichtige Größe bei der Berechnung von Spannung und Dehnung
- Man unterscheidet verschiedene Arten der Flächenmomente:
 - 0. Ordnung → **Querschnittsfläche**
 - 1. Ordnung → **Statisches Flächenmoment S**
 - 2. Ordnung → **Flächenträgheitsmoment I**



- Zu beachten ist immer, auf welche Achse sich das Flächenmoment bezieht

4.1 Grundlagen

4.1.3 Flächenmomente

1. Ordnung – statisches Moment

- Geometrische Größe zur Berechnung von **Schubspannung** infolge von Querkraft und für **Schwerpunktberechnung**

- Statisches Moment bezogen auf y-Achse:

$$S_y = \int_A z \cdot dA \quad (4.4)$$

- Statisches Moment bezogen auf z-Achse:

$$S_z = \int_A y \cdot dA \quad (4.5)$$

4.1 Grundlagen

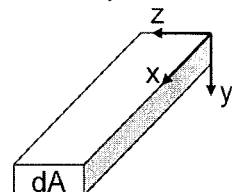
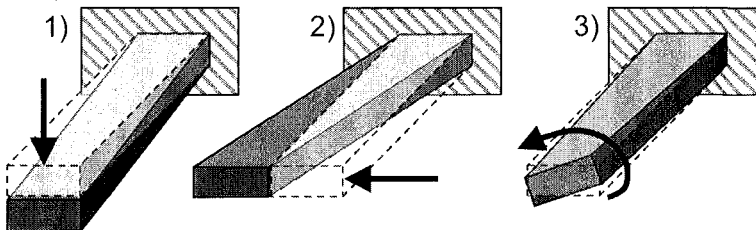
4.1.3 Flächenmomente

2. Ordnung - Flächenträgheitsmoment

- Geometrische Größe zur Berechnung von Spannungen **bei Torsions- und Biegebeanspruchung**

- Man unterscheidet das polare (I_p) und die axialen Flächenträgheitsmomente (I_z, I_y)

- I_y : Widerstand gegen Biegung in y-Richtung $I_y = \int_A z^2 dA$
- I_z : Widerstand gegen Biegung in z-Richtung $I_z = \int_A y^2 dA$
- I_p : Widerstand gegen Torsion (Moment in x-Richtung) $I_p = I_z + I_y$



4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente

Flächenträgheitsmoment bezüglich der z-Achse:

$$I_z = \int_A y^2 \cdot b(y) \cdot dy = \int_A y^2 \cdot dA \quad (4.6)$$

- Betrachtung eines infinitesimalen Flächenelements:

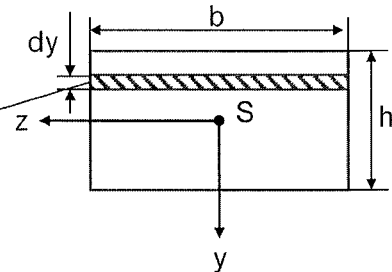
$$dA = b \cdot dy \quad (4.7)$$

- Integration über gesamte Fläche: von $-\frac{h}{2}$ bis $+\frac{h}{2}$, da Schwerpunkt in der Mitte liegt:

$$I_z = \int_{-h/2}^{h/2} y^2 \cdot b \cdot dy$$

$$I_z = \left[\frac{1}{3} y^3 \cdot b \right]_{-h/2}^{h/2}$$

$$I_z = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^3 \cdot b - \frac{1}{3} \cdot \left(-\frac{h}{2}\right)^3 \cdot b \quad \rightarrow \quad \boxed{I_z = \frac{h^3 \cdot b}{12}} \quad (4.8)$$



4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente

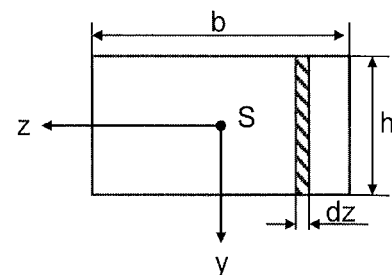
Flächenträgheitsmoment bezüglich der y-Achse (durch S):

$$I_y = \int_A z^2 \cdot b(z) \cdot dz = \int_A z^2 \cdot dA \quad (4.9)$$

$$\boxed{I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12}} \quad (4.10)$$

Merke:

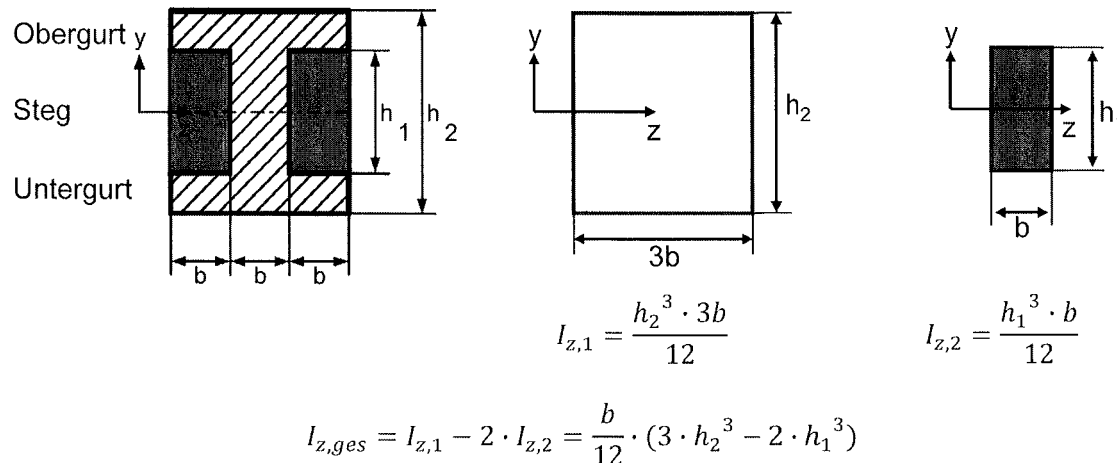
- Die Flächenträgheitsmomente für viele Querschnitte sind tabelliert
- Im allgemeinen Fall ist b eine Funktion von y. Es ist dann die Funktion b(y) in das Integral einzusetzen.
- Flächenträgheitsmomente, die sich auf die gleiche Achse beziehen, können addiert und subtrahiert werden.



4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente

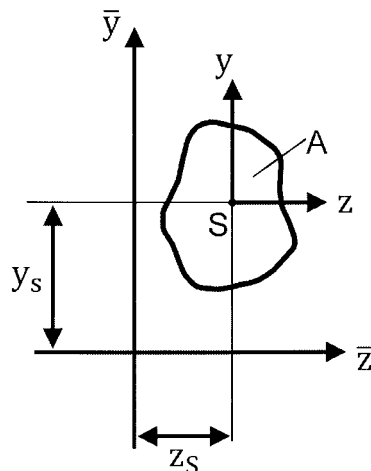
Subtrahieren von Flächenträgheitsmomenten am Beispiel eines Doppel-T-Trägers:



4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente - Satz von Steiner

- Flächenträgheitsmomente, die sich **nicht** auf die gleiche Achse beziehen, lassen sich mit Hilfe des Steinerschen Satzes zusammenfassen



$$I_{\bar{z}} = I_z + y_s^2 \cdot A \quad (4.11)$$

$$I_{\bar{y}} = I_y + z_s^2 \cdot A \quad (4.12)$$

Steiner-Anteil

Flächenträgheitsmoment
bezüglich des
Schwerpunktes

4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente - Satz von Steiner

Vorgehen bei der Berechnung:

1) In bekannte Geometrien aufteilen

2) Schwerpunkte der einzelnen Geometrien bestimmen

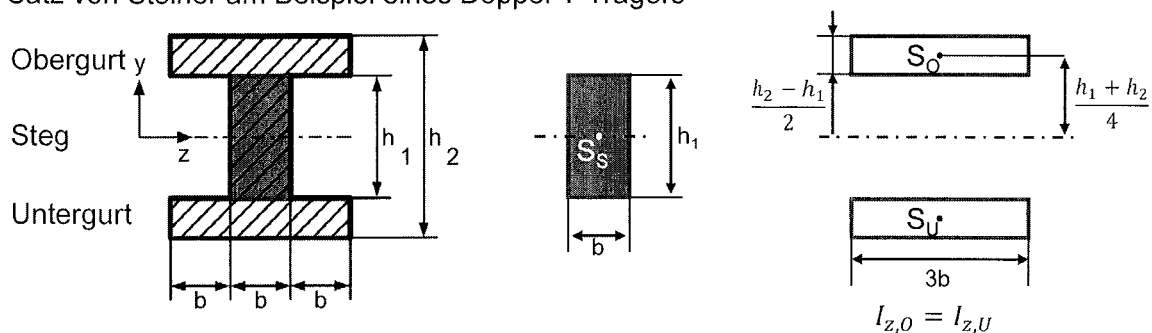
3) Abstand der Einzelschwerpunkte zu den Ausgangsachsen bestimmen

4) Eigenträgheitsmomente und Steineranteile addieren

4.1 Grundlagen

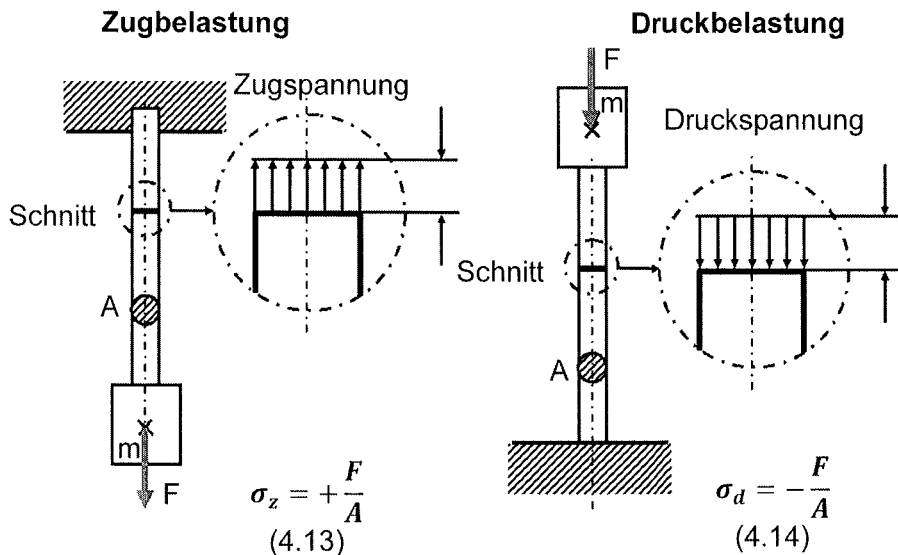
4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente - Satz von Steiner

Satz von Steiner am Beispiel eines Doppel-T-Trägers



$$I_z = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + 2 \cdot \left[\frac{3b \cdot \left(\frac{h_2 - h_1}{2}\right)^3}{12} + \left(\frac{h_1 + h_2}{4}\right)^2 \cdot \frac{(h_2 - h_1)}{2} \cdot 3b \right] = \frac{b}{12} \cdot (3 \cdot h_2^3 - 2 \cdot h_1^3)$$

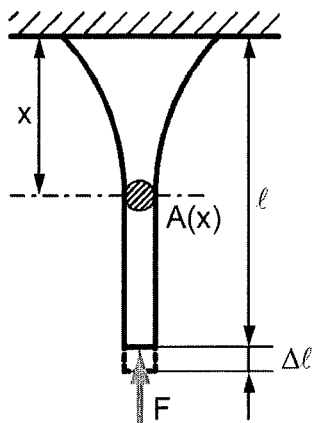
4.2 Normalspannung aus Längskraft



Quelle:
H. Dietmann

4.2 Normalspannung aus Längskraft

- In einem auf Zug oder Druck beanspruchten Bauteil verteilt sich die Beanspruchung in hinreichender Entfernung vom Kraftangriffspunkt gleichmäßig über den ganzen Querschnitt.



Zugspannung: $\sigma_z(x) = +\frac{F}{A(x)}$ (4.15)

Druckspannung: $\sigma_d(x) = -\frac{F}{A(x)}$ (4.16)

4.2 Normalspannung aus Längskraft

- Die Wirkung der Normalspannung ist die Dehnung ε

- Im elastischen Bereich gilt das Hookesche Gesetz:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (4.17)$$

E: Elastizitätsmodul = Werkstoffkenngröße

- Für zylindrische und prismatische Stäbe gilt für die Längsdehnung:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\text{Verlängerung unter Last}}{\text{Länge im unbelasteten Zustand}} \quad (4.18)$$

4.2 Normalspannung aus Längskraft

- Für die Einschnürung (z.B. Durchmesser) gilt:

$$\varepsilon_q = \frac{\Delta d}{d} = \frac{\text{Durchmesseränderung}}{\text{Durchmesser im unbelasteten Zustand}} \quad (4.19)$$

- Die Querkontraktionszahl ist definiert:

$$\frac{\varepsilon_q}{\varepsilon} = \nu \quad (\text{Stahl i.A. } \nu = 0,3) \quad (4.20)$$

4.2 Normalspannung aus Längskräften

Ausknicken unter Druckbelastung - Eulersche Knickfälle

Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
$F_K = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{EI}{l^2}$	$F_K = \pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}$	$F_K = 2\pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}$	$F_K = 4\pi^2 \cdot \frac{EI}{l^2}$

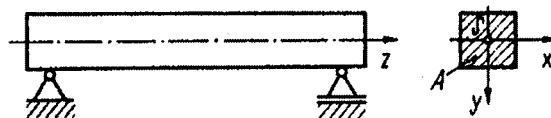
F_K : Knicklast

Live-Inhalt

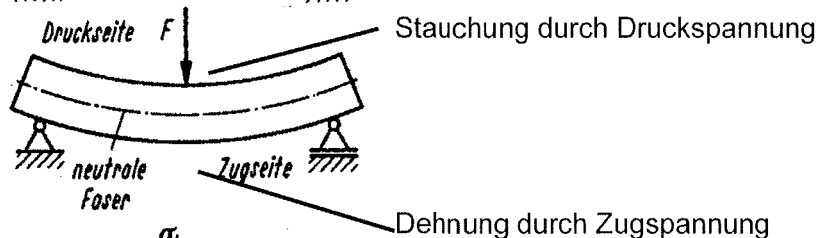
4.3 Normalspannung durch Biegung

Biegebeanspruchung eines zweiseitig aufgelegten Trägers

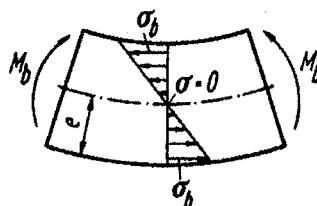
Unverformt:



Durchbiegung:

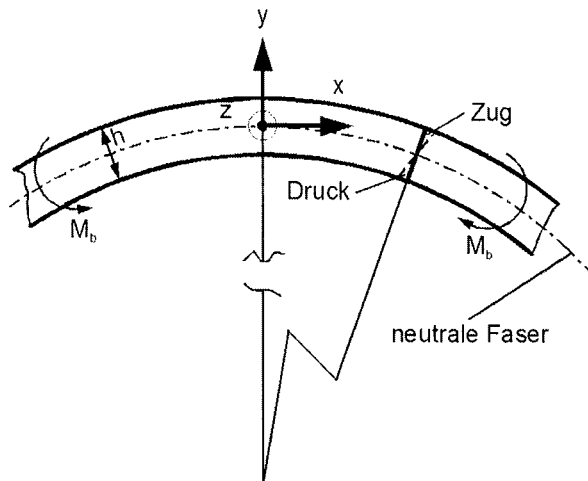


Spannungsverlauf:



4.3 Normalspannung durch Biegung

Beanspruchung eines Biegebalkens durch ein Biegemoment



Annahmen:

- Schubspannungen vernachlässigt
→ ebene Querschnitte senkrecht zur Balkenachse bleiben eben
- Zug-Druckspannungen werden nicht beachtet (werden später superpositioniert)

4.3 Normalspannung durch Biegung

Allgemein gilt:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \text{ (max. Biegespannung)} \quad (4.21)$$

Widerstandsmoment (gegen Biegung):

$$W_z = \frac{\int_A y^2 \cdot b(y) \cdot dy}{e} = \frac{I_z}{e} = W_b \quad (4.22)$$

Mit e = maximaler Randabstand

Merke:

- Widerstandsmomente können – im Gegensatz zu Flächenträgheitsmomenten – weder addiert noch subtrahiert werden!
- Unsymmetrische Querschnitte → verschiedene W_b für Zug/Druck

4.3 Normalspannung durch Biegung

Beanspruchungsgerechte Trägerquerschnitte unter Biegung

Die Wirtschaftlichkeitsforderung verlangt, mit möglichst geringem Materialaufwand zu konstruieren. Bei Trägern bedeutet dies eine geschickte räumliche Anordnung des Werkstoffs.

Forderung:

Spannung:
$$\sigma_{bmax} = \frac{M_b}{I_z} \cdot e = \frac{M_b}{W_b} \leq \sigma_{zul} \quad (4.23)$$

Verformung:
$$f_{max} \leq f_{zul} \sim \frac{M_b \cdot l^2}{E \cdot I_z} \quad (4.24)$$

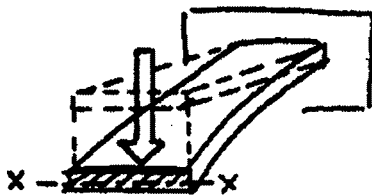
Wirtschaftlichkeit: Masse minimal halten

4.3 Normalspannung durch Biegung

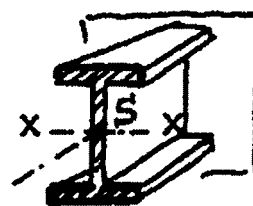
Beanspruchungsgerechte Trägerquerschnitte unter Biegung

Erfahrung:

Flache Profile sind biegeweich:



Hohe Profile sind biegesteif:

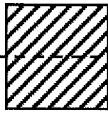


Konstruktive Folgerung:

- Profile verwenden, bei denen der Werkstoff in Durchbiegerichtung weit entfernt von der Stabachse angeordnet ist.
- Bei gleicher Belastung wird die Spannung nur von der Trägerquerschnittsform bestimmt, die Verformung außerdem noch vom E-Modul.

4.3 Normalspannung durch Biegung

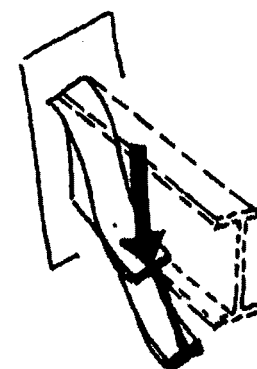
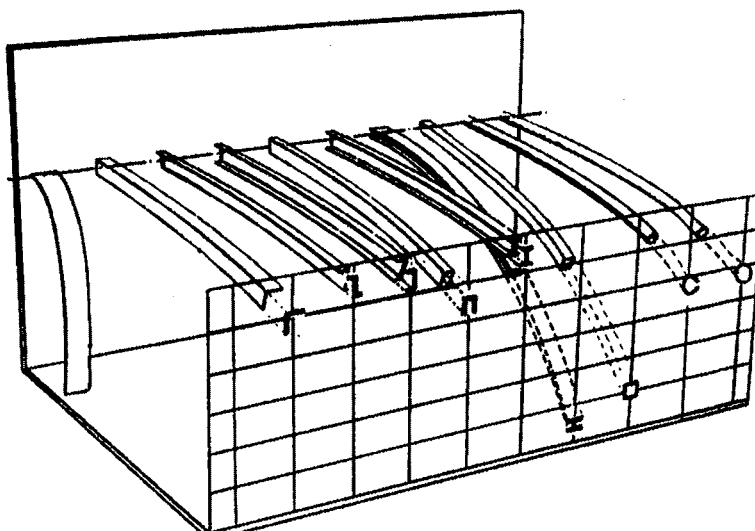
Vergleich verschiedener Trägerquerschnitte mit gleichem Widerstandsmoment

Trägerquerschnitte					
rel. Masse	100%	82	60	31	21
rel. Trägheitsmoment I_z	100%	140	176	224	253
rel. Widerstandsmoment W_b	100%	100	100	100	100

Quelle: H.K. Müller

4.3 Normalspannung durch Biegung

Biegesteifigkeit verschiedener Profilformen bei gleichen Querschnitten

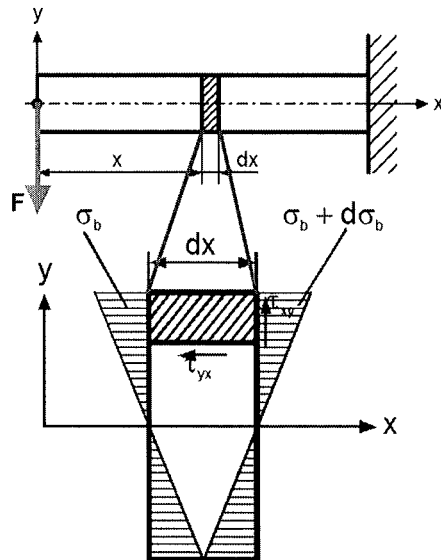


Zu hohe Trägerprofile
neigen zum kippen

Quelle: H.K. Müller

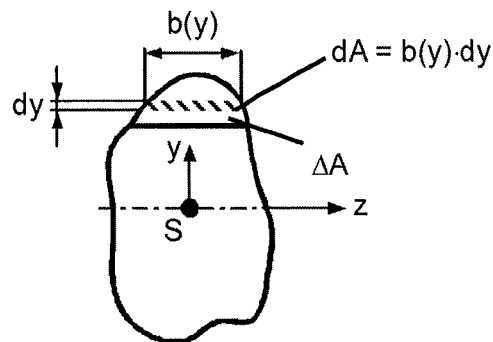
4.4 Schubspannung infolge Querkraft

Schubspannungen im Biegebalken



Querkraft: $F_Q = F$

Moment: $M_b = F \cdot x = F_Q \cdot x \quad (4.25)$



4.4 Schubspannung infolge Querkraft

Betrachtung des Balkenelements an der Stelle x:

- τ_{yx} bedeutet: Schubspannung in Ebene senkrecht zur y-Achse in x-Richtung
- Kräftegleichgewicht am abgetrennten Balkenelement :

$$\sum F_x = 0 \quad (4.26)$$

$$\int_{\Delta A} (\sigma_b + d\sigma_b) \cdot dA - \int_{\Delta A} \sigma_b \cdot dA - \tau_{yx} \cdot b(y) \cdot dx = 0 \quad (4.27)$$

$$\tau_{yx} \cdot b(y) \cdot dx = \int_{\Delta A} \sigma_b \cdot dA \quad (4.28)$$

4.4 Schubspannung infolge Querkraft

$$\text{Mit: } \sigma_b = \frac{M_b \cdot y}{I_z} \quad \rightarrow \quad d\sigma_b = \frac{dM_b \cdot y}{I_z} \quad (4.29)$$

$$\text{Erhält man: } \tau_{yx} \cdot b(y) \cdot dx = \int_{\Delta A} \frac{dM_b \cdot y}{I_z} \cdot dA \quad (4.30)$$

dM_b und I_z sind unabhängig von y , daher:

$$\tau_{yx} = \frac{dM_b}{dx} \cdot \frac{1}{b(y) \cdot I_z} \cdot \int_{\Delta A} y \cdot dA \quad (4.31)$$

$$\text{Mit } S_z(y) = \int_{\Delta A} y \cdot dA = \int_{\Delta A} y \cdot b(y) \cdot dy \quad (4.32)$$

Statisches Moment des abgetrennten Flächenelementes ΔA des Querschnittes bezüglich der z-Achse.

4.4 Schubspannung infolge Querkraft

Mit

$$\frac{dM_b}{dx} = F_Q \quad (4.33)$$

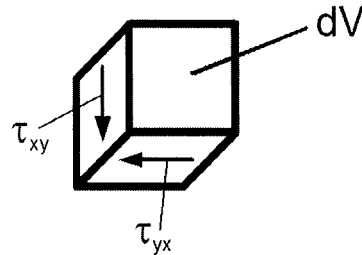
ergibt sich die Schubspannung in x-Richtung (sog. Querschubkraft, d.h. Biegung mit Schub):

$$\tau_{yx} = \frac{F_Q \cdot S_z(y)}{b(y) \cdot I_z} \quad (4.34)$$

4.4 Schubspannung infolge Querkraft

Satz von den zugeordneten Schubspannungen

- In je zwei zueinander senkrechten Ebenen sind die zur Schnittlinie dieser Ebenen senkrechten Schubspannungen gleich und auf diese hin- oder von dieser weg gerichtet.



- Daraus folgt:

$$\tau_{yx} = \tau_{xy} = \frac{F_Q \cdot S_z(y)}{b(y) \cdot I_z} \quad (4.35)$$

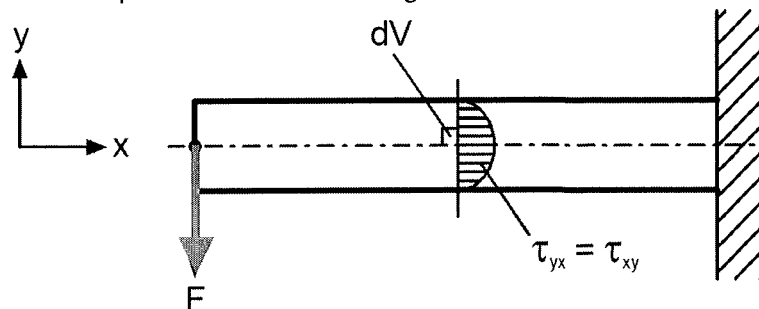
4.4 Schubspannung infolge Querkraft

- Für Rechteckquerschnitte ist b konstant und

$$S_z(y) = b \int_{\Delta A} y \cdot dy \quad (4.36)$$

eine quadratische Funktion von y.

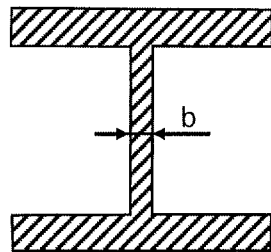
- Damit ergibt sich eine parabolische Verteilung von τ über der Höhenkoordinate y



4.4 Schubspannung infolge Querkraft

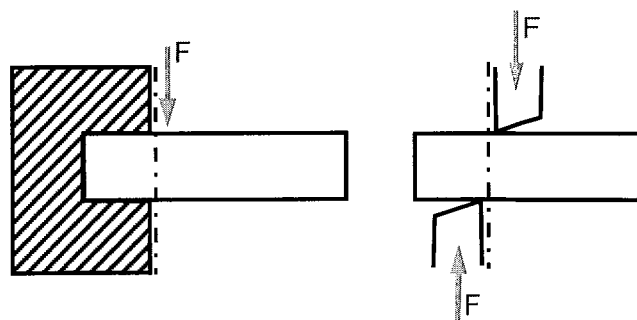
Merke:

- Im allgemeinen sind die Schubspannungen aus Querkraft klein im Vergleich zu den Biegespannungen.
- Ausnahmen stellen sehr kurze Balken mit großem F_Q und kleinem M_b dar sowie Doppel-T-Träger mit sehr schlankem Steg.



4.4 Schubspannung infolge Querkraft

Sonderfall: Abscheren eines Balkens mit Länge $\approx$ Null

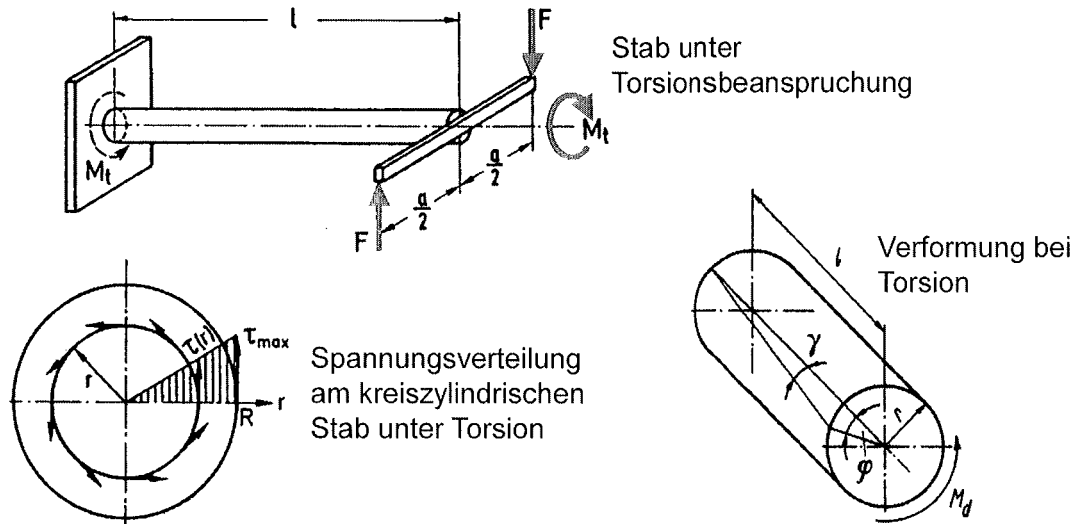


Biegemoment $\rightarrow 0 \rightarrow$ Balken wird im Falle des Versagens also nicht „abgebrochen“, sondern „abgesichert“ und es herrscht im ganzen Querschnitt die gleiche Spannung.

Allgemein gilt: $\tau = \frac{F}{A}$ (sog. Scherspannung) (4.37)

4.5 Schubspannung infolge Torsion

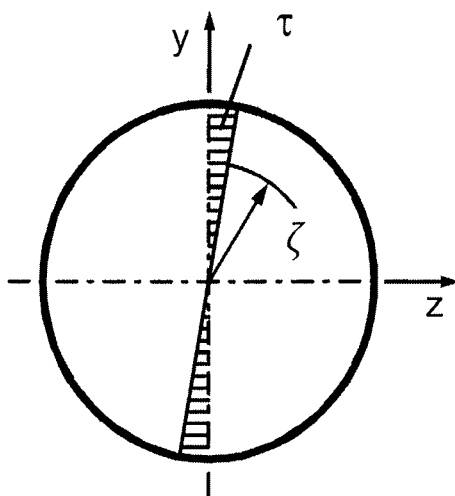
Verformung und Spannungsverteilung bei Torsion



Quelle: H. Dietmann

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte



Torsionsschubspannung an beliebiger Stelle des Querschnitts:

$$\tau = \frac{M_t}{I_p} \cdot \zeta \quad (4.38)$$

Polares Trägheitsmoment des Querschnitts:

$$I_p = \int_A \zeta^2 \cdot dA \quad (4.39)$$

Da $\zeta^2 = z^2 + y^2$ ist, wird

$$I_p = \int_A \zeta^2 \cdot dA = \int_A (z^2 + y^2) \cdot dA \quad (4.40)$$

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreistrunde Querschnitte

Merke:

- Das polare Trägheitsmoment eines Querschnittes ist gleich der Summe zweier Flächenträgheitsmomente (äquatorialer Trägheitsmomente), deren Bezugsachsen aufeinander senkrecht stehen.
- Ähnlich wie Flächenträgheitsmomente können polare Trägheitsmomente, die sich auf den gleichen Pol beziehen, addiert und subtrahiert werden.
- Beide Aussagen gelten nur bei rotationssymmetrischen Querschnitten!

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreistrunde Querschnitte

$$\text{Maximale Schubspannung aus } \tau_{max} = \frac{M_t}{I_p} \cdot \zeta_{max} \quad (4.41)$$

Mit ζ_{max} maximaler Randabstand

$$\text{Allgemein gilt: } \tau_t = \frac{M_t}{W_t} \quad (4.42)$$

Widerstandsmoment gegen Torsion:

$$W_t = \frac{I_p}{\zeta_{max}} = W_p \quad (4.43)$$

(I_p = polares Trägheitsmoment; ζ_{max} = max. Randabstand)

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte – Beispiel Hohlbohren einer Welle

a) Welle mit Vollquerschnitt (VW)

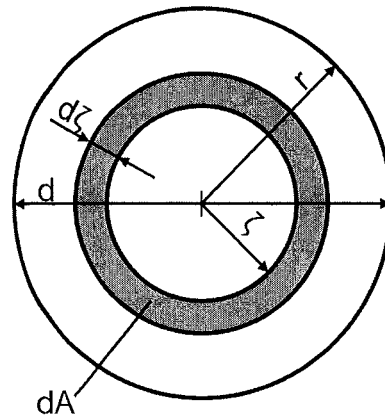
mit $r, d = 2r, M_t$

$$I_p = \int_A \zeta^2 \cdot dA \quad [dA = 2\pi \cdot \zeta \cdot d\zeta]$$

$$I_p = 2\pi \cdot \int_0^r \zeta^3 \cdot d\zeta = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^4 = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

$$W_t = \frac{I_p}{r} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad (4.44)$$

$$\tau_{ta}) = \frac{M_t}{W_t} = 2 \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot r^3} = 16 \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot d^3} \quad (4.45)$$



4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte – Beispiel Hohlbohren einer Welle

b) Welle mit Hohlquerschnitt (HW)

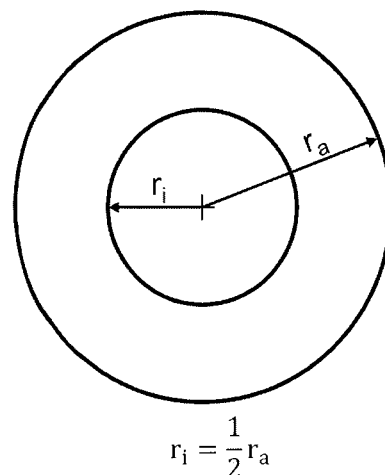
mit $r_a = r, r_i = 1/2 r, M_t$

$$I_p = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^4 - \frac{1}{32} \cdot \pi \cdot r^4 = \frac{15}{32} \cdot \pi \cdot r^4$$

$$W_t = \frac{15}{32} \cdot \pi \cdot r^3 \quad (4.46)$$

$$\tau_{tb}) = \frac{32}{15} \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot r^3} = 2,133 \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot r^3}$$

$$= 17,064 \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot d^3} \quad (4.47)$$



4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte – Beispiel Hohlbohren einer Welle

c) Vergleich zwischen Vollwelle (VW) und Hohlwelle (HW)

- Die Spannungserhöhung durch Hohlbohrungen mit halben Durchmesser beträgt 6,7%
- Soll $\tau_{ta} = \tau_{tb}$ sein, muss r_a im Fall b) vergrößert werden:

$$\frac{2 \cdot M_t}{\pi \cdot r^3} = \frac{2,133 \cdot M_t}{\pi \cdot r_a^3}$$

$$2 \cdot r_a^3 = 2,133 \cdot r^3$$

$$r_a = \sqrt[3]{1,0666 \cdot r^3} = 1,0217 \cdot r$$

→ Die erforderliche Durchmesserergrößerung beträgt nur 2,17%

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte – Beispiel Hohlbohren einer Welle

c) Vergleich zwischen Vollwelle (VW) und Hohlwelle (HW)

- Querschnittsfläche zur Bestimmung der Gewichtseinsparnis

$$\text{Aus a): } A_{(VW)} = \pi \cdot r^2$$

$$\text{Aus b): } A_{(HW)} = \pi \cdot \left(r_a^2 - \frac{r_a^2}{4} \right) = \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot r_a^2 = \frac{3}{4} \cdot A_{(VW)} \quad \text{bei } r_a = r$$

Wird der Außendurchmesser der Hohlwelle angepasst mit:

$$r_a = 1,0217 \cdot r \rightarrow A_{(HW)} = \frac{3,132}{4} \cdot \pi \cdot r^2$$

Ergibt sich die Differenz der Querschnitte zu:

$$A_{(VW)} - A_{(HW)} = 0,217 \cdot \pi \cdot r^2$$

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte – Beispiel Hohlbohren einer Welle

c) Vergleich zwischen Vollwelle (VW) und Hohlwelle (HW)

- Die Gewichtsersparnis durch Hohlbohren einer Welle mit $d/2$ beträgt 25 %
- Vergrößern des Außendurchmessers der Hohlwelle zur Erzielung gleicher Bauteilbelastung aus Torsion führt noch zu einer Gewichtsersparnis durch Hohlbohren von ca. 22 %

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.2 Dünnwandige Querschnitte

Kreisquerschnitt: es sei $t \ll r$, d.h. $\tau = \text{konst.}$

$$\tau_t = \frac{F_u}{A_R} \quad (4.48)$$

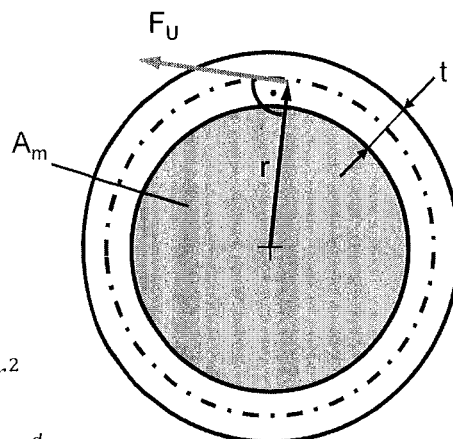
$$\text{Umfangskraft: } F_u = \frac{M_t}{r}$$

$$\text{Ringfläche: } A_R = \pi \cdot r \cdot t$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{r \cdot 2\pi \cdot r \cdot t} = \frac{M_t}{2\pi \cdot r^2 \cdot t}$$

Mit mittlerer einbeschriebener Kreisfläche $A_m = \pi \cdot r^2$

$$\text{Folgt } \tau_t = \frac{M_t}{2 \cdot A_m \cdot t} \quad (4.49) \text{ anwendbar für } r \geq 5 \cdot t \text{ bzw. } \frac{d_a}{d_i} \leq 1,2$$



4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.2 Dünnwandige Querschnitte

Die Gleichung (4.49) gilt auch für Querschnitte mit veränderlicher Wandstärke, wobei der Schubfluss $\tau \cdot t = \text{konst.}$ ist.

Mit $t = t_{\min}$ ergibt sich

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{2 \cdot A_m \cdot t_{\min}} \quad (4.50)$$

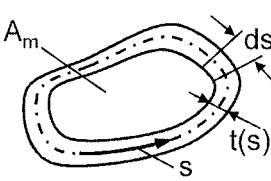
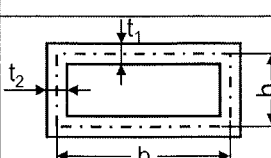
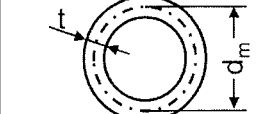
Oder allgemein an beliebiger Stelle:

1. Bredtsche Formel:

$$\tau = \frac{M_t}{2 \cdot A_m \cdot t} \quad (4.51)$$

4.5 Schubspannung infolge Torsion

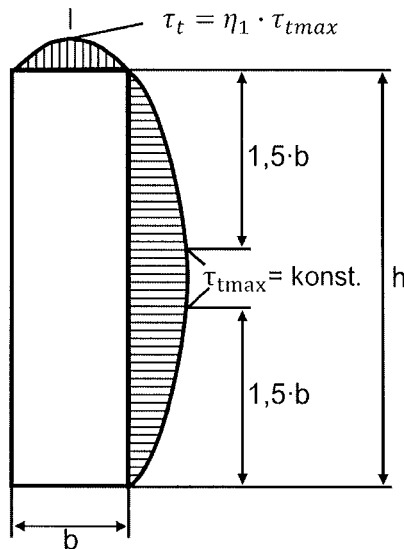
4.5.2 Dünnwandige Querschnitte – Anwendung der Bredtschen Formel

Querschnitt	I_p	W_t	Bemerkungen
	$\frac{4A_m^2}{\oint ds/t(s)}$ Für konstante Wanddicke t: $\frac{4A_m^2 t}{U}$	$2A_m t_{\min}$ $2A_m t$	A_m = von Mittellinie eingeschlossene Fläche, U = Umfang der Mittellinie $\tau_{\max}$ an Stelle, wo $t = t_{\min}$ Es gilt: $\tau(s) \cdot t(s) = \frac{M_t}{2A_m} = \text{konst.}$
	$\frac{4(bh)^2}{2(b/t_1 + h/t_2)}$	$2bht_{\min}$	$\tau_{\max}$ dort, wo $t = t_{\min}$
	$\frac{\pi d_m^3 t}{4}$	$\frac{\pi d_m^2 t}{2}$	

Quelle: Dubbel

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.3 Rechteckige Querschnitte



$$I_p = \eta_3 \cdot b^3 \cdot h \quad (4.52)$$

$$W_t = \eta_2 \cdot b^2 \cdot h \quad (4.53)$$

$$\tau_{t,ma} = \frac{M_t}{W_t} \quad (4.54)$$

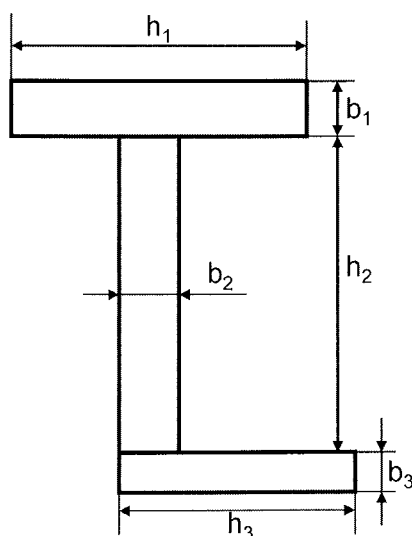
Falls $h \leq 3b$, ist τ über die lange Seite parabolisch verteilt

η_1, η_2, η_3 sind abhängig von $\frac{b}{h}$

h/b	1	1,5	2	3	4	6	8	10	∞
η_1	1,00	0,858	0,796	0,753	0,743	0,743	0,743	0,743	0,743
η_2	0,208	0,231	0,246	0,267	0,282	0,299	0,307	0,313	0,333
η_3	0,140	0,196	0,229	0,263	0,281	0,299	0,307	0,313	0,333

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.4 Zusammengesetzte Querschnitte



Zusammengesetzte Querschnitte werden als aus Streifenquerschnitten zusammengesetzt behandelt:

→ Für $\eta_3 \rightarrow \infty$

$$I_p \approx \frac{1}{3} \cdot [b_1^3 \cdot h_1 + b_2^3 \cdot h_2 + b_3^3 \cdot h_3 + \dots] \quad (4.55)$$

$$I_p \approx I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} + \dots \quad (4.56)$$

$$W_t \approx \frac{I_p}{b_{max}} \quad (4.57)$$

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.5 Ergänzungen zur Schubspannung aus Torsion

Verdrehen des Bauteils unter Torsion:

Für alle behandelten Querschnitte mit konstantem I_p über der Länge gilt:

$$\varphi = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I_p} \quad (4.58)$$

Mit:

φ : Verdrehwinkel (im Bogenmaß)

l : Länge des verdrehten Stabes

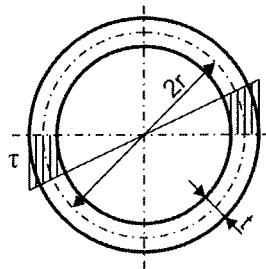
G : Schubmodul

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.5.2 Vergleich offene/ geschlossene Querschnitte

Beispiel: Dünnwandiger Kreisquerschnitt

Für $r = 10$, $t = 1$



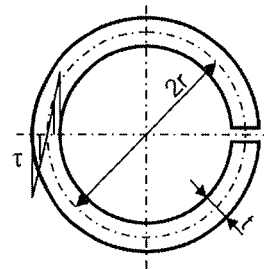
Geschlossen:

$$I_p = 2\pi \cdot r^3 \cdot t = 2000 \cdot \pi$$

d.h. Verdrehung ca. 1:300

$$W_t = 2\pi \cdot r^2 \cdot t = 200 \cdot \pi$$

d.h. Torsionsspannung 1:30



Offen:

$$I_p = \frac{1}{3} \cdot 2\pi \cdot r \cdot t^3 = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r \cdot t^3 = 6,666 \cdot \pi$$

↳ Für $\eta_3 \rightarrow \infty$

$$W_t = \frac{1}{3} \cdot 2\pi \cdot r \cdot t^2 = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot e \cdot t^2 = 6,666 \cdot \pi$$

↳ Für $\eta_2 \rightarrow \infty$

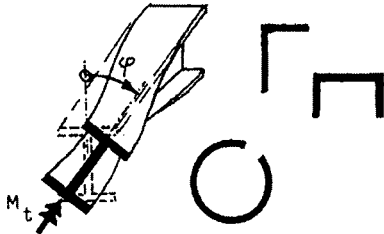
4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.5.2 Vergleich offene/ geschlossene Querschnitte

Beanspruchungsgerechte Trägerquerschnitte unter Torsion

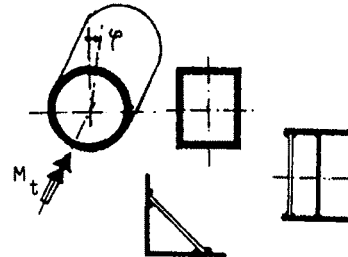
Erfahrung: **Offene Profile**

sind torsionsweich



Geschlossene Profile:

sind torsionssteif



Konstruktive Folgerung:

Geschlossene Hohlprofile verwenden, bei denen der Werkstoff möglichst weit entfernt von der Stabachse angeordnet ist. Bei gleichem Torsionsmoment wird die Spannung nur von der Trägerquerschnittsform bestimmt, die Verformung außerdem noch vom E-Modul.

4.5 Schubspannung infolge Torsion

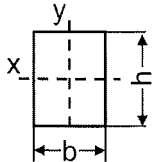
4.5.6 Flächenträgheits- und Widerstandsmomente (Auszug)

Querschnitt	Äquatoriale Flächenträgheitsmomente I_x, I_y	Widerstandsmomente gegen Biegung W_{bx}, W_{by}	Polares Flächenträgheitsmoment I_p bzw. Drillungswiderstand I_t	Widerstandsmoment gegen Torsion W_t
	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{4} r^4$ $\approx 0,05 d^4$	$W_{bx} = W_{by} = \frac{\pi}{32} d^3$ $= \frac{\pi}{4} r^3$ $\approx 0,1 d^3$	$I_t = I_p = \frac{\pi}{32} d^4$ $\approx 0,1 d^4$	$W_t = \frac{\pi}{16} d^3$
	$I_x = I_y$ $= \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $= \frac{\pi}{64} D^4 (1 - \varrho^4)$ $= \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)$	$W_{bx} = W_{by}$ $= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$ $= \frac{\pi}{32} \cdot D^3 (1 - \varrho^4)$ $= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{R^4 - r^4}{R}$	$I_t = I_p$ $= \frac{\pi}{32} \cdot (D^4 - d^4)$ $= \frac{\pi}{32} \cdot D^4 (1 - \varrho^4)$ $= \frac{\pi}{2} \cdot (R^4 - r^4)$	$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$ $= \frac{\pi}{16} D^3 (1 - \varrho^4)$

Quelle: W. Krause

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.6 Flächenträgheits- und Widerstandsmomente (Auszug)

Querschnitt	Äquatoriale Flächenträgheitsmomente I_x, I_y	Widerstandsmomente gegen Biegung W_{bx}, W_{by}	Polares Flächenträgheitsmoment I_p bzw. Drillungswiderstand I_t	Widerstandsmoment gegen Torsion W_t
	$I_x = \frac{1}{12} b h^3$ $I_y = \frac{1}{12} b^3 h$	$W_{bx} = \frac{1}{6} b h^2$ $W_{by} = \frac{1}{6} b^2 h$	$I_t = \eta_3 b^3 h$ Werte für η_3 siehe Kapitel 4.5.3	$W_t = \eta_2 b^2 h$ Werte für η_2 siehe Kapitel 4.5.3

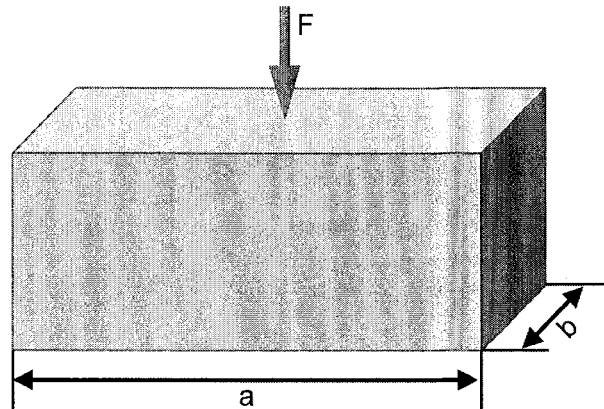
4.6 Flächenpressung

Druckspannung an der Oberfläche zweier Körper, die sich in einer gemeinsamen Fläche berühren und Druckkräfte aufeinander ausüben.

Zur Vereinfachung wird angenommen:

1. Die gemeinsame Fläche ist eben.
2. Die Körper sind im Bereich der Berührungsfläche starr.
3. Die Druckkraft verteilt sich gleichmäßig auf die Berührungsfläche.

4.6 Flächenpressung



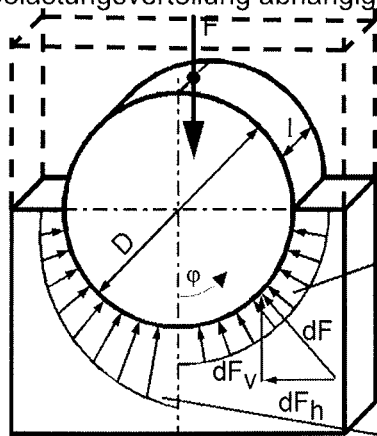
$$\sigma_d = p = \frac{F}{A} = \frac{F}{a \cdot b} \quad (4.59)$$

4.6 Flächenpressung

Unterschiedliche Pressungsverteilungen

Besondere Form der Flächenpressung: **Lochleibung**

Belastungsverteilung abhängig von Passung



Gleichmäßige Verteilung
der Flächenpressung

→ **Übergangspassung,
Presspassung**

Ungleichmäßige Verteilung
der Flächenpressung

→ **Spielpassung**

4.6 Flächenpressung

Ermittlung der mittleren Flächenpressung der Spielpassung unter Annahme konstanter Pressung:

Für die lokale Kraft an einem kleinen Flächenstück der Kontaktfläche gilt

$$dF = p \cdot dA = p \cdot \frac{D}{2} \cdot l \cdot d\varphi \quad (4.60)$$

Mit den vertikalen Komponenten $dF_v = \cos(\varphi) \cdot dF$ und Betrachtung einer Hälfte des Systems ergibt sich:

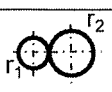
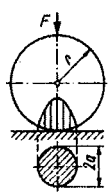
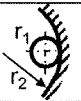
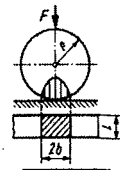
$$\frac{F}{2} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} p \cdot \frac{D}{2} \cdot l \cdot \cos(\varphi) d\varphi = p \cdot \frac{D}{2} \cdot [\sin(\varphi)]_0^{\frac{\pi}{2}} = p \cdot \frac{D}{2} \cdot l \quad (4.61)$$

Damit der mittlere Druck

(Lochleibung): $p = \frac{F}{D \cdot l} = \frac{F}{A}$

4.6 Flächenpressung

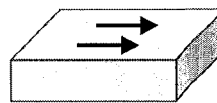
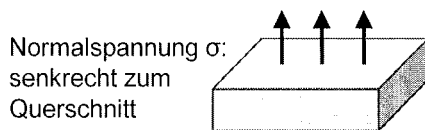
Berührungsverhältnisse und Berechnungsgleichungen bei Hertzscher Pressung

Berührverhältnisse	Radien	Abplattung	Maximale Pressung
Kugel gegen Kugel 	$R = r_2$	 $a = \sqrt[3]{\frac{1,5(1 - \nu^2)Fr}{E}}$	$p_{max} = 1,5 \cdot \frac{F}{a^2\pi}$ a: Druckradius Bei unterschiedlichen E-Modulen: $E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$
Kugel gegen Hohlkugel 	$R = -r_2$		
Kugel gegen Ebene 	$R = \infty$		
Zylinder gegen (Hohl-) Zylinder	Siehe Kugel gegen (Hohl-) Kugel	 $b = \sqrt[3]{\frac{8Fr(1 - \nu^2)}{\pi EI}}$	$p_{max} = \frac{2F}{\pi bl}$ B: halbe Druckflächenbreite l: Druckflächenlänge
Zylinder gegen Ebene	Siehe Kugel gegen Ebene		

Quelle: W. Krause

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

- Bauteile unterliegen häufig gleichzeitig mehreren Beanspruchungen.
- Diese Beanspruchungen können gleichartige oder ungleichartige Spannungen hervorrufen.
- Beispiele:
 - gleichartige Spannungen: Zug und Biegung (Normalspannungen)
 - ungleichartige Spannungen: Biegung und Torsion (Normal- und Schubspannung)



Schubspannung τ :
Parallel zum
Querschnitt

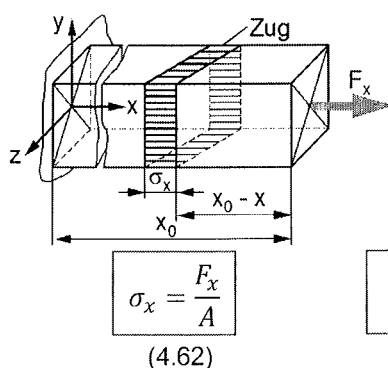
- Um ein Kriterium für die Beanspruchung des Bauteils im Vergleich zur Festigkeit des Werkstoffes zu gewinnen → Spannungen zusammenfassen

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

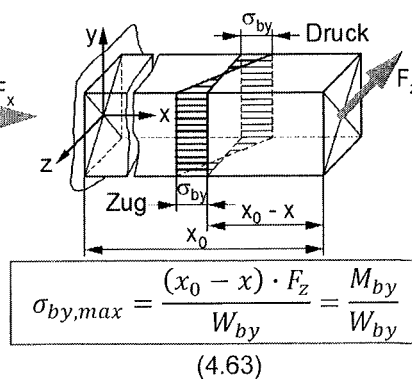
4.7.1 Gleichartige Spannungen

- Treten an einem Querschnitt mehrere gleichartige Spannungen (aus verschiedenen Ursachen, d.h. Beanspruchungen) auf, so lassen sie sich algebraisch addieren, wenn sie in derselben Wirkungsline liegen.

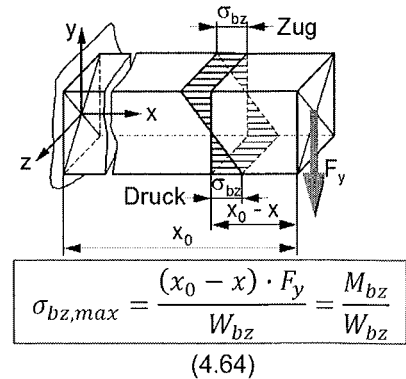
• Zug in x-Richtung:



• Biegung um die y-Achse:



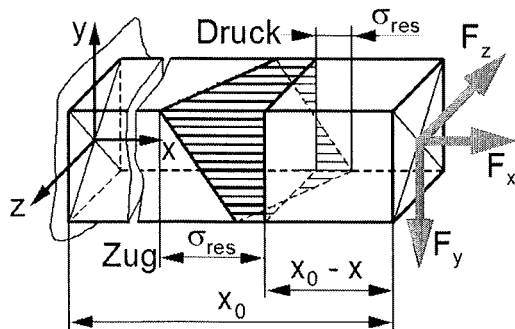
• Biegung um die z-Achse:



4.7 Zusammenfassung von Spannungen

4.7.1 Gleichartige Spannungen

- Überlagerung aller drei Lastfälle:

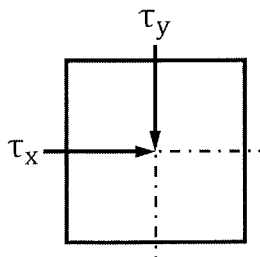


$$\sigma_{res,max} = \sigma_x + \sigma_{by,max} + \sigma_{bz,max} \quad (4.65)$$

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

4.7.1 Gleichartige Spannungen

- Liegen die gleichartigen Spannungen nicht in derselben Wirkungslinie, sind sie geometrisch zu addieren.
- Diese Regel kann sich naturgemäß nur auf Schubspannungen beziehen, da Normalspannungen nur eine Wirkungslinie – senkrecht zum Querschnitt – haben können.



$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \quad (4.66)$$

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

4.7.2 Ungleichartige Spannungen

Gleichzeitige Beanspruchung eines Bauteils durch Normal- und Schubbeanspruchung (z.B. Biegung und Verdrehen)

Keine einfache Zusammensetzung der Spannungen möglich

Es wurden verschiedene Hypothesen aufgestellt, mit denen ein mehrachsiger Spannungszustand auf einen einachsigen zurückgeführt werden kann
→ Vergleichsspannung (ideelle Spannung)

Normalspannungshypothese (NH)

Schubspannungshypothese (SH)

Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)

→ für die Anwendung im Maschinenbau am besten geeignet

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

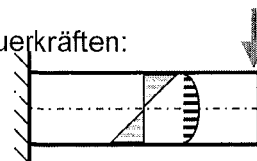
4.7.2 Ungleichartige Spannungen

Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH):

- › Damit lässt sich die an einer Stelle des Bauteils herrschende Normalspannung und Schubspannung zusammenfassen mit:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (4.67)$$

- › Die Vergleichsspannung ermöglicht eine Beurteilung der Beanspruchung des Bauteils.
- › Sie kann mit den aus einachsigen Versuchen ermittelten Werkstoff-Festigkeiten oder zulässigen Spannungen verglichen werden. Diese Werkstoffwerte sind dabei Normalspannungen.
- › Schub- und Normalspannung (Biegung) infolge von Querkraften:



4.7 Zusammenfassung von Spannungen

4.7.3 Praktisches Vorgehen

1. Ort der höchsten Beanspruchung im Querschnitt suchen.

2. Gleichartige Spannungen algebraisch oder geometrisch addieren (Gesamtspannung).

3. Ungleichartige (Gesamt-)Spannungen zur Vergleichsspannung σ_v zusammenfassen.

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

4.7.3 Praktisches Vorgehen

Vergleichsspannung nach NH, SH und GEH für zwei- und dreiachsigen Spannungszustand:

Festigkeits- hypothese	Vergleichsspannungen			
	Spannungszustand			
	dreiachsrig	zweiachsrig		
	$\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$	$\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3 = 0^{**}$	$\sigma_x; \sigma_y; \tau_{xy}$	$\sigma_b; \tau_t$
Normalspannungs- hypothese (NH)	σ_1 (Zug) bzw. σ_3 (Druck)	σ_1	$\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$	$\frac{\sigma_b}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau_t^2}$
Schubspannungs- hypothese (SH)	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_1	$\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}^{***}$	$\sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau_t^2}$
Gestaltänderungs- energiehypothese (GEH)	$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$	$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$	$\sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_t^2}$

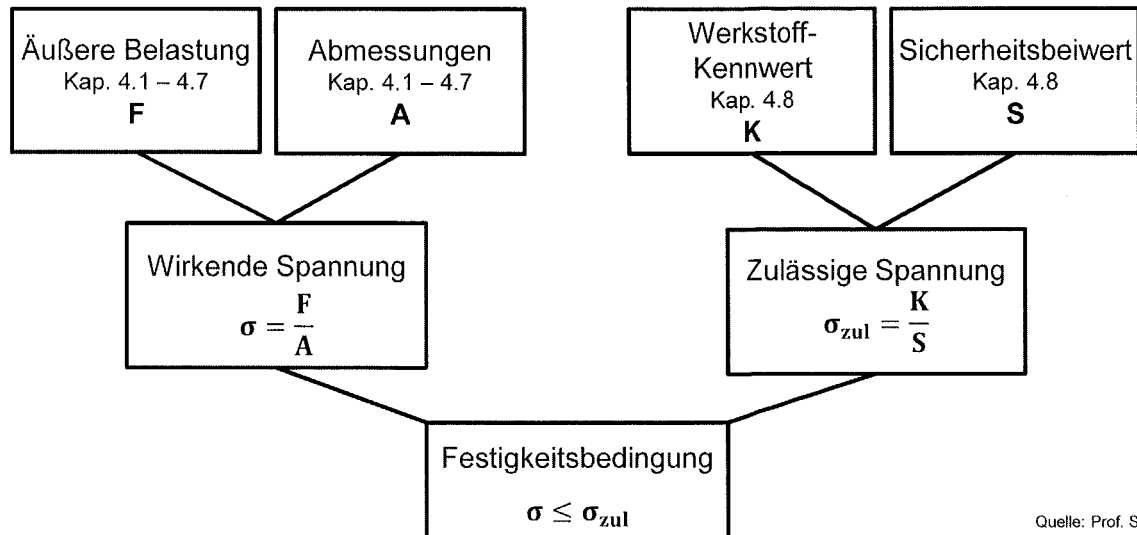
** Für die Fälle $\sigma_1 > 0; \sigma_2 = 0; \sigma_3 < 0$ bzw. $\sigma_1 = 0; \sigma_2 < 0; \sigma_3 < 0$ ergibt sich σ_v aus Spalte 1

*** gilt nur für $\sigma_x \sigma_y \leq \tau_{xy}^2$; für $\sigma_x \sigma_y > \tau_{xy}^2$ ist $\sigma_v(\text{SH}) = \sigma_v(\text{NH})$

Quelle: Prof. Schmauder,
IMWF Universität Stuttgart

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

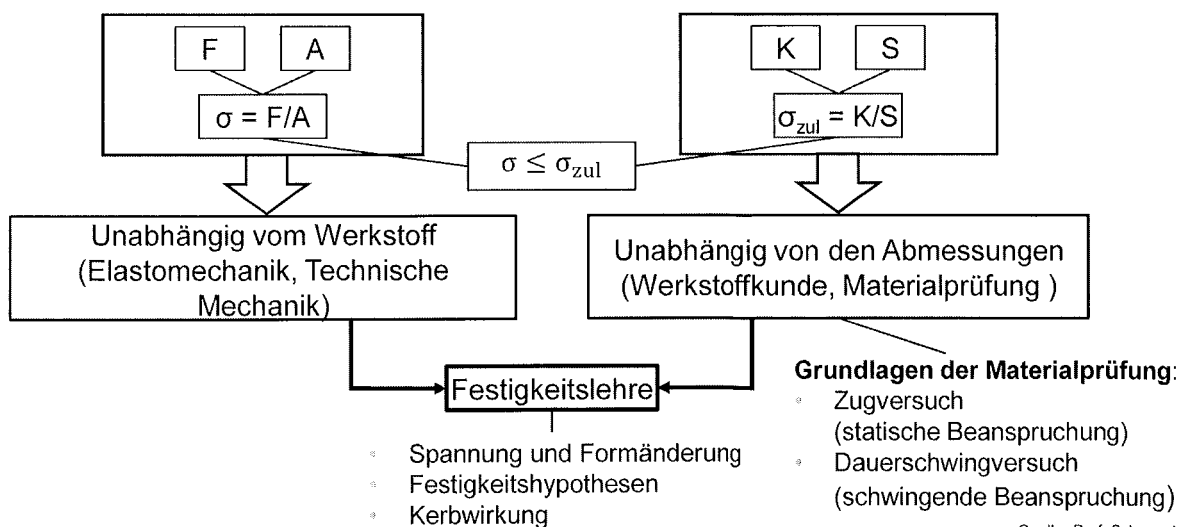
Schema der Festigkeitsberechnung



Quelle: Prof. Schmauder,
IMWF Universität Stuttgart

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

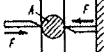
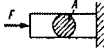
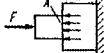
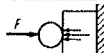
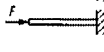
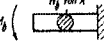
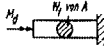
Aufgaben und Inhalte der Festigkeitsberechnung



Quelle: Prof. Schmauder,
IMWF Universität Stuttgart

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Grundbeanspruchungsarten und Berechnungsgleichungen

Beanspruchungsart	Wirkung der Kraft/ des Moments	Berechnung der Nennspannung
Zug		$\sigma_z = \frac{F}{A} \leq \sigma_{z,zul}$
Scherung		$\tau_a = \frac{F}{A} \leq \tau_{a,zul}$
Druck		$\sigma_d = -\frac{F}{A} \leq \sigma_{d,zul}$
Flächenpressung		$p = \frac{F}{A} \leq p_{zul}$
Hertzsche Pressung		--
Knickung		$\sigma_d = -\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_k}{S_k} \quad (\text{Knicksicherheit } S_k=3\dots 6)$
Biegung		$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \leq \sigma_{b,zul}$
Torsion		$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \leq \tau_{t,zul}$

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Sicherheitsbeiwert

Festigkeitsnachweis

$$\sigma \leq \sigma_{zul} = \frac{K}{S} \quad \tau \leq \tau_{zul} = \frac{K}{S} \quad (4.68)$$

S: Sicherheitsbeiwert (berücksichtigt Unsicherheiten und Versagensfolgen)

S_F : 1,2 – 2 (gegen Fließen)

S_B : 2 – 3 (gegen Bruch)

$S_{B,spröd}$: 4 – 9 (gegen Sprödbruch)

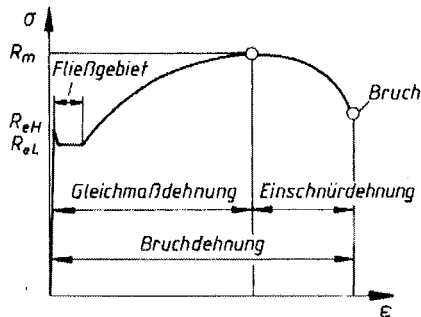
S_K : 3 – 6 (gegen Knicken)

Wahl des Sicherheitsfaktors abhängig von:

- Art der Lasteinleitung
- Werkstoffkennwert

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Werkstoffkennwerte



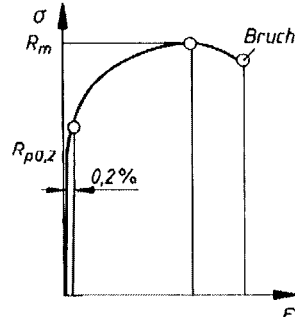
- Stähle mit ausgeprägter Fließgrenze

R_m : Zugfestigkeit

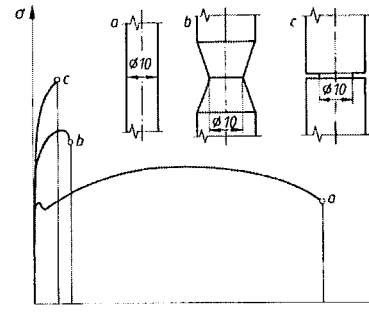
R_{eH} : obere Streckgrenze

R_{eL} : untere Streckgrenze

$R_{p0.2}$: 0,2 Dehngrenze



- Stähle mit nicht ausgeprägter Fließgrenze



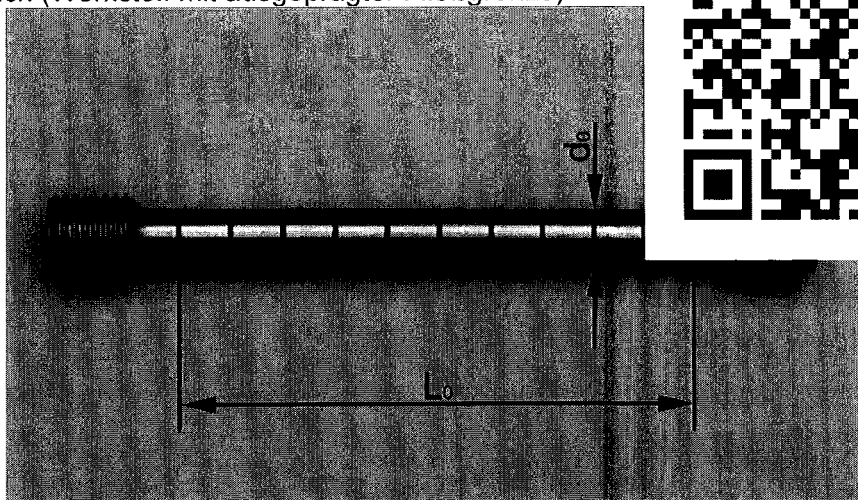
- Spannungs-Dehnungs-Verlauf für unterschiedlich stark gekerbte Probestäbe

Quelle: Matex

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Werkstoffkennwerte

- Zugversuch (Werkstoff mit ausgeprägter Fließgrenze):



Quelle:

Youtube: RainerSchwab, Zugversuch

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Spannungen und Werkstoffkennwerte für statische Beanspruchung bei Raumtemperatur

Beanspruchungsart	Spannung	Werkstoffkennwert		
		Bezeichnung	Zeichen	Ersatzwert bei Stahl
Zug	$\sigma_z = \frac{F}{A}$	Streckgrenze (Fließgr.) 0,2-Dehngrenze Zugfestigkeit	R_e $R_{p0,2}$ R_m	
Druck ¹⁾	$\sigma_d = \frac{F}{A}$	Druckfließgrenze Druckfestigkeit	σ_{dF} σ_{dB}	R_e bzw. $R_{p0,2}$
Biegung	$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$	Biegefließgrenze Biegefestigkeit	σ_{bF} σ_{bB}	R_e bzw. $R_{p0,2}$
Schub	$\tau = \frac{F}{A}$	Scherfestigkeit	τ_{aB}	$(0,65 - 0,75) R_m$
Torsion	$\tau_t = \frac{M_t}{W_t}$	Torsionsfließgrenze Torsionsfestigkeit	τ_{tF} τ_{tB}	$0,58 R_e$ bzw. $0,58 R_{p0,2}$ R_m

¹⁾ Bei Druckbeanspruchung muss stets die Versagensmöglichkeit durch Knicken beachtet werden

Quelle: Prof. Schmauder,
IMWF Universität Stuttgart

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Dynamische Belastung - Belastungsfälle

Es werden allgemein drei Belastungsfälle unterschieden:

Fall 1: ruhend

(F bzw. M sind annähernd konstant)

Fall 2: schwellend

(F bzw. M ändern sich, Richtung gleichbleibend)

Fall 3: wechselnd

(F bzw. M ändern sich, Richtung wechselnd)

Live-Inhalt

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Dynamische Belastung - Belastungsfälle

Allgemein gilt:

σ_a : Spannungsamplitude

σ_o, σ_u : Ober-, Unterspannung

σ_m : Mittelspannung

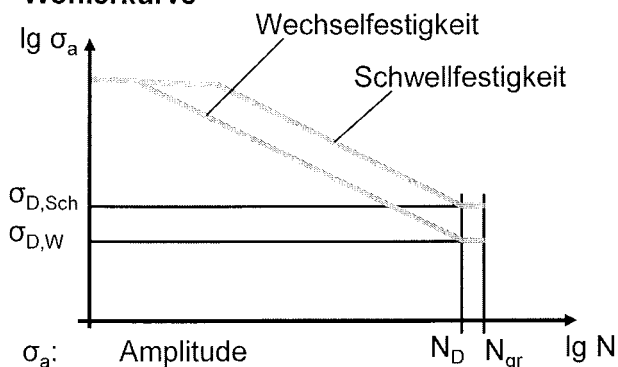
Live-Inhalt

Der allgemeine Fall ist durch die mittlere und die Ausschlagbelastung gekennzeichnet. Die daraus resultierende Beanspruchung zeigt das Bild für eine Normalspannung (gilt analog für τ).

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

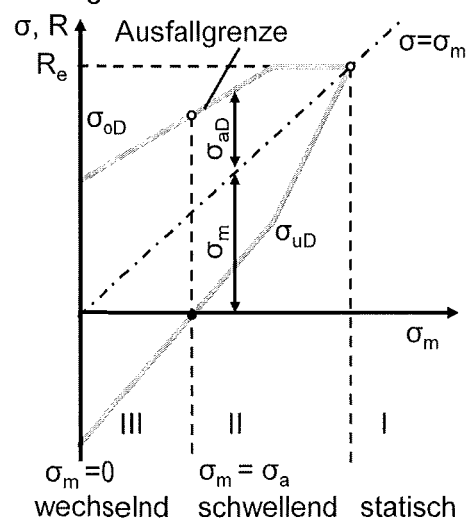
Dynamische Belastung - Zeit- und Dauerfestigkeit

Wöhlerkurve



σ_a : Amplitude
 σ_D : Dauerfestigkeit
 N : Lastwechsel
 N_D : Schwingspielzahl am Knickpunkt
 N_{gr} : Grenzwertspielzahl

Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith



Quelle: Matek

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Werkstoffkennwerte

Werkstoff	Kurzname	R_m in N/mm ²	$R_e / R_{p0,2}$ in N/mm ²
Stahl	S235	360	235
	C45E	700	490
Aluminiumlegierung	AlCuMgPb	340	220
	AlZn4,5Mg1	350	280
	AlZnMgCu1,5	540	480

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Zulässige Spannungen und Besonderheiten

Werkstoff \ Lastfall	duktil		spröd
	Fließen	Bruch	Bruch
Zug	R_e / S_F	R_m / S_B	R_m / S_B
Druck	$-R_e / S_F$	--	σ_{dB} / S_B
Knicken	$-F_K / A \cdot S_K$	--	$-F_K / A \cdot S_K$
Biegung	R_e / S_F	--	σ_{bB} / S_B
Schub	--	$0,7 \cdot R_m / S_B$	--
Torsion	$0,58 \cdot R_e / S_F$	R_m / S_B	R_m / S_B
Sicherheits- beiwerte	1,2 - 2	2 - 3	4 - 9
typisch	1,5	2	4

$S_K = 2,5 - 5 (3,5)$

Quelle: Prof. Schmauder,
IMWF Universität Stuttgart

4.9 Literaturverzeichnis

- Schmauder S.: Einführung in die Festigkeitslehre, Vorlesungsskript, Universität Stuttgart, 2016
- Dietmann H.: Einführung in die Elastizitäts- und Festigkeitslehre, 3. Auflage. Alfred Kröner Verlag, 1992
- Binz H.: Konstruktionslehre I, Vorlesungsskript, Universität Stuttgart, 2016
- Roloff H., Matek W.: Maschinenelemente, 22. Auflage, Vieweg Verlag, 2015
- Krause W.: Grundlagen der Konstruktion, 9. Auflage, Hanser-Verlag München Wien, 2012
- Gross D. et al.: Technische Mechanik 1: Statik, 14. Auflage, Springer Vieweg, 2019
- Gross D. et al.: Technische Mechanik 2: Elastostatik, 13. Auflage, Springer Vieweg, 2017

5. Grundlagen der Gestaltung

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

- 5.1.1 Funktionsgerecht
- 5.1.2 Festigkeitsgerecht – Werkstoffgerecht
- 5.1.3 Fertigungsgerecht - Kostengerecht – Montagegerecht
- 5.1.4 Gestaltungs- oder Formelemente
- 5.1.5 Praktisches Vorgehen

5.2 Kraftfluss

- 5.2.1 Wesentliche Merkmale des Kraftflusses
- 5.2.2 Gestaltungsregeln zum Kraftfluss
- 5.2.3 Kerbwirkung
 - 5.2.3.1 Äußere Kerben
 - 5.2.3.2 Innere Kerben

5. Grundlagen der Gestaltung

5.3 Urformen

- 5.3.1 Gießen
 - 5.3.1.1 Gießverfahren
 - 5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen
 - 5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen
- 5.3.2 Additive Fertigung
 - 5.3.2.1 FDM-Druck
 - 5.3.2.2 Selektives Lasersintern (LS)
 - 5.3.2.3 Stereolithographie (SL)
 - 5.3.2.4 Inkjet-Verfahren (MJ)
- 5.3.3 Extrusion
- 5.3.4 Blasformen

5. Grundlagen der Gestaltung

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1 Umformen von Blechen

5.4.1.1 Druckumformen

5.4.1.2 Zugdruckumformen

5.4.1.3 Biegeumformen

5.4.2 Spanende Bearbeitung

5.4.2.1 Stanzen

5.4.2.2 Fräsen

5.4.2.3 Drehen

5.4.2.4 Schleifen

5.4.3 Strahlbearbeitung

5.4.3.1 Laserstrahlschneiden

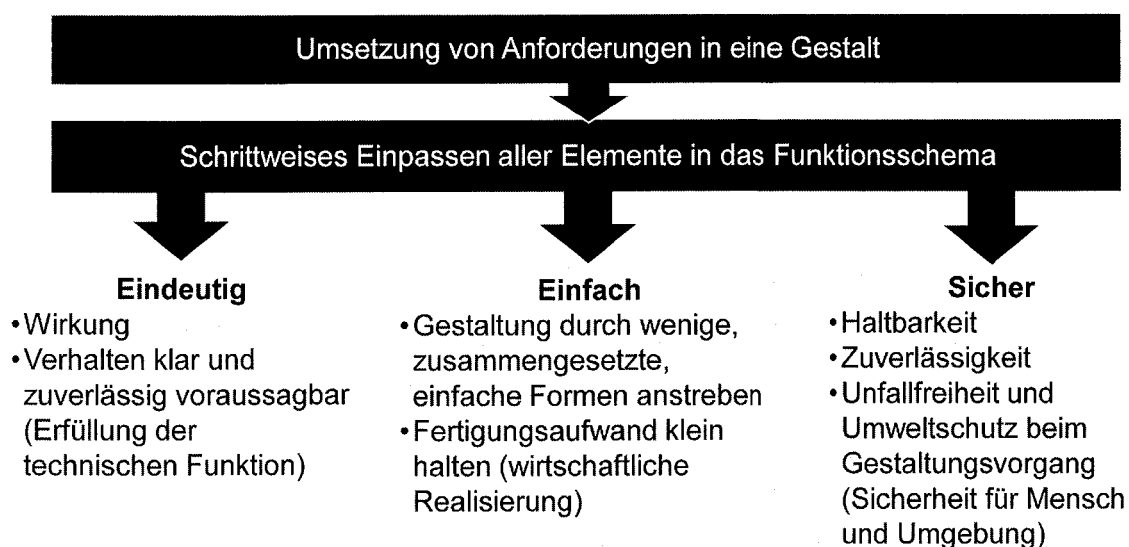
5.4.3.2 Wasserstrahlschneiden

5.4.4 Erodieren

5.5 Literaturverzeichnis

5. Grundlagen der Gestaltung

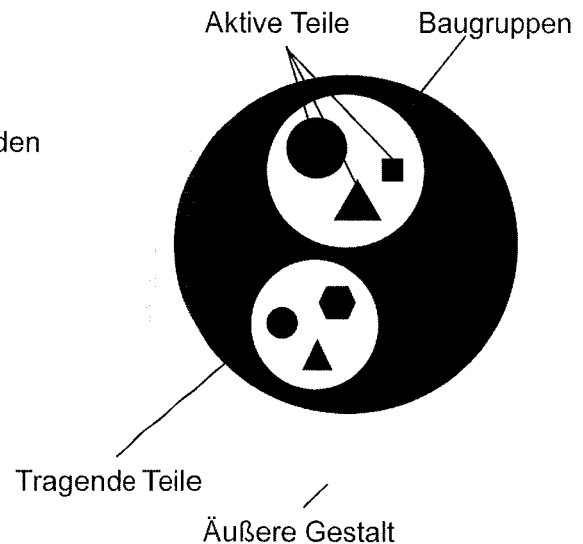
Definition „Gestalten“



5. Grundlagen der Gestaltung

Prinzipielle Vorgehensweise

- von „innen“ nach „außen“ konstruieren
- mit den aktiven inneren Teilen beginnen
- bei den tragenden und umhüllenden Teilen enden
- eine Vielzahl sich teilweise widersprechender Gesichtspunkte berücksichtigen
→ Ergebnis in der Regel Kompromiss aus Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten



5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.1 Funktionsgerecht

- Oberster Gesichtspunkt:
Erfüllung der Funktion
- Welche Gesichtspunkte sind maßgebend?
Gewicht, Abmessungen, Aussehen, Kosten usw.
- Welches Material werden gewählt?
- Welches Herstellungsverfahren wird gewählt?
- Was für Erfahrungen mit dem Bauteil liegen vor?
- Gibt es ausgesprochene Mängel oder Vorteile?
Sind „Vorläufer-Bauteile“ bekannt, so bieten diese manchmal einen guten Ansatzpunkt für die Gestaltung des neuen Bauteils

Richtlinien:

Funktion auf möglichst einfache Weise realisieren.

Unnötigen
Werkstoffaufwand
vermeiden.

Unnötige Bearbeitung
vermeiden.

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.2 Festigkeitsgerecht - Werkstoffgerecht

- Bauteile müssen funktionieren und angemessene Lebensdauer erreichen
- enger Zusammenhang: festigkeitsgerechte und werkstoffgerechte Gestaltung
- Beanspruchung bekannt → geeigneter Werkstoff → Gestalt des Bauteils an die Belastung in den verschiedenen Querschnitten und die Werkstoffeigenschaften anpassen

Richtlinien:

Günstiger Werkstoff

Günstiger Kraftfluss

Wenig Kerbwirkung

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.3 Fertigungsgerecht – Kostengerecht - Montagegerecht

Hauptkosten für ein Bauteil entstehen in der Fertigung

Kostengerecht konstruieren heißt fertigungsgerecht konstruieren

Fertigungsgerecht konstruieren heißt werkstoffgerecht konstruieren

Konstrukteur
entscheidet

Richtlinien:

Fertigung so einfach wie möglich

Keine unnötige Präzision

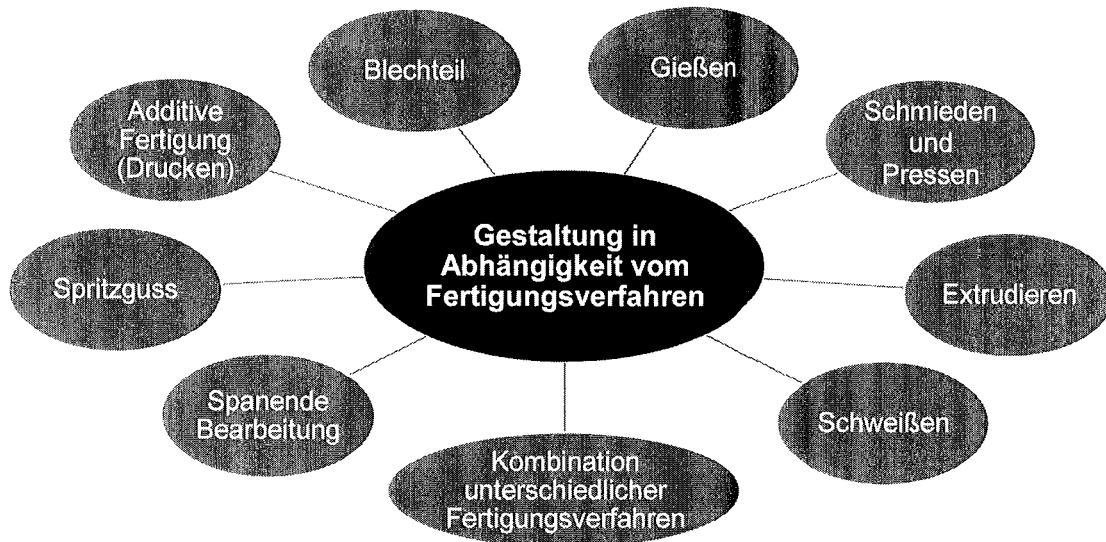
Möglichst alles vereinheitlichen

Montage möglichst ohne
Spezialwerkzeug

Einfache Demontage
→ Wartung und Reparatur

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.3 Fertigungsgerecht – Kostengerecht - Montagegerecht



5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.4 Gestaltungs- oder Formelemente

- Bauteile sollen nach Möglichkeit einfache geometrische Formen darstellen oder sich zumindest aus solchen zusammensetzen, wie z.B.

- Quader
- Zylinder
- Prismen
- Kegel



Grund:

Die gebräuchlichen Werkzeugmaschinen gestatten translatorische und rotatorische Relativbewegungen von Werkzeug und Werkstück
→ kürzere Fertigung

- Weitere Formen durch Kombination von Rotations- und Translationsbewegungen herstellbar, z.B.: Schraubenflächen, Evolventenflächen, Zykloidenflächen

- Aufwendige Formen → numerisch gesteuerte Maschinen

Richtlinien:

Bei Hauptabmessungen Normzahlen bevorzugen.

Einfache Formen aus Kostengründen bevorzugen.

Unvermeidbare komplizierte Formen möglichst spanlos herstellen (z.B. Gießen).

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.4 Gestaltungs- oder Formelemente

Exkurs „Normzahlen“:

- » Allgemeingültiges Zahlensystem um die erforderliche Zahlenmenge zu minimieren
- » Die Reihen werden mit R_r bezeichnet → r gibt die Anzahl der Stufen an
- » Jeder Reihe beginnt mit eins oder dem 10-, 100-, ... -fachen oder dem 10., 100., ... Teil
- » Jede folgende Zahl entsteht durch Multiplikation mit einem bestimmten Stufensprung q_r

$$q_r = \sqrt[r]{10}$$

- » Beispiel: Normreihe R5 mit dem Stufensprung $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1,60$

$$\begin{array}{ccccccc} 1,00 & - & 1,60 & - & 2,50 & - & 4,00 & - & 6,30 & - & 10,00 \\ & \swarrow & & \swarrow & & \swarrow & & \swarrow & & \swarrow & \\ & * 1,60 & & * 1,60 & & * 1,60 & & * 1,60 & & * 1,60 & \end{array}$$

- » Bevorzugt sollten die Grundreihen R5 ($q_r=1,6$), R10 ($q_r=1,25$), R20 ($q_r=1,12$) und R40 ($q_r=1,06$) verwendet werden

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.5 Praktisches Vorgehen

1. Hauptabmessungen des Bauteils aus Funktionsschema entnehmen und, soweit nötig, durch Berechnung ergänzen
Normzahlen bevorzugen!

2. Skizze anfertigen

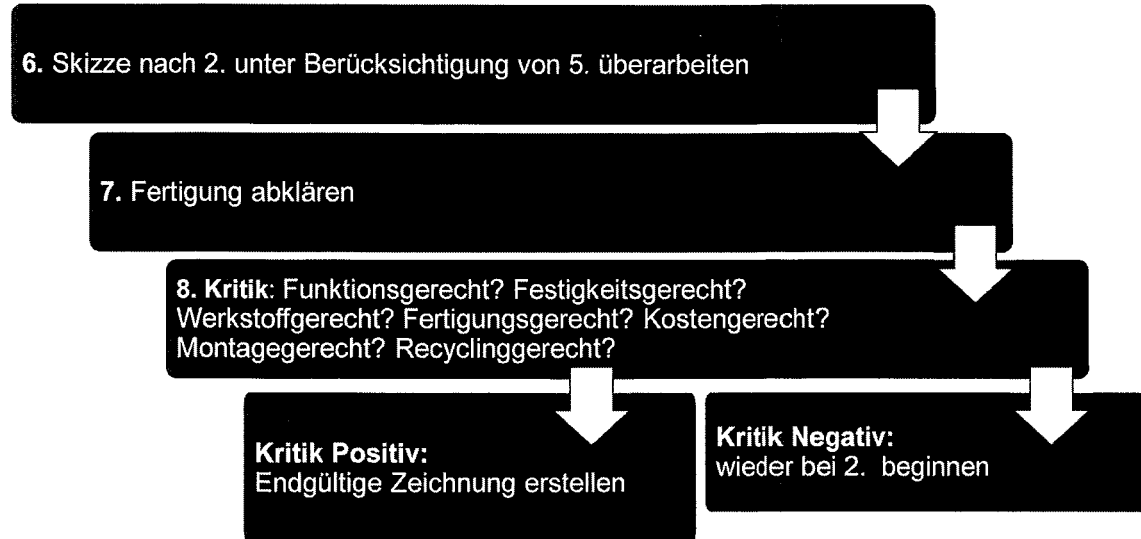
3. Werkstoff wählen, Vorentscheidung über Fertigung treffen

4. Gefährdete Querschnitte und kritische Beanspruchungen suchen

5. Festigkeitsberechnung durchführen, Bauteile dimensionieren, d.h. alle wesentlichen Abmessungen festlegen

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

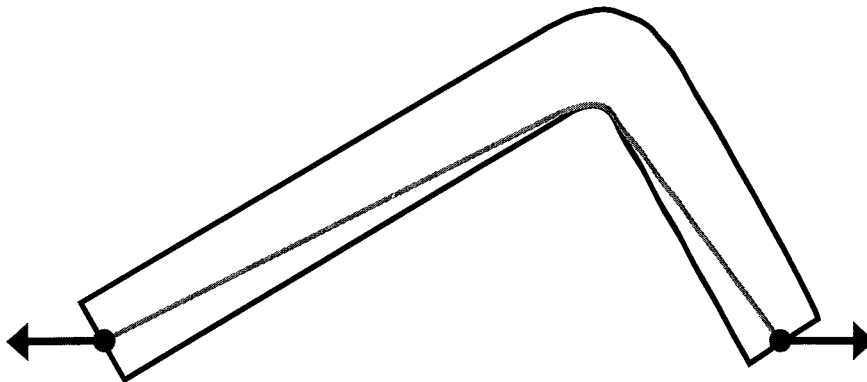
5.1.5 Praktisches Vorgehen



5.2 Kraftfluss

5.2.1 Wesentliche Merkmale des Kraftflusses

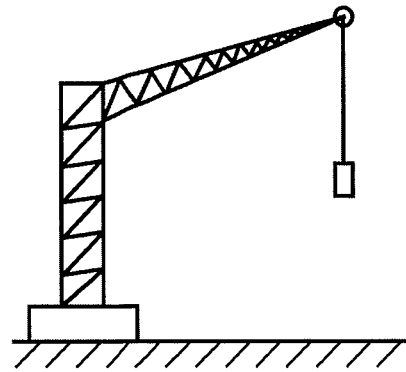
- In beanspruchten Bauteilen muss die Kraft zwischen den Kraftangriffspunkten übertragen werden.
- Sie „fließt“ durch das Bauteil wie eine Flüssigkeit durch ein Leitungssystem.



5.2 Kraftfluss

5.2.1 Wesentliche Merkmale des Kraftflusses

Kraftfluss in einem geschlossenen System:

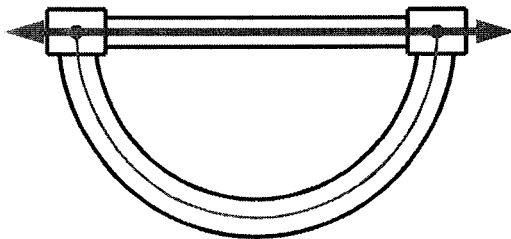


Live-Inhalt

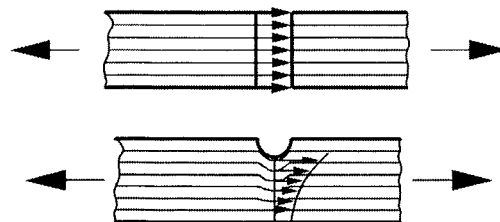
Quelle:
westmark.de

5.2 Kraftfluss

5.2.1 Wesentliche Merkmale des Kraftflusses



Der Kraftfluss bevorzugt den
kürzesten Weg

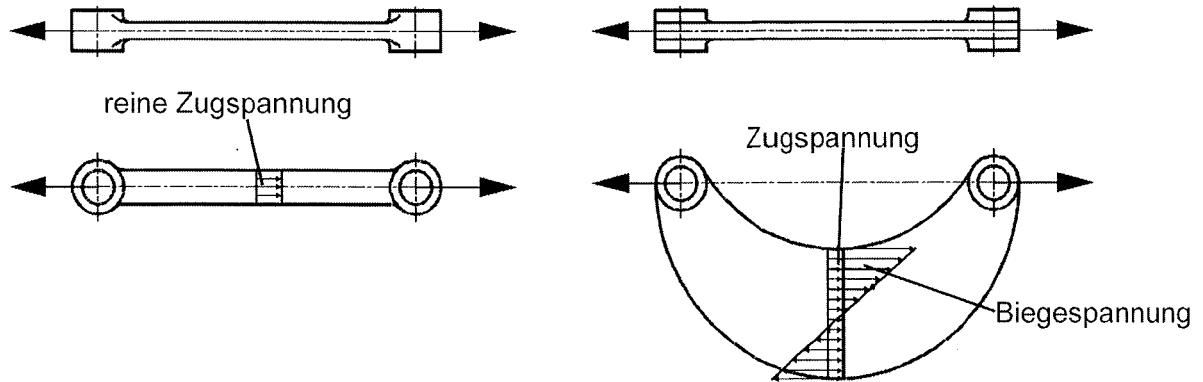


Der Kraftfluss lässt sich nur
widerwillig verdrängen

5.2 Kraftfluss

5.2.1 Wesentliche Merkmale des Kraftflusses

Umleitung des Kraftflusses erhöht die Beanspruchung

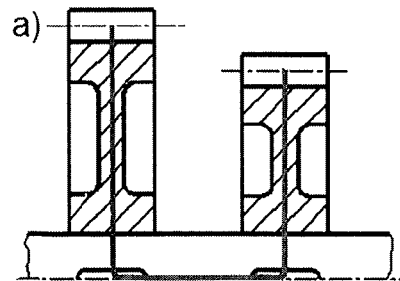
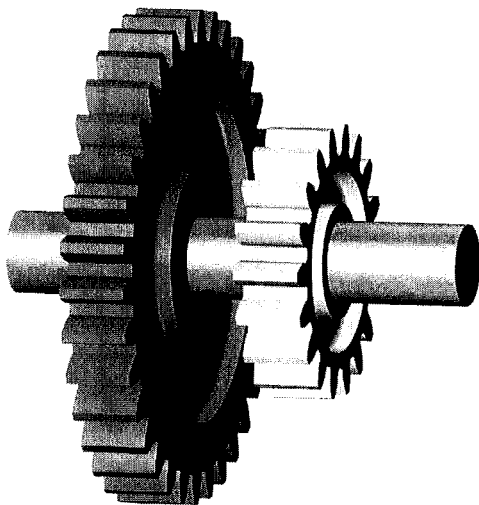


Infolge des ungünstigeren Kraftflusses muss das rechte Bauteil größer dimensioniert werden

5.2 Kraftfluss

5.2.2 Gestaltungsregeln zum Kraftfluss

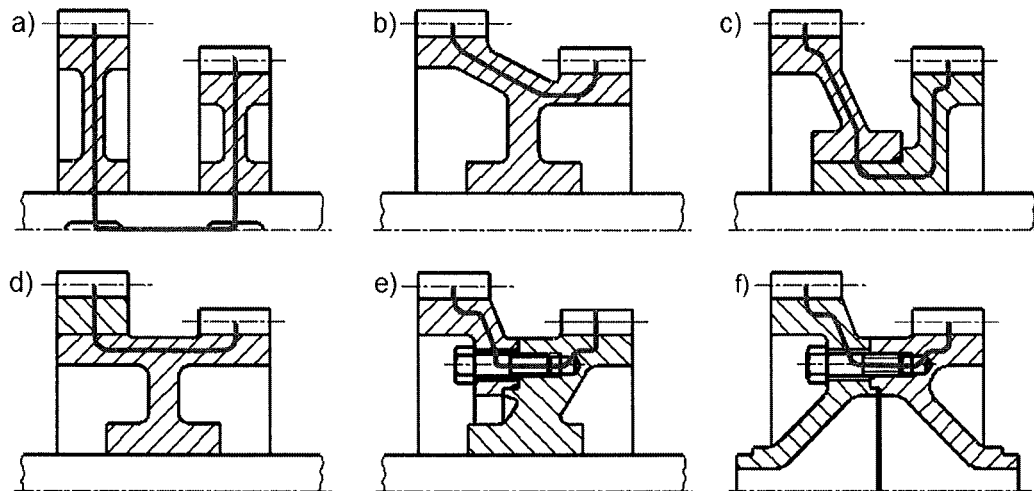
Für Kraftleitung kürzesten Weg bevorzugen



5.2 Kraftfluss

5.2.2 Gestaltungsregeln zum Kraftfluss

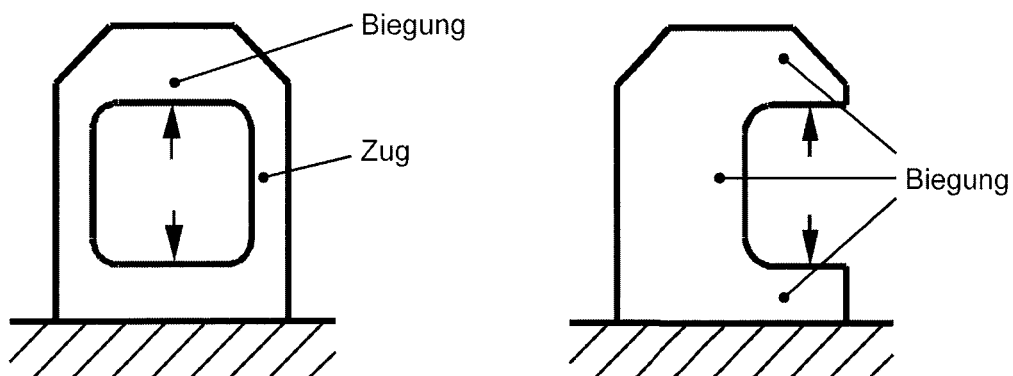
Für Kraftleitung kürzesten Weg bevorzugen



5.2 Kraftfluss

5.2.2 Gestaltungsregeln zum Kraftfluss

Symmetrische Formen gegenüber unsymmetrischen bevorzugen



5.2 Kraftfluss

5.2.3 Kerbwirkung

- Schroffe Einengungen bzw. Umlenkungen des Kraftflusses → Spannungsspitzen
- **Kerben:** Formmerkmale, die Kerbwirkung hervorrufen
 - Äußere Kerben (aus Gestalt)
 - Innere Kerben (aus Fertigung und Montage)
- Die durch **Kerbwirkung** hervorgerufenen **Spannungsspitzen** mindern die Festigkeit des Bauteils bei dynamischer Beanspruchung.

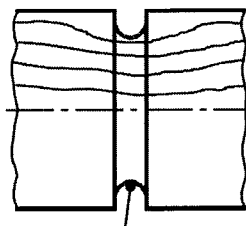
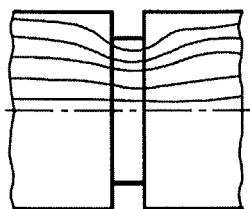
Bei **zähen Werkstoffen** und **statischer Beanspruchung**:
Spannungsspitzen können durch **örtlich begrenztes Fließen** abgebaut werden

Bei **spröden Werkstoffen**:
Kein Abbau der Spannungsspitzen
→ Versagen infolge Kerbwirkung auch bei statischer Beanspruchung möglich

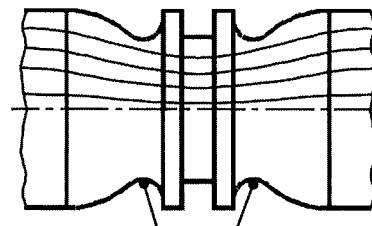
5.2 Kraftfluss

5.2.3.1 Äußere Kerben

- im allgemeinen durch die funktionsbestimmte Gestaltung eines Bauteils bedingt
- häufig unvermeidbar
- Wirkung durch Maßnahmen mindern, die die Stetigkeit des Kraftflusses fördern
- bevorzugte Maßnahmen:



Ausrundung

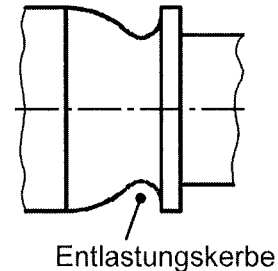
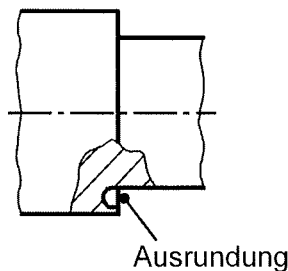
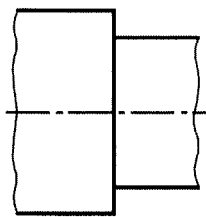


Entlastungskerben

5.2 Kraftfluss

5.2.3.1 Äußere Kerben

- Ausrundung schafft begrenzte Besserung.
- **Regel:** Ausrundungsradius so groß wie möglich!
- Entlastungskerben verhindern schroffe Einschnürung des Kraftflusses.
 - Nachteil: oft nicht anwendbar, teuer.
 - Wichtig: Entlastungskerbe dicht genug bei der zu entlastenden Kerbe anordnen!



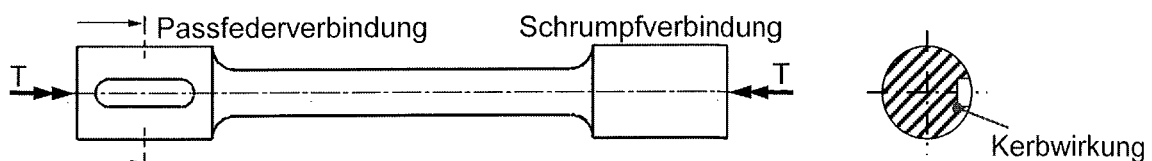
5.2 Kraftfluss

5.2.3.1 Äußere Kerben

Merke:

- Auch Oberflächenrauigkeiten, insbesondere Bearbeitungsriefen, wirken als Kerben. Bei dynamischer Beanspruchung können sie der Ausgangspunkt von Dauerbrüchen sein.
- Bei dynamischer Beanspruchung sind glatte, einwandfreie Oberflächen – unter Umständen poliert – erforderlich.
- Konstruktive Kerben sind zu vermeiden.
- Unvermeidbare Kerben in Gebiet geringerer Beanspruchung legen.

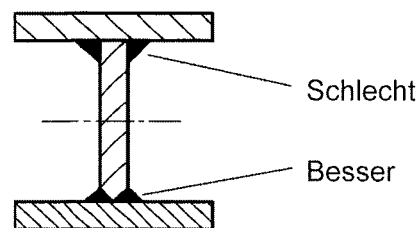
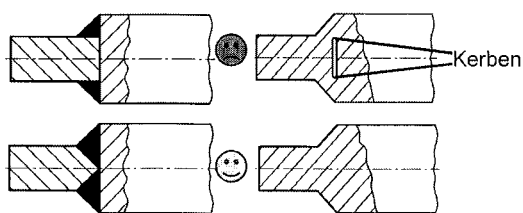
Beispiel: Torsionswelle (Drehfeder)



5.2 Kraftfluss

5.2.3.2 Innere Kerben

- Einschnürungen oder scharfe Umlenkungen des Kraftflusses, die von außen nicht sichtbar sind.
- Diese Beeinträchtigungen des Kraftflusses können von Anfang an im Werkstoff vorhanden sein oder erst bei der Fertigung entstehen.
- Zu den inneren Kerben zählen auch Fehlstellen und Einschlüsse im Werkstoff.
- Beispiel: Kerbe durch umlaufend geschweißte Naht, Abhilfe durch Nahtvorbereitung und Durchschweißen

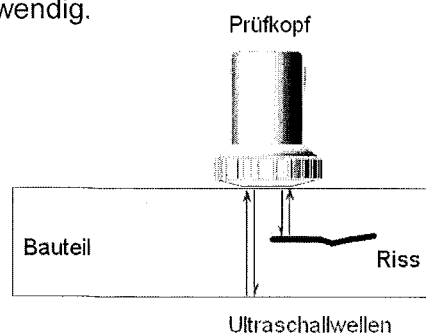
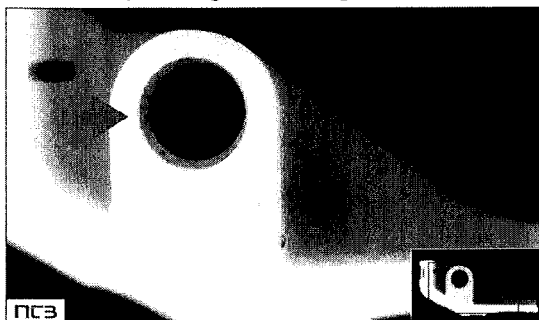


5.2 Kraftfluss

5.2.3.2 Innere Kerben

Merke:

- Bei dynamisch hochbeanspruchten Bauteilen muss sichergestellt werden, dass der Werkstoff frei von inneren Kerben (Fehlstellen, Einschlüssen usw.) ist.
- Hierzu sind u.U. zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, z.B. Röntgenprüfung, Ultraschallprüfung oder magnetische Prüfung notwendig.



Fertigungsverfahren

Einteilung

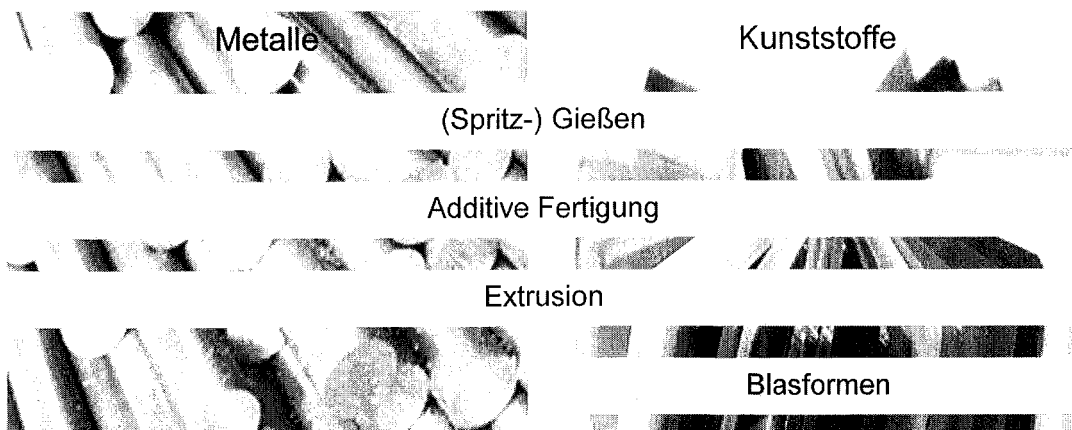
Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Hauptgruppe 1 Urformen	Hauptgruppe 2 Umformen	Hauptgruppe 3 Trennen	Hauptgruppe 4 Fügen	Hauptgruppe 5 Beschichten	Hauptgruppe 6 Stoffeigen- schaft ändern
Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehrten	Zusammenhalt vermehrten	Stoffeigen- schaft ändern
Beispiele: Gießen Extrudieren Drucken ...	Beispiele: Walzen Tiefziehen Biegen ...	Beispiele: Sägen Fräsen Bohren ...	Beispiele: Schweißen Kleben Schrauben ...	Beispiele: Lackieren Pulver- beschichten ...	Beispiele: Härten Glühen ...
Schaffen der Form	Ändern der Form				

Quelle:
DIN 8580

5.3 Urformen

Überblick Urformverfahren

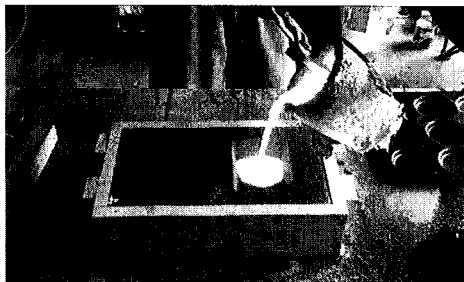


Quellen:
galdabini.de, Ikm-berlin.de

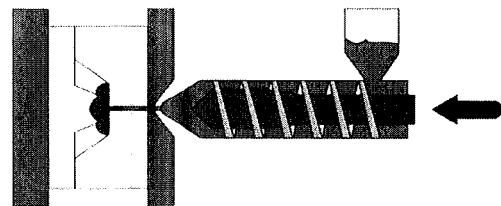
5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren

- › Gießen = Urformen aus dem flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Zustand



Metallgießen

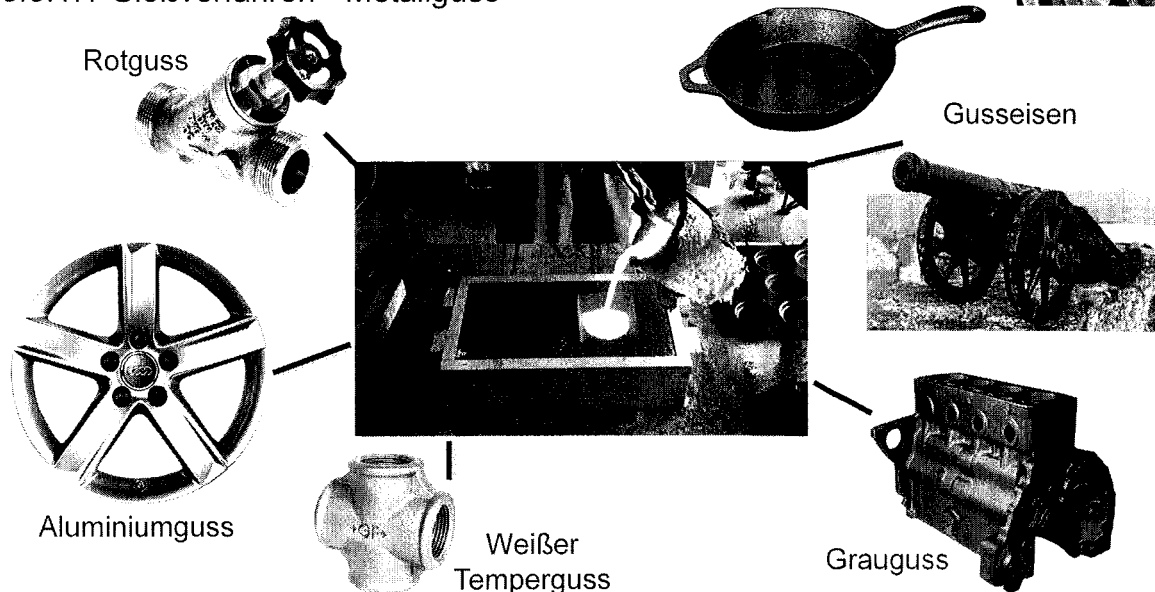


Spritzgießen von Kunststoffen

Quellen:
instructables.com, Bonten

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



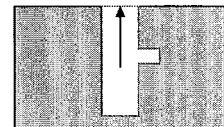
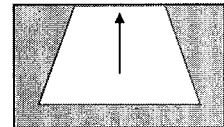
1) Guss mit verlorenem Modell in verlorener Form

- Ältestes und vielseitigstes Verfahren, genau, teuer.
- Formmaterial: Sand, Lehm, Ton

2) Guss mit wiederverwendbarem Modell in verlorener Form:

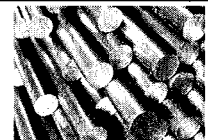
- Wichtigstes, in der Regel eingesetztes Verfahren, wirtschaftlich, auch geeignet für Großteile.
- Möglichkeit von Hinterschneidungen
- Formmaterial: Sand (Lehm)

Beispiele
Hinterschneidungen:

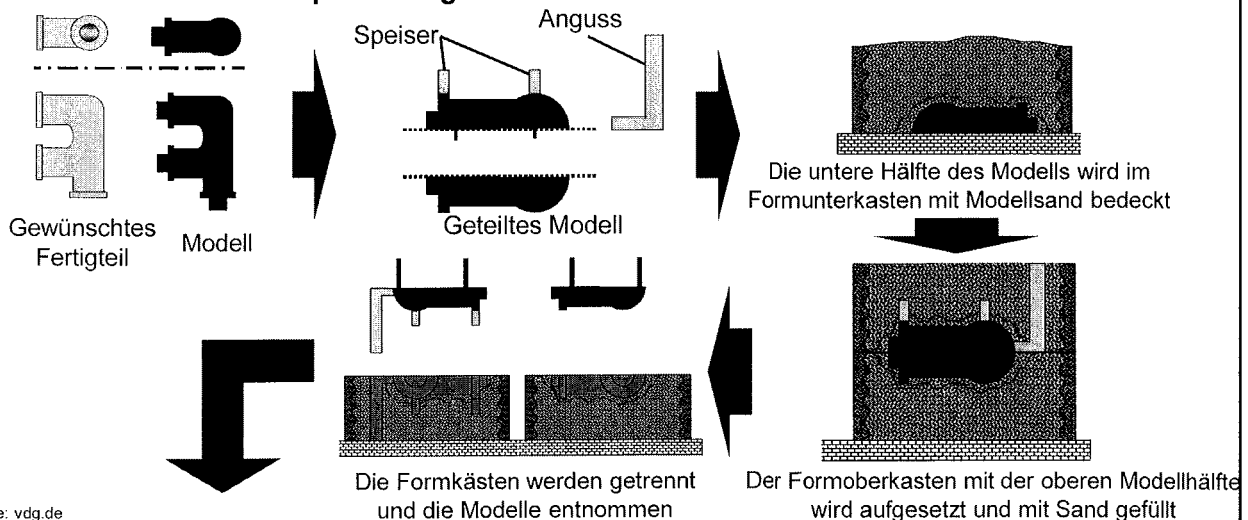


5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



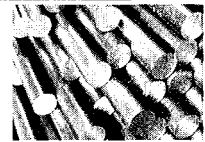
Gießverfahren – Beispiel Sandguss mit wiederverwendbarem Modell



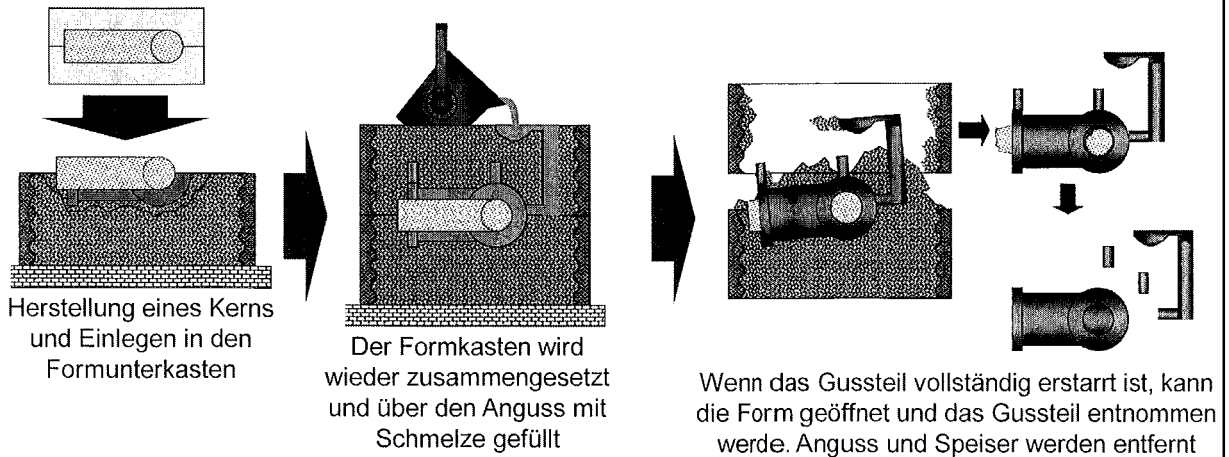
Quelle: vdg.de

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



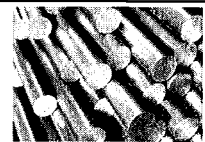
Gießverfahren – Beispiel Sandguss mit wiederverwendbarem Modell



Quelle: vdg.de

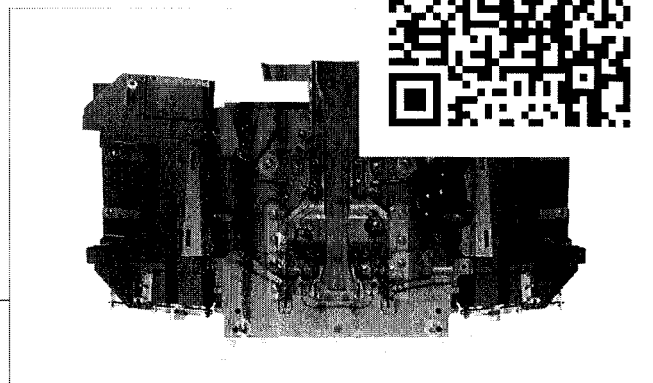
5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



3) Guss in wiederverwendbarer Form, Kokille:

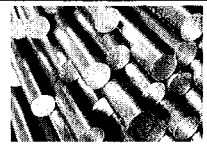
- Wichtiges Verfahren für Serienteile, Rohteile, Hartgussteile
- Bei einfachen Teilen wirtschaftlich ab 2000 Stück
- Keine Hinterschneidungen möglich
- Grauguss



Quelle: kmcscastings.com

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



4) Druckguss in wiederverwendbarer Form

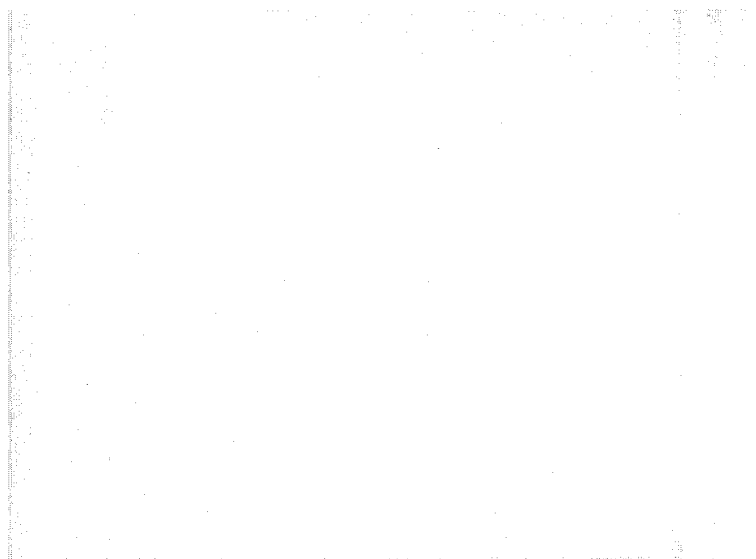
- Aufwand für Formherstellung groß.
- Große Genauigkeit.
Für große
Serien wirtschaftlich.
- Nur für Nichteisenmetalle
- Formmaterial: Stahl



Quelle: kmscastings.com

5.3 Urformen

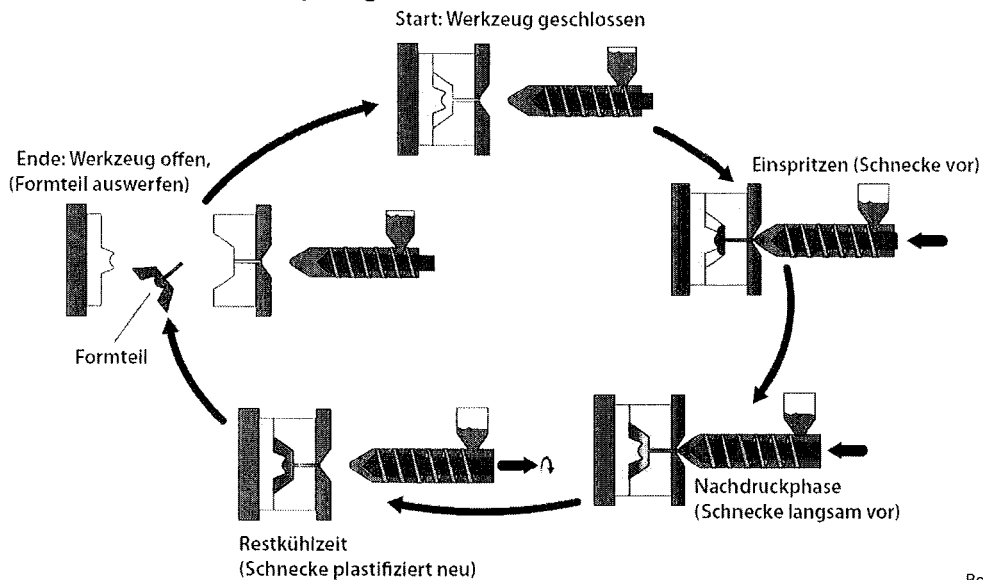
5.3.1.1 Gießverfahren - Spritzgießen



Quelle:
Youtube, REHAU Group

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Spritzgießen



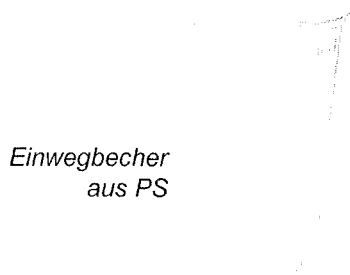
Quelle:
Bonten - Kunststofftechnik

5.3 Urformen

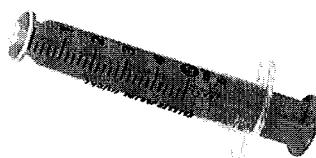
5.3.1.1 Gießverfahren - Spritzgießen



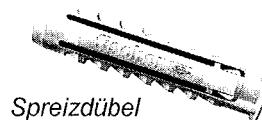
- für Spritzgussverfahren eignen sich alle Kunststoffe, die durch Erwärmen in einen spritzfähigen Zustand gebracht werden können
- vorwiegend werden amorphe und teilkristalline Thermoplaste gespritzt.
 - amorphe Thermoplaste: Polystyrol (**PS**), Polycarbonat (**PC**), Polyvinylchlorid (**PVC**),...
 - teilkristalline Thermoplaste: Polyethylen (**PE**), Polypropylen (**PP**), Polyamid 6 (**PA 6**),...



Einwegbecher
aus PS



Einmalspritze
Zylinder aus PP,
Kolben aus PE



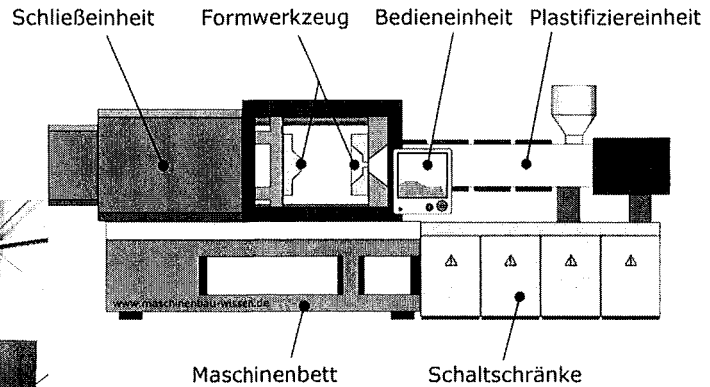
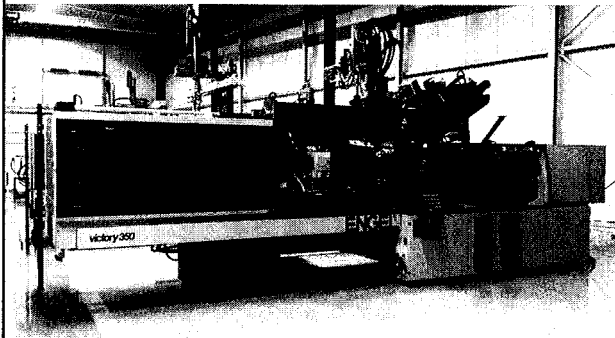
Spreizdübel
aus PA 6

Quellen:
bbraun.de, fischer.de, plastikbecher.de

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Spritzgießen

Spritzgießmaschine:



Quelle:
Maschinenbau-Wissen.de, metak.de

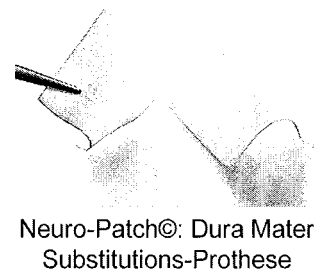
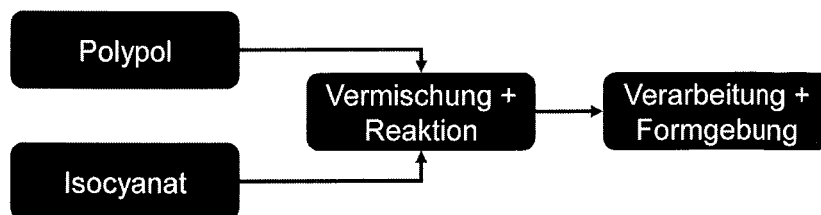
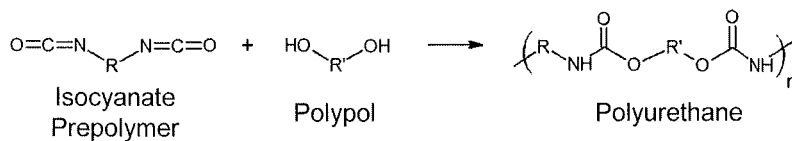
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 39

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

5.3 Urformen

5.3.1.2 Gießverfahren – Reaktionsspritzgießen: Polyurethan



Quelle:
medicalexpo.de

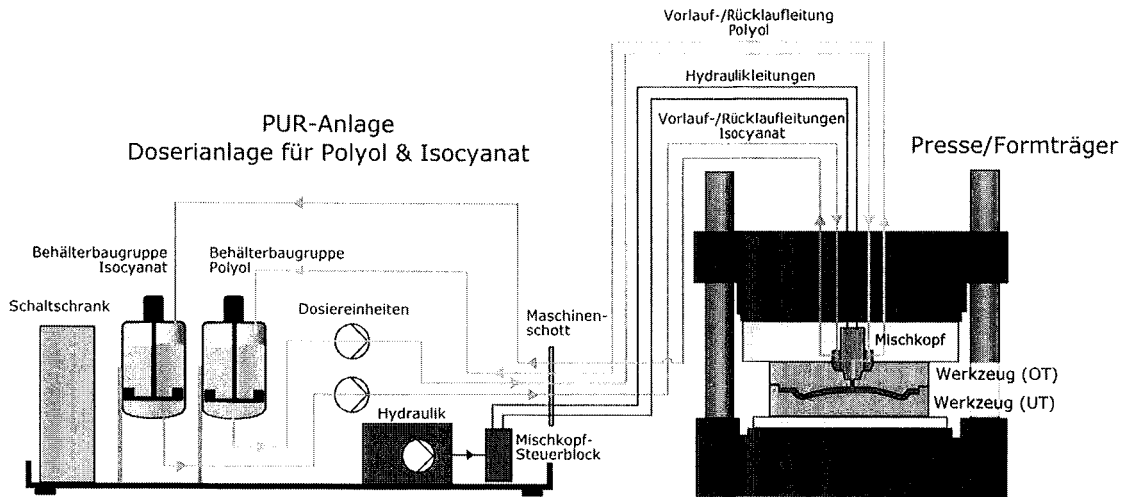
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 40

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

5.3 Urformen

5.3.1.2 Gießverfahren – Reaktionsspritzgießen: Polyurethan



Quelle:
maschinenbau-wissen.de

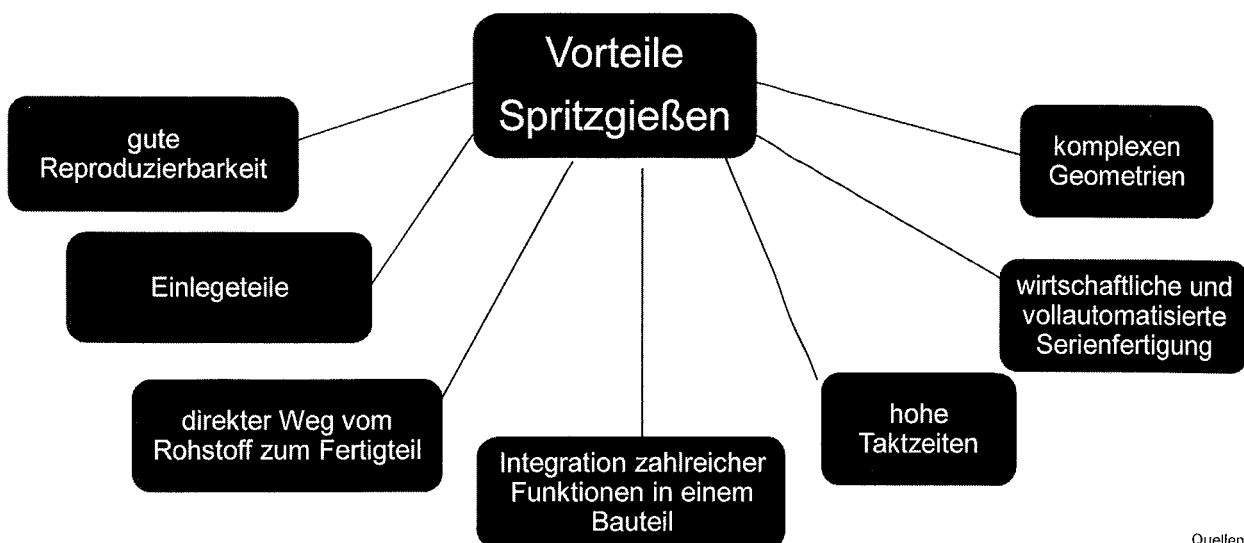
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 41

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

5.3 Urformen

5.3.1.3 Gießverfahren – Vor- und Nachteile



Quellen: Clickbox.com, picclick.de, henryschein-dental.de, tiefziehen.com, maschinenmarkt.vogel.de, vioproto.de, costin.de, husky.cc

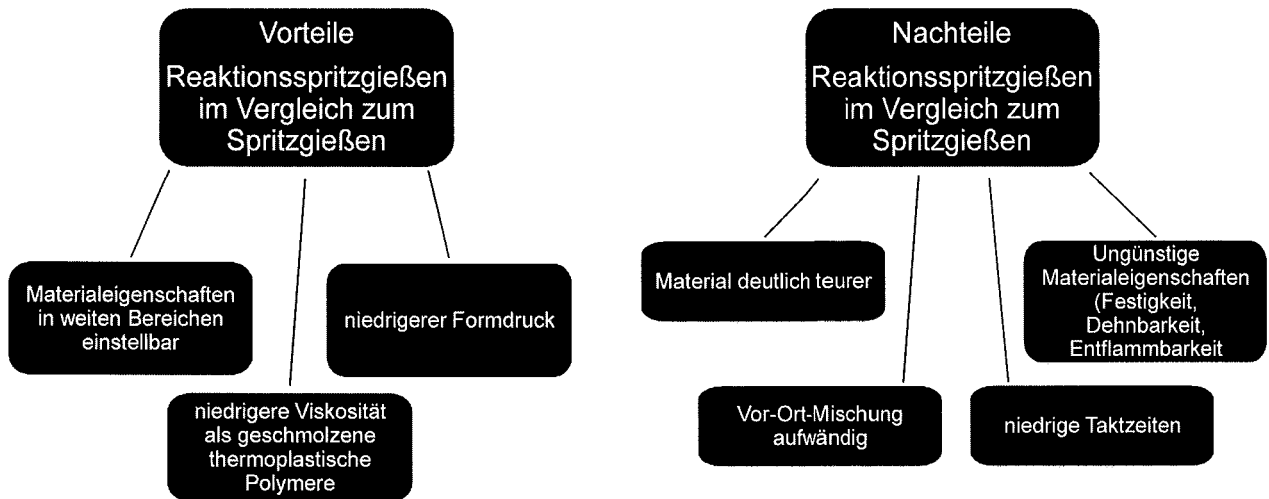
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 42

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

5.3 Urformen

5.3.1.3 Gießverfahren – Vor- und Nachteile



Quelle:
ogistiksysteme.bako.de

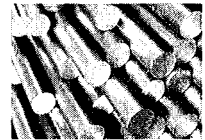
5.3 Urformen

5.3.1 Gießen



5.3 Urformen

5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss

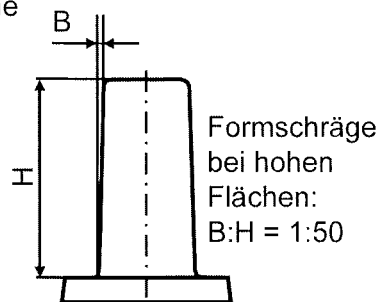


Günstige Formkosten durch:

- ausgerundete Übergänge und Kanten
- Vermeidung von Hinterschneidungen
- ausreichende Formschrägen
- geringe Einformhöhe
- wenig Formkästen
- wenig Kerne

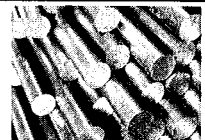
Günstige Modellkosten durch:

- einfache Grundformen
- ungeteilte Ausführung
- wenige und einfache Kerne



5.3 Urformen

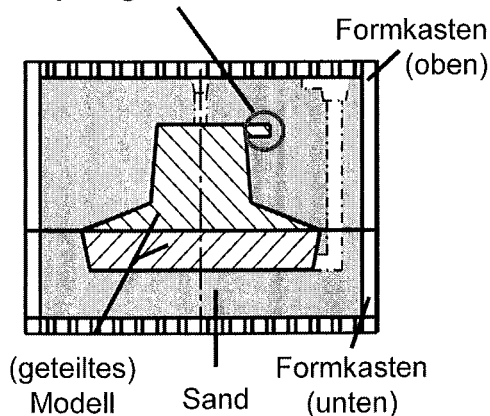
5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss



Abhebbarkeit des Modells bei Metallsandguss

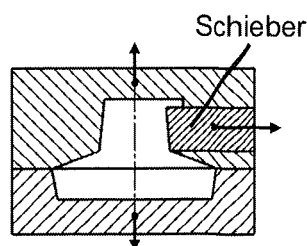
Problem:

Vorsprung ist nicht abhebbar!

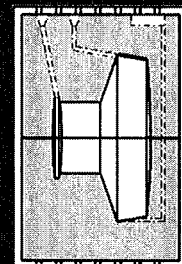


Abhilfen:

- Losteil (Riegel/ Schieber) in der Form

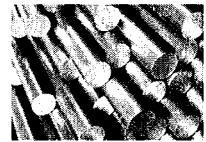


- Andere Einförmung verwenden



5.3 Urformen

5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss

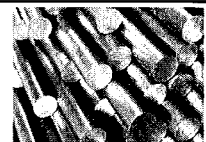


Fehlgüsse vermeiden durch:

- Ausreichende Durchflussquerschnitte
- Gut abgestützte Kerne
- Berücksichtigung des Gases und Schwindens
- Vermeidung scharfer Kanten

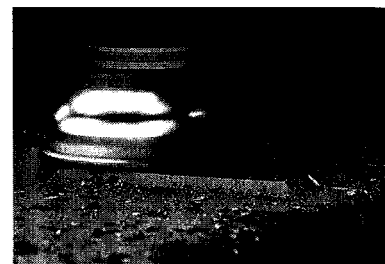
5.3 Urformen

5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss



Gussstückbearbeitung

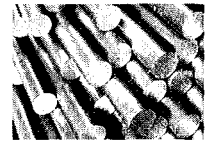
- Die Hauptaufgaben der Nachbearbeitung sind
 - Überreste des Gießens entfernen (z.B. Anguss, Steiger)
 - Oberflächenfehler und -struktur bearbeiten
 - Geometrische Abweichungen korrigieren
 - Basis für Montage und weitere Bearbeitung schaffen



Quelle:
Maschinenwerkzeug.de, esterer-giesserei.de

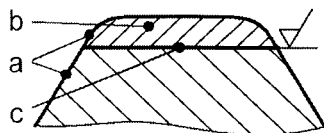
5.3 Urformen

5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss

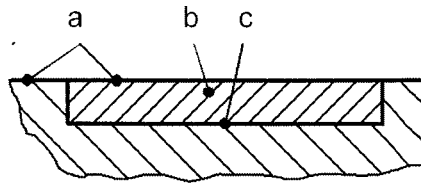


Gussstückbearbeitung

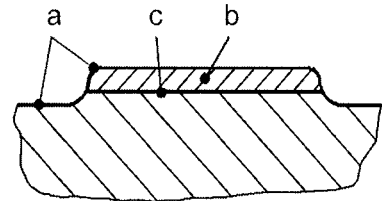
1) Abarbeiten von Kuppen



2) Einarbeiten von bearbeiteten Flächen



3) Abarbeiten eigens am Gussstück vorgesehener vorspringender Bearbeitungsflächen

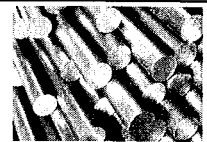


- a. Ursprüngliche Gusskontur
- b. Durch Bearbeitung entferntes Material
- c. Bearbeitete Pass- oder Gleitfläche

Quelle:
Maschinenwerkzeug.de

5.3 Urformen

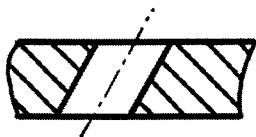
5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss



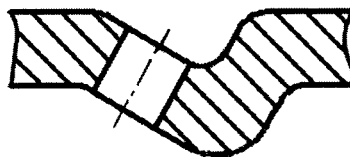
Gussstückbearbeitung

- › Rohe Oberfläche senkrecht zur Bearbeitungsrichtung

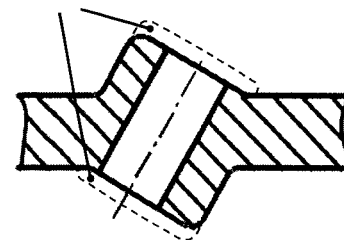
Bearbeitungszugabe falls Stirnfläche
bearbeitet werden muss



ungünstig



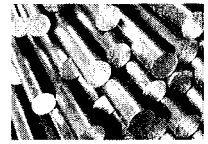
besser



gut
→ Lochrand verstärkt

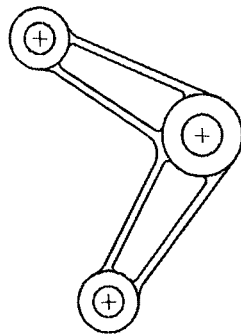
5.3 Urformen

5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss

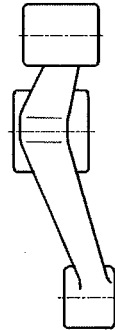


Gussstückbearbeitung

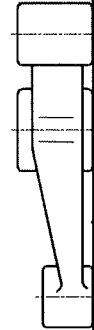
- ebene Auflage für Spannen ermöglichen
- Auflageebene parallel oder senkrecht zu den Hauptbearbeitungsebenen
- flächige Auflage vermeiden



schlecht



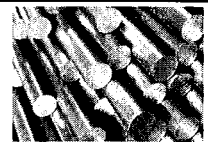
besser



Auflageebene

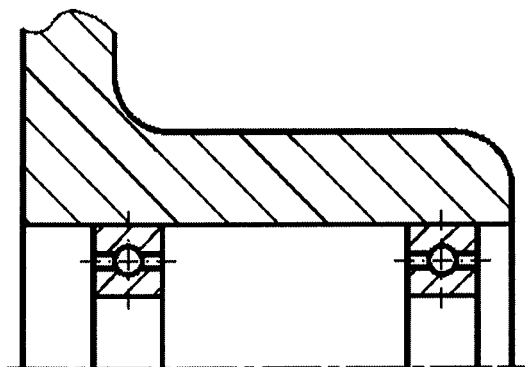
5.3 Urformen

5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Metallguss

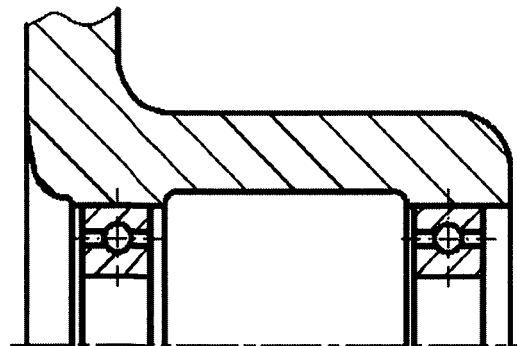


Gussstückbearbeitung

Beispiel: Bohrung für Wälzlagereinbau



schlechter



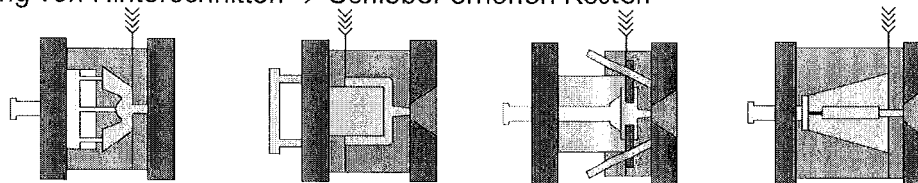
besser

5.3 Urformen

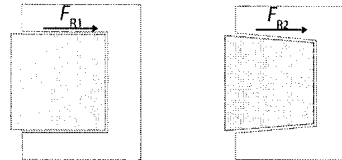
5.3.1.2 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen - Spritzgießen



- Gleichlange Fließwege der Schmelze im Werkzeug
- Vermeidung scharfer Kanten (Schlechte Abformgenauigkeit)
- Vermeidung von Hinterschnitten → Schieber erhöhen Kosten



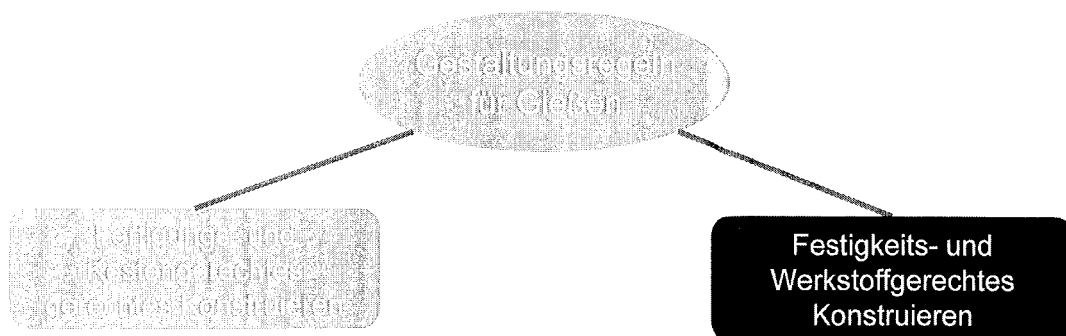
- Entformungsschrägen um Reibungskräfte beim Entformen zu minimieren



Quellen:
galdabini.de, Bonten

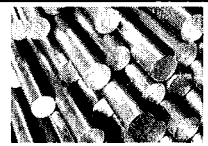
5.3 Urformen

5.3.1 Gießen

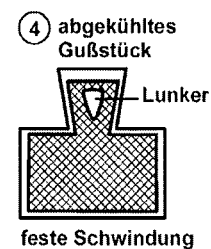
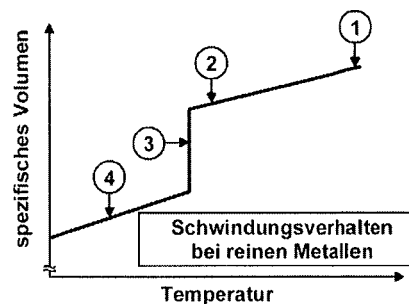
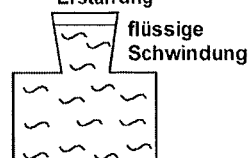
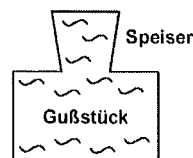


5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



Schwindung beim Abkühlen: ① vollgegossene Form ② unmittelbar vor der Erstarrung ③ teilweise erstarrt



Quelle: Skript Fertigungstechnik II,
Prof. Klocke, RWTH-Aachen

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 55

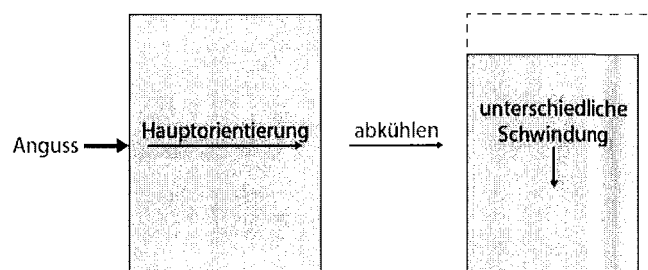
Institut für Medizingerätetechnik **INW**

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



- Auch Spritzgussbauteile schwinden beim Abkühlen
- Dabei kann es durch unterschiedlich orientierte Moleküle zu verschiedenen Schwindungsgraden kommen → Verzug möglich



Quellen:
galdabini.de, Bonten

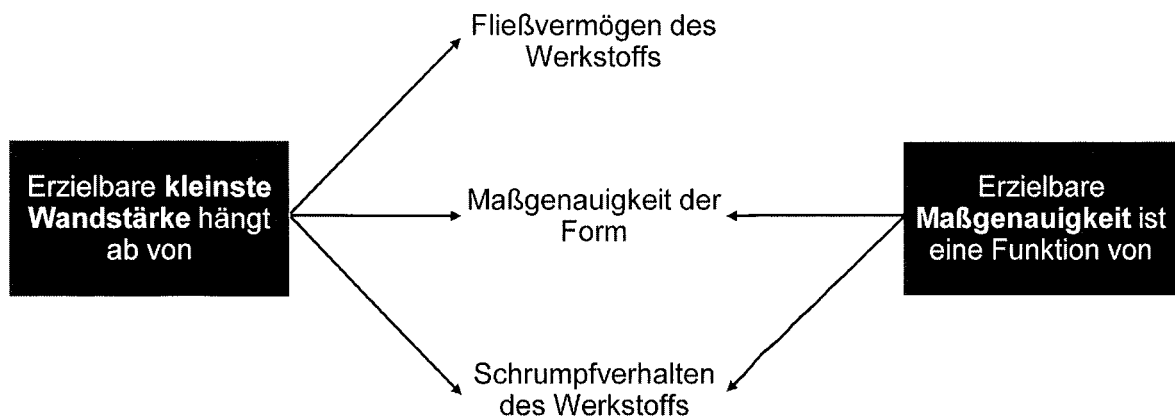
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 56

Institut für Medizingerätetechnik **INW**

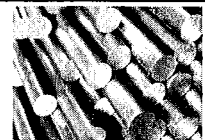
5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

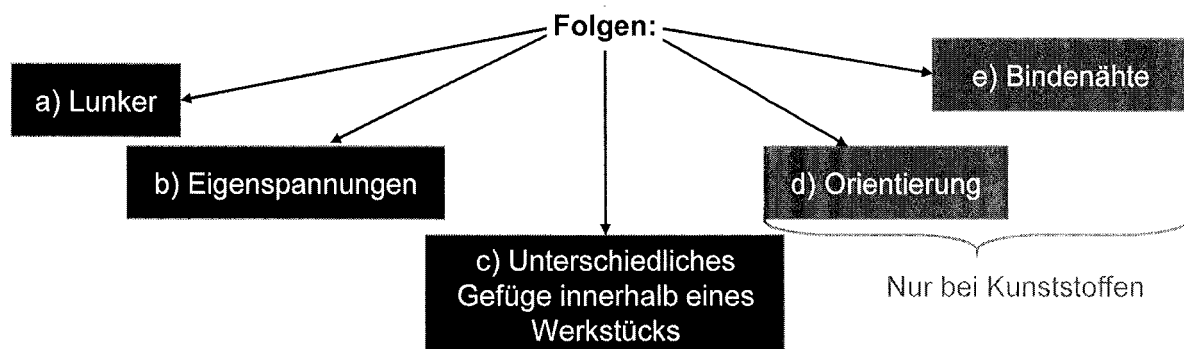


Werkstoff	Gusseisen	Stahlguss	Nichteisenmetalle	
Wandstärke Sandguss	3 - 5	5	3,5	mm
Wandstärke Kokillenguss	3	4 - 5	3	mm
Wandstärke Druckguss			0,8 - 3	mm
Flüssige Schwindung	3	5		Vol %
Erstarrungsschrumpfung	1,8	5,3		Vol %
Feste Schwindung	1	2		Vol %
Schwindmaß	1	2	1,1 - 1,5	Längen %
Maßgenauigkeit Sandguss	+/- 1	+/- 1	+/- 0,9	mm
Maßgenauigkeit Kokillenguss	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,2 - 0,3	mm
Maßgenauigkeit Druckguss			+/- 0,05 - 0,3	mm

5.3 Urformen

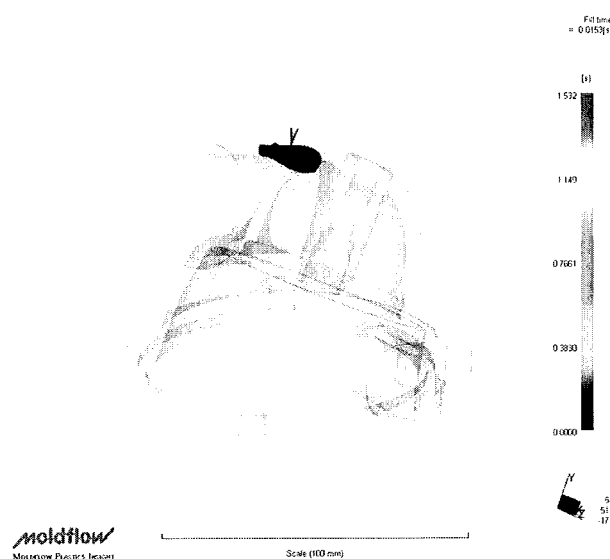
5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

- Bei der Abkühlung geht die Erstarrung des Gusses von den Formwänden aus.
- Größere Querschnitte erstarren später und kühlen auch nach der Erstarrung langsamer ab.
- Einfließen des Werkstoffs spielt eine wichtige Rolle



5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

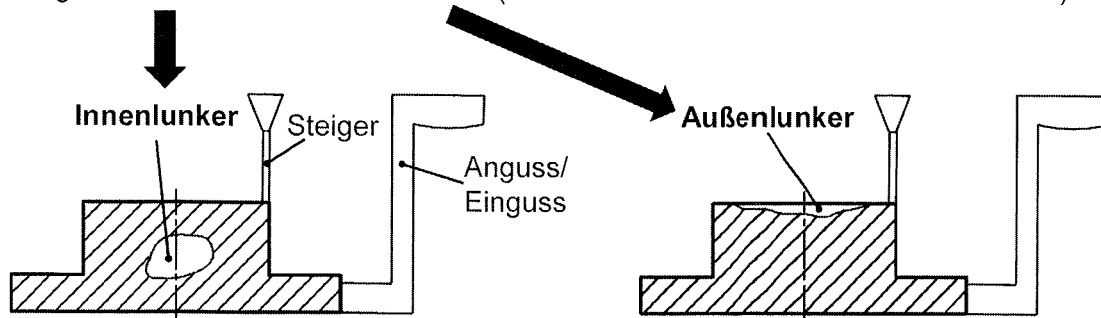


5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Zu a) Lunker:

- Die Erstarrung geht vom Formrand aus. Wenn der Kern des Gussstücks erstarrt, ist der Rand schon fest.
- Folge: Innenlunker oder Außenlunker (wenn Kruste nicht standhält sondern einfällt)

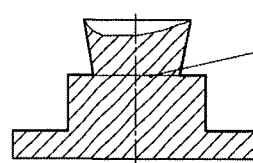
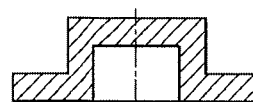


5.3 Urformen

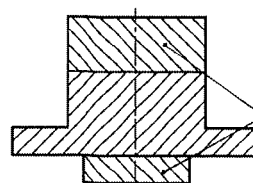
5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Abhilfe gegen Lunkerbildung

- Starke Querschnittsveränderungen vermeiden
- Steiger zum Speiser vergrößern (Metallguss)
 - Nachteil: zusätzlicher Aufwand für Umlaufmaterial und Abtrennen des Speisers
- Schreckplatten anbringen (Metallguss)
 - Nachteil: Mehraufwand beim Formbau, Härteres Gefüge in der Nähe der Schreckplatten.



Trennung zwischen
Speiser und
Gussstück



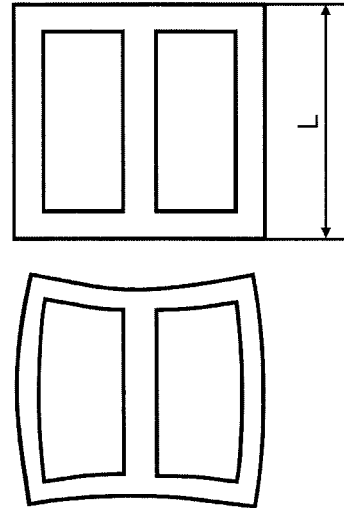
Schreckplatte

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Zu b) Eigenspannungen

- mittlerer Steg kühlt am langsamsten ab
- Steg nach Erstarrung wärmer als Rest
→ größere feste Schwindung
- Folgen:
 - Eigenspannungen,
Druck und Biegung in den schwachen Stegen;
Zug im starken Steg;
Biegung in den Querverbindungen
 - Verzug, wie in der Skizze übertrieben dargestellt



5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

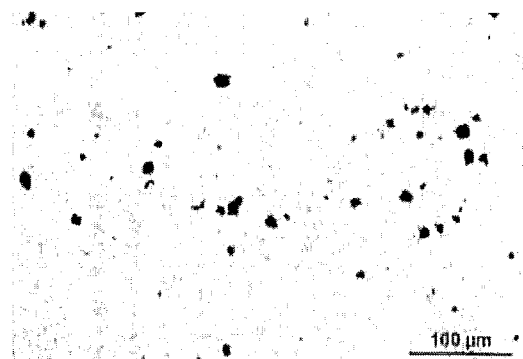
Zu c) Unterschiedliches Gefüge

Bei metallischen Gusswerkstoffen gilt:

- Die langsamere Abkühlung der größeren Querschnitte begünstigt die Graphitausscheidung.

Folgen:

- ☹ geringere Festigkeit
- 😊 geringeres Schwindmaß
(wirkt u. U. Eigenspannungen entgegen)



Gefügebild mit Graphitausscheidungen

Quelle: konstruktionspraxis.vogel.de

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



Zu c) Unterschiedliches Gefüge

Bei Kunststoffen gilt:

Im Besonderen bei den teilkristallinen Thermoplasten wirkt sich unterschiedliches Gefüge oft negativ aus.

Folgen:

- schnelle Abkühlung führt zu Nachkristallisation im festen Zustand
- Nachkristallisation bewirkt Schwindung
(ungleichmäßiges Abkühlen ergibt Eigenspannungen → Verzug des Materials)

5.3 Urformen

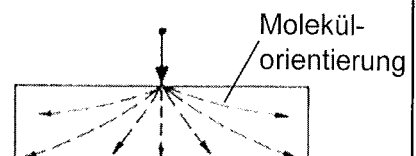
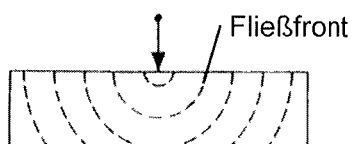
5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



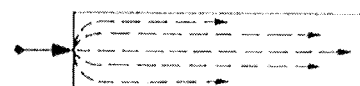
Zu d) Orientierung

- Bei Kunststoff insbesondere Orientierung der Makromoleküle beim Spritzvorgang in Strömungsrichtung.

Anguss an Breitseite:



Anguss an Schmalseite:



Folgen:

- Erhöhung der Festigkeit in Strömungsrichtung
- Strömungsrichtung und Kraftfluss sollten in gleicher Richtung verlaufen

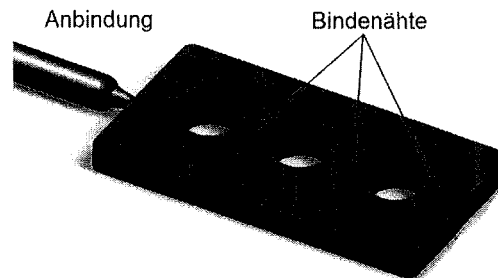
5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



Zu e) Bindenähte

- Bei der Spritzgießverarbeitung ergeben sich im Werkzeug beim Zusammentreffen von Fließfronten oder nach Umströmen von Einsätzen Bindenähte.



Folgen:

- Festigkeitsminderung (Beide Fließfronten verbinden sich nicht richtig)
- Verstärkte Festigkeitsminderung bei fasergefüllten Kunststoffschmelzen

Quelle:
Gojakob.de

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Gussstück sollte nach Möglichkeit überall die gleiche Wandstärke haben

➔ Prinzip der konstanten Wandstärke



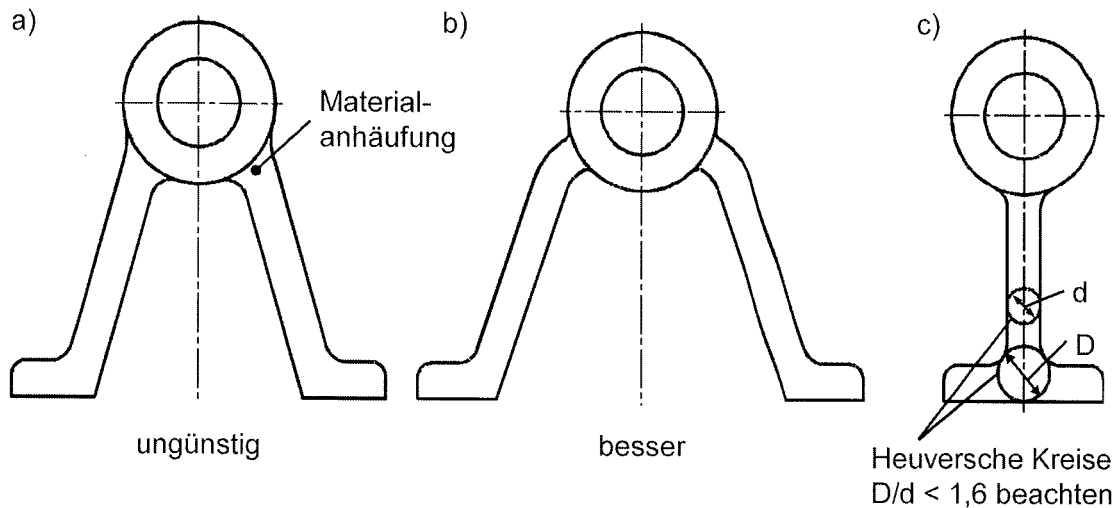
Vorteile:

- Lunker, Eigenspannungen und Gefügeunterschiede werden reduziert bzw. vermieden.
- Entscheidung über Wandstärke ist nur einmal zu treffen.
- Die Zeichnungen sind einfach zu bemaßen.
- Die Festigkeit des Bauteils ist konstant.

Quelle:
Bonten – Kunststofftechnik

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

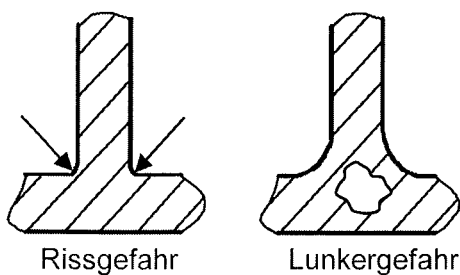


5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

T-Stoß

- Rissgefahr bei kleinen Radien
- Lunker Gefahr bei großen Radien



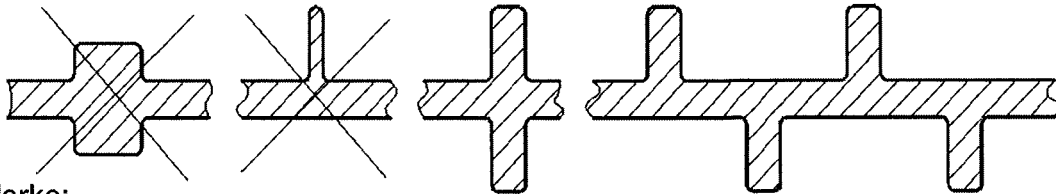
Merke

- Schon der einfache T-Stoß macht es schwierig, das Prinzip der konstanten Wandstärke exakt zu befolgen.
- Abrundungsradien müssen richtig gewählt werden.
- Genormte Radien nach DIN 250 bevorzugen
- Heuversche Kreise $D/d < 1,6$ beachten

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Wandversteifung durch Rippen



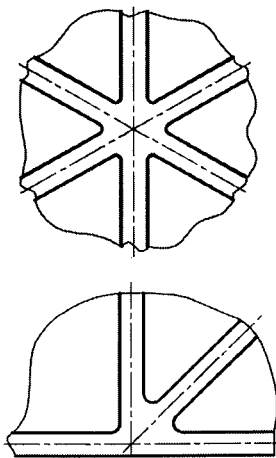
Merke:

- Rippen- und Wandstärke i. a. gleich groß wählen.
(Ausnahmen hiervon in bestimmten Fällen sinnvoll.)
- Wechselständige Rippen können gegenüber gegenständigen vorteilhaft sein, wenn dadurch eine symmetrische Aussteifung erreicht wird, da eine Materialanhäufung vermieden wird.

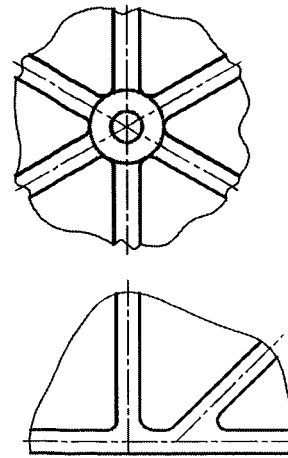
5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Materialanhäufung bei ungünstiger Knotenpunktgestaltung



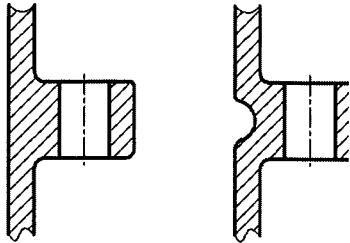
schlechter



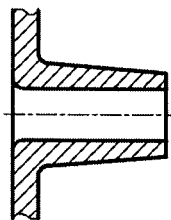
besser

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



schlechter



besser

Merke:

Material, das an einer Seite der Wand zugegeben werden muss, möglichst auf der anderen Seite einsparen.

Merke:

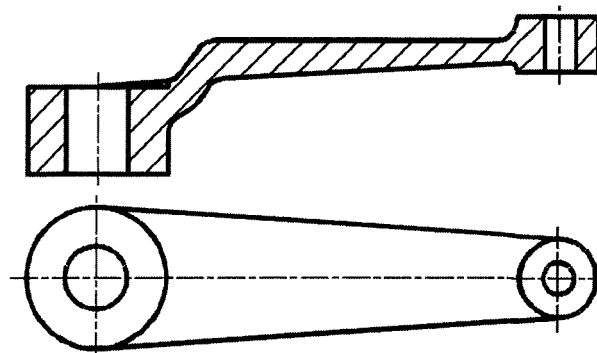
Konstante Wandstärke lässt sich häufig erhalten, indem man Verstärkungen hohl gießt.

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Grenzen des Prinzips der konstanten Wandstärken

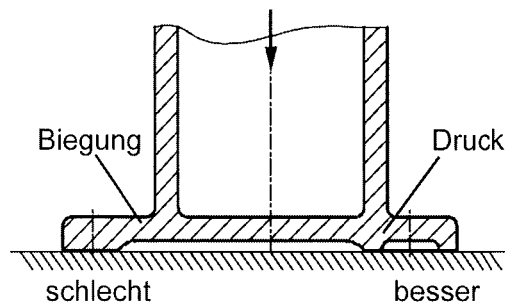
- Füllung der Form erfordert fließgerechte Gestaltung (Querschnitte nehmen vom Einguss zum Ende des Gussstückes hin ab)
- Beanspruchung erfordert festigkeitsgerechte Gestaltung



5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

- Die Druckfestigkeit von Grauguss ist erheblich größer als die Zugfestigkeit.
- Bei Werkstücken aus Grauguss Druckbeanspruchung bevorzugen.



5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

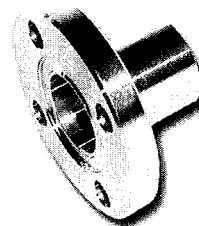
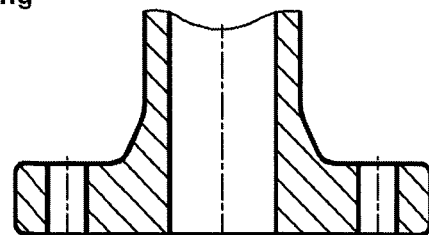
Gestaltungsregeln bzgl. Werkstoff und Beanspruchung

Beispiel: Rohrflansch

- Krafteinleitungsstellen verstärken

Merke:

- Wandstärkensprünge durch Übergänge mildern.

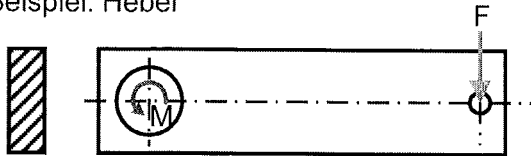


5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

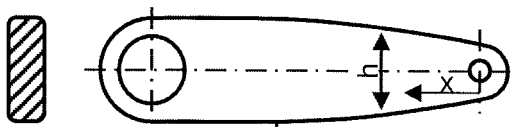
Gestaltungsregeln bzgl. Werkstoff und Beanspruchung

Beispiel: Hebel



1. Entwurf:

- nicht beanspruchungsgerecht
- nicht gussgerecht



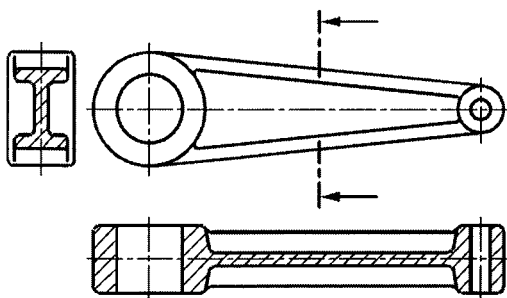
2. Entwurf:

- beanspruchungsgerecht
- gussgerecht
- keine einfache Grundform
- schlechte Werkstoffausnutzung

Parabel, da $\sigma = \frac{6 \cdot F \cdot x}{b \cdot h^2(x)}$

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



3. Entwurf:

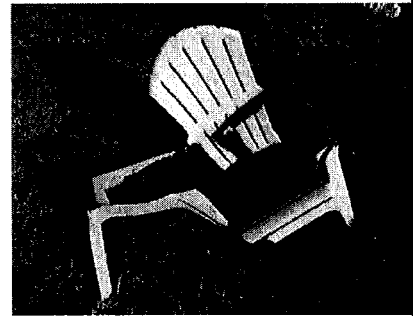
- beanspruchungsgerecht
- gussgerecht
- Krafteinleitungsstellen verstärkt
- gute Werkstoffausnutzung
- Prinzip der konstanten Wandstärken

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Festigkeit und E-Modul beachten

- Berücksichtigung der Festigkeit des Werkstoffs:
siehe allgemeine Gestaltungsregeln
- Elastizitätsmodul der verschiedenen Eisengusswerkstoffe
ist stark unterschiedlich und praktisch immer kleiner als der
von Stahl, siehe nachfolgende Tabelle.
- Dies bei der Abschätzung oder Berechnung von
Durchbiegung und bei der Gestaltung von
Schraubverbindungen beachten!



Quellen:
yting.com, arcca.com

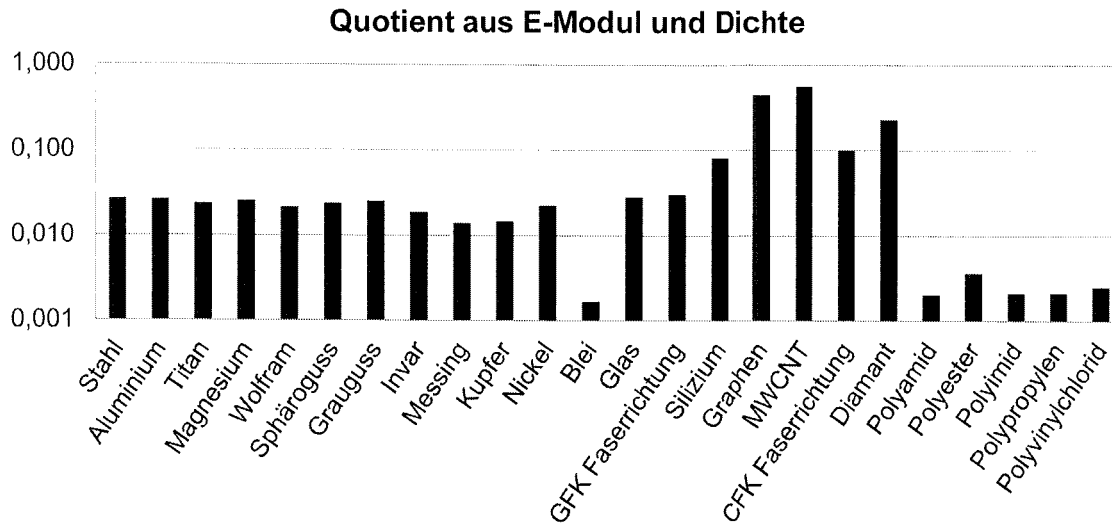
5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Werkstoff	E-Modul [N/mm ²] (Anhaltswerte)		
Aluminium	72.000		
Grauguss	80.000 – 130.000	bei $\sigma = 40 \text{ N/mm}^2$	
	65.000 – 115.000 (abhängig von Festigkeit)	bei $\sigma = 100 \text{ N/mm}^2$	
	100.000 – 200.000	bei Druckbeanspruchung	
Eisen (Stahl)	210.000	Kunststoff	E-Modul [N/mm ²]
Kupfer	130.000	Polyethylen PE-HD	700
Messing	80.000 – 100.000	Polypropylen	1.200
Beryllium	300.000	Polyvinylchlorid PVC	2.500
Iridium	520.000	Polyamid PA	1.600
Bronze	80.000	Polyamid 50% Glasfaseranteil	13.000

5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

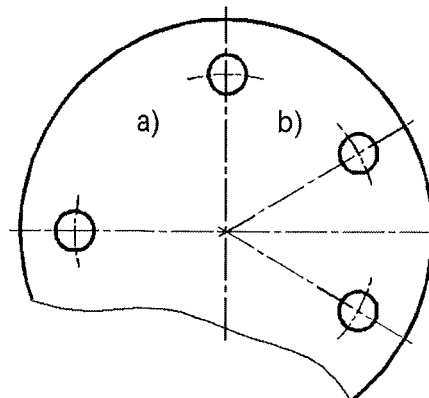
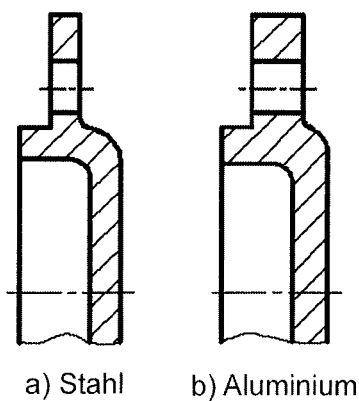


5.3 Urformen

5.3.1.3 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Gestaltungsregeln bzgl. Werkstoff und Beanspruchung

Beispiel: Deckel



5.3 Urformen

5.3.1.4 Praktisches Vorgehen beim Konstruieren von Gussteilen

1. Krafteinleitungsflächen (als Pass- und Gleitflächen) nach Größe und räumlicher Anordnung festlegen. Soweit erforderlich Berechnung, z. B. Flächenpressung, heranziehen

2. Ersten Umriss der materiellen Verbindung aller Krafteinleitungsflächen grob gestalten. Hierbei einfachste Formen, z. B. Zylinder und Quader, bevorzugen (1. Entwurf)

3. Prüfen, ob Umriss mit anderen Bauteilen kollidiert (sog. Interferenz). Eventuell Umriss ändern

4. Beanspruchung des Bauteils überdenken, Querschnittsgestalt und Werkstoff festlegen. Eventuell Umriss ändern.

5.3 Urformen

5.3.1.4 Praktisches Vorgehen beim Konstruieren von Gussteilen

5. Gefährdete Querschnitte nachrechnen und dimensionieren.

6. Entwurf auf gussgerechte Gestaltung (Radien, Wandstärken usw.) überprüfen und ändern. Eventuell Rücksprache mit Gießereifachmann.

7. Anordnung, Form und Stärke der Bearbeitungsflächen und Zugaben endgültig festlegen.

8. Entwurf nochmals nach allen Gesichtspunkten überprüfen. Zeichnung erstellen.

5.3 Urformen

5.3.2 Additive Fertigung - Übersicht

• Polymerisation:

SL: Stereolithographie

PJ: Photopolymer Jetting

• Verkleben

BJ: Binder Jetting

• Verschmelzen

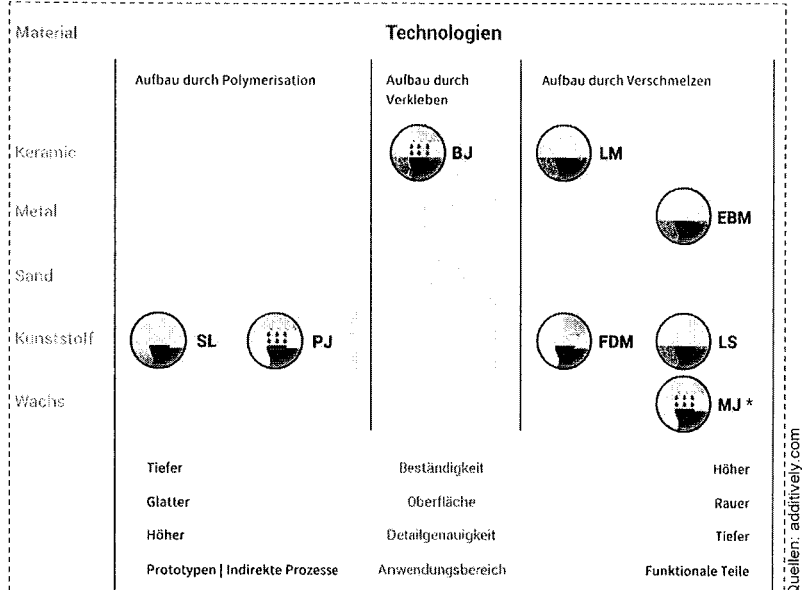
LM: Laser Melting

EBM: Electron Beam Melting

FDM: Fused Deposition Modeling

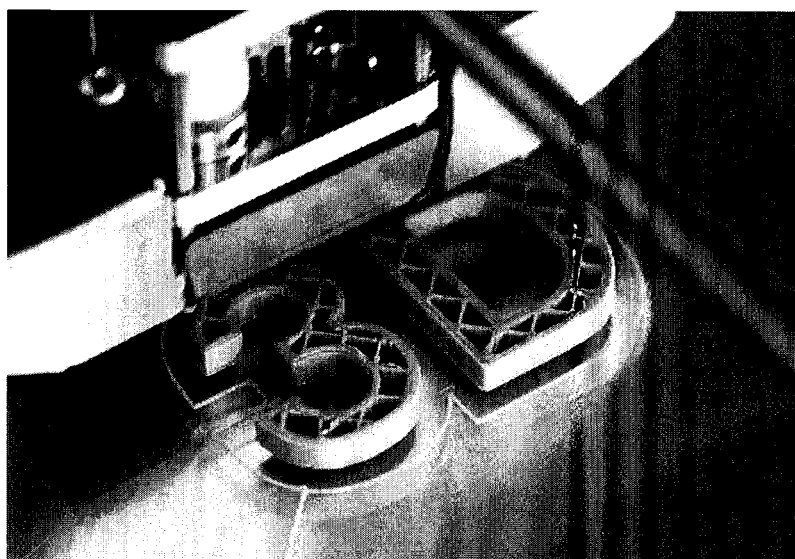
LS: (Selektives) Lasersintern

MJ: Material Jetting



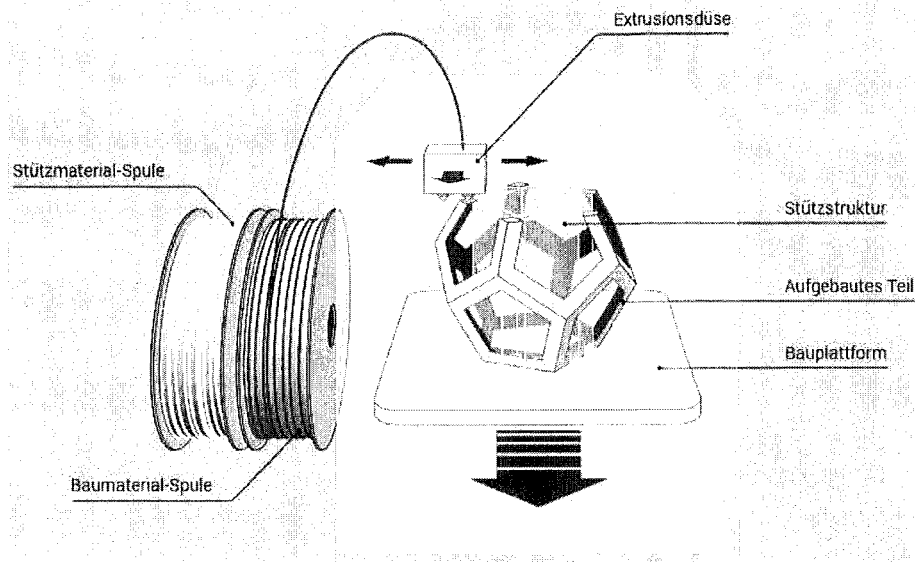
5.3 Urformen

5.3.2 Additive Fertigung



5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck



Quelle:
additively.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

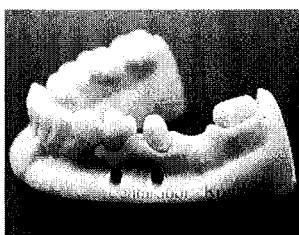
Folie 87

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck

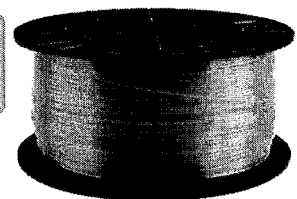
• Rahmenbedingungen



Designfreiheit

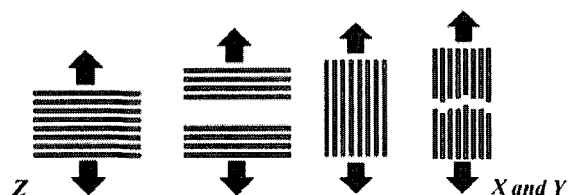
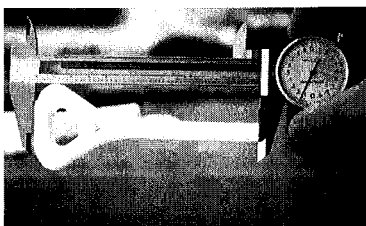
FDM-
Druck

Materialien



Toleranzen

Anisotropie



Quelle:

dentallabor-kretschmer.de, kasa.cz, toms3d.org, sculpteo.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

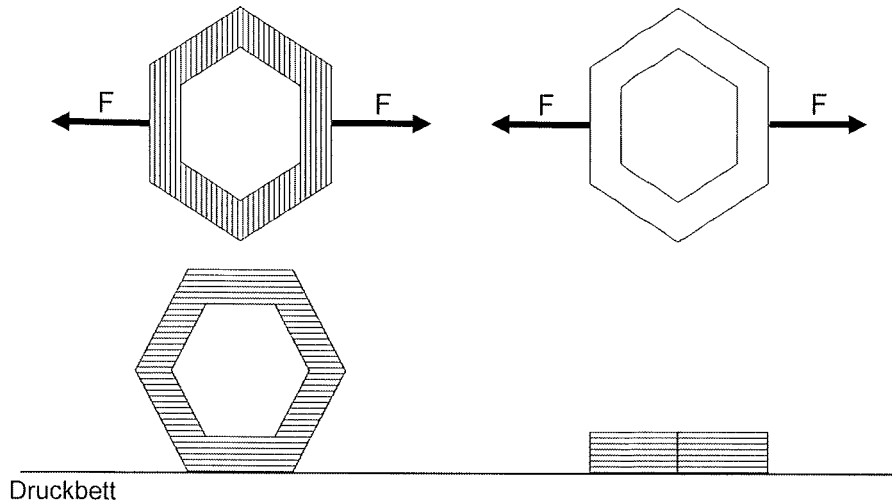
Folie 88

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck - Konstruktionsgrundsätze

- Schichtausrichtung

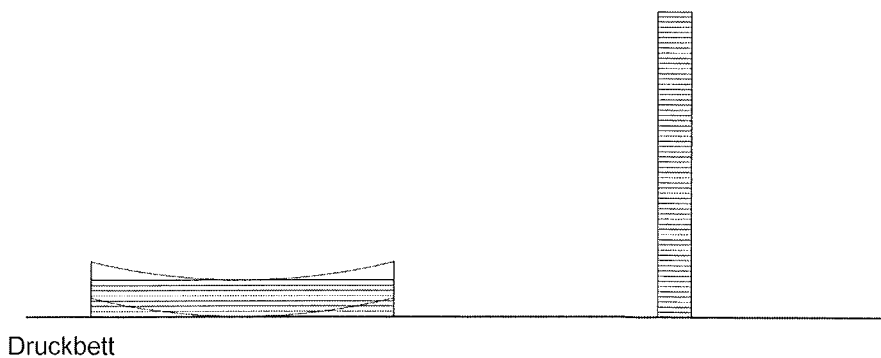


Quelle:
kuehlingundkuehling.de

5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck - Konstruktionsgrundsätze

- Bauteilverzug

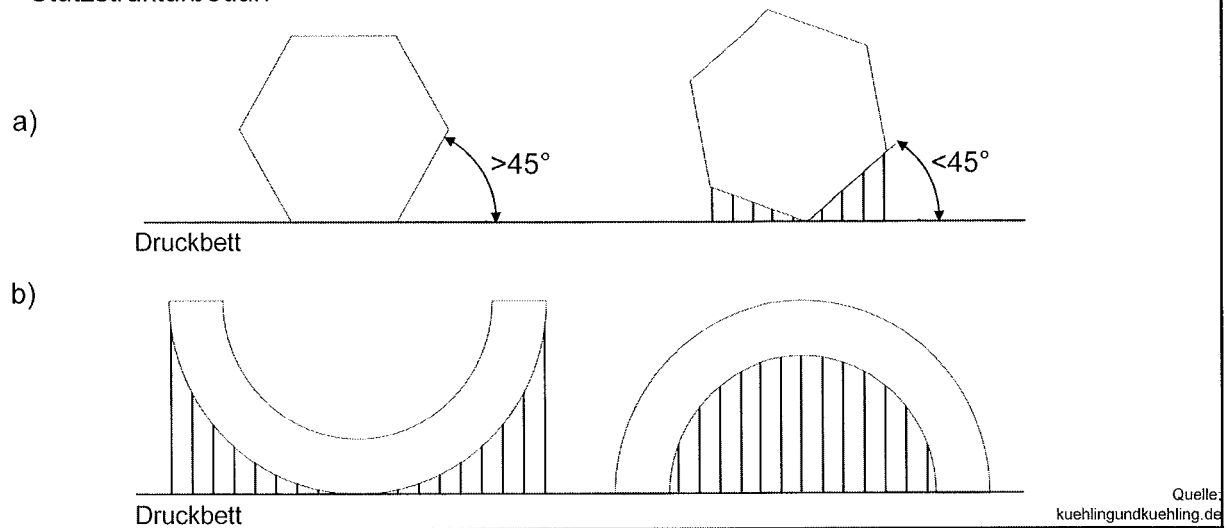


Quelle:
kuehlingundkuehling.de

5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck - Konstruktionsgrundsätze

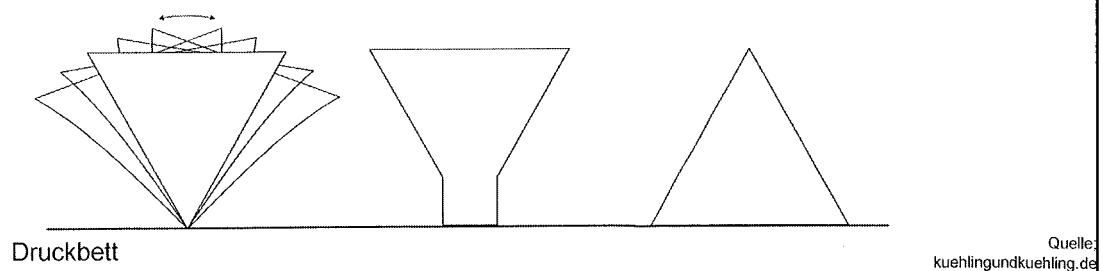
- Stützstrukturbedarf



5.3 Urformen

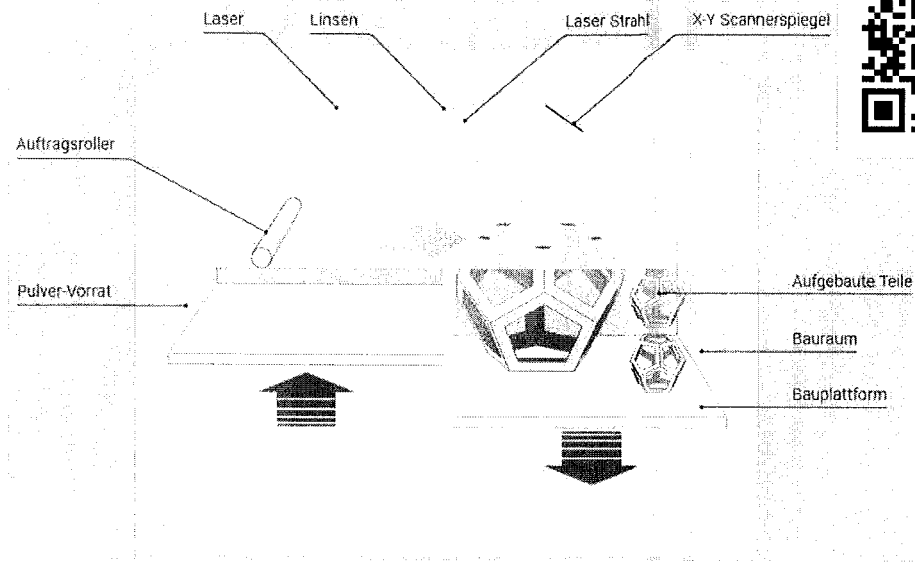
5.3.2.1 FDM-Druck - Konstruktionsgrundsätze

- Kontakt zum Druckbett



5.3 Urformen

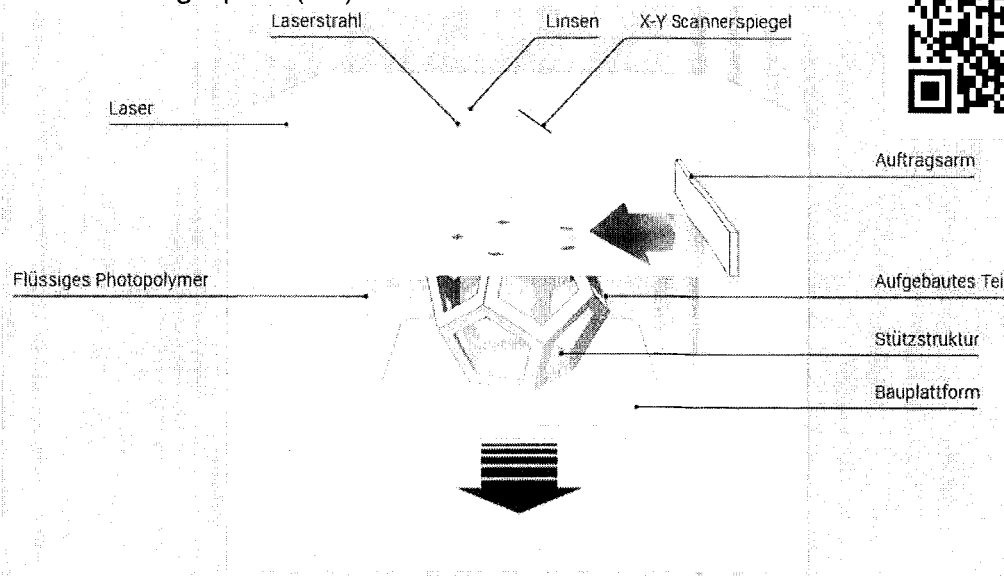
5.3.2.2. Selektives Lasersintern (SLS)



Quelle:
additively.com

5.3 Urformen

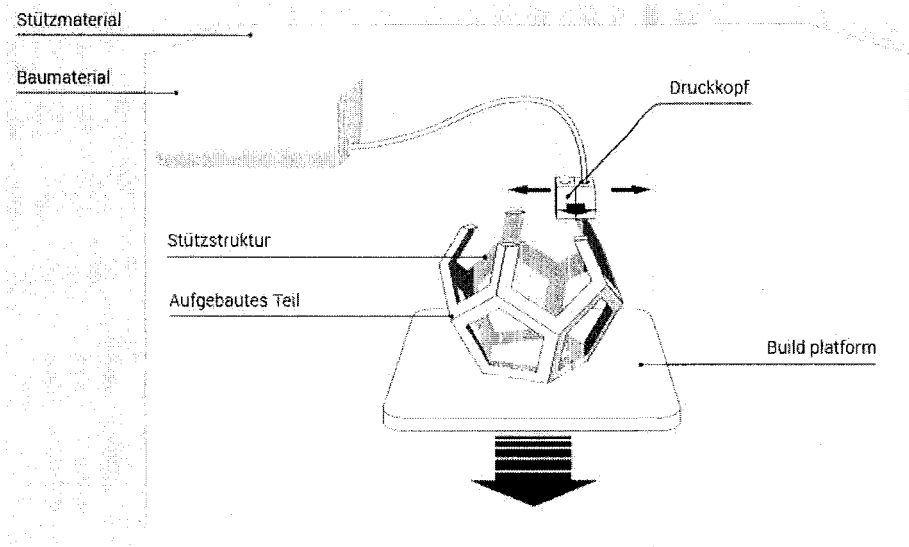
5.3.2.3 Stereolithographie (SL)



Quelle:
additively.com

5.3 Urformen

5.3.2.4 Inkjet-Verfahren (MJ)

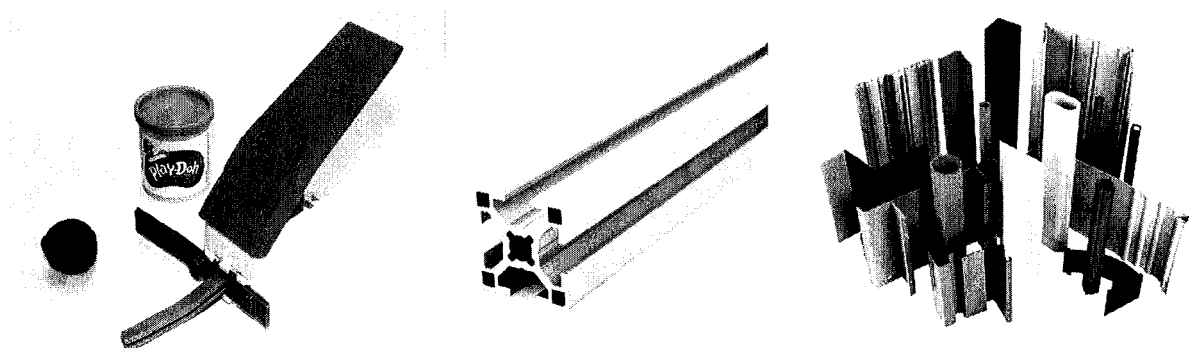


Quelle:
additively.com

5.3 Urformen

5.3.3 Extrudieren

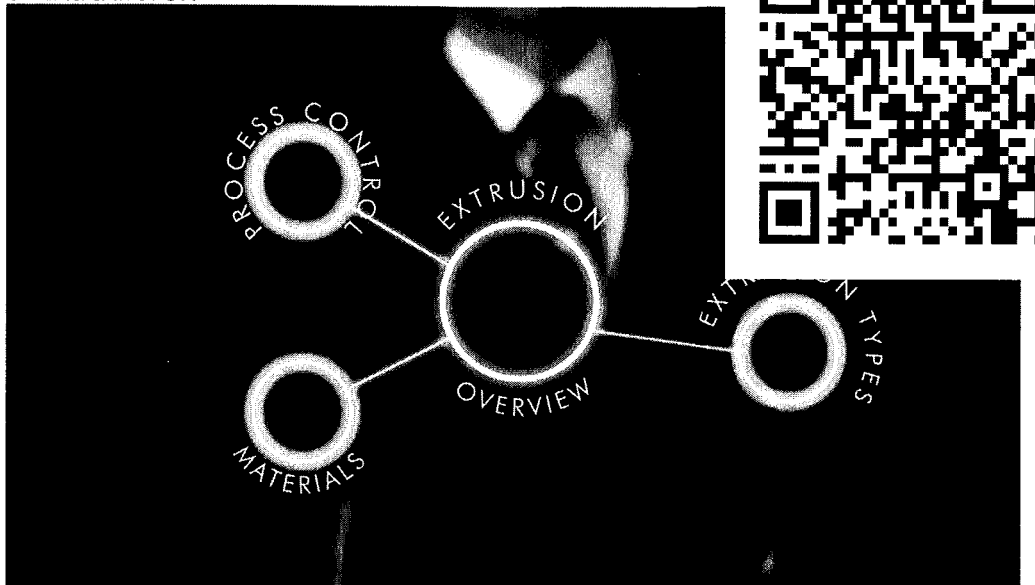
- Extrudieren = feste bis dickflüssige und härtbare Massen werden kontinuierlich aus einer Druckkammer durch eine profilierte Öffnung (Düse, Matrize, Mundstück) gepresst, die Form und Querschnitt bestimmt



Quelle:
Wikipedia.org, dold-mechatronik.de, essai-tools.com

5.3 Urformen

5.3.3 Extrudieren



Quelle:
youtube/vistamed.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

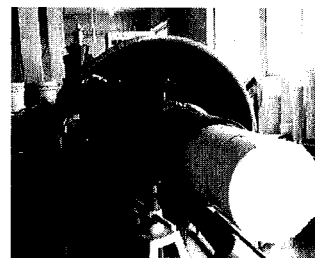
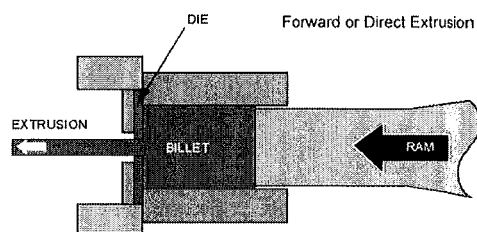
Folie 97

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

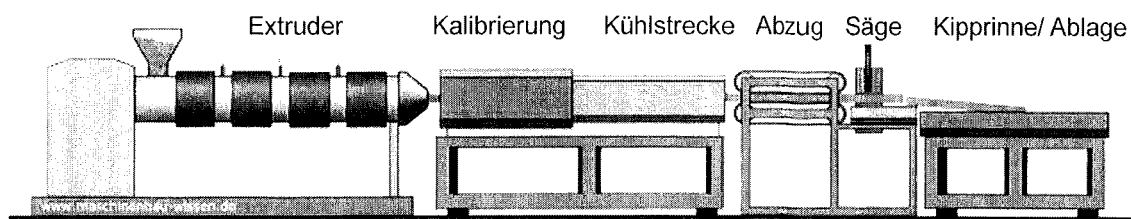
5.3 Urformen

5.3.3 Extrudieren - Funktionsarten

◦ Kolbenextrusion



◦ Schneckenextrusion



Quelle:
ptfe-machine.com
eling.rs

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 98

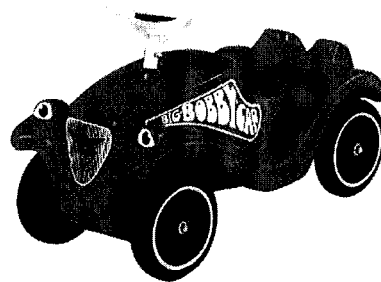
Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

5.3 Urformen

5.3.4 Blasformen

Blasformen

- Produktionsverfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus thermoplastischen Kunststoffen
- Durch Innendruck wird ein zuvor durch Spritzguss oder Extrusion hergestellter Vorformling an die Konturen des Werkzeugs gedrückt und erhält dadurch seine Form
- Vor- und Nachteile:
 - Dünne Wandstärke des Produkts
 - Sichtbare Naht



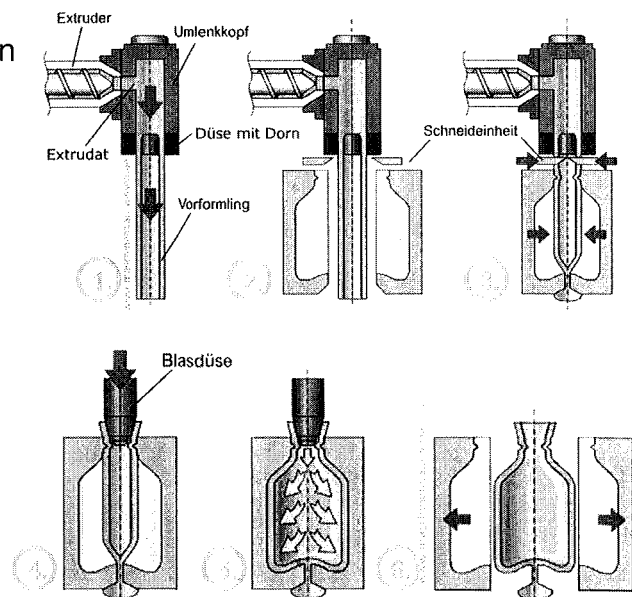
Quelle:
Babymarkt.com

5.3 Urformen

5.3.4 Blasformen - Extrusionsblasformen

Ablauf:

1. Extrusion des Vorformlings
2. Positionierung des Werkzeugs
3. Vorformling erfassen und Abtrennen
4. Positionierung in der Blasstation
5. Formgebung und Abkühlung
6. Entformung

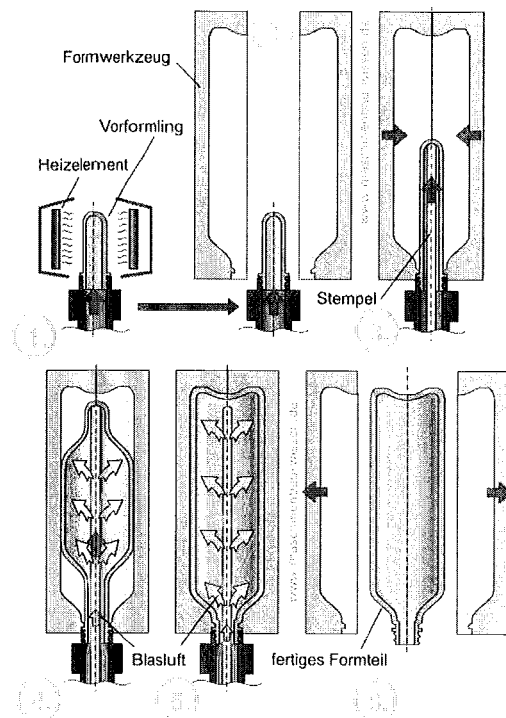


5.3 Urformen

5.3.4 Blasformen - Streckblasverfahren

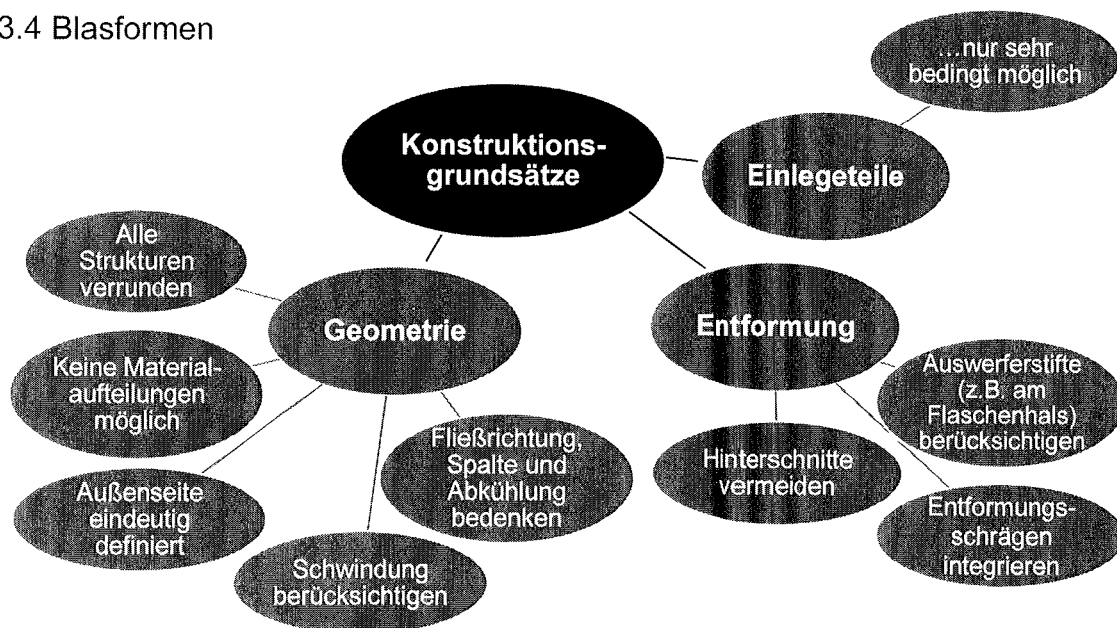
Ablauf:

1. Erhitzen des Vorformlings
2. Positionierung des Vorformlings im Werkzeug
3. Schließen des Werkzeugs
4. Gleichzeitige Längs- und Umfangsstreckung
5. Gleichzeitige Längs- und Umfangsstreckung
6. Abkühlung und Auswerfen des Formteils



5.3 Urformen

5.3.4 Blasformen



Fertigungsverfahren

Einteilung

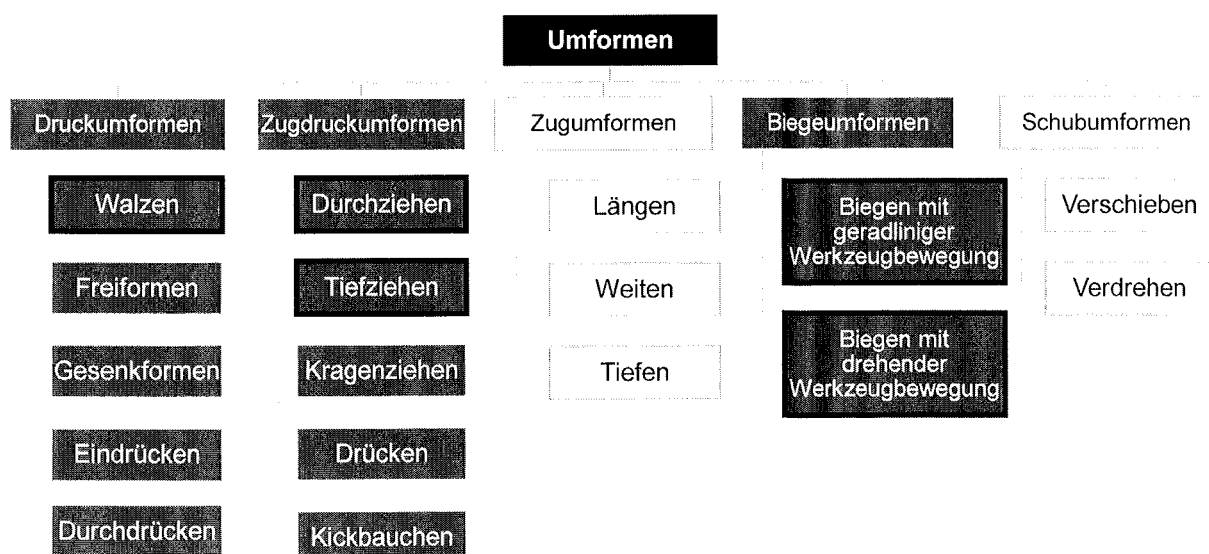
Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Hauptgruppe 1	Hauptgruppe 2	Hauptgruppe 3	Hauptgruppe 4	Hauptgruppe 5	Hauptgruppe 6
Urformen	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten	Stoffeigen- schaft ändern
Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehrten	Zusammenhalt vermehrten	Stoffeigen- schaft ändern
Beispiele: Gießen Extrudieren Drucken ...	Beispiele: Walzen Tiefziehen Biegen ...	Beispiele: Sägen Fräsen Bohren ...	Beispiele: Schweißen Kleben Schrauben ...	Beispiele: Lackieren Pulver- beschichten ...	Beispiele: Härten Glühen ...
Schaffen der Form	Ändern der Form				

Quelle:
DIN 8580

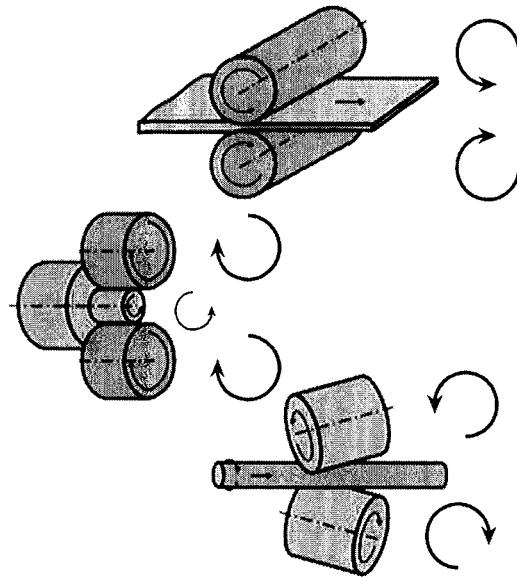
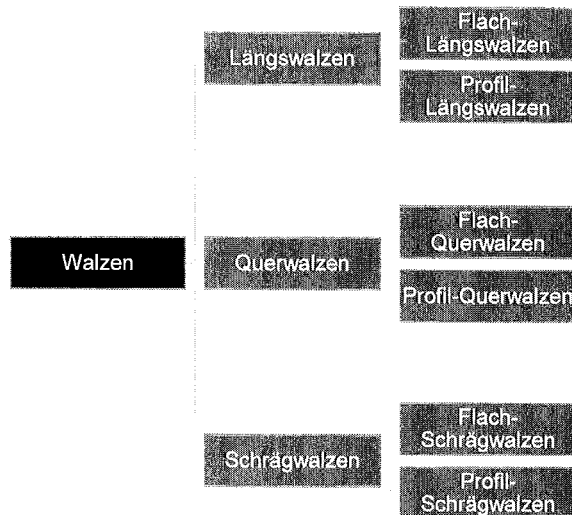
5.4 Umformen und Trennen

5.4.1 Umformen von Blechen



5.4 Umformen und Trennen

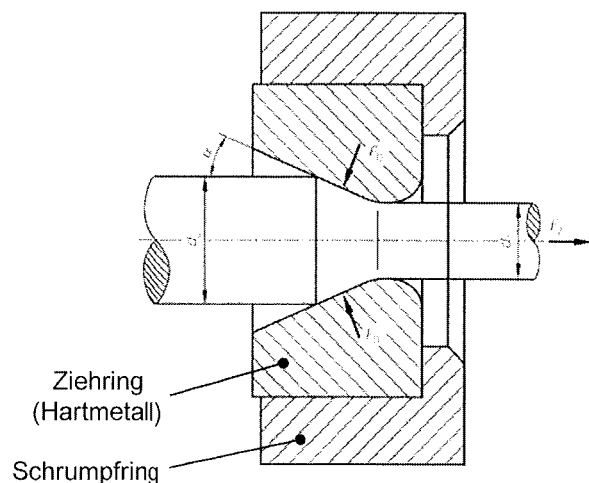
5.4.1.1 Druckumformen - Walzen



5.4 Umformen und Trennen

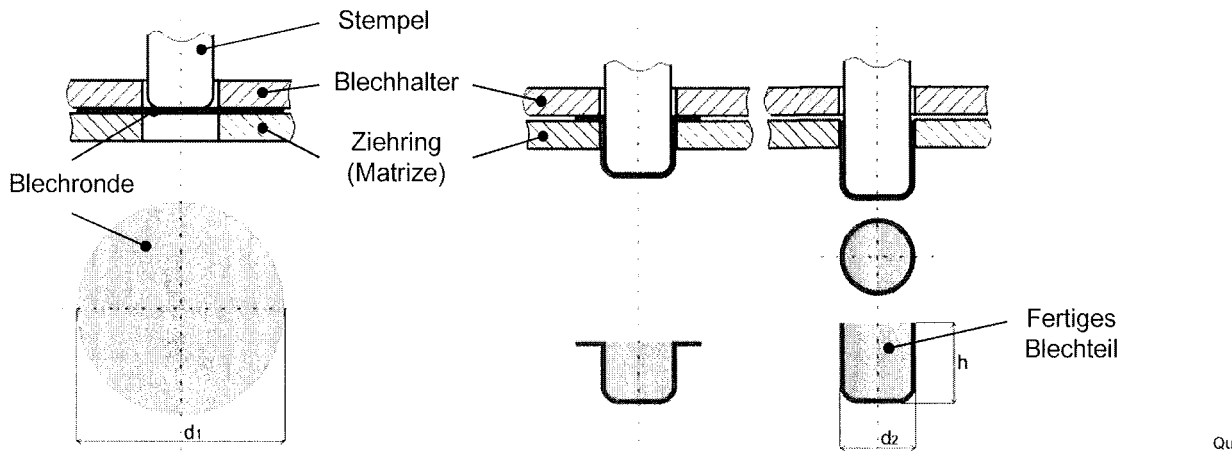
5.4.1.2 Zugdruckumformen - Durchziehen

- Gleitziehen:
 - Kaltumformung
 - Herstellung von Draht, Stäben, Rohren
 - Einsatz von Schmierstoff
- Walzziehen
 - Durchziehöffnung mit Walzen ausgestattet
 - Erst, wenn Gleitziehen an Verfahrensgrenze



5.4 Umformen und Trennen

5.4.1.2 Zugdruckumformen - Tiefziehen



Quelle:
wikipedia.de, aluinfo.de

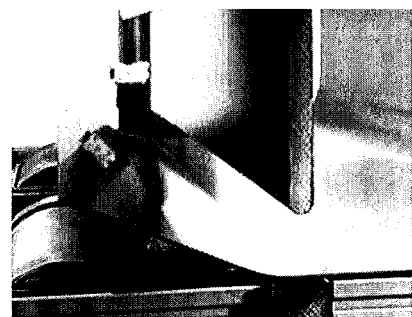
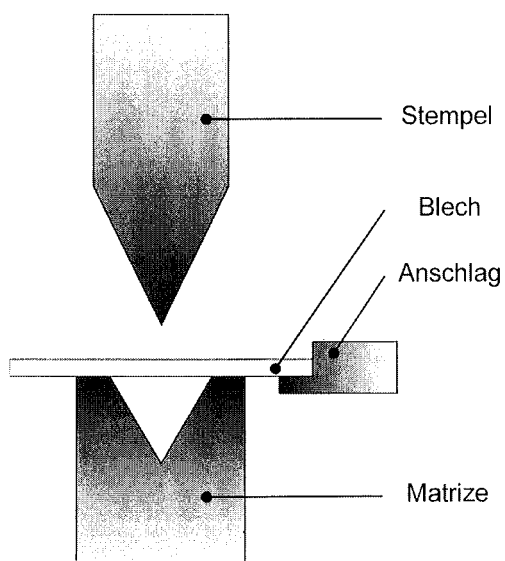
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 107

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1.3 Biegeumformen – Biegen mit geradliniger Werkzeugbewegung



Quelle:
wurster-blog.de, vogel.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

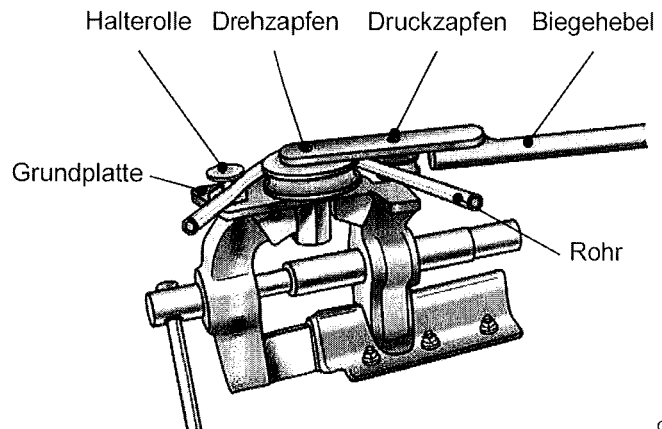
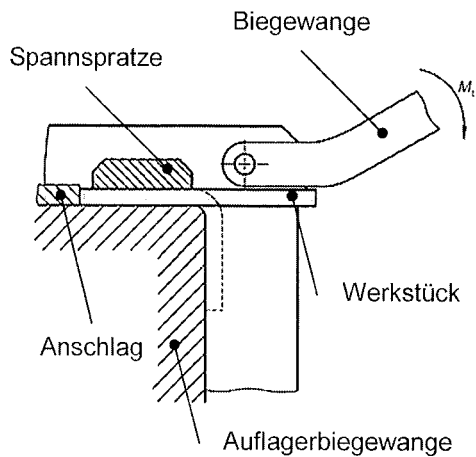
Folie 108

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1.3 Biegeumformen – Biegen mit drehender Werkzeugbewegung

➤ Schwenkbiegen



Quelle:
europa-lehrmittel

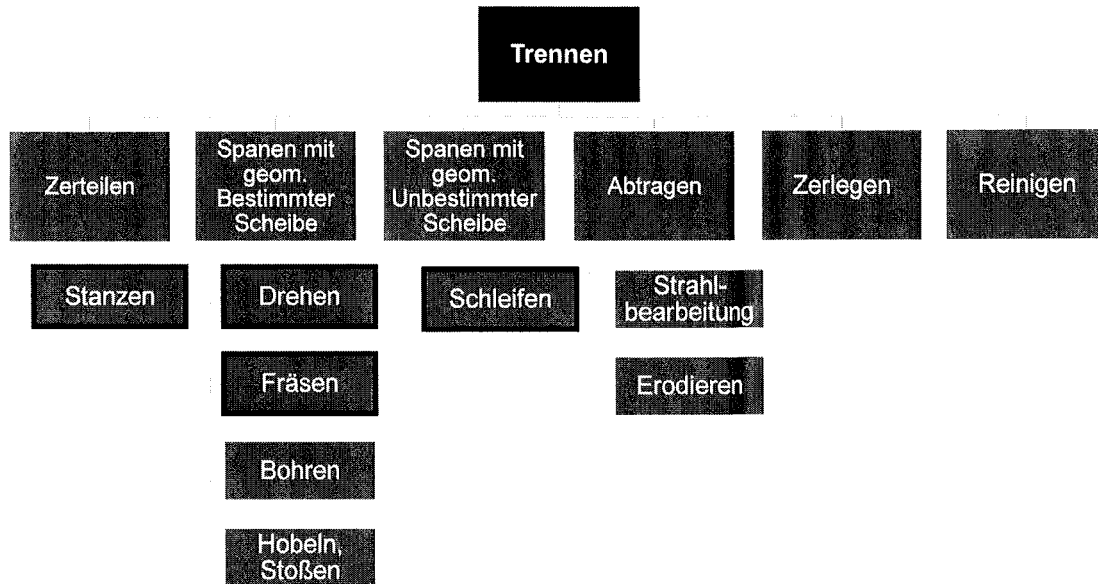
5.4 Umformen und Trennen

5.4.1 Umformen von Blechen

Vorteile	Nachteile
Hohe Werkstoffausnutzung	Lange Einrichtzeiten
Geringe variable Kosten	Hohe Fixkosten (Werkzeug, Maschinen)
Geringe Fertigungszeit	Erst bei größeren Stückzahlen wirtschaftlich
Hohe Werkstückqualität	Hoher Energiebedarf
Erhöhte Festigkeit bei Kaltumformen	Unflexibel bei Teiländerungen

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2 Spanende Bearbeitung

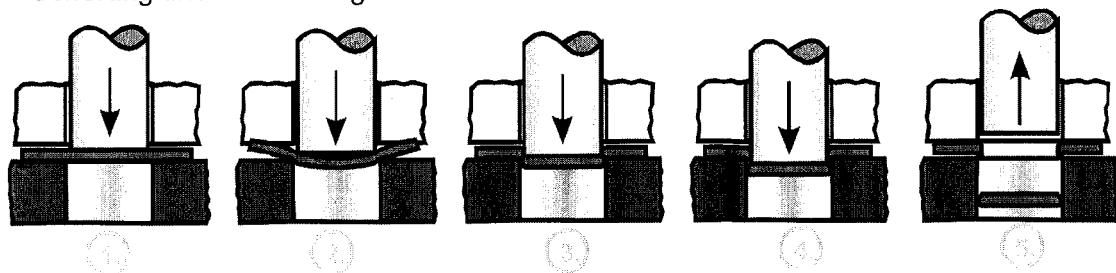


5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.1 Stanzen

- Trennung des Materials durch zwei Schneiden, die sich aneinander vorbei bewegen.
→ auch „Scherschneiden“

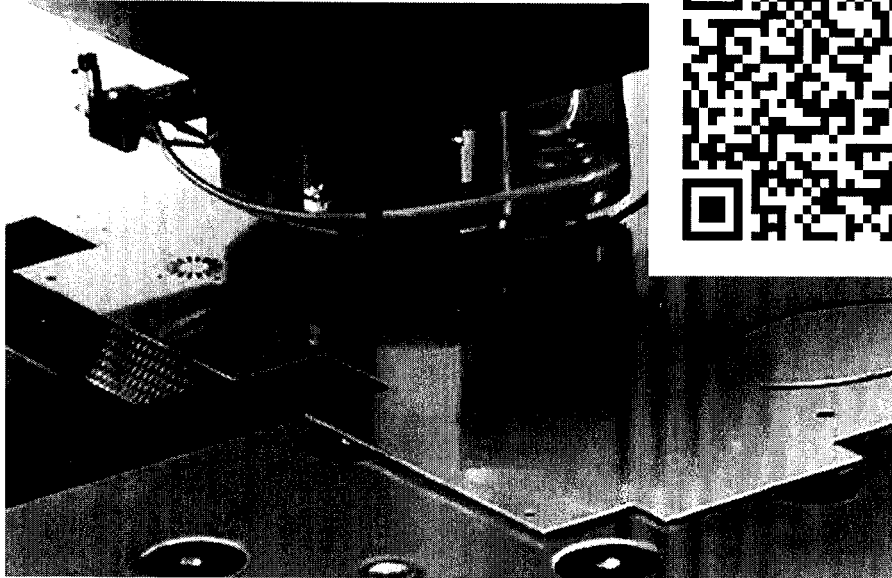
1. Aufsetzen des Stempels
2. Elastische und plastische Verformung
3. Scherung und Rissbildung
4. Durchbrechen
5. Abstreifen



Quelle:
TUM

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.1 Stanzen



Quelle:
TUM

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

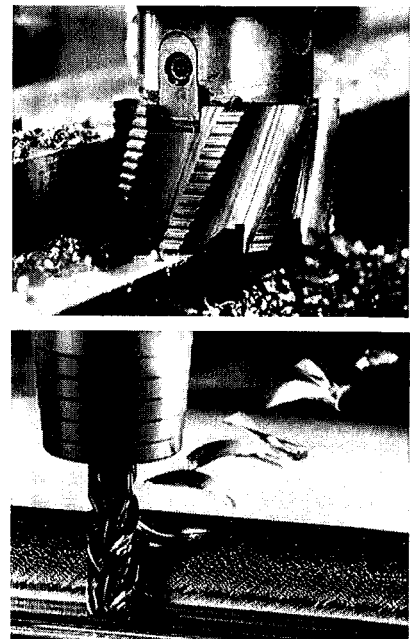
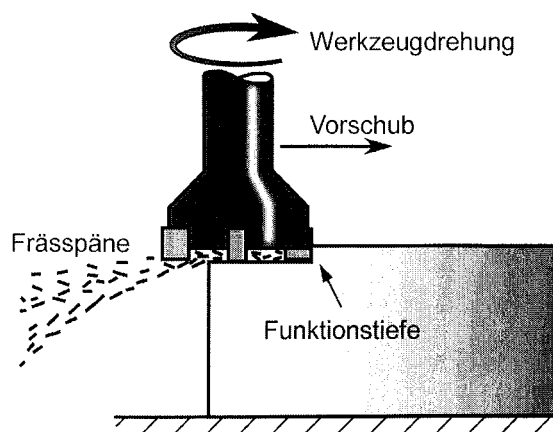
Folie 113

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.2 Fräsen

- Ein oder mehrere Schneiden
- Abtrag von Material mittels rotierender Bewegung



Quelle:
wikipedia.de, wnt.com, skartek.sk

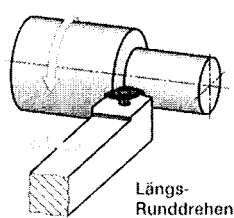
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 114

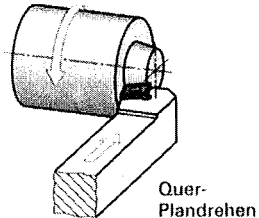
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.4 Umformen und Trennen

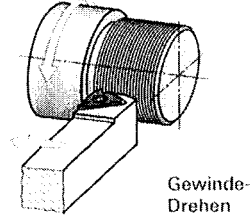
5.4.2.3 Drehen



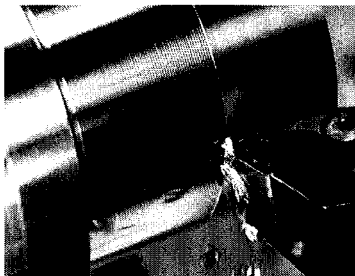
Längs-
Runddrehen



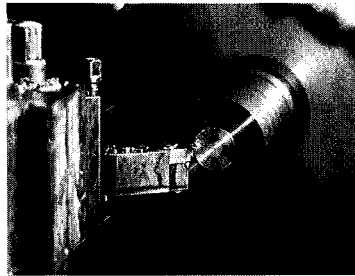
Quer-
Plandrehen



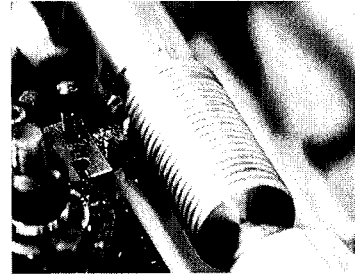
Gewinde-
Drehen



Runddrehen



Plandrehen



Schraubdrehen

Quelle:
schneidwerkzeugmechaniker.info
mm-industrie.at wagenrecht-werkzeugbau.de
wabeco-remscheid.de

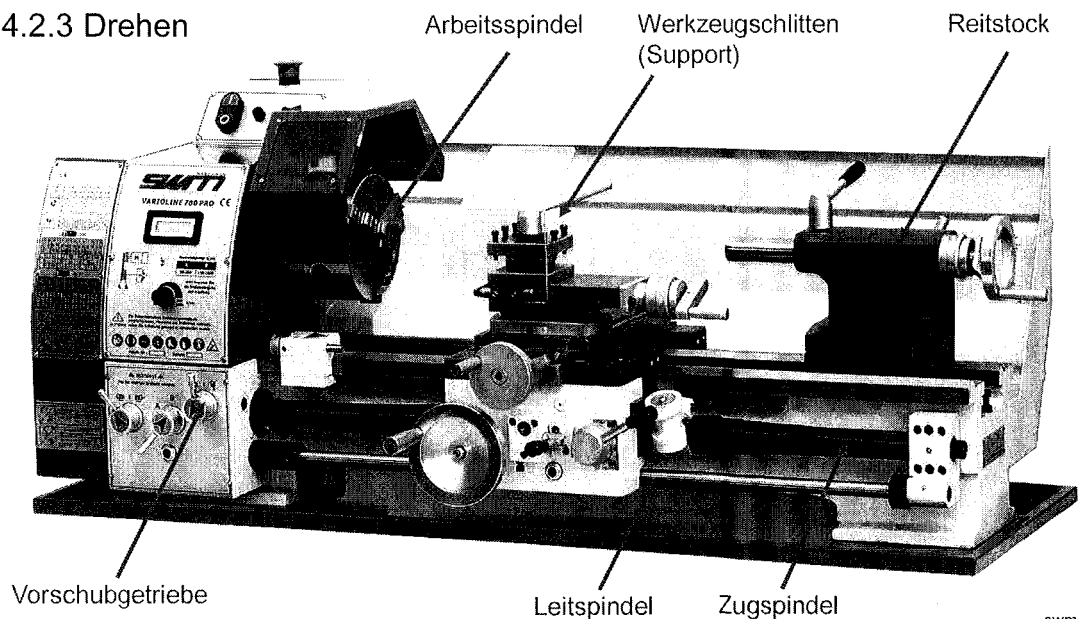
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 115

Institut
für **IMT**
Medizingerätetechnik

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.3 Drehen



Quelle:
swm-maschinen.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 116

Institut
für **IMT**
Medizingerätetechnik

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.3 Drehen

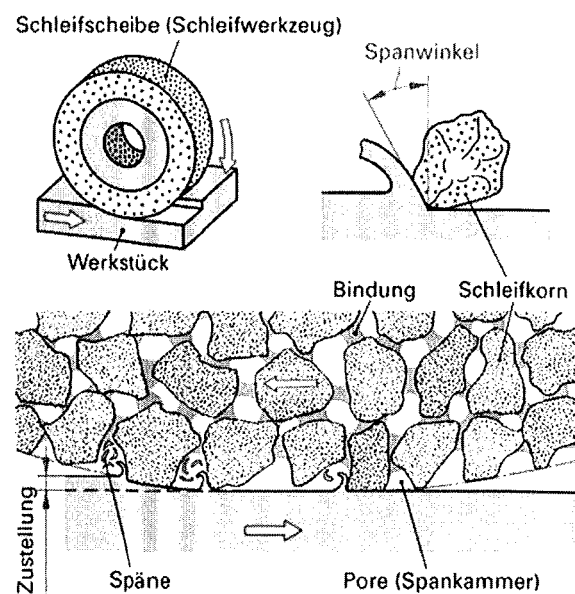


Quelle:
youtube

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.4 Schleifen

- Werkzeug mit einer Vielzahl gebundener Schleifkörner
→ Abtrag Werkstoffoberfläche

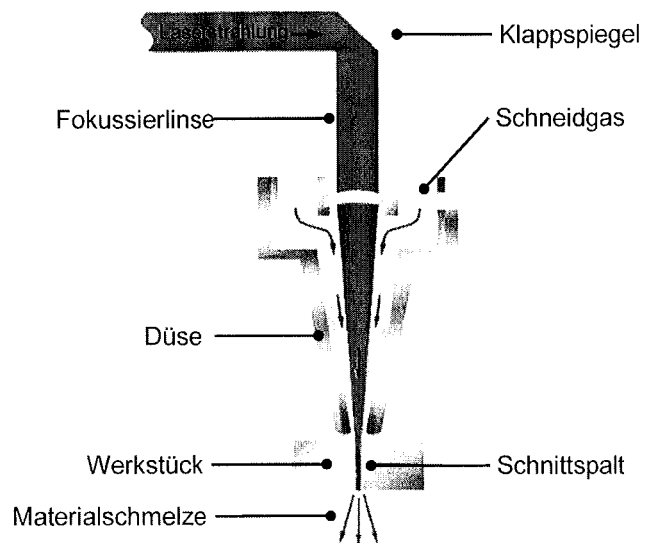


Quelle:
frank-präzisionsteile.de, fachlexika.de

5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Laserschneiden

- Funktionsweise:
 - Gebündelter Lichtstrahl als Schneidwerkzeug
 - Modulierung des Strahls durch Linsen und Spiegel
- Gehört zur Gruppe der Trennverfahren (Abtragen)
- Ermöglicht eine berührungslose Bearbeitung fast aller Materialien

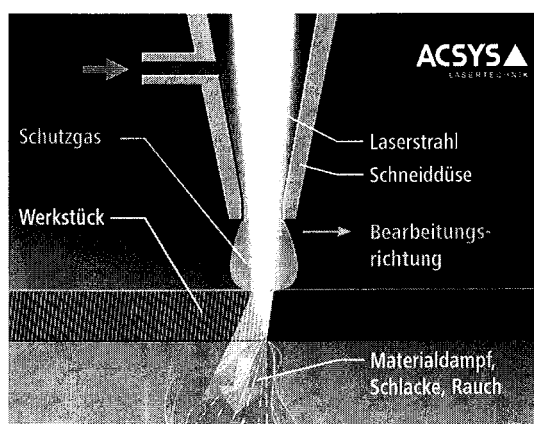


Quelle:
blechbearbeitung-online.de

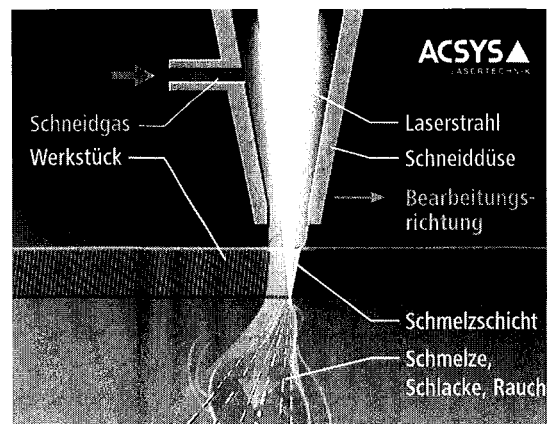
5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Laserschneiden

Laserschmelzschnneiden



Laserbrennschnneiden

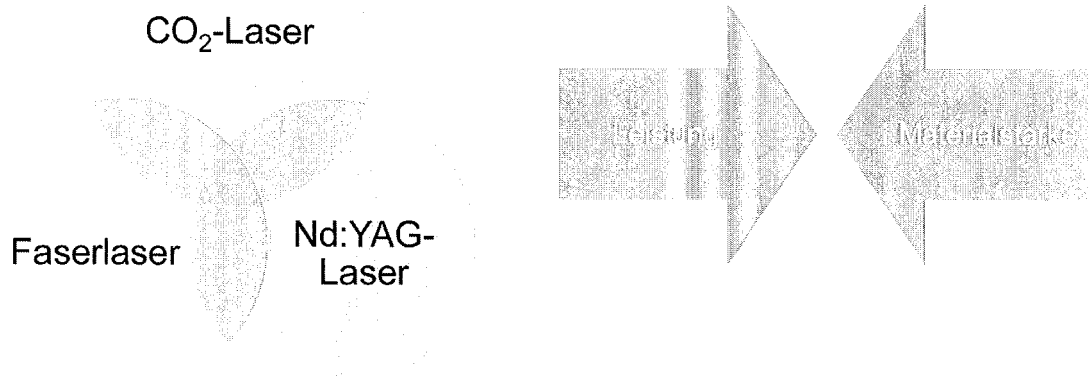


Quelle:
acsys.de

5.4 Umformen und Trennen

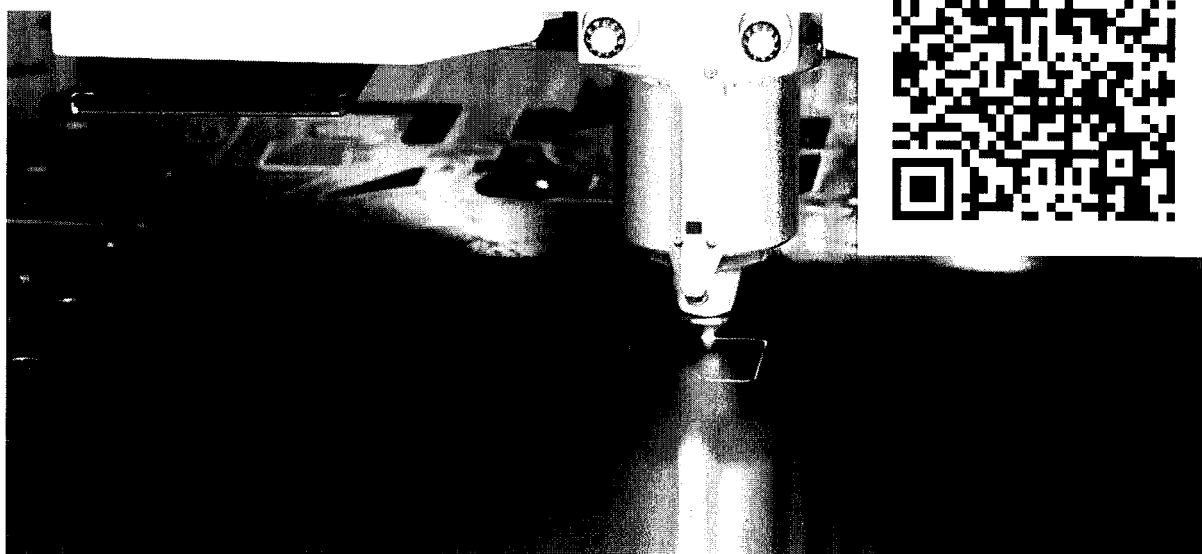
5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Laserschneiden

Lasertypen



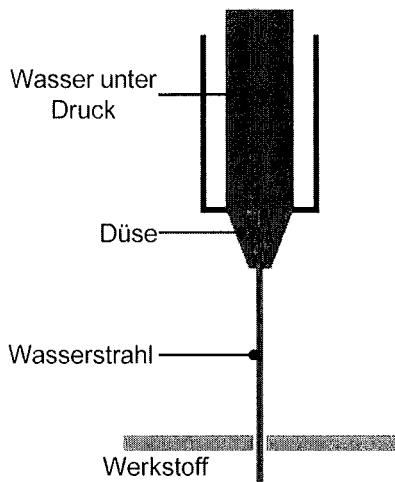
5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Laserschneiden



5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.2 Strahlbearbeitung - Wasserstrahlschneiden



Quelle:
blechbearbeitung-online.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 123

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.2 Strahlbearbeitung - Wasserstrahlschneiden



Quelle:
blechbearbeitung-online.de

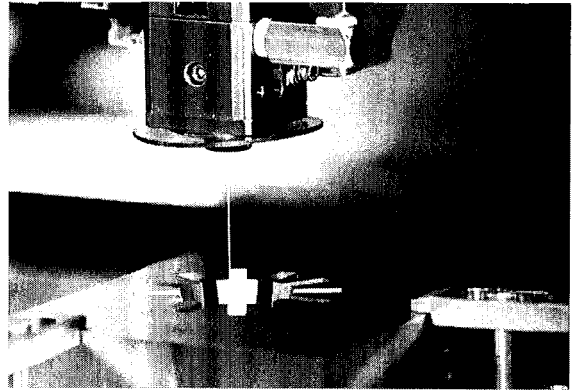
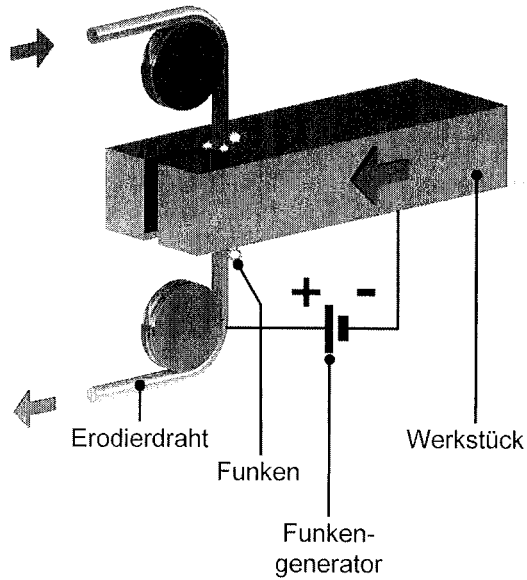
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 124

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.4 Umformen und Trennen

5.4.4 Erodieren



Quelle:
wikipedia.de, datacad.de

5.4 Umformen und Trennen

5.4.4 Erodieren



Quelle:
youtube

5.5 Literaturverzeichnis

- Dubbel, H., Grote, K.-H., Feldhusen, J.: Taschenbuch für den Maschinenbau, 24. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2014
- Decker K.-H., Kalus K.: Maschinenelemente, 19. Auflage, Carl Hauser Verlag München Wien, 2014
- Haberhauer H., Bodenstein F.: Maschinenelemente, 17. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2013
- Steinhilper W., Röper R.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus, Band I, 7. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- Steinhilper W., Röper R.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus, Band II, 8. Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2016
- Franck, A: Kunststoff-Kompodium, 7. Auflage Würzburg: Vogel-Buchverlag 2011
- Johannaber, F.; Michaeli, W.: Handbuch Spritzgießen, 2. Auflage, München: C. Hanser Verlag 2004
- Eyerer, P.: Kunststoffkunde, Vorlesungsmanuskript, 12. Auflage Universität Stuttgart 2005/2006
- Verein deutscher Giessereifachleute: Grundlagen der Gießereitechnik, unter http://www.vdg.de/fileadmin/content/03_documents/Grundlagen_der_Giessereitechnik_1.pdf (abgerufen am 10.10.2018)
- Bonten, C.: Kunststofftechnik: Einführung und Grundlagen, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2014

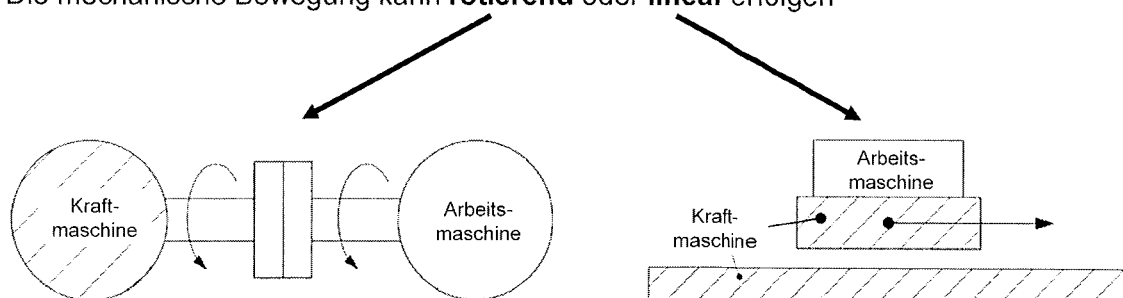
6. Antriebstechnik

Inhalt

- 6.1 Grundlagen
- 6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor
- 6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor
- 6.4 Drehstrom
- 6.5 Asynchronmotor
- 6.6 Schrittmotor
- 6.7 Weitere Antriebsformen
 - 6.7.1 Hydraulikantrieb
 - 6.7.2 Pneumatikantrieb
 - 6.7.3 Vergleich Hydraulik- und Pneumatikantrieb
 - 6.7.4 Piezotechnologie
- 6.8 Literatur

6.1 Grundlagen

- Ziel der Antriebstechnik ist es, mechanische Energie zur Verfügung zu stellen
- Die mechanische Bewegung kann **rotierend** oder **linear** erfolgen



Quelle: Binder

6.1 Grundlagen

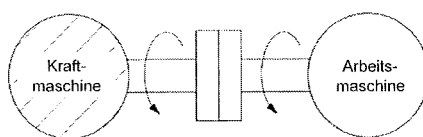
Definitionen

- **Kraftmaschinen** sind Maschinen, die eine Energieform wie thermische, chemische oder elektrische Energie in mechanische Energie bzw. Arbeit umwandeln. Sie werden vor allem zum Antrieb von Arbeitsmaschinen oder Fahrzeugen verwendet. (Bsp.: Elektro-, Verbrennungsmotoren, ...)
- **Arbeitsmaschinen** sind Maschinen, die durch Zufuhr von mechanischer Energie (Antrieb durch Kraftmaschine) Arbeit verrichten können. Die zugeführte Energie wird entweder in eine andere Energieform umgewandelt oder dient zur Umformung oder Transport eines Stoffes (Bsp.: Pumpen, Verdichter, el. Generatoren,...)

6.1 Grundlagen

Charakteristische Größen

Rotation



- Drehmoment **M**
- Winkelgeschwindigkeit **ω**
- Drehzahl **n**
- Trägheitsmoment **J**

$$\begin{aligned} P &= M \cdot \omega \\ P &= M \cdot 2\pi \cdot n \quad (6.1) \\ M &= J \cdot \dot{\omega} \end{aligned}$$

Translation

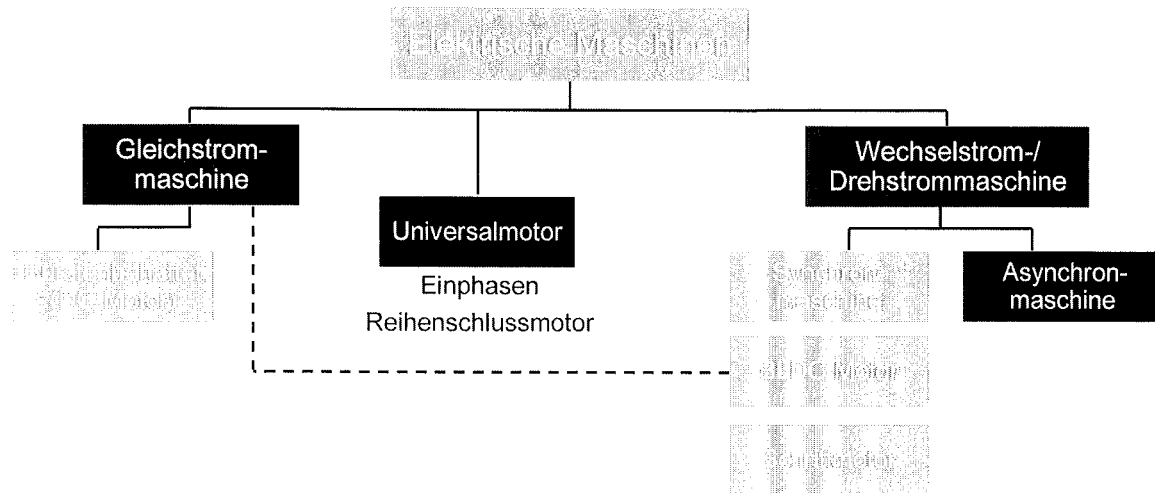
- Kraft **F**
- Geschwindigkeit **v**
- Masse **m**

$$\begin{aligned} P &= F \cdot v \\ F &= m \cdot \dot{v} \end{aligned} \quad (6.2)$$

Quelle: Binder

6.1 Grundlagen

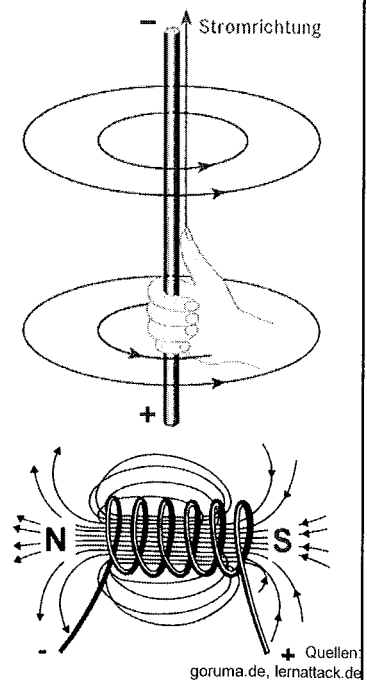
Einteilung elektrischer Maschinen



6.1 Grundlagen

Elektrodynamik

- Ein stromdurchflossener Leiter wird von einem ringförmigen Magnetfeld umgeben
Die Richtung kann mit der **Faust-Regel** bestimmt werden:
 - Daumen zeigt in die Stromrichtung
 - gekrümmte Finger zeigen den Umlaufsinn der magnetischen Feldlinien an
 - **Rechte Hand:** Stromrichtung von + nach – (technische Stromrichtung)
 - **Linke Hand:** Stromrichtung von – nach + (physikalische Stromrichtung)
- Eine stromdurchflossene Spule erzeugt ein (weitgehend) homogenes Magnetfeld im Inneren



Quellen:
goruma.de, lemmattack.de

6.1 Grundlagen

Lorentzkraft

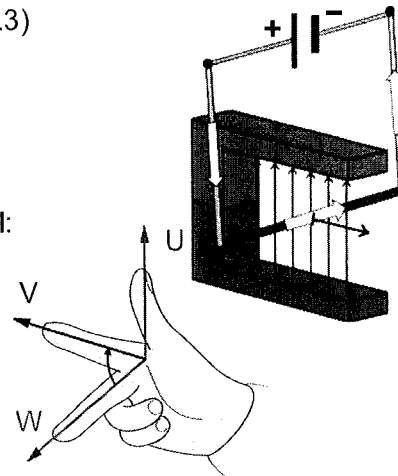
- Ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld erfährt eine Kraft (Lorentzkraft F_L):

$$F_L = q \cdot v \cdot B \quad (6.3)$$

- q : Elektrische Ladung
- v : Geschwindigkeit der geladenen Teilchen
- B : Magnetische Flussdichte
- Bestimmung der Richtung über **Hand-Regel/ UVW-Regel**:
 - **Ursache**: Stromfluss $\rightarrow$ Daumen
 - **Vermittlung**: Magnetfeld von N nach S $\rightarrow$ Zeigefinger
 - **Wirkung**: Lorentzkraft $\rightarrow$ Mittelfinger

$\rightarrow$ **Rechte-Hand-Regel**: Stromfluss von + nach –

$\rightarrow$ **Linke-Hand-Regel**: Stromfluss von – nach +



Quellen:
wintipper.de, wikipedia.org

6.1 Grundlagen

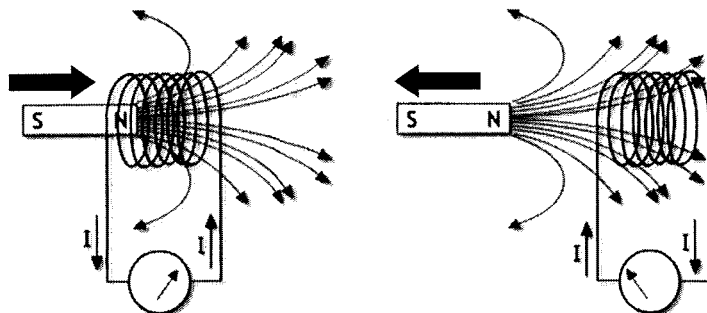
Elektromagnetische Induktion

- Ändert sich der magnetische Fluss durch eine Spule (durch Bewegung oder ein veränderliches Magnetfeld), so wird in der Spule eine Spannung induziert

$\rightarrow$ Elektromagnetische Induktion nach Faraday

$$U_{ind} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (6.4)$$

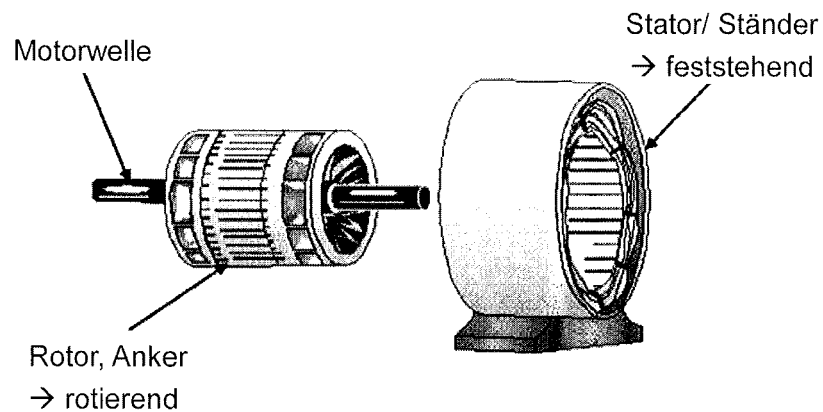
U_{ind} Induzierte Spannung
 N Windungszahl der Spule
 $\frac{d\Phi}{dt}$ Zeitliche Änderung des magnetischen Flusses



Quelle:
youtube- Iken Edu (Electromagnetic Induction)

6.1 Grundlagen

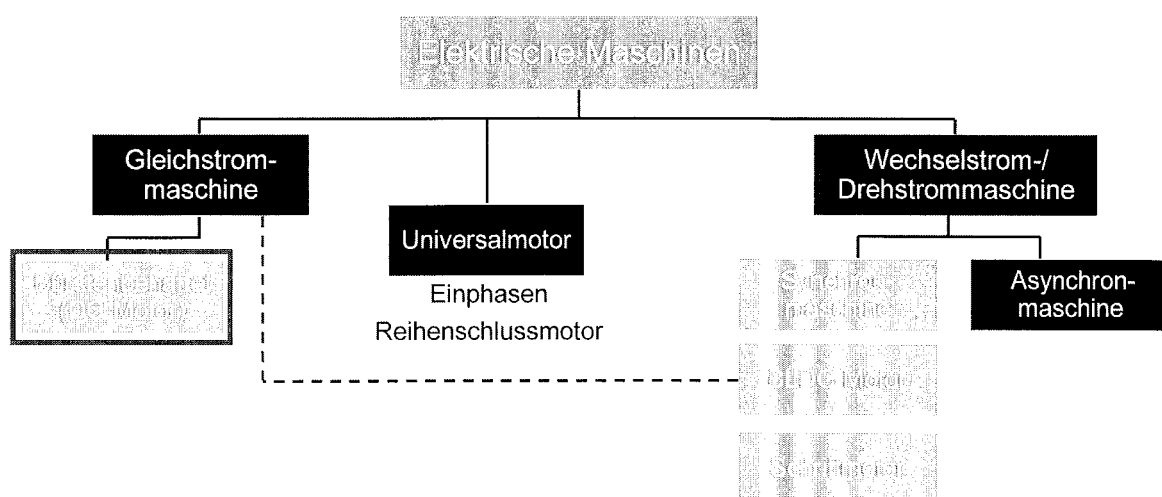
Allgemeiner Aufbau eines Elektromotors



Quelle:
dw-inductionheater.com

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Einteilung elektrischer Maschinen



6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

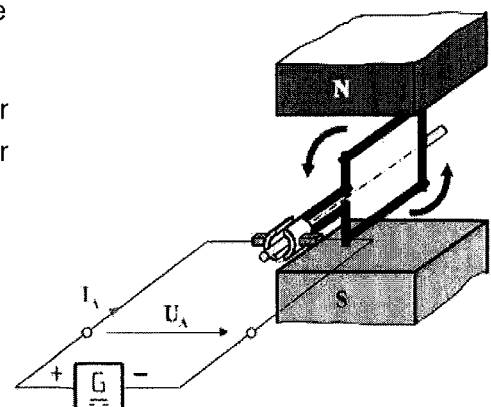
Funktionsprinzip



6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

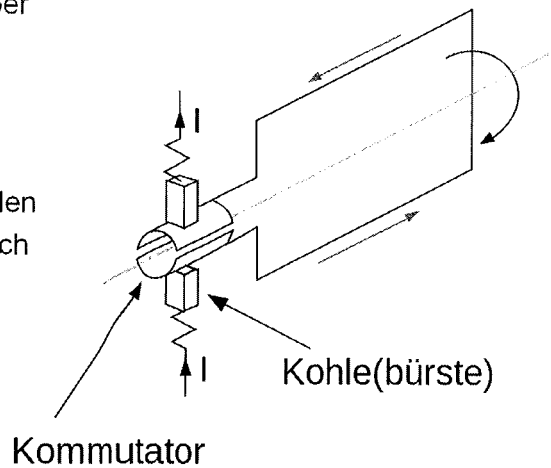
- Wird die Ankerspule von Strom durchflossen entsteht ein Magnetfeld, das den Anker in Richtung des feststehenden (Stator-) Magnetfelds zu drehen versucht
- Durch Umschalten der Wicklungspolarität im richtigen Moment dreht sich das Magnetfeld der Ankerspule um eine Drehbewegung entsteht



6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

- › Die Ankerspule ist mithilfe von **Kohlebürsten** über einen geteilten Schleifring (Kommutator) mit der Gleichstromquelle verbunden
- › Der Kommutator dreht sich mit der Ankerspule
- › Die einzelnen Abschnitte des Kommutators werden abwechselnd von den Bürsten kontaktiert wodurch sich die Stromrichtung in der Ankerspule immer wieder umkehrt



Quelle:
wikipedia.org

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

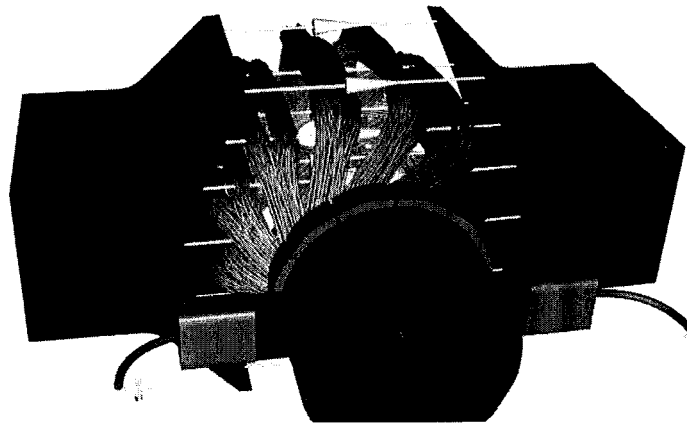


Quelle:
youtube – Werde Ingenieur

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

- » Damit sich eine gleichmäßige Drehbewegung ergibt besteht der Anker aus mehreren Leiterschleifen

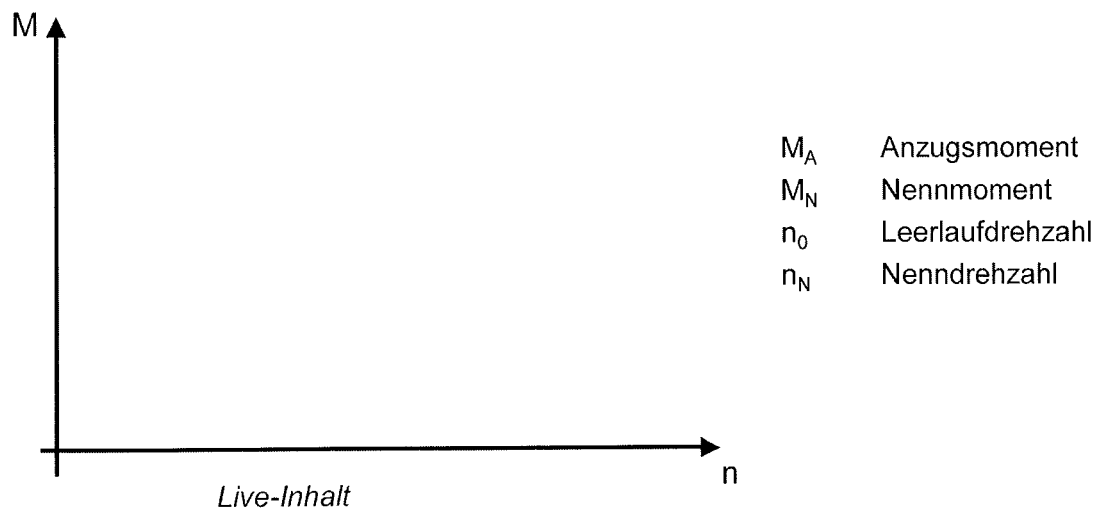


Quelle:
youtube – Werde Ingenieur

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Kennlinie

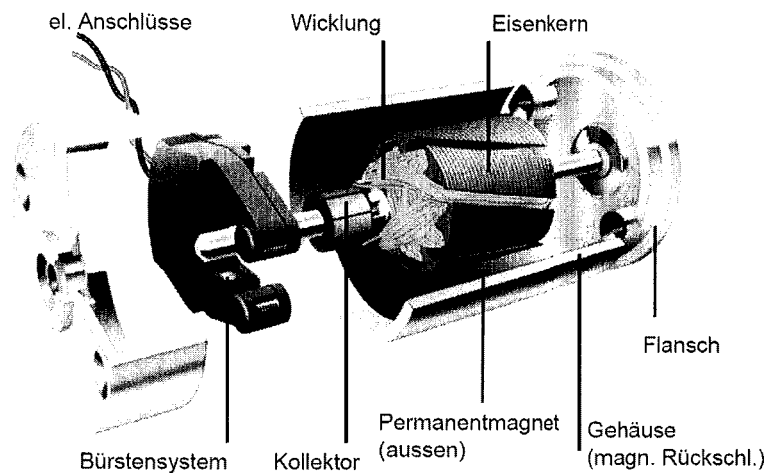
- » Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie einer fremderregten Gleichstrommaschine



6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Aufbau

- Aufbau konventioneller DC-Motor:



Quelle:
maxonmotor.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

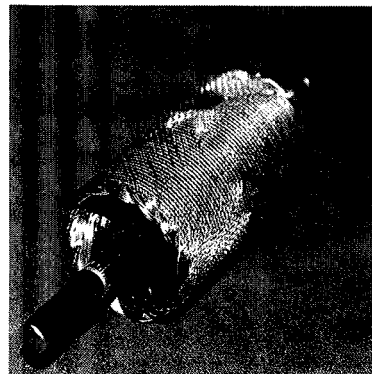
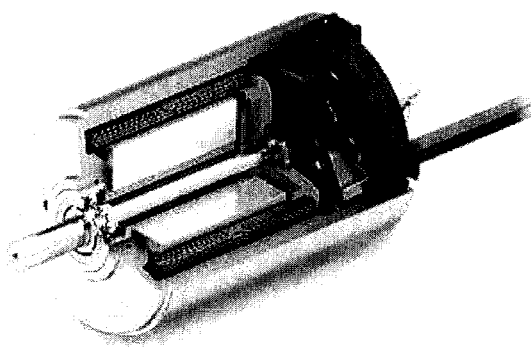
Folie 17

Institut
für **INT**
Medizingerätetechnik

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Weitere Bauformen

- Glockenankermotor
- Vorteil: geringere rotierende Masse durch selbsttragende/ eisenlose Spule



Quelle:
maxonmotor.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 18

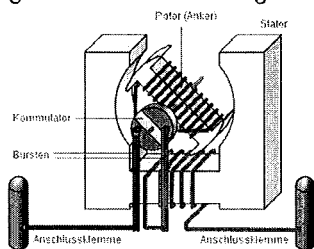
Institut
für **INT**
Medizingerätetechnik

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

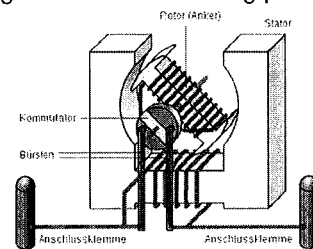
Elektrisch erregter Gleichstrommotor

- Das Magnetfeld des Stators kann durch einen Permanent- oder Elektromagneten erzeugt werden. Bei Elektromagneten spricht man von einem elektrisch erregten Gleichstrommotor
- Ein Elektromagnet benötigt einen Stromfluss durch die Erregerwicklung
- Ist die Erregerwicklung vom Ankerstrom unabhängig spricht man von **Fremderregung**
- Sind Erregerwicklung und Ankerstrom verbunden, unterscheidet man zwei Fälle:

Reihenschluss:
Erreger- und Ankerwicklung in Reihe



Nebenschluss:
Erreger- und Ankerwicklung parallel



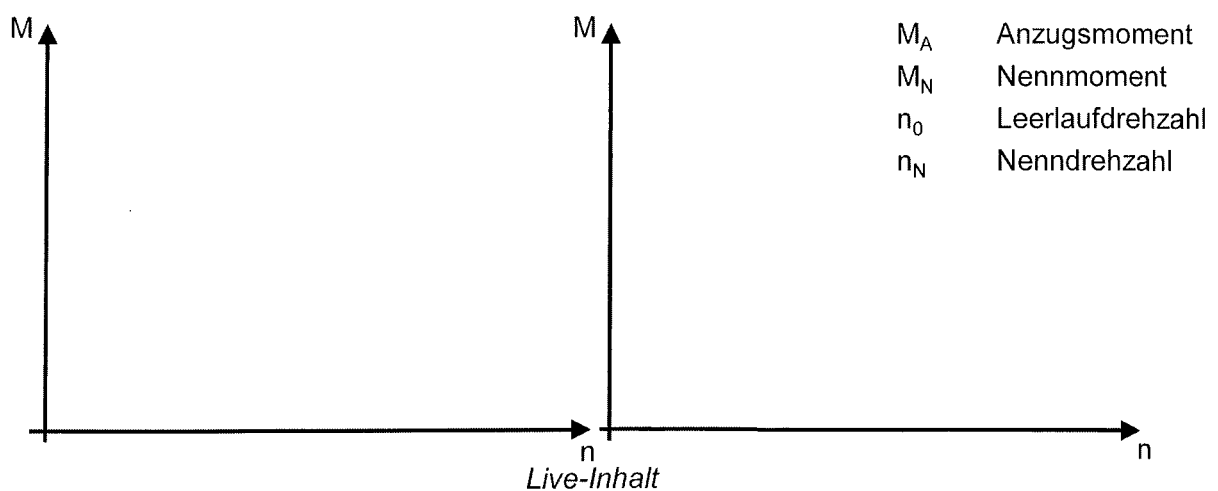
Quelle:
wikipedia.org

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie

Reihenschlussmotor

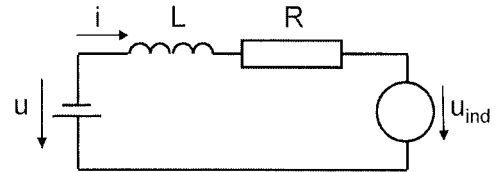
Nebenschlussmotor



6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Modellierung von DC-Motoren

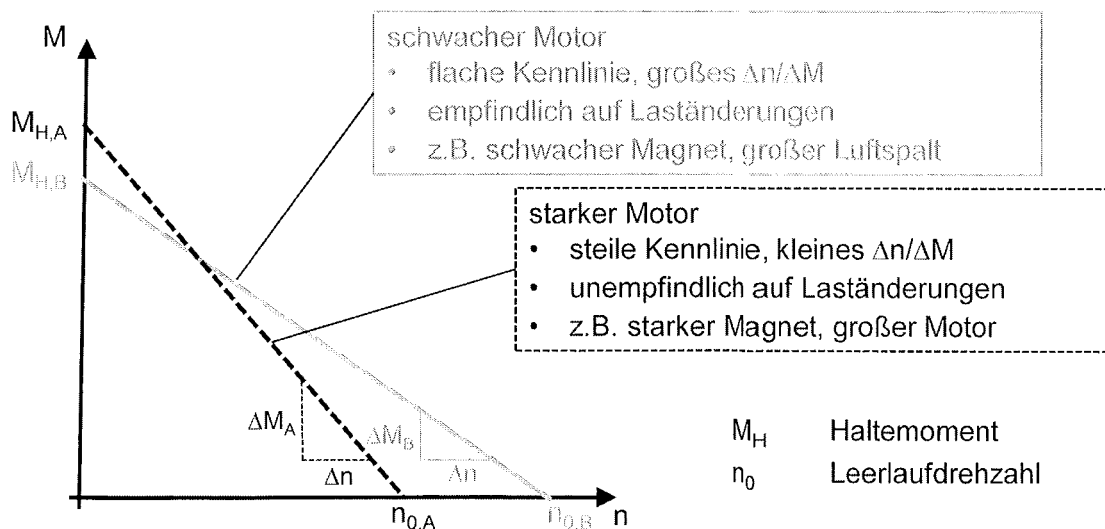
- Motor besitzt bewegten Leiter im Magnetfeld → Gegeninduktionsspannung
- Drehzahlkonstante k_N
- Im Leerlauf gilt $u_{\text{ind}} \cong u \rightarrow n_0 = k_N \cdot u$ (6.5)
- Drehmoment von Strom und Magnetfeld abhängig
- Drehmomentkonstante k_M
- Es gilt: $k_N \cdot k_M = 1$



$$\frac{n}{k_N} = U - R \frac{M}{k_M} \rightarrow n = k_N U - \frac{k_N}{k_M} M = k_N U - \underbrace{\left(\frac{\Delta n}{\Delta M} \right)}_{\text{Motorkonstante}} M \quad (6.6)$$

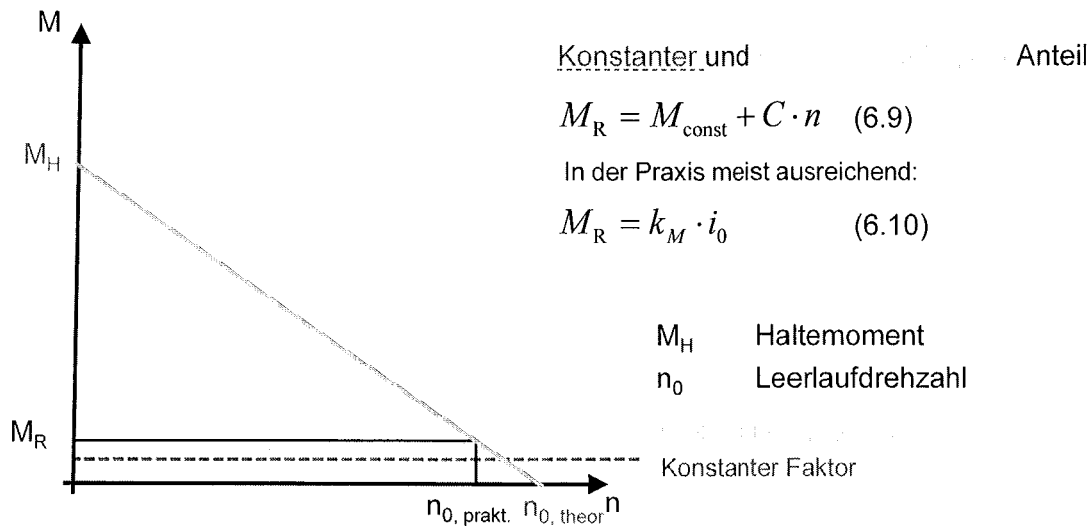
6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Modellierung von DC-Motoren



6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Modellierung von DC-Motoren



6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Anwendungsfelder

▫ Bürstenbehafteter DC-Motor:

- Spielzeuge
- Kleinpumpen
- Akkuschauber
- Stellantriebe
- ...



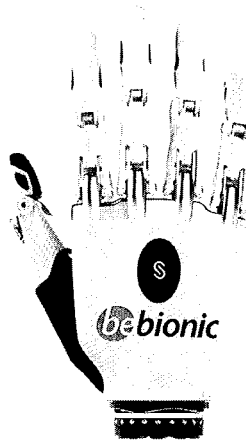
Quellen:
Bosch-do-it.de, kb-reife.de

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Anwendungsfelder Medizintechnik

Myoelektrische Handprothese

- Jeder Finger kann über einen eigenen DC-Motor bewegt werden
- 14 verschieden Griffmuster
- Anforderungen:
 - Leichte und kompakte Bauweise
 - Zuverlässige und präzise Leistung
 - Hohes Haltemoment



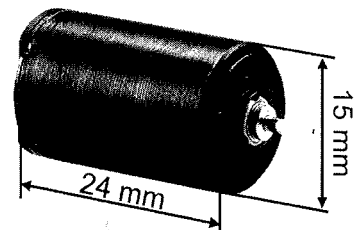
Quelle:
faulhaber.com

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Anwendungsfelder Medizintechnik

Endodontie System (Wurzelbehandlung)

- Antriebseinheit besteht aus DC-Kleinstmotor und Stirnradgetriebe
- Glockenankermotor mit geringen Abmessungen
- Lineare Charakteristik → einfache Regelung
- Anforderungen:
 - Kompakt
 - Leicht
 - Vibrationsarm
 - Leise

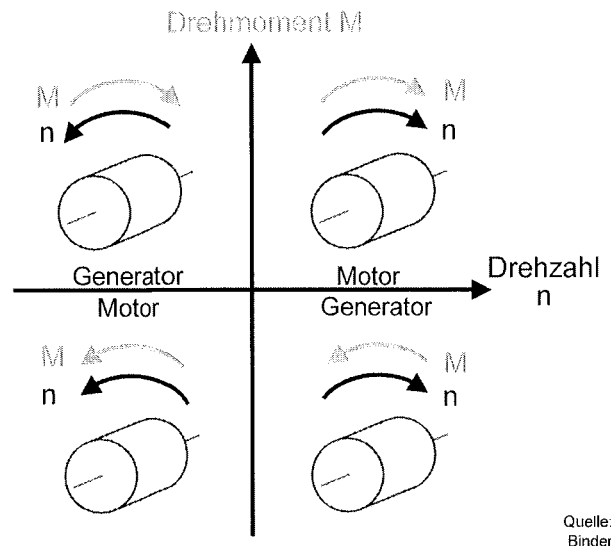


Quelle:
faulhaber.com

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Ansteuerung

- 1-Quadrantenbetrieb
→ Betreiben des Motors in eine Richtung
- 2-Quadrantenbetrieb
→ Betreiben und Bremsen des Motors in eine Richtung
- 4-Quadrantenbetrieb
→ Betreiben und Bremsen des Motors in beide Richtungen

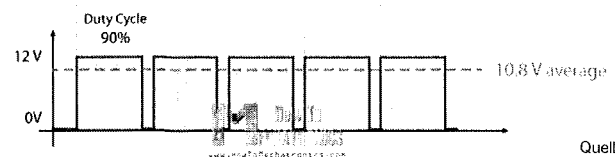
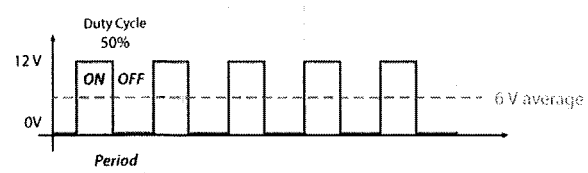
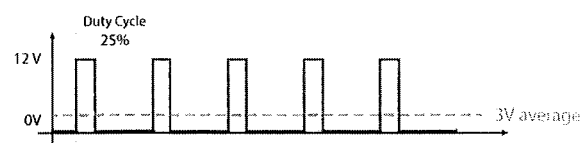


Quelle:
Binder

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Ansteuerung

- Die Geschwindigkeit des DC-Motors kann über die angelegte Spannung geregelt werden
- Meist wird hierzu eine Pulsweitenmodulation (PWM) genutzt
- Bei der PWM wird das Signal in schneller Folge aus- und eingeschaltet (10 - 20 kHz)
- Durch das Verhältnis zwischen Einschaltzeit und Ausschaltzeit wird die mittlere Spannung variiert



Quelle:
howtomechatronics.com

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Vor- und Nachteile



Vorteile:

- Einfache Ansteuerung (wenn keine elektronische Kommutierung erforderlich)

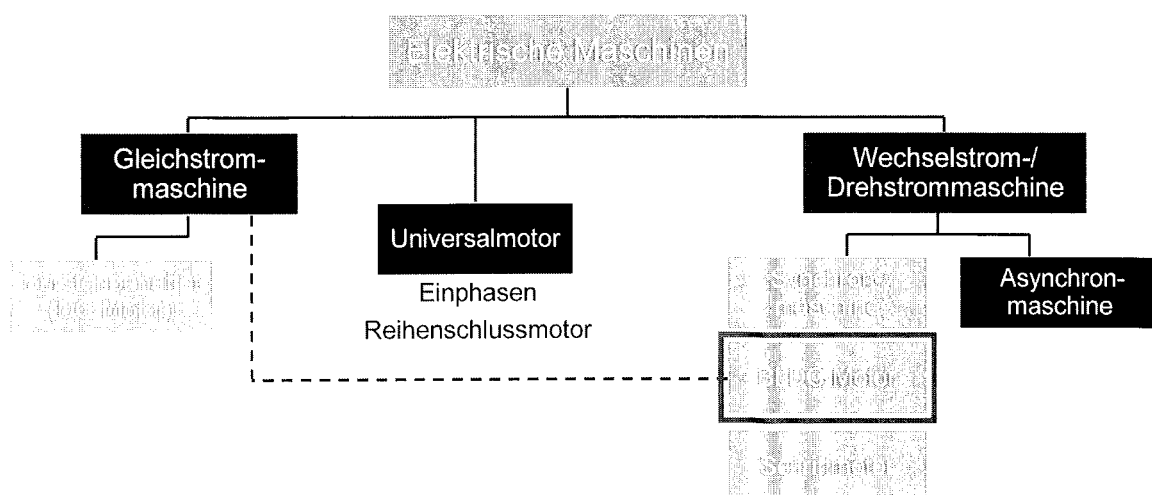


Nachteile:

- Gefahr von Bürstenfeuer → Verursacht elektromagnetische Störungen

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

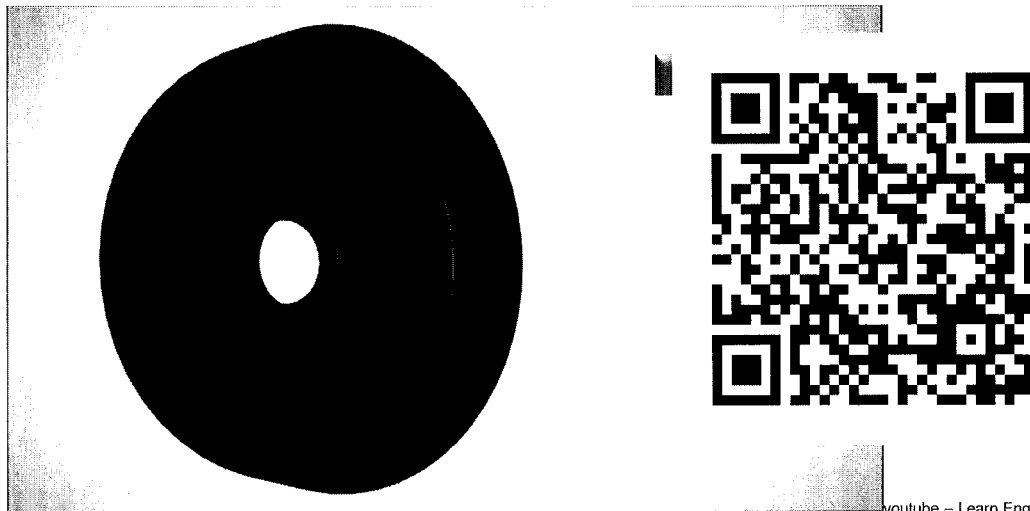
Einteilung elektrischer Maschinen



6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

- Beispiel eines Außenläufer BLDC-Motors (Brushless DC Motor):



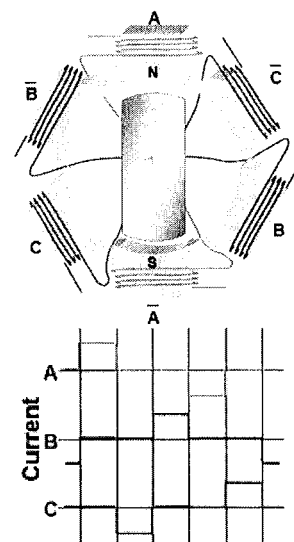
Quelle:

youtube – Learn Engineering

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

- Bürstenlose Gleichstrommotoren (BLDC-Motoren) bestehen aus einem magnetischen Rotor und mehreren Statorspulen
- Die Spulen werden so angesteuert, dass ein rotierendes Magnetfeld entsteht
- Der Rotor folgt diesem Magnetfeld und beginnt zu rotieren
- Anders als der DC-Motor muss der BLDC-Motor also durch eine geeignete Schaltung angesteuert (kommutiert) werden



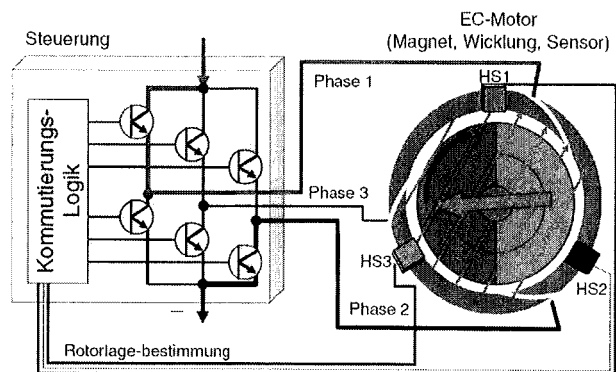
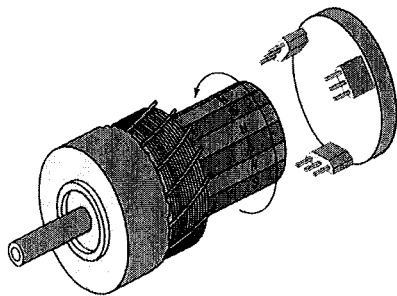
Quelle:

Electricaltechnology.org

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Ansteuerung

- Um die richtige Spule zum richtigen Zeitpunkt zu bestromen muss die Lage des Rotors erfasst werden
- Oft werden Hall-Sensoren verwendet um die Rotorlage zu erfassen



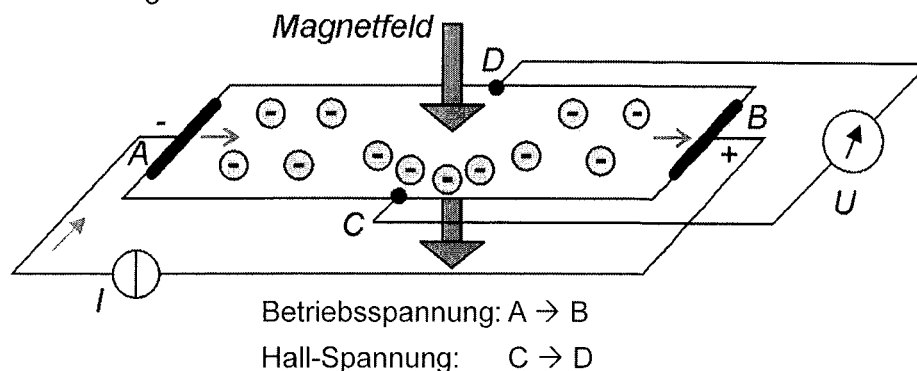
Quellen:

maxonmotor.de, motioncontrolltips.com

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Exkurs: Hall-Sensor

- Beim Hall-Effekt werden die Elektronen in einer stromführenden Metallplatte verschoben, wenn diese in ein Magnetfeld eingebracht wird.
- Die dadurch induzierte Spannung (Hall Spannung) kann gemessen werden und steigt linear mit dem Magnetfeld



Quelle:

all-electronics.de

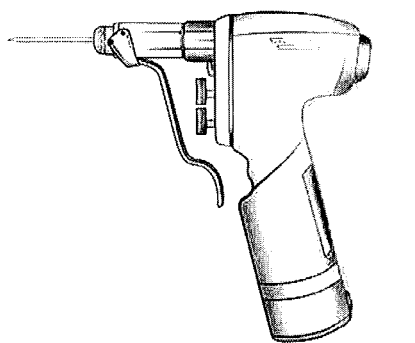
6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Anwendungsfelder Medizintechnik

• Knochenbohrer

• Anforderungen:

- Hohe Drehzahlen
- Geringe Wärmeentwicklung
- Vibrationsarm
- Sterilisierbar
- Korrosionsbeständig



Quelle:
maxonmotor.de, fotolia.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 35

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

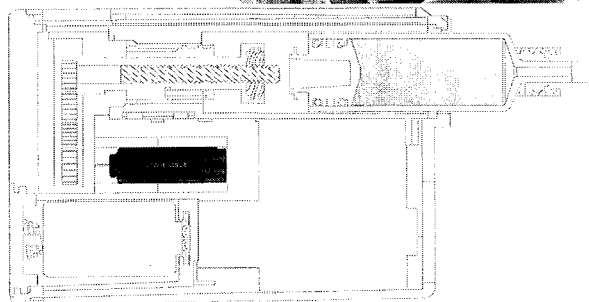
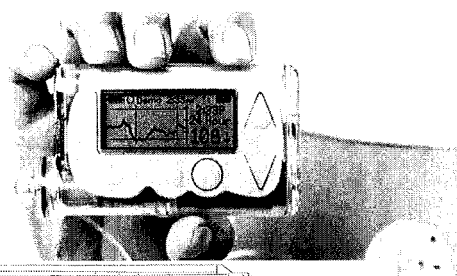
6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Anwendungsfelder Medizintechnik

• Insulinpumpe

• Anforderungen:

- Leichte und kompakte Bauweise
- Zuverlässige und präzise Leistung
- Regelmäßiger Start-Stopp-Betrieb



Quelle:
faulhaber.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

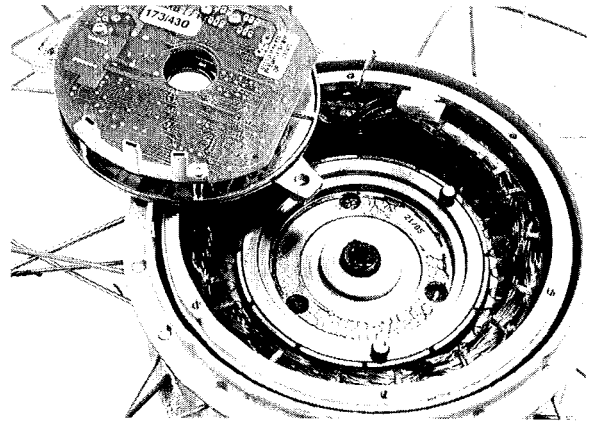
Folie 36

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Anwendungsfelder Medizintechnik

- **Elektrischer Antrieb für Rollstühle**
- Vierpoliger BLDC-Motor mit Hall-Sensoren
- Anforderungen:
 - Leise
 - Effizient (hohe Reichweite)
 - Leicht



Quellen:
heisen.de

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Vor- und Nachteile



Vorteile:

- Weniger Reibmoment → besser regelbar
- Kein Bürstenfeuer → bessere EMV



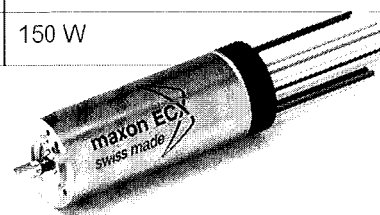
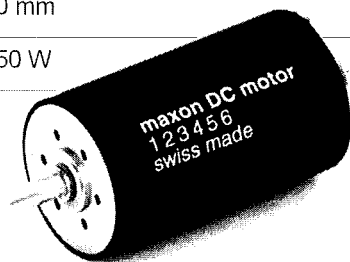
Nachteile:

- Teurer
- Elektronische Kommutierung nötig

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Vergleich DC- und BLDC-Motor gleicher Leistung

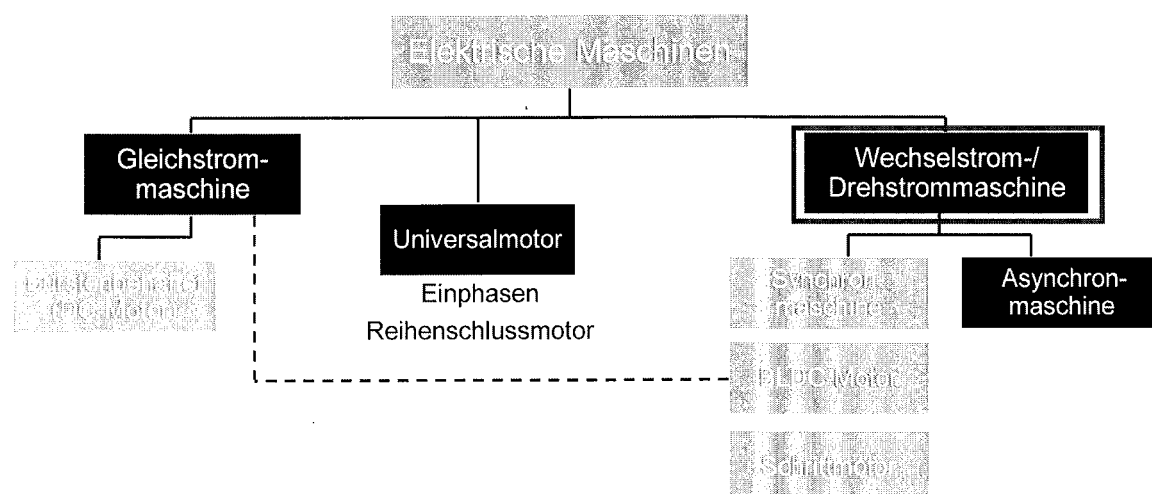
	Bürstenbehafteter DC-Motor	Bürstenloser DC-Motor
	RE 40 (maxon motor)	ECX SPEED 22 L (maxon motor)
Nenndrehzahl	6940 min ⁻¹ (< 10 000 min ⁻¹)	47800 min ⁻¹ (< 120 000 min ⁻¹)
Nennmoment	177 mNm	29,1 mNm
Max. Wirkungsgrad	91%	92%
Durchmesser	40 mm	22 mm
Leistung	150 W	150 W



Quelle: maxonmotor.de

6.4 Drehstrom

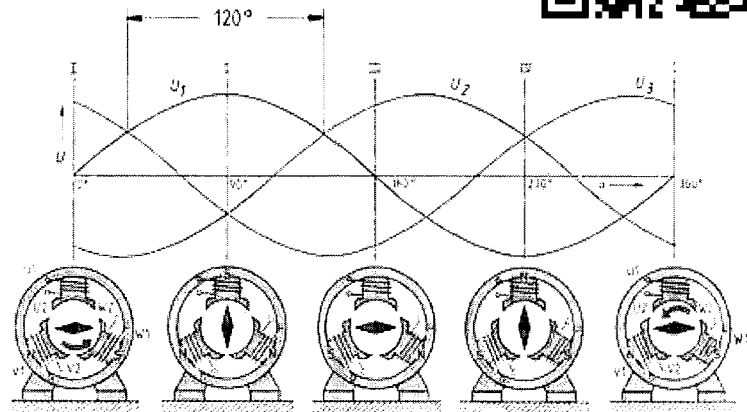
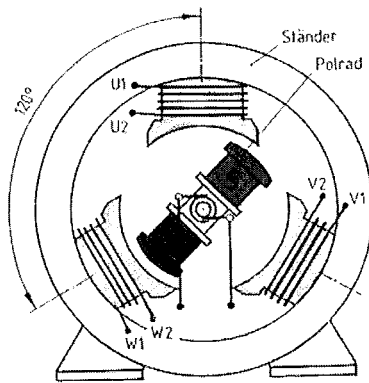
Einteilung elektrischer Maschinen



6.4 Drehstrom

Entstehung

- Der rotierende Magnet erzeugt in den drei Spulen Wechselspannungen – jeweils um 120° versetzt



Quelle:
sbz-monteur.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

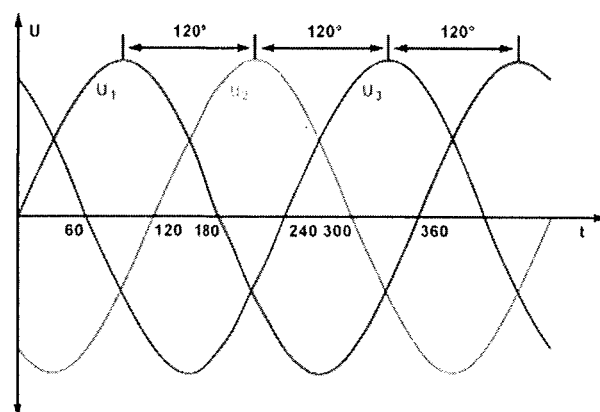
Folie 41

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

6.4 Drehstrom

Eigenschaften

- Wechselstrom mit drei Phasen
- Ermöglicht schnellen und verlustarmen Energietransport
- Keine zeitlich pulsierende Leistung
- Besserer Wirkungsgrad als Einphasensystem (Wechselstrom)



Quelle:
elektronik-kompodium.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

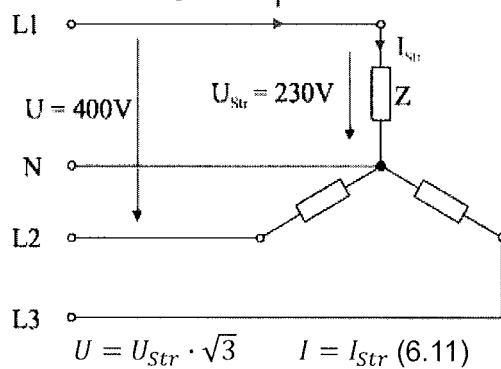
Folie 42

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

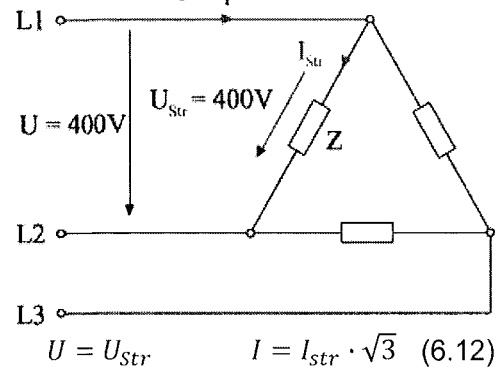
6.4 Drehstrom

Schaltungen

• Sternschaltung



• Dreieckschaltung



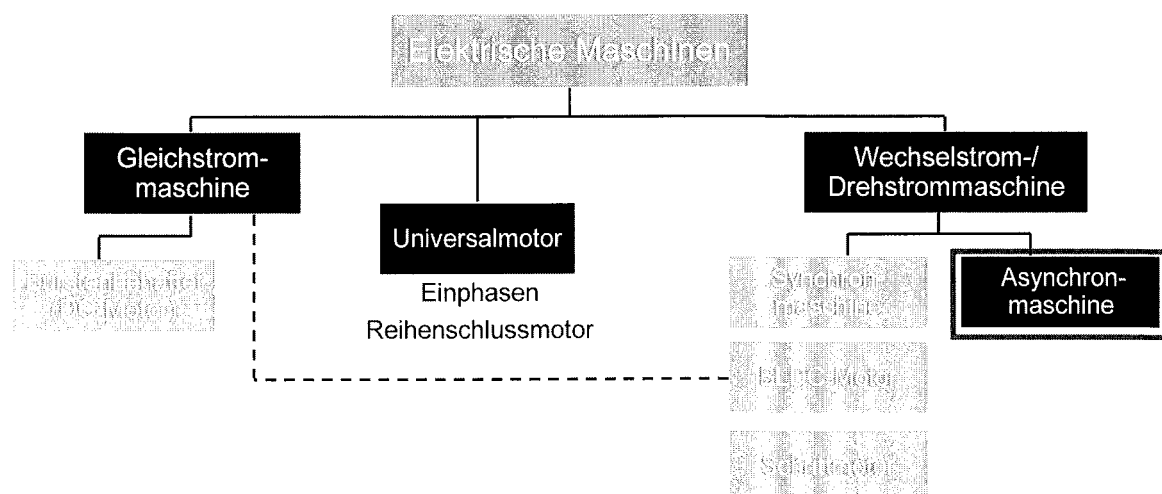
• Stern-Dreieck-Anlaufschaltung bei Drehstrommotoren:

- Anlaufen in Sternschaltung um hohe Anlaufströme zu vermeiden ($i = \frac{1}{3} \cdot i_{\text{nenn}}$)
- Im Nennbetrieb wird dann auf Dreieckschaltung umgeschaltet
- Dabei gilt: $P_{\text{Stern}} = \frac{1}{3} P_{\text{Dreieck}}$

Quelle:
Elektronik-kurs.net

6.5 Asynchronmotor

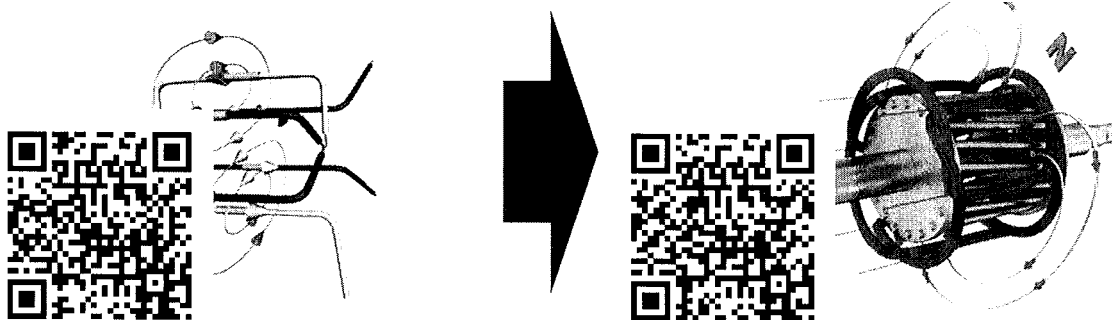
Einteilung elektrischer Maschinen



6.5 Asynchronmotor

Funktionsprinzip

- Der Stator besteht aus drei Wicklungssträngen, die räumlich gegeneinander versetzt angeordnet sind
- Die Stränge werden an ein Drehstromnetz angeschlossen und erzeugen ein rotierendes Magnetfeld

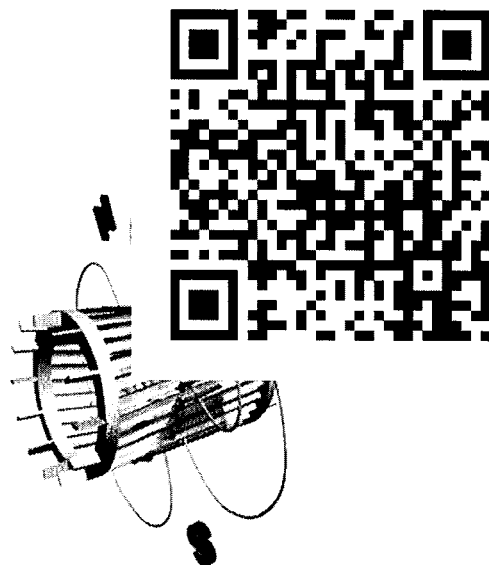


Quelle: youtube learn-engineering

6.5 Asynchronmotor

Funktionsprinzip

- Im Inneren befindet sich der Rotor, der als System aus kurzgeschlossenen Leitern gesehen werden kann
- Durch das wechselnde Magnetfeld wird im Rotor eine elektrische Spannung induziert, die einen Stromfluss zur Folge hat
- Auf den Stromdurchflossenen Leiter im Rotor wirkt nun die Lorenzkraft, wodurch ein Drehmoment auf den Rotor wirkt



Quelle: youtube learn-engineering

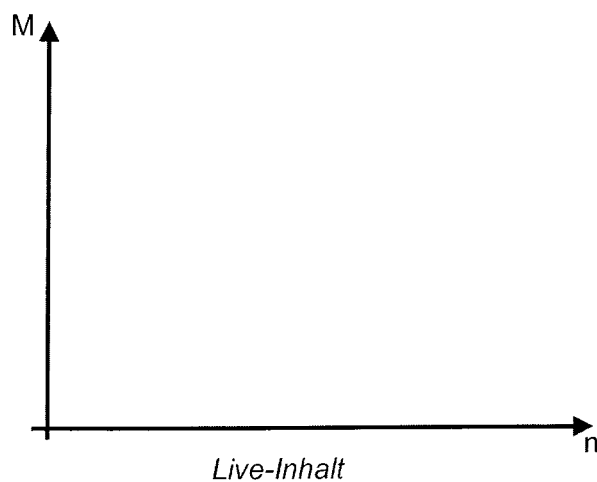
6.5 Asynchronmotor

Funktionsprinzip

- Die Rotorgeschwindigkeit ist immer kleiner als die Rotationsgeschwindigkeit des Magnetfeldes → **asynchron**
- Der Unterschied zwischen der Frequenz des Stators und der Frequenz des Rotors wird **Schlupf** genannt

6.5 Asynchronmotor

Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie

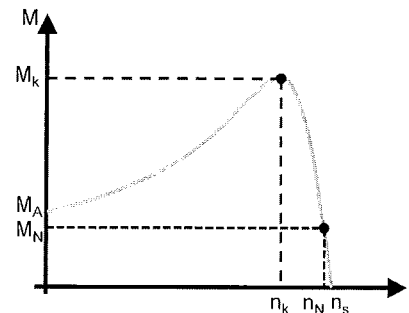


M_k	Kippmoment
M_A	Anzugsmoment
M_N	Nennmoment
n_k	Kippdrehzahl
n_N	Nenndrehzahl
n_s	Synchrondrehzahl

6.5 Asynchronmotor

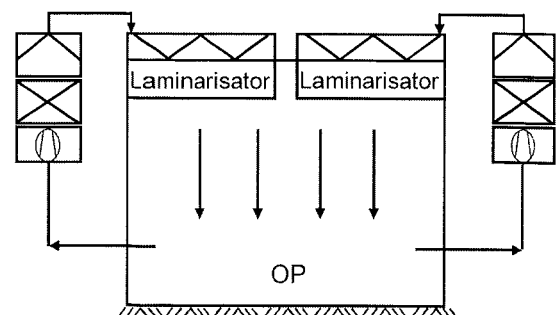
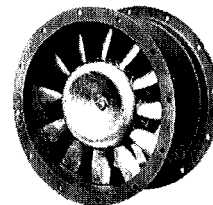
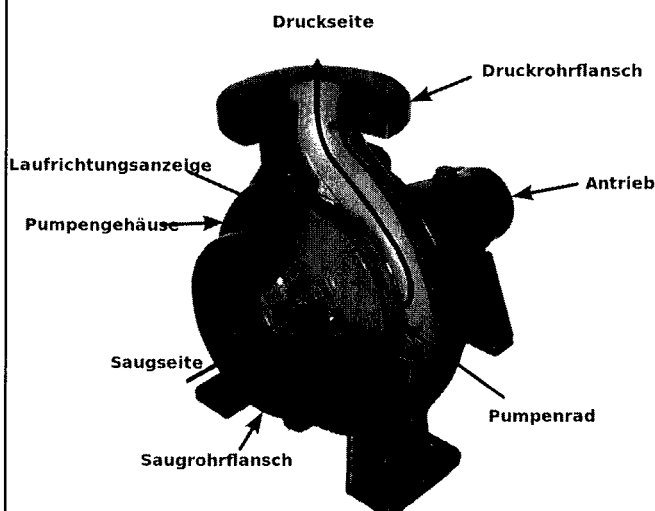
Hochlauf und Verluste

- Beim Anlauf muss der Läufer das Lastdrehmoment der Arbeitsmaschine überwinden und ein Beschleunigungsmoment entwickeln
 - Nach dem Anfahren nimmt der Schlupf ab und das Drehmoment steigt
 - Beim Kippschlupf ist das maximale Drehmoment erreicht
 - Während der Anlaufphase bis zum Kippunkt hat der Motor einen schlechten Wirkungsgrad und erwärmt sich stark.
- Mehr für Dauerbetrieb geeignet als für Servoantrieb



6.5 Asynchronmotor

Anwendungsbeispiel - Belüftungssystem



Legende: Symbole nach DIN EN 12792

Luftfilter Luftkühler Ventilator

Quellen:

Wikipedia.org, ebmpapst.com

6.5 Asynchronmotor

Anwendungsbeispiel - Belüftungssystem

- Strömungswiderstände von Leitungen und Elemente erzeugen Druckabfälle:

$$\Delta p_V = \zeta_n \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \bar{w}^2 \quad (6.13) \quad \text{mit} \quad \bar{w} = \frac{\dot{V}}{A} \quad (6.14)$$

- Benötigte Leistung zum Betrieb eines Lüftungssystems ist: $P_{\text{Hyd}} = \Delta p_l \cdot \dot{V}$ (6.15)

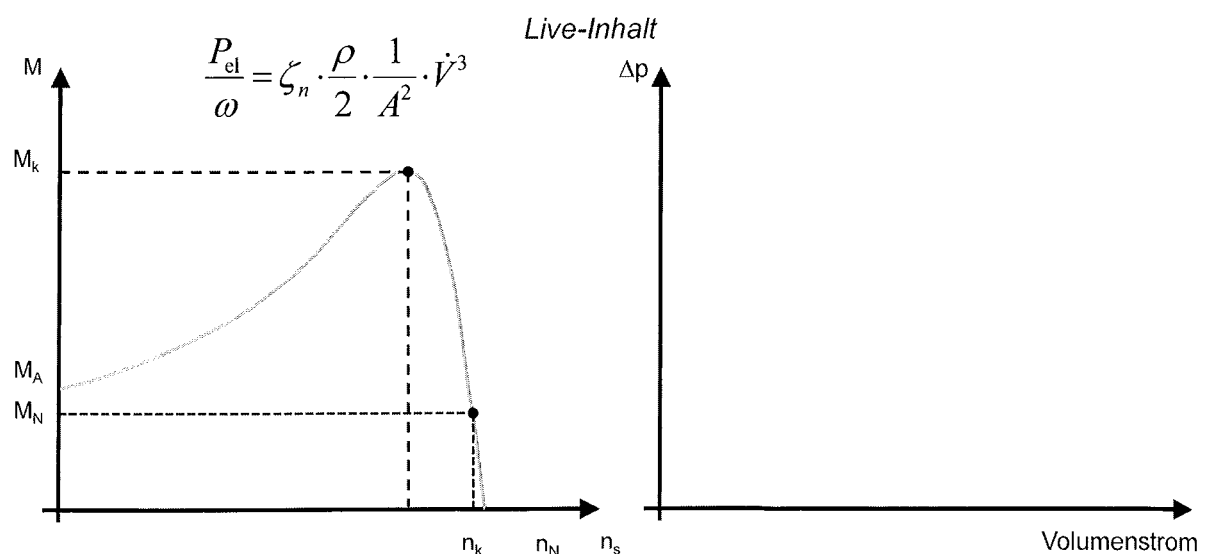
◦ Damit wird

$$P_{\text{el}} = M \cdot \omega = \frac{1}{\eta_{\text{Motor}}} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{Ventilator}}} \cdot \zeta_n \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{1}{A^2} \cdot \dot{V}^3 \quad (6.16)$$

- Widerstandszahl z stark von Geometrie der Leitung und der Einbauten sowie von der Strömungsgeschwindigkeit (und damit vom Volumenstrom $\dot{V}$ abhängig!)
→ stark nichtlinear

6.5 Asynchronmotor

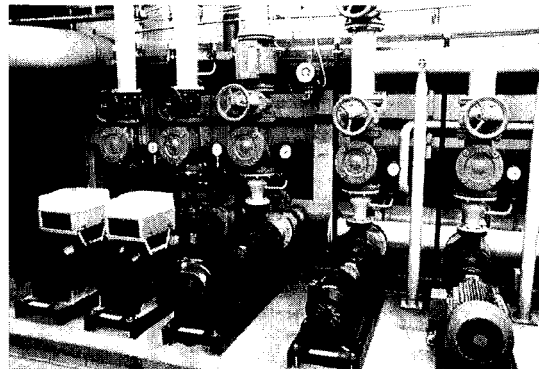
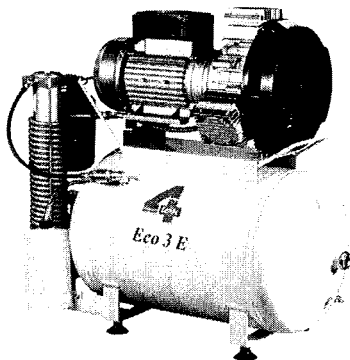
Anwendungsbeispiel - Belüftungssystem



6.5 Asynchronmotor

Anwendungsfelder

- Kompressoren für medizinische Druckluft und sonstige Gase
- Pumpen für Wasser und Abwasser
- Belüftung und Absaugung



Quellen:
4-tik.it, maschinenmarkt.vogel.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

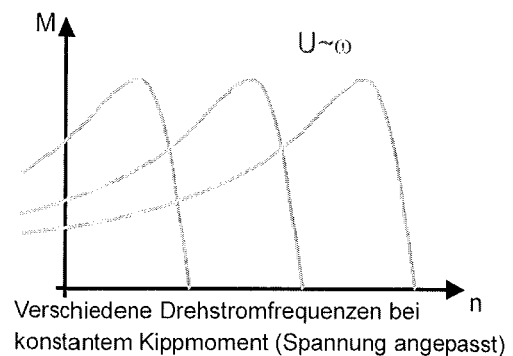
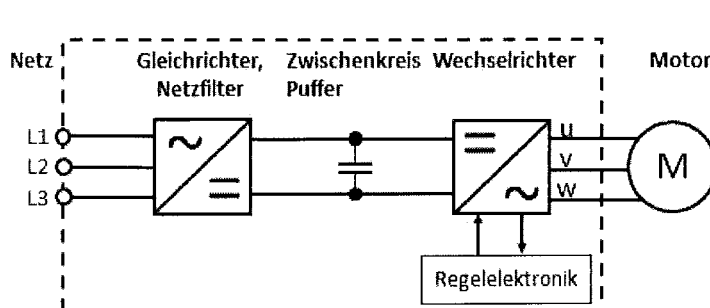
Folie 53

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

6.5 Asynchronmotor

Ansteuerung und Regelung

- Die Frequenz/ Drehzahl der Asynchronmaschine ist abhängig von der Frequenz des Drehstroms → Der Betrieb am Drehstromnetz lässt nur bestimmte Drehzahlen zu
- Mithilfe eines Frequenzumrichters können Frequenz und Amplitude eines Wechselstroms variiert werden



Quelle: Precifast.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 54

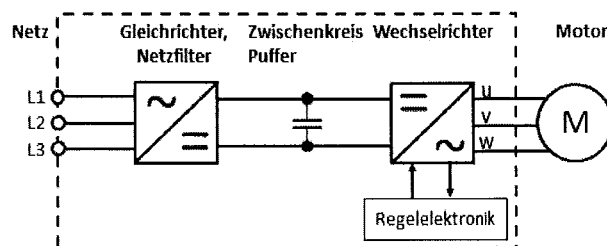
Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

6.5 Asynchronmotor

Ansteuerung und Regelung

Bei Bremsvorgängen wird Energie in den Zwischenkreis zurückgespeist, was zu Überspannungen führen kann. Um Schäden zu vermeiden gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Rückspeisung der überschüssigen Energie ins Netz
- Verwendung eines Brems-Chopper, der bei Bedarf die überschüssige Energie über einem Bremswiderstand in Wärme umwandelt

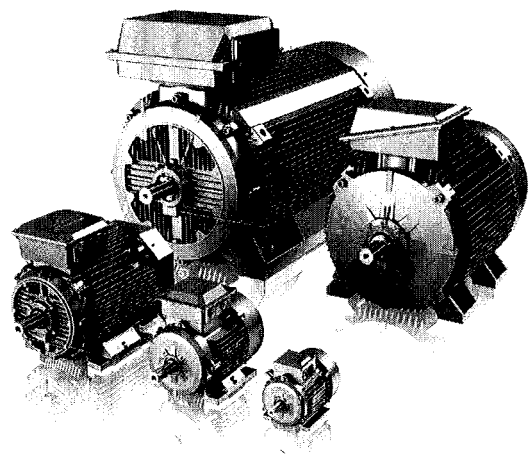


Quelle: Precifast.de

6.5 Asynchronmotor

Asynchronmotoren Bauformen - IEC-Niederspannungs-Asynchronmotoren

- IE = International Efficiency
- Polanzahl: 2,4,6,8
- Leistungsbereich: 0,12-1.000kW
- Definierte Wirkungsgradwerte
 - IE1: Standard Efficiency (alte EFF2-Klasse)
 - IE2: High Efficiency (alte EFF1-Klasse)
 - IE3: Premium Efficiency
 - IE4: Super Premium Efficiency
- Spannung: <1000V, 50/60Hz



Quelle:
Abb.com

6.5 Asynchronmotor

Vor- und Nachteile



Vorteile:

- Keine Schleifkontakte (nur bei Käfigläufer)
- Sehr robust
- Nahezu wartungsfrei
- Betriebssicher
- Preiswert

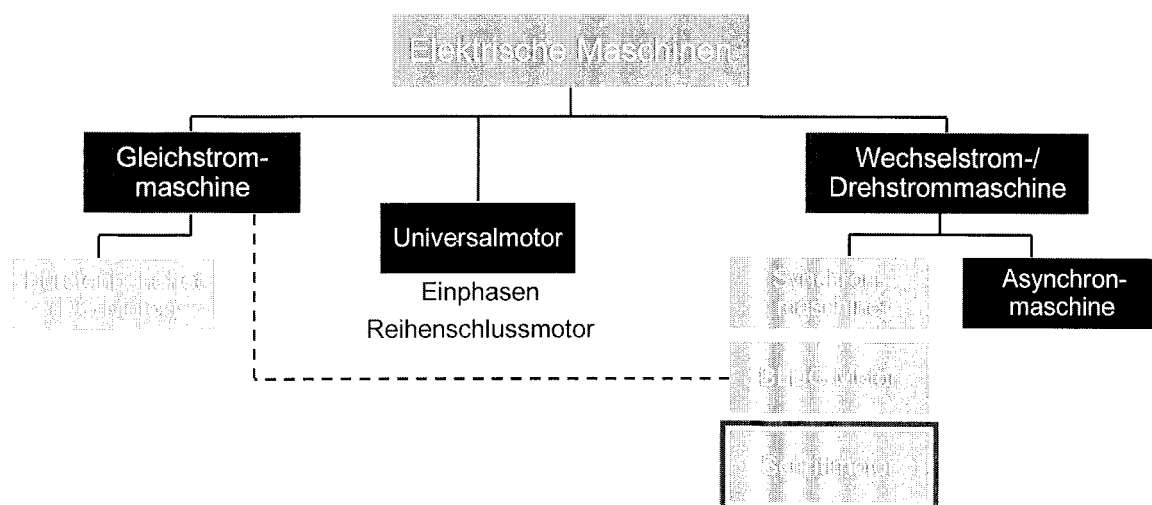


Nachteile:

- Eher groß
- Nicht-lineares Verhalten
- Geräuschentwicklung

6.6 Schrittmotor

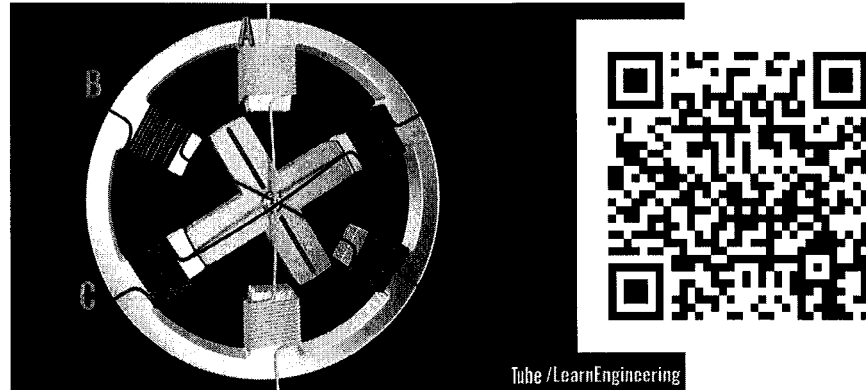
Einteilung elektrischer Maschinen



6.6 Schrittmotor

Funktionsprinzip

- Bestromte Statorspulen erzeugen ein Magnetfeld, dem der Rotor folgt
- Schrittmotoren setzen elektrische Impulse direkt in mechanische Schritte um
- Dadurch ist eine genaue Positionierung ohne Sensoren möglich



Tube / LearnEngineering

Quelle:
youtube – learn
engineering

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 59

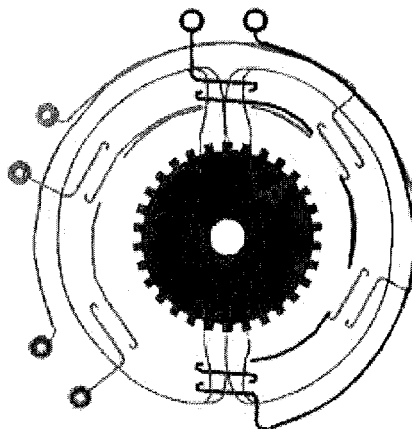
Institut
für
Medizingerätetechnik



6.6 Schrittmotor

Funktionsprinzip

- Eine kleinere Schrittweite kann z.B. durch eine zusätzlicher Zahnteilung an den Polen erreicht werden



Quelle:
hubertlinkner.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 60

Institut
für
Medizingerätetechnik

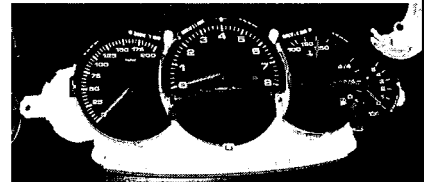
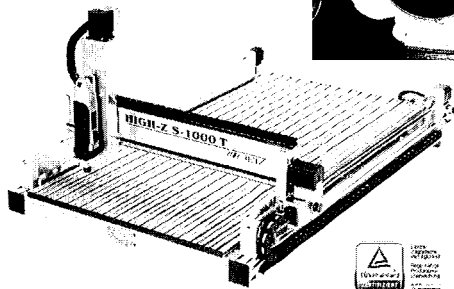
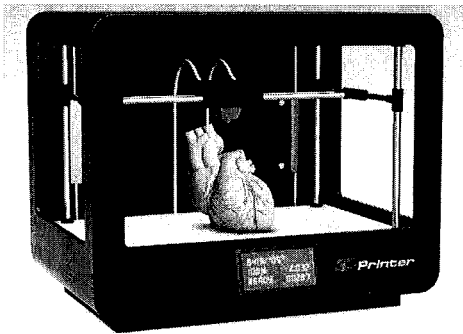


6.6 Schrittmotor

Anwendungsfelder

Einsatzgebiete: exakte Positionierungsaufgaben, hohe Wiederholgenauigkeit, z.B.:

- Einfache, computergesteuerte Werkzeugmaschinen z.B. CNC Fräsmaschinen
- Drucker (auch 3D Drucker) → Positionierung Druckkopf
- Zeigerinstrumente (z.B. im Auto)



Quellen:

printer4you.com, gonline.at, cnc-step.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

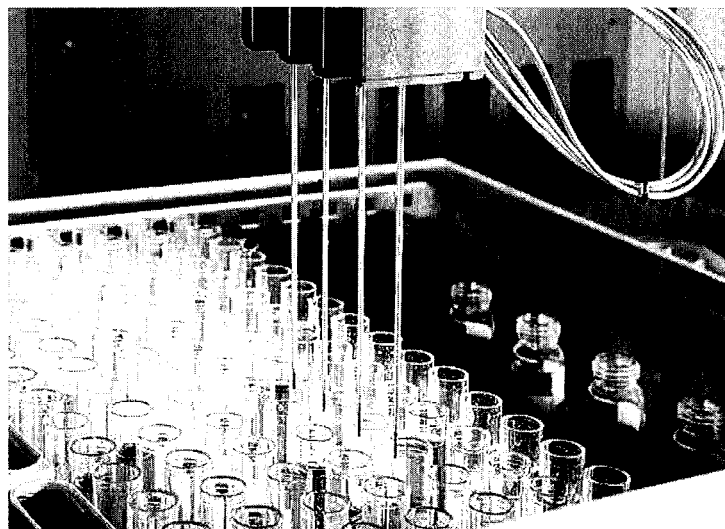
Folie 61

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

6.6 Schrittmotor

Anwendungsfelder in der Medizintechnik

- Laborautomatisierung
- Mikroskopie
- Drucker von EKG- und Ultraschallgeräten



Quelle:
faulhaber.de

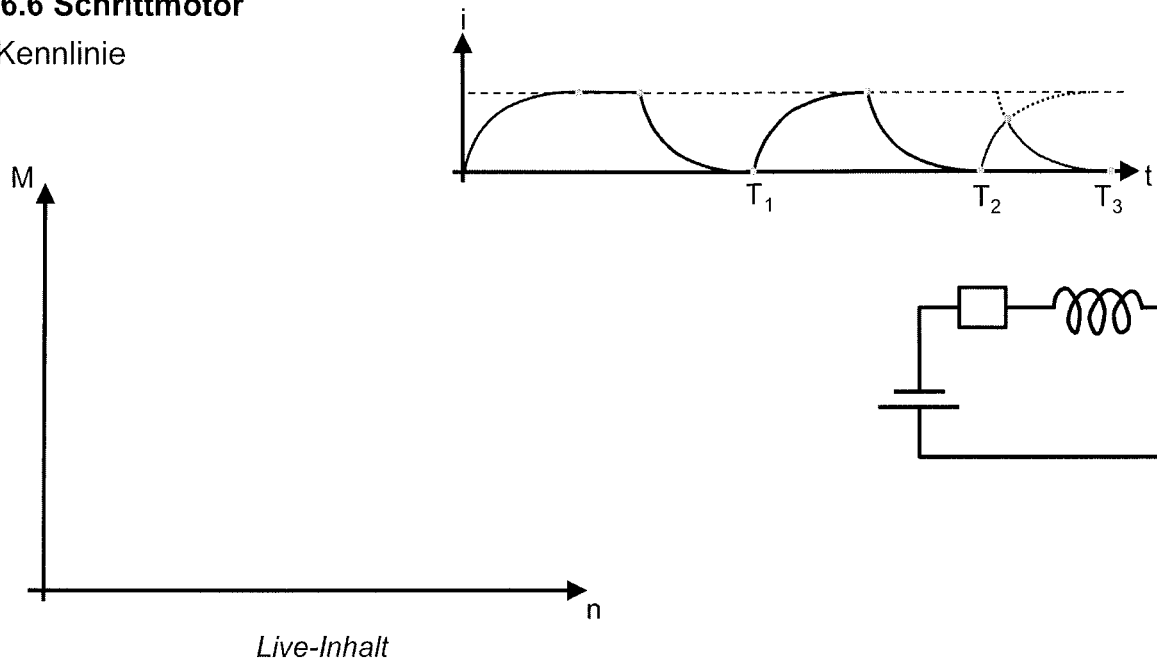
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 62

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

6.6 Schrittmotor

Kennlinie

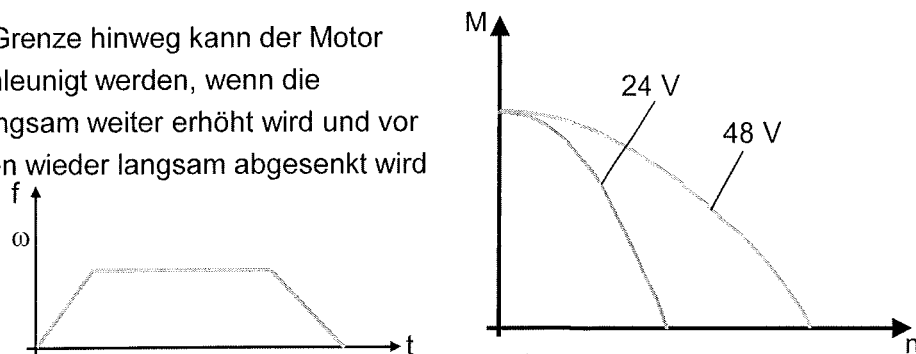


Live-Inhalt

6.6 Schrittmotor

Hochlauf und Bremsen

- Das Drehmoment ist im Stand maximal und sinkt bei hohen Drehzahlen ab
- Der Frequenzsprung beim Beschleunigen von oder auf Stillstand darf nicht zu groß sein
→ Der Motor kann sonst nicht mehr folgen und verliert Schritte
- Diese Start-Stopp-Frequenzgrenze ist auch abhängig vom äußeren Lastdrehmoment
- Über diese Grenze hinweg kann der Motor weiter beschleunigt werden, wenn die Frequenz langsam weiter erhöht wird und vor dem Anhalten wieder langsam abgesenkt wird
→ Rampe:



6.6 Schrittmotor

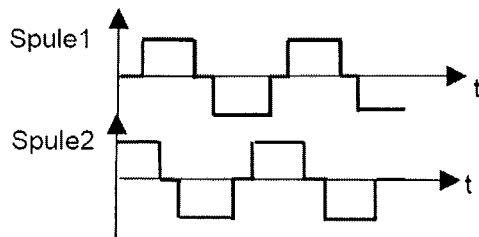
Ansteuerung



Die Schrittweite ist zwar durch den Motoraufbau vorgegeben, kann aber durch die Bestromung des Stators elektronisch verfeinert werden

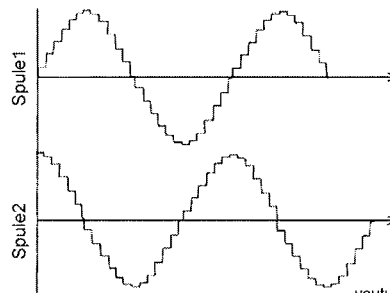
Halbschrittbetrieb:

- wechselnde Bestromung von einer und anschließen zwei benachbarten Phasen



Mikroschrittbetrieb:

- Zwei oder mehr Phasen werden gleichzeitig angesteuert
- Die Amplitude steigt in Stufen an

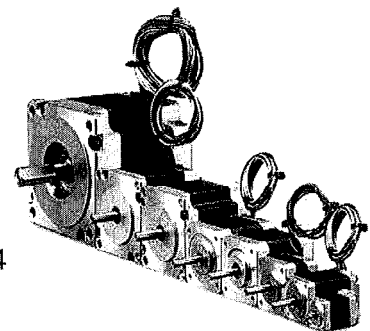


Quellen:
youtube – learn engineering

6.6 Schrittmotor

Bauformen

- NEMA: genormte Reihe von Schrittmotoren
- Baugrößen mit einem äußeren Kantenmaß (Flanschmaß) zwischen 20 mm und 110 mm
- Die wichtigsten Baugrößen sind Nema17, Nema23 und Nema34



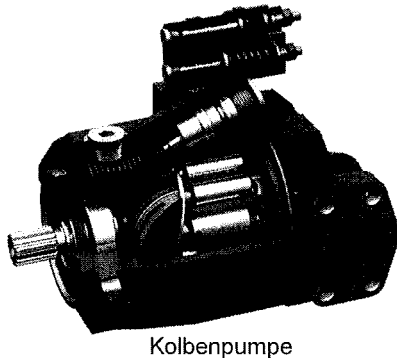
	Flanschmaß	Typische Baulänge	Wellen-durchmesser	Drehmoment-Bereich	Typischer Phasenstrom
Nema17	42 mm	33-59 mm	5 mm	0,15-1,0 Nm	0,25-2,0 A
Nema23	56,4 mm	41-112 mm	6,35 mm	0,4-3,4 Nm	0,7-4,0 A
Nema34	86 mm	63-150 mm	14 mm	2,5-14 Nm	3,0-10,0 A

Quelle: Bobry.ch

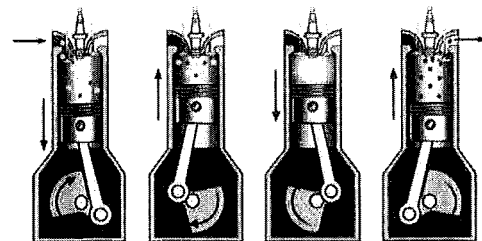
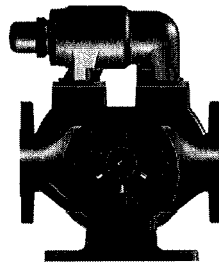
6.7 Weitere Antriebsformen

› Neben elektrischen Antrieben gibt es weitere Antriebsformen wie z.B.:

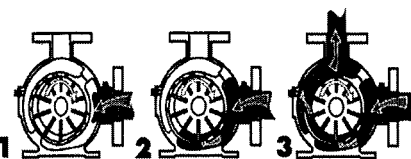
- Verbrennungsmotor
- Hydraulikantrieb
- Pneumatikantrieb



Kolbenpumpe



Viertaktmotor



Flügelzellenpumpe

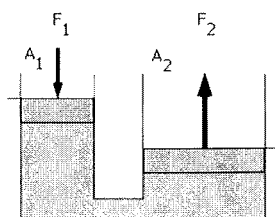
Quellen:

zoombd24.com, autolexikon.net, indiamart.com

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.1 Hydraulikantrieb

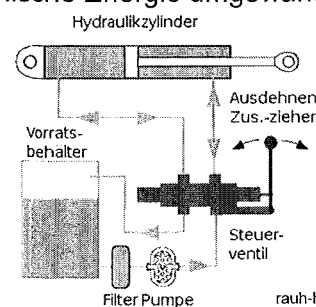
- › In hydraulischen Anlagen kann eine geringe Kraft F_1 , die auf einen Kolben mit einer kleinen Fläche A_1 wirkt, vervielfacht werden
- › Das Verhältnis zwischen F_1 und F_2 ergibt sich dabei aus dem Verhältnis der Kolbenflächen



$$p = \frac{F}{A} = \text{konst.} \quad (6.17)$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{A_2}{A_1} \quad (6.18)$$

- › Ein hydraulischer Antrieb besteht im wesentlichen aus einer Pumpe, einem Reservoir, einem Steuerventil und dem Hydraulikzylinder, in dem die Druckenergie der Hydraulikflüssigkeit in mechanische Energie umgewandelt wird



Quellen:

rauh-hydraulik.de, wikipedia.org

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.1 Hydraulikantrieb

- Hydraulikantriebe werden z.B. in Baggern oder Hebebühnen verwendet
- In der Medizintechnik finden Hydraulikantriebe z.B. in Krankenhausbetten Anwendung



Quellen:

medizin-und-technik.industrie.de, khl-baumaschinen.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

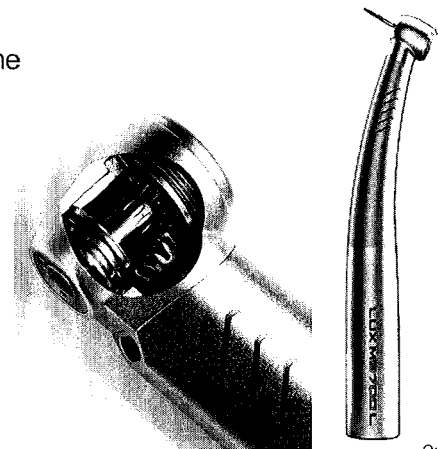
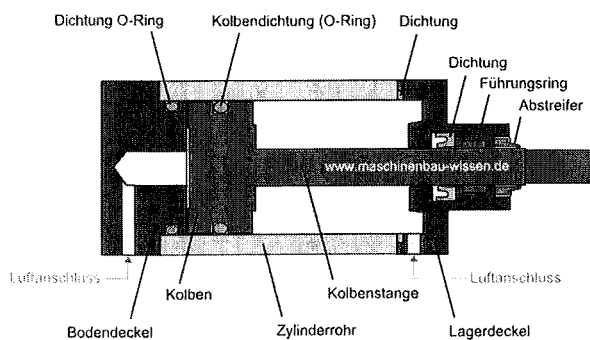
Folie 69

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.2 Pneumatikantrieb

- Nutzung von Luft oder anderen Gasen als Druckmedium zum Erzeugen von Bewegung
- Auch Betreiben von Turbinen möglich
- Anwendungen in der Medizintechnik: z.B.: Zahnarztturnbine



Quelle:

Maschinenbau-wissen.de, kavo.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 70

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.3 Vergleich Hydraulik- und Pneumatikantrieb

	Hydraulikantrieb	Pneumatikantrieb
Energiedichte (Leistungsgewicht)	Sehr hoch	Hoch
Energiespeicherung	Keine	Ausgeprägt (Tank und Leitung)
Rückleitung	Notwendig	Nicht notwendig
Leckage-Dichtungen	Sehr wichtig (Verschmutzung)	Nur wegen Geräusch und Energieverlust
Preis	Relativ hoch	Günstig
Sterilisierbarkeit	Machbar	Problemlos

6.7 Weitere Antriebsformen

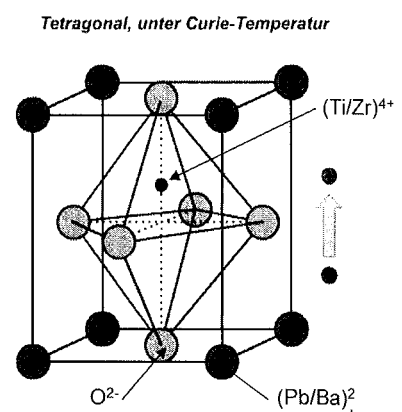
6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt

• Keramische Werkstoffe

- Blei-Zirkonat-Titanate, „PZT“, „hart“ und „weich“
- Blei-Magnesium-Niobate, „PMN“, → elektrostriktives Material
- Sintern → ungeordnete Dipole unterhalb der Curie-Temperatur
- Polarisieren knapp unterhalb T_{Curie} und $E = \text{mehrere } 10 \text{ kV/mm}$

• Mechanische Spannung führt zu einer Ladungstrennung → direkter piezoelektrischer Effekt → Sensorik

• Elektrisches Feld führt zu einer mechanischen Spannung → inverser piezoelektrischer Effekt → Aktorik



Quelle: Wikipedia

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Funktion 1

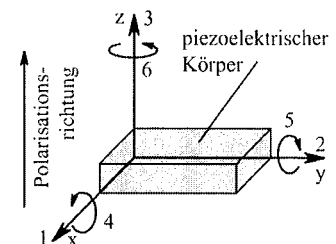
Direkter Piezoelektrischer Effekt: Polarisation P_{pz} $P_{pz} = e \cdot T$

Piezoelektrischer Spannungskoeffizient: Reaktion der mechanischen Spannung auf das elektrische Feld $e_{ij,k} = \frac{\partial T_{ij}}{\partial E_k}$

Inverser Piezoelektrischer Effekt: Verformung S_{pz} $S_{pz} = d \cdot E$

Piezoelektrischer Verzerrungskoeffizient: Reaktion der Verformung auf das elektrische Feld: $d_{ij,k} = \frac{\partial S_{ij}}{\partial E_k}$

Kopplung über die elastischen Konstanten $e_{ij,k} = \sum_{lm} (C_{ijlm} \cdot d_{lm,k})$



Quelle: Wikipedia

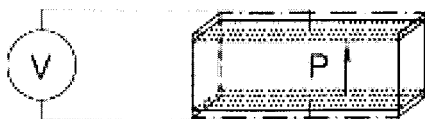
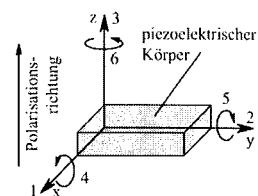
6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Funktion 2

Allgemeine Beschreibung über gekoppelte Gln.:

$$D = d \cdot T + \varepsilon^T \cdot E$$

$$S = s^E \cdot T + d \cdot E$$



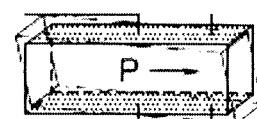
Längseffekt (Longitudinaleffekt)

- Index „33“
- 250..550 pm/V



Quereffekt (Transversaleffekt)

- Index „31“
- -180..-250 pm/V



Schereffekt

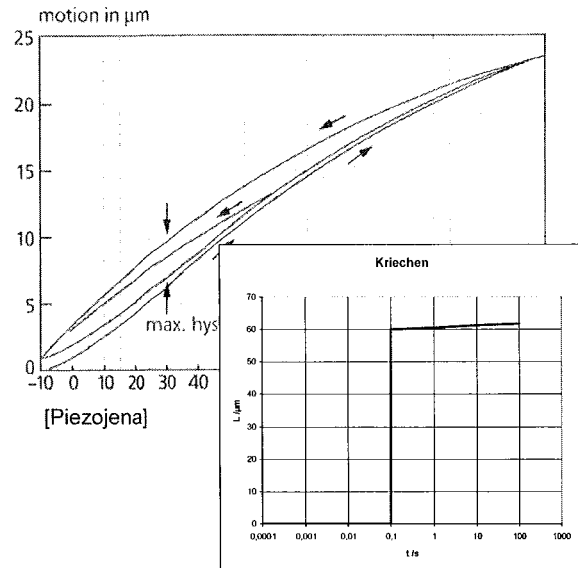
- Index „15“
- ~300 ... 1100 pm/V

Quellen:
Schönecker 2009, Wikipedia

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Limitationen

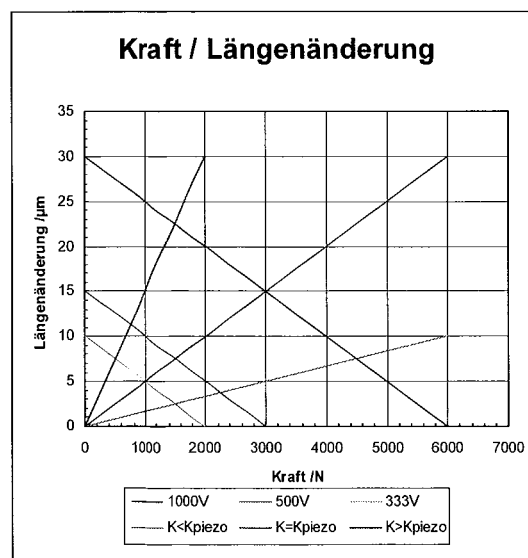
- Hysteresese
 - Material-Effekt (2..15 % vom Hub)
 - Kann durch Ladungssteuerung begegnet werden
- Kriechen
 - Material-Effekt (1..2 % vom Hub pro Dekade)
- Feuchtigkeit
 - Wasser diffundiert durch die Isolation und führt zu Kurzschlüssen
- Temperatur
 - Max. Hub nimmt mit Temperatur ab: (6 % @ 4 K)
 - Max. Feldstärke nimmt mit fallender Temperatur zu
 - Curie-Temperatur begrenzt den Einsatz bei hohen Temperaturen



6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Leistung

- Piezo(-Stack) besitzt Steifigkeit K_{Piezo}
 - Blockierkraft
 - Leerhub
- Mechanisches System besitzt Steifigkeit K
 - Vorspannung
 - Arbeitshub
- Je steifer das mechanische System, desto größer die Kraft
- Je weicher das mechanische System, desto größer der Hub
- Maximale mechanische Arbeit möglich, wenn beide Steifigkeiten identisch



6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Maximale Frequenz

Resonanzfrequenz eines einfachen Stacks mit externer Masse m_{ext}

$$f_{\text{res}} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_T}{\frac{1}{3}m_{\text{piezo}} + m_{\text{ext}}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{200 \text{ N/}\mu\text{m}}{\frac{1}{3}19,8 \text{ g} + 100 \text{ g}}} = 43,3 \text{ kHz}$$

Maximale Betriebsfrequenz

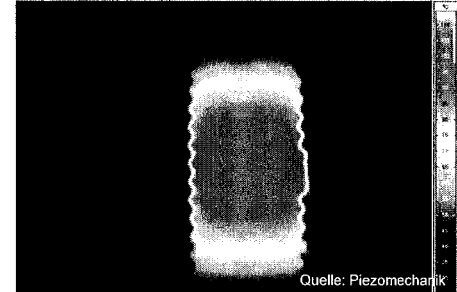
→ Thermische Limitierung

→ Limitierung durch Leistungselektronik

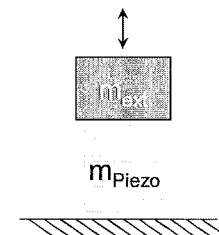
$$f_{\text{therm}} \approx \frac{i_{\text{max}}}{C_{\text{Piezo}} \cdot U_{P-P}} = \frac{300 \text{ mA}}{5 \mu\text{F} \cdot 150 \text{ V}} = 400 \text{ Hz}$$

Dynamische Kraft

$$F_{\text{Dyn}} = 4\pi^2 m_{\text{eff}} \left(\frac{\Delta L}{2} \right) f^2 = 4\pi^2 \left(\frac{19,8}{3} + 100 \right) \text{ g} \cdot \left(\frac{30 \mu\text{m}}{2} \right) (400 \text{ Hz})^2 = 10,1 \text{ N}$$

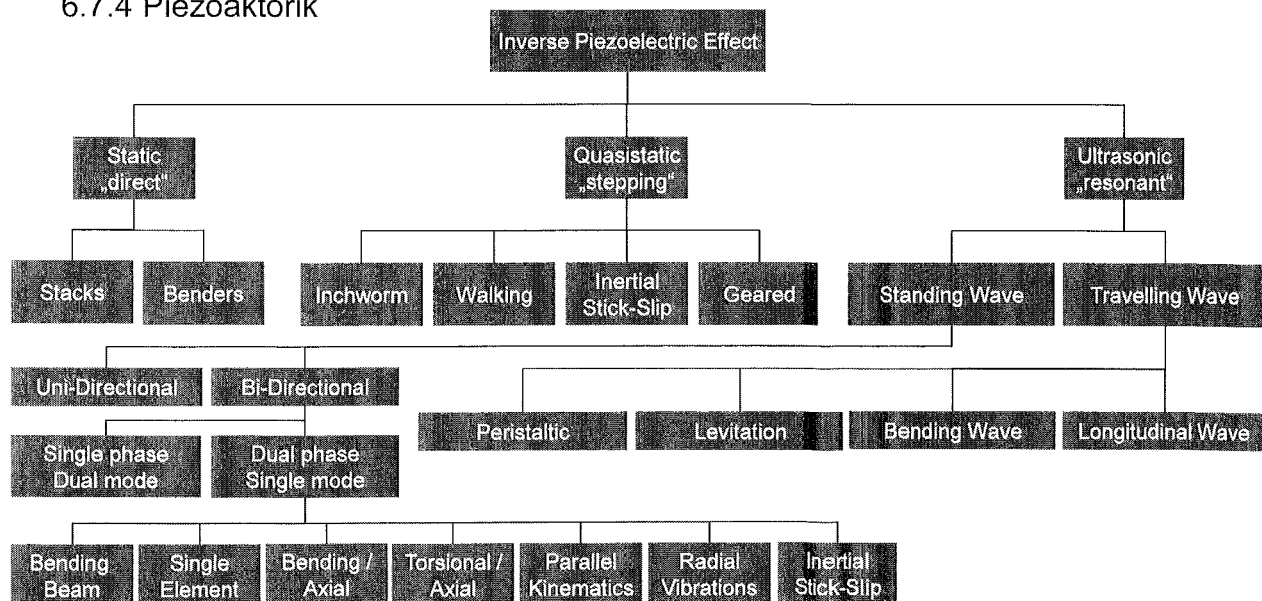


Quelle: Piezomechanik



6.7 Weitere Antriebsformen

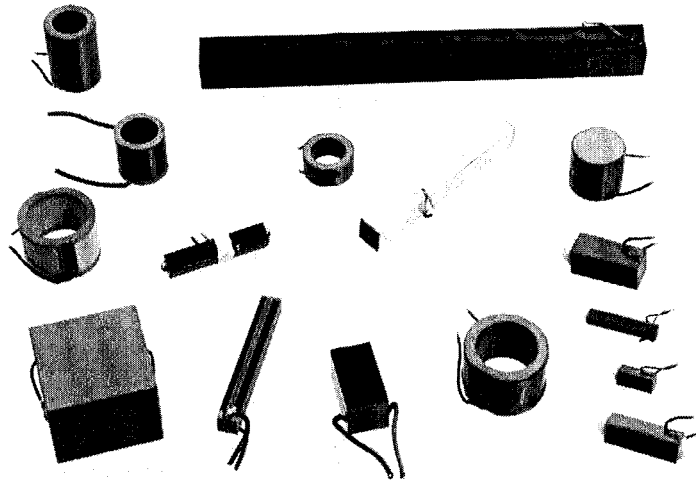
6.7.4 Piezoaktorik



6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Stacks: Aufbau 1

- Säulenförmig
- Röhrenförmig

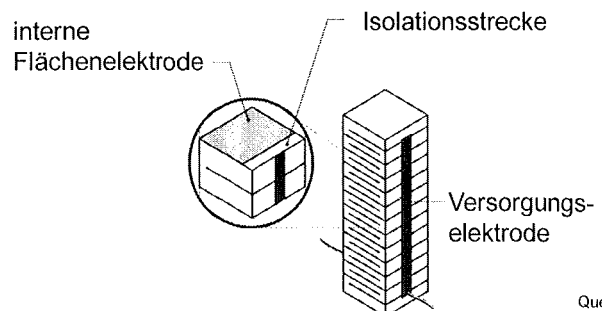
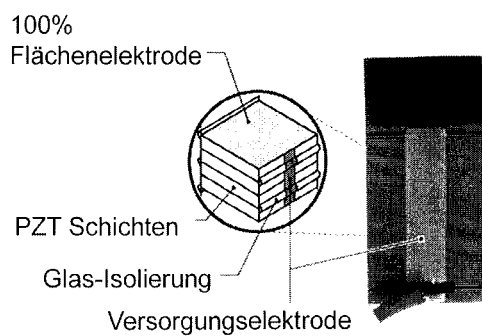


Quelle:
Piezomechanik

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Stacks: Aufbau 2

- On-Stack-Insulation „OSI“
 - Homogene Spannungsverteilung
 - Feuchtigkeitsempfindlich
- In-Stack-Insulation „ISI“ → auch „buried-in electrode“
 - Einfacherer Aufbau
 - Feuchtigkeitsempfindlich
 - Mechanisch empfindlicher

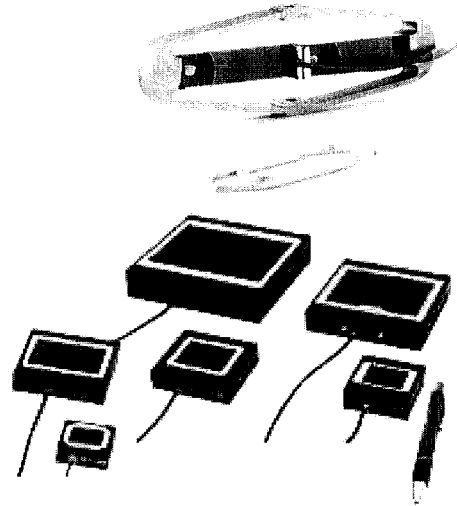


Quelle:
Piezomechanik

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Stacks: Aufbau 2

- Hubvergrößerung
 - Hebelkinematik
 - Verringerung der Resonanzfrequenz mit $1/\ddot{u}$
 - Verringerung der Steifigkeit mit $1/\ddot{u}^2$

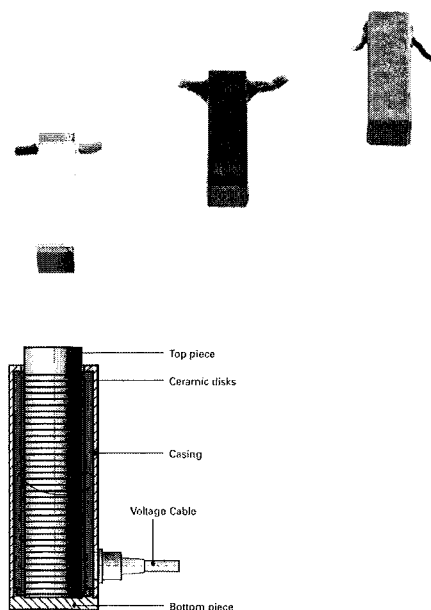


Quellen:
Cedrat, P

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Stacks: Leistung

- Dehnung ca. 0,1 %
- Feldstärke: -0,3..2 kV/mm
- Aspektverhältnis: max. 12 : 1
- Leistungsdaten [Piezomechanik Pst150 10x10x7]
 - Länge x Breite x Dicke: 7 x 10 x 10 mm³
 - Hub: +9 / -4 µm
 - Max. Kraft: 7000 N
 - Resonanzfrequenz: 100 kHz
 - Max. Spannung: -30 / +150 V
- Leistungsdaten [PI P-010.00]
 - Größe: Ø 10 x 8 mm
 - Hub: 5 µm
 - Max. Kraft: 1400 N
 - Resonanzfrequenz: 126 kHz
 - Max. Spannung: 0 / 1000 V



Quellen:
Piezomechanik, P

6.7 Weitere Antriebsformen

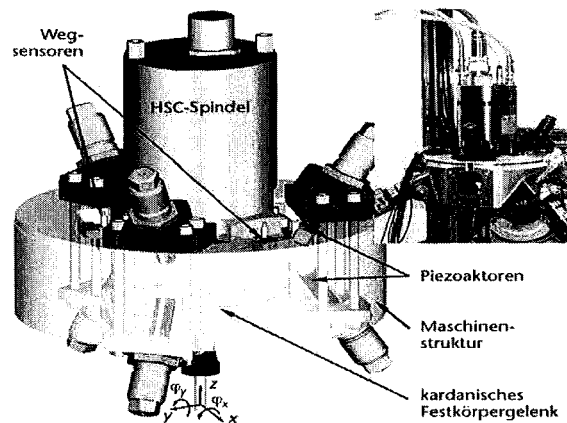
6.7.4 Piezoaktorik – Stacks: Anwendung

• Direkter Einsatz

- Hohe Dynamik, sehr große Kräfte, mikroskopische Stellwege
- Industrielle Adaptronik
- Messtechnik (Spiegelteleskope)
- Drucker / Prägesysteme
- Zerstäubung
- Zahnsteinentfernung
- Knochen schneiden
- Emulsifikation

• Mit Hebelübersetzung

- Geringe Dynamik, kleinere Kräfte, große Wege
- Positioniertische, Spiegelverstellung



Quelle:
Fraunhofer IWU

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Bender

• Bender

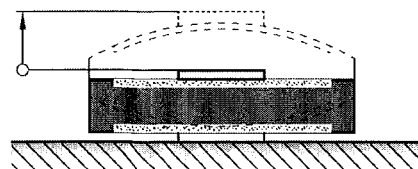
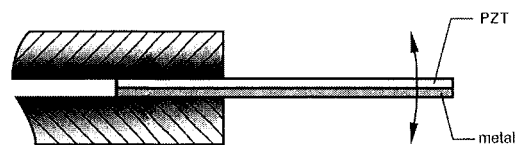
- 1 Lage Metall
- 1..n Lagen Piezokeramik
- 60..100 V
- Balken- oder Scheibenförmig

• Leistungsdaten [PI PL-140.251]

- Länge x Breite x Dicke: 45 x 11 x 0,6 mm³
- Hub: $\pm 1000 \mu\text{m}$
- Max. Kraft: 0,5 N
- Resonanzfrequenz: 160 Hz

• Leistungsdaten [PI P-289]

- Größe: $\varnothing 50 \times 6,6 \text{ mm}$
- Hub: 200 μm
- Max. Kraft: 20 / -10 N
- Resonanzfrequenz: 1100 Hz



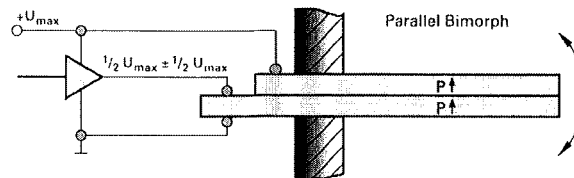
Quelle:
Piezoaktorik

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik - Bimorphe

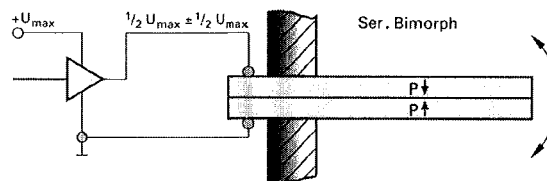
→ Parallele Bimorphe

- 3 Elektroden



→ Serielle Bimorphe

- 2 Elektroden

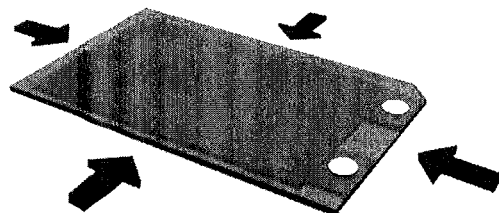
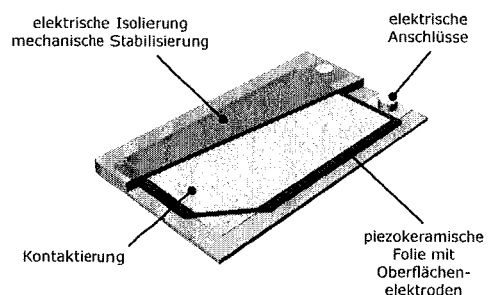


Quelle:
Piezoaktorik

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Patches

- Piezo-“Folie“
- Flächenelektroden
- Wird auf zu bewegendes Element geklebt
- Leistungsdaten [PI P-876.A15]
 - Länge x Breite x Dicke: 61 x 35 x 0,8/0,5 mm³
 - Hub: 800 µm/m → 48,8 / 28 µm
 - Max. Kraft: 750 N
 - Resonanzfrequenz: Abhängig von der Grundstruktur



Quelle:
Piezoaktorik

6.7 Weitere Antriebsformen

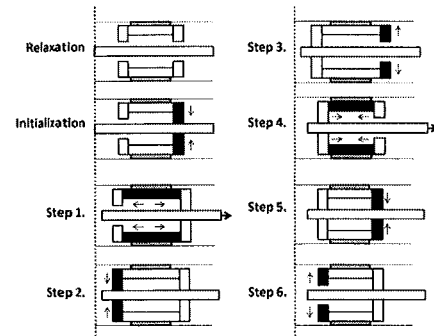
6.7.4 Piezoaktorik – Schrittantriebe: Inchworm

Beispiele

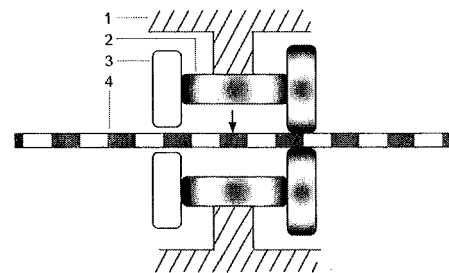
- Galante 1999: 8 mm/s, 41,5 N, 224 mW
- Vaughan 2001: 7,5 mm/s, 170 N, 320 mW
- Ben Mrad 2001: 500 mm/s, 1200 N, 150 W
- Devos 2004: 60 mm/s, 0,28 N, 400 mW
- CEDRAT FP30: 4,4 mm/s, 30 N, 33 mW

Anwendung

- Stages für Optik und Analyse
- Mikrorobotik



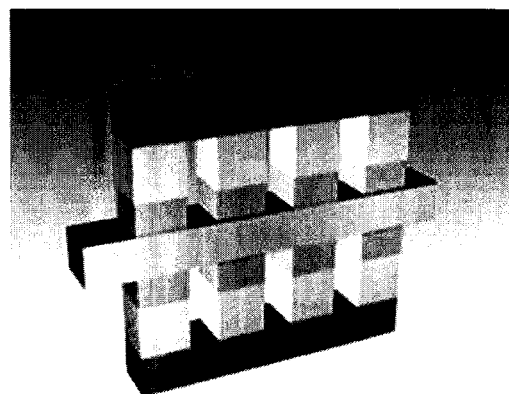
Piezo Inchworm Motor [Burghleigh]



6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Schrittantriebe: WalkDrive

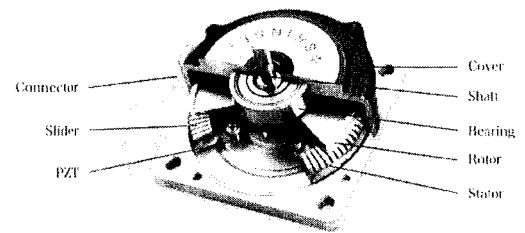
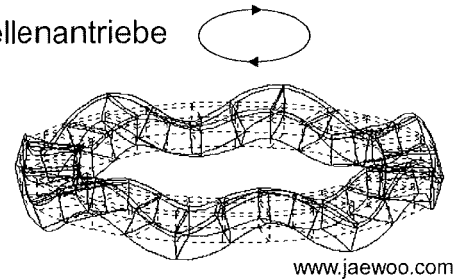
- 4 Biege- bzw. Scher-Aktoren → 8 Piezoelemente
- Zyklischer Wechsel von Klemmen (Kraftschluss) und Schieben
- Einfache Ansteuerung
- Einfacher Aufbau
- Zwischenschritte möglich → sehr hohe Auflösung
- Kleine Verfahrgeschwindigkeiten
- Große Kräfte



6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Ultraschallantriebe: Wanderwellenantriebe

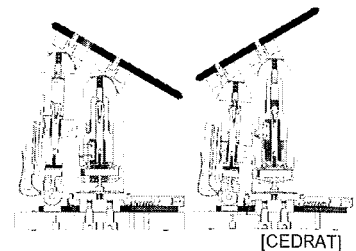
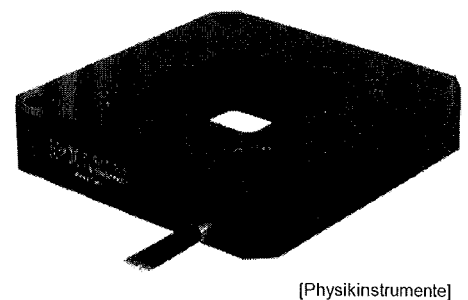
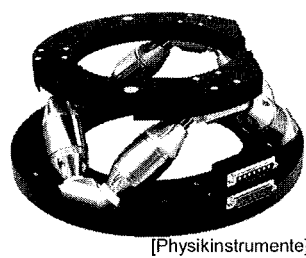
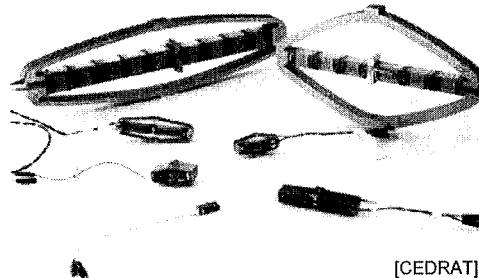
- Üblicherweise Anregung einer Wanderwelle (Biegewelle) in einem (ringförmigen) Stator
- Alternativ Dämpfung der Welle am Ende des Stators
- Rotor oder Läufer „surft“ auf der Welle → elliptischer Reibkontakt
- 2-phasiges Ansteuersignal
- Regelung durch Phasenwinkel und Amplitude → nicht wirklich gut
- Weit verbreitet
- Auch linear möglich



6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik - Anwendungsbeispiele

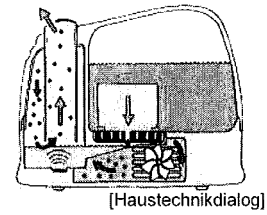
- Adaptronik
 - Schwingungstilger
 - Hubschrauber
- Positionierung
 - mm-Scale
 - μm -Scale
 - nm-Scale



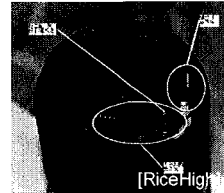
6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik - Anwendungsbeispiele

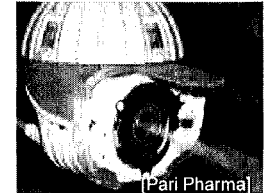
- Optik
 - Autofokus-Antriebe
 - Bildgebung: Optical Coherence Tomography (OCT)
- Fluid Treatment
 - Zerstäuber
 - Einspritzdüsen
 - Ventile
 - Needle-free injection devices



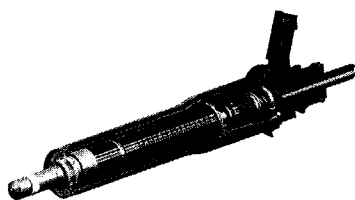
[Haustechnikdialog]



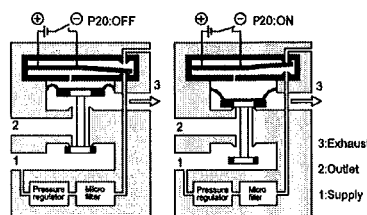
[RiceHig]



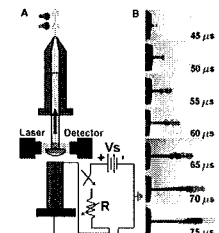
[Pari Pharma]



[Bosch]



[njetc.com]

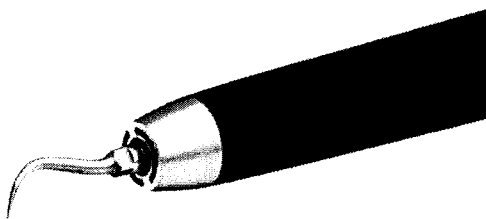
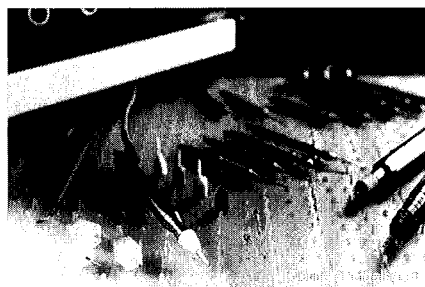


[Stachowiak 2007]

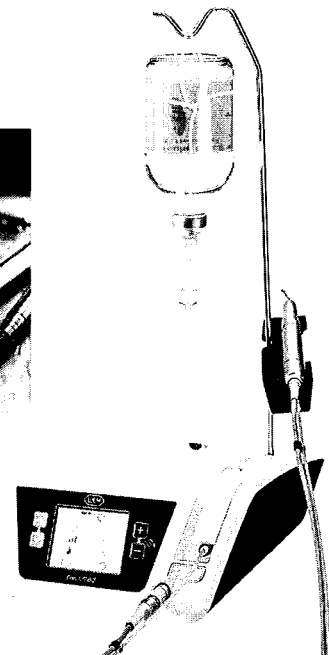
6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik - Anwendungsbeispiele

- Knochen schneiden
- Zahnsteinentfernung
- Emulsifikation in der Ophthalmologie



[Sirona, Bensheim]

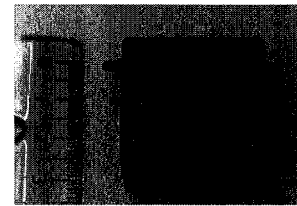
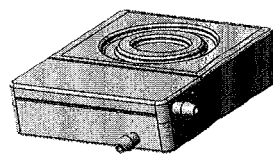
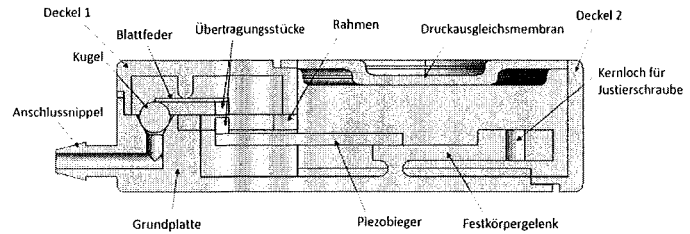
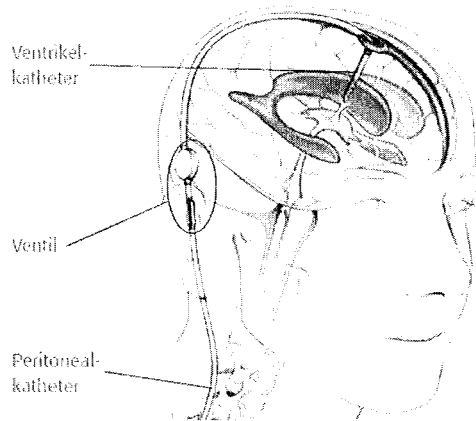


[W&H Deutschland, Laufen/Obb.]

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Anwendungsbeispiel aus der Forschung

• Ventil für Cerebralshunts



Quelle:
R. Schulz, Altershirndruck NPH, 2011; SA Landhäußer

6.7 Weitere Antriebsformen

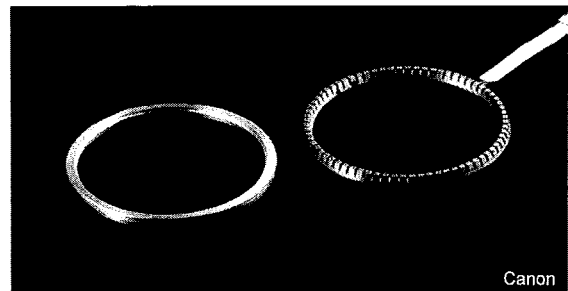
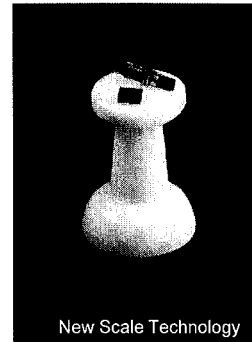
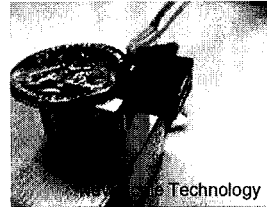
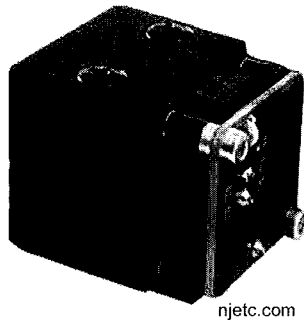
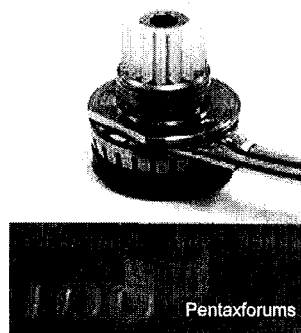
6.7.4 Piezoaktorik – Vergleich der Prinzipien

	Vorteile	Nachteile	Anwendung
Stacks	Dynamik: kHz Kräfte: kN-Bereich	mikroskopische Stellwege	Schwingungsdämpfung Zahnsteinentfernung, Ophthalmologie, Knochensäge, Verschiebetische
Bender	Dynamik: <1 kHz Kräfte: N-Bereich	Kleine Stellwege (<5 mm)	Ventile, Spiegel, Faden- führungen
Schrittmotoren	Stellweg: <~200 mm Kräfte: <100 N	Geringe Geschwindigkeit (mm /min)	Verschiebetische, Kleinstantriebe
Ultraschallantriebe	Stellwege: rotierend Drehmoment: <5 Nm Drehzahl: <100 min ⁻¹	Verschleiß, Regelbarkeit	Kleinstantriebe, Fotografie, Messgeräte

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Zusammenfassung

- Piezo Funktionsprinzip
- Nutzung des inversen Effekts
- Vergleich der Prinzipien



6.8 Literatur

- Schröder, D.: Elektrische Antriebe – Grundlagen, 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017
- Binder, A.: Elektrische Maschinen und Antriebe, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017
- Grote, K., Feldhusen, J.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, 24. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014
- Becker, U.: Asynchronmotor, unter https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-elektrotechnik-12774/UBeckert_Scr/asm_stat_verhalten.pdf (abgerufen am 16.11.2018)
- Ostermann, T.: NEMA Schrittmotor – Was ist das eigentlich?, unter <http://www.schrittmotor-blog.de/nema-schrittmotor-was-ist-das-eigentlich/> (abgerufen am 16.11.2018)

7. Umwandlung von Bewegungsformen

Inhalt

7.1 Grundlagen

7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

7.4 Zahnradgetriebe

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe

7.5.2 Kettengetriebe

7.6 Literatur

7.1 Grundlagen



Mechanische Leistung P:

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

W: verrichtete Arbeit

Δt : benötigte Zeit

Arbeit W:

$$W = F \cdot \Delta s$$

F: Kraft

Δs : Strecke

7.1 Grundlagen

Lineare Bewegung

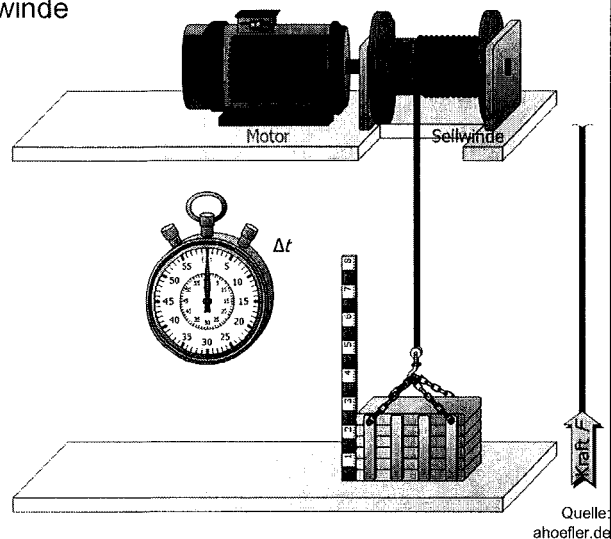
Beispiel: Anheben einer Kiste mithilfe einer Seilwinde

Die benötigte Leistung um die Kiste anzuheben

ergibt sich aus $W = F \cdot \Delta s$ und $P = \frac{W}{\Delta t}$:

$$P = \frac{F \cdot \Delta s}{\Delta t}$$

$$P = F \cdot v$$



7.1 Grundlagen

Rotatorische Bewegung

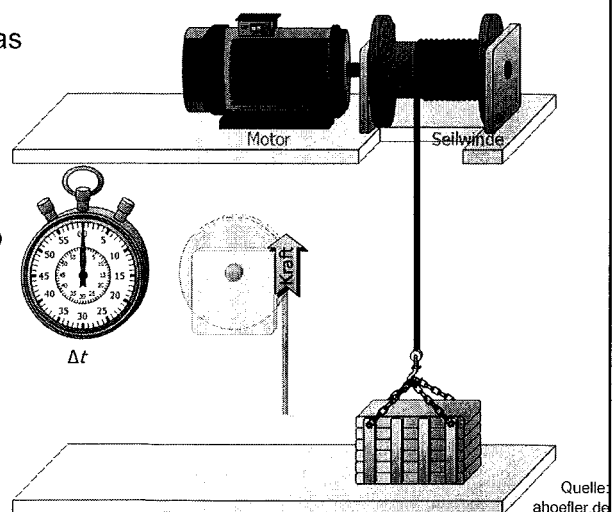
Beispiel: Anheben einer Kiste mithilfe einer Seilwinde

Die Seilwinde zieht während des Aufwickelns das Seil mit der Kraft F entlang der Kreisstrecke Δs

- Die Kreisstrecke entspricht $\Delta s = 2\pi r$
- Die für eine Umdrehung benötigte Zeit Δt entspricht der Periodendauer T (Zeitdauer pro Umdrehung)
- Damit ergibt sich:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \cdot 2\pi \cdot r}{T} = 2\pi \cdot \underbrace{\frac{1}{T}}_n \cdot \underbrace{F \cdot r}_M$$

$$P = \underbrace{2\pi \cdot n}_{\omega} \cdot M$$



7.1 Grundlagen

Notwendigkeit von Getrieben

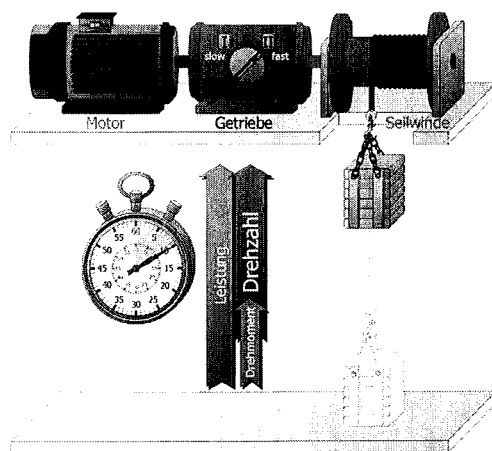
- In der realen Anwendung ist die Leistung meist begrenzt (z.B. durch eine bestimmte Motorleistung)
- Aus $P = 2\pi \cdot n \cdot M$ und $P = F \cdot v$ ergibt sich deshalb:
 - Kraft / Drehmoment $\uparrow \rightarrow$ Geschwindigkeit / Drehzahl $\downarrow$
 - Geschwindigkeit / Drehzahl $\uparrow \rightarrow$ Kraft / Drehmoment $\downarrow$

→ Um Kraft / Drehmoment und Geschwindigkeit / Drehzahl zu variieren, werden Getriebe benötigt

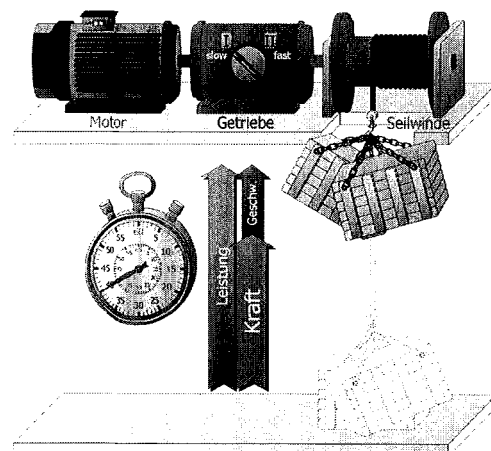
7.1 Grundlagen

Notwendigkeit von Getrieben

- Hohe Geschwindigkeit, geringe Kraft



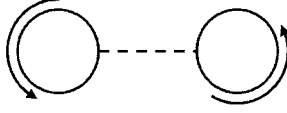
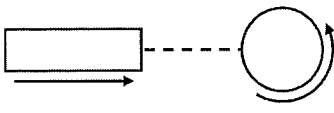
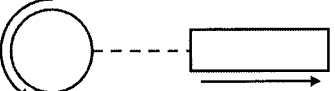
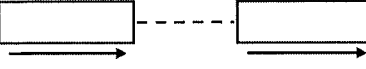
- Geringe Geschwindigkeit, hohe Kraft



Quelle:
ahoefer.de

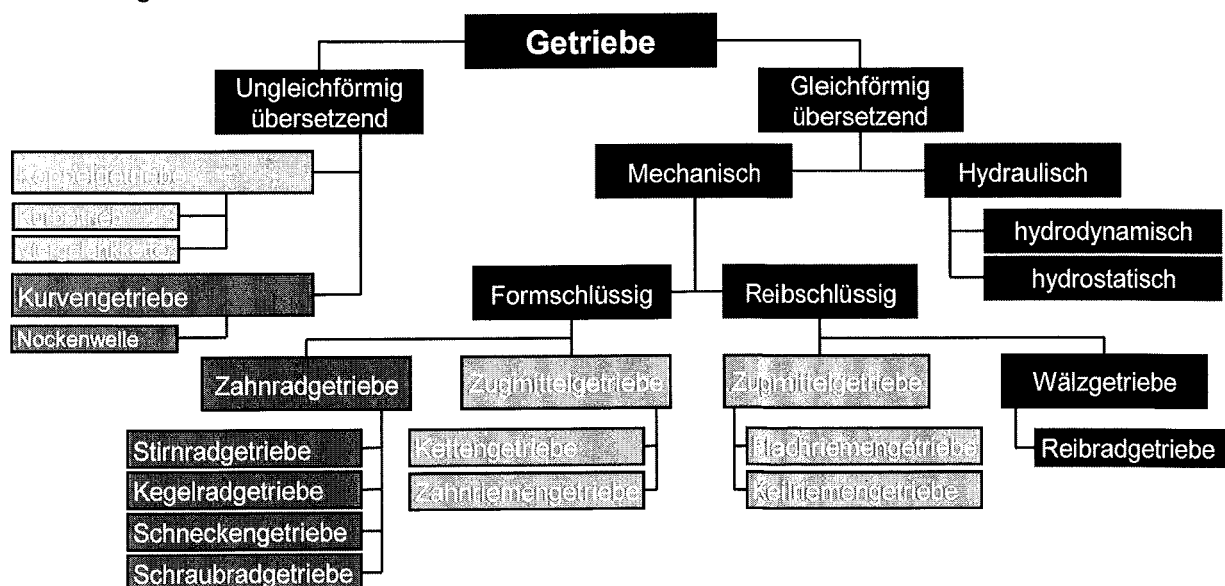
7.1 Grundlagen

Umwandlung von Bewegungsformen

zu	Rotation	Linearbewegung
Rotation	Die meisten Getriebe (z.B. Zahnradgetriebe, Zugmittelgetriebe,...) 	Kurbeltrieb 
Linearbewegung	- Hubgetriebe (z.B. Spindelgetriebe,...) - Nockenwelle - Kurbeltrieb 	Hydraulik 

7.1 Grundlagen

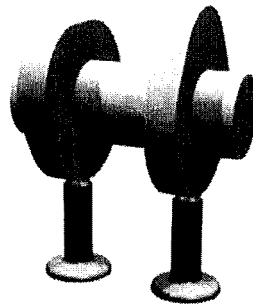
Einteilung



7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Kurvengetriebe

- Eine rotierende Kurvenscheibe gleitet auf ein Eingriffsglied ab
→ erzeugt eine ungleichmäßige Abtriebsbewegung (z.B. ungleichmäßige Rotation, Schwingbewegung, Schrittbewegung,...)
- Beispiel: Nockenwelle



Quelle:
wikipedia.org

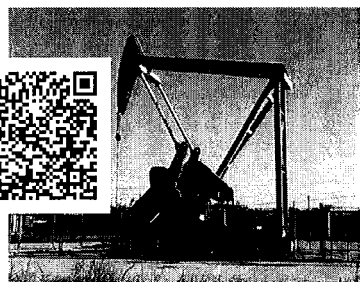
7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe

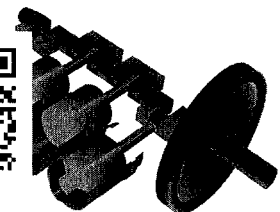
- bestehen aus Gliedern, die kinematisch miteinander verbunden sind
- Häufig Umwandlung einer Rotationsbewegung in eine Schwingbewegung (z.B. Scheibenwischer)
- Auch Umwandlung einer Linearbewegung in eine Rotationsbewegung und umgekehrt (z.B. Kurbeltrieb)



Scheibenwischer



Tiefpumpe



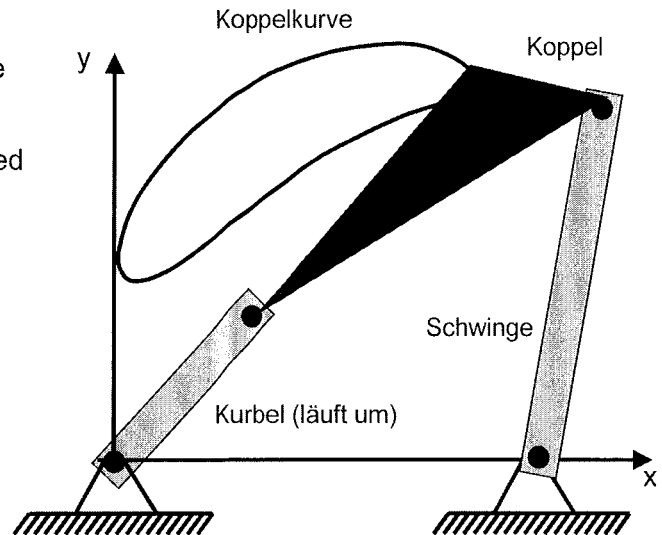
Kurbeltrieb

Quelle:
wikipedia.org

7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe

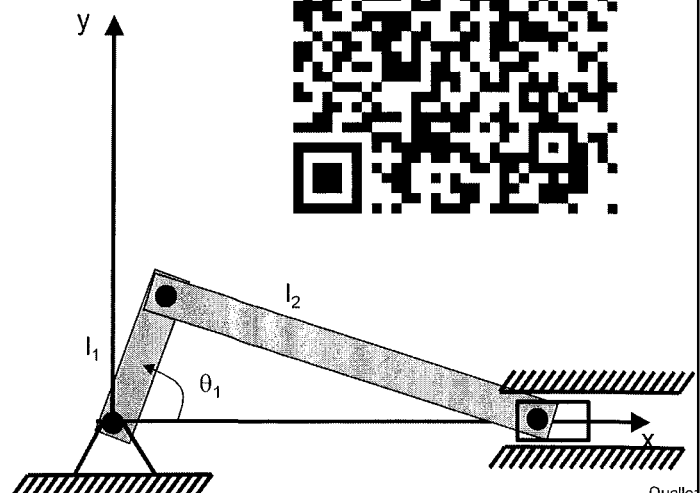
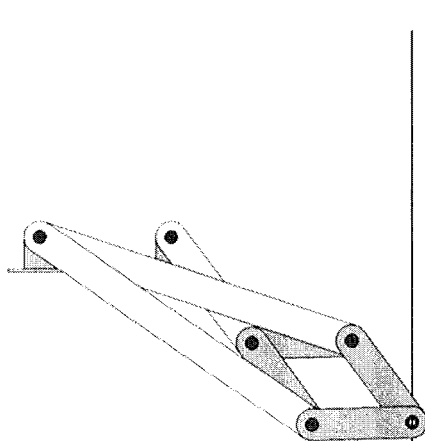
- Meist eben und mit 4 einfachen Rotationsgelenken; aber auch räumliche Getriebe möglich
 - Kurbelschwinge mit umlaufendem Glied (Kurbel)
 - Doppel-Schwinge und Doppel-Kurbel
 - Schubkurbel 3 Rotations- und einem Schubgelenk
- Unendlich viele Möglichkeiten und Anwendungen



Institut für Medizingerätetechnik **INM**

7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe



Quelle:
3d-meier.de

Koppelgetriebe - Beispiele



Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Koppelgetriebe

-

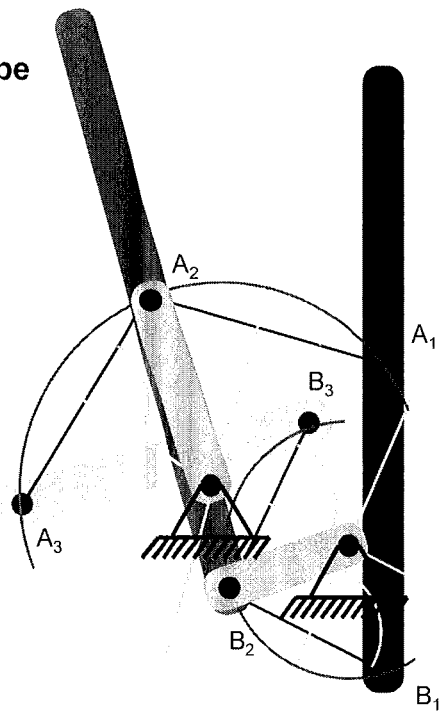


Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

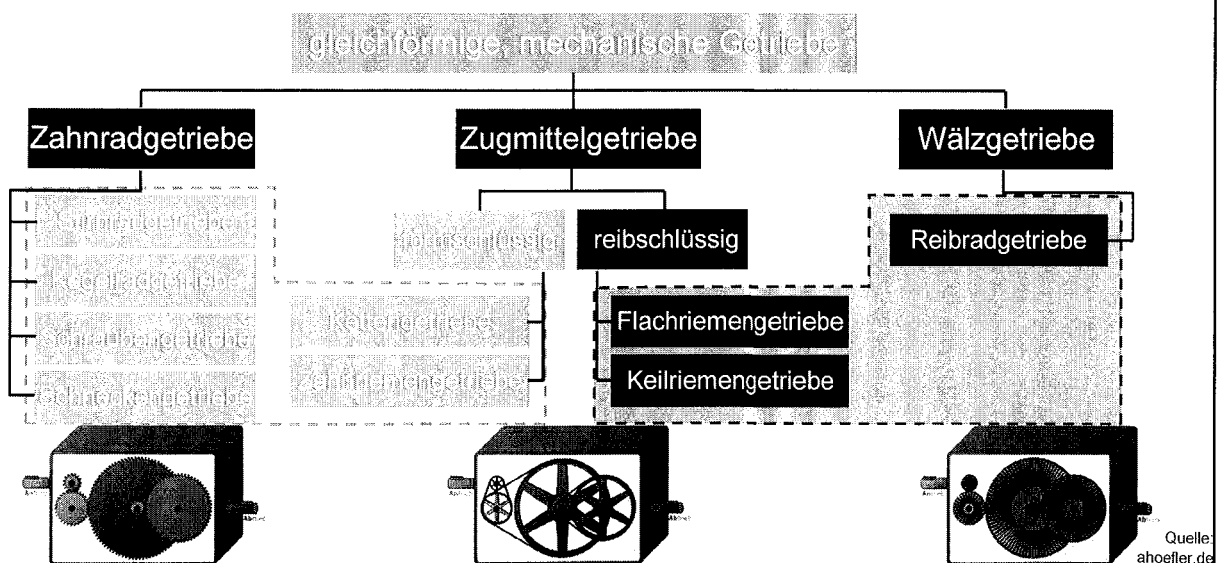
Koppelgetriebe

Dreilagensynthese: Hörsaaltisch

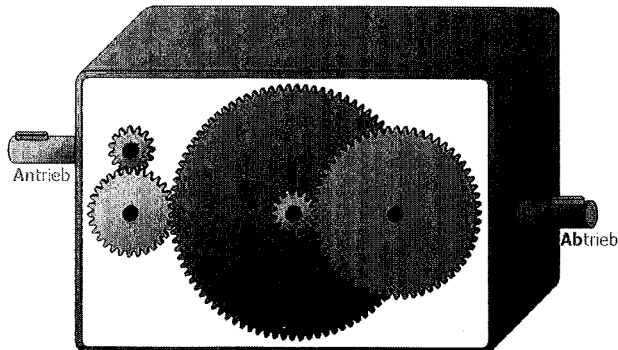


7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Einteilung



7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

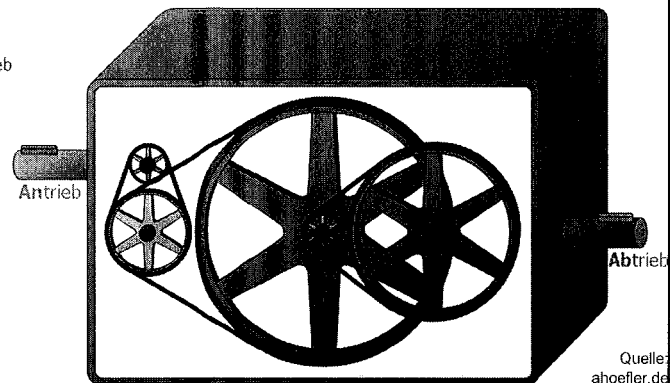


Zahnradgetriebe

→ Richtungswechsel
zwischen zwei Zahnrädern

Zugmittelgetriebe

→ Kein Richtungswechsel
zwischen zwei Rädern



Quelle:
ahoefer.de

7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Übersetzungsverhältnis

- Die Drehzahländerung bzw. Drehmomentänderung eines gleichförmigen, mechanischen Getriebes wird durch das Übersetzungsverhältnis i beschrieben

$$i = \frac{n_{an}}{n_{ab}} = \frac{M_{ab}}{M_{an}}$$

- n_{an} Drehzahl Antrieb
- n_{ab} Drehzahl Abtrieb
- M_{an} Drehmoment Antrieb
- M_{ab} Drehmoment Abtrieb

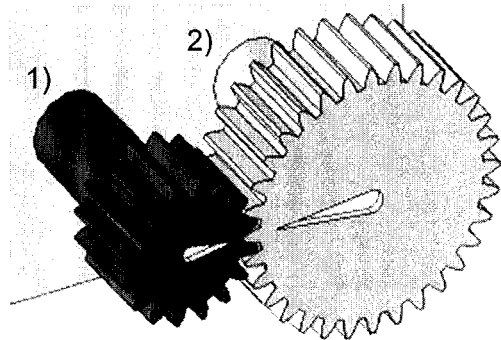
7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Übersetzungsverhältnis

- Zahnradgetriebe: Das Übersetzungsverhältnis ergibt sich aus

$$i = \frac{z_{ab}}{z_{an}}$$

- z_{ab} = Zähnezahzahl des Abtrieb-Zahnrads
- z_{an} = Zähnezahzahl des Antrieb-Zahnrads



Live-Inhalt

Quelle:
lyceecolbert-tg.org

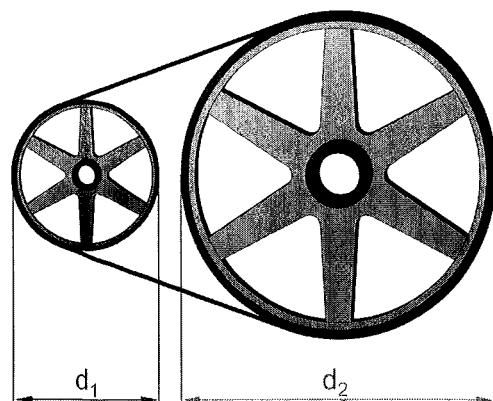
7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Übersetzungsverhältnis

- Reibrad- und Zugmittelgetriebe:
Das Übersetzungsverhältnis ergibt sich aus:

$$i = \frac{d_{ab}}{d_{an}}$$

- d_{ab} = Durchmesser des Abtrieb-Rads
- d_{an} = Durchmesser des Antrieb-Rads



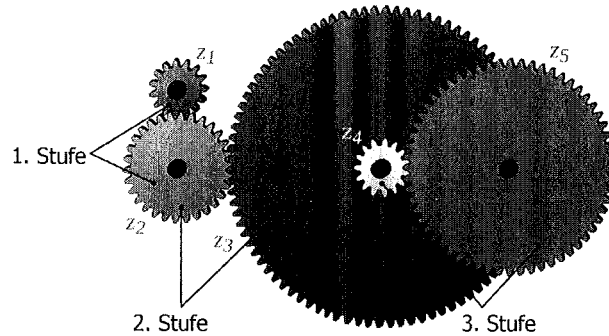
Quelle:
ahoeffer.de

7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Getriebestufen

- Meist nicht nur zwei sondern mehrere Räderpaare
- Eine Stufe = Radpaarung zwischen einem treibenden und einem getriebenen Rad
- Das Gesamtverhältnis i_{ges} des Getriebes ergibt sich aus:

$$i_{ges} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots$$

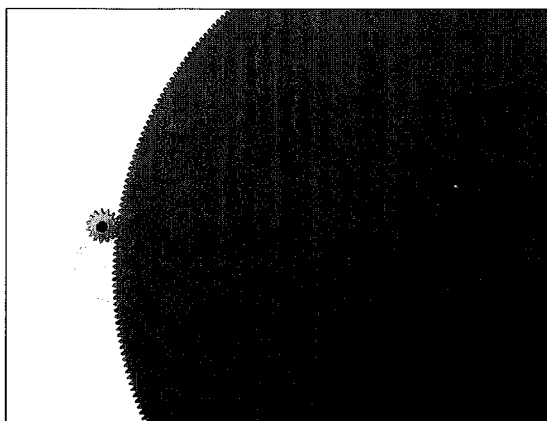


Quelle:
ahoeffer.de

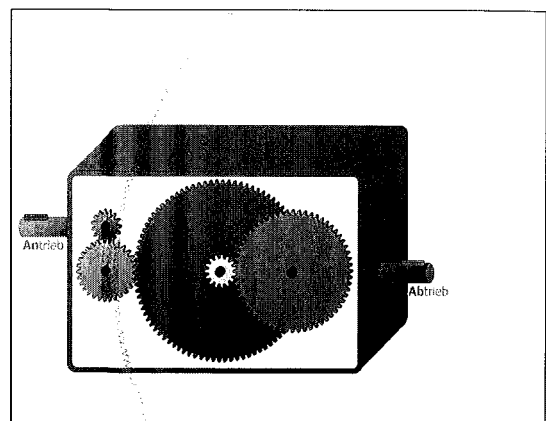
7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Getriebestufen

- Gewünschtes Übersetzungsverhältnis kann auf mehrere kleine Räder verteilt werden



Einstufiges Getriebe



Mehrstufiges Getriebe

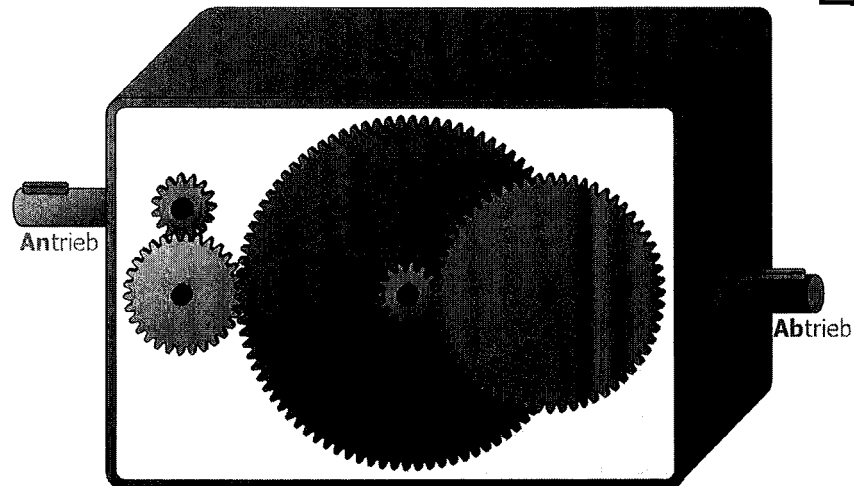
→ Beide Getriebe haben das gleiche Übersetzungsverhältnis

Quelle:
ahoeffer.de

7.4 Zahnradgetriebe



- Zahnradgetriebe bestehen aus einem oder mehreren Zahnradpaaren

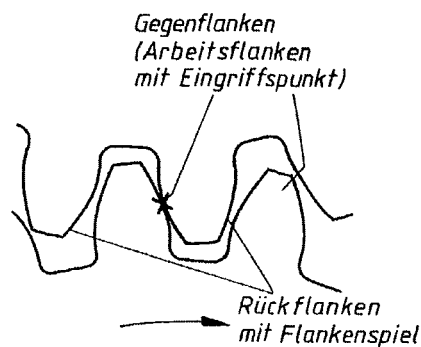


Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Verzahnungsarten

- Zahnräder dienen der formschlüssigen Kraftübertragung
- Jeder Zahn besitzt eine Arbeits- und eine Rückflanke (je nach Drehrichtung)
- Die Zähne zweier Zahnräder greifen bei der Drehbewegung ineinander wobei sich die Arbeitsflanken berühren → Kraftübertragung



Quelle:
Matek

7.4 Zahnradgetriebe

Flankenprofile

- Grundsätzlich ist jede beliebige Kurvenform als Flankenprofil möglich, solange für sie das Verzahnungsgesetz zutrifft. In der Praxis haben sich vor allem zwei Formen bewährt:

Evolventenverzahnung

- Relativ einfach und kostengünstige Herstellung
- Relativ tolerant gegenüber kleinen Achsabstandsfehlern
- Am häufigsten verwendetes Flankenprofil

Zykloidenverzahnung

- Geringe Reibungsverluste
- Kleine Zähnezahle möglich (min. 3 Zähne)

Aber:

- Aufwendige und teure Herstellung
- Empfindlich gegenüber einem ungenau eingestellten Achsabstand
- Wird nur in speziellen Fällen verwendet (z.B. Feinwerktechnik)

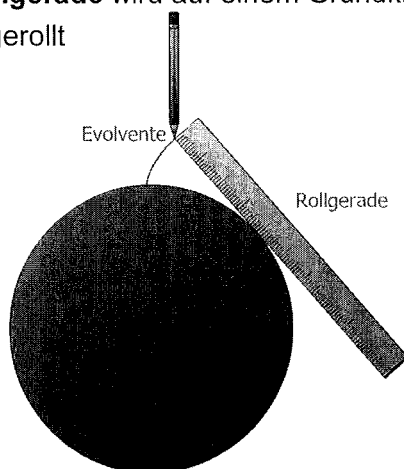
Quelle:
louisbelet.ch

7.4 Zahnradgetriebe

Flankenprofile

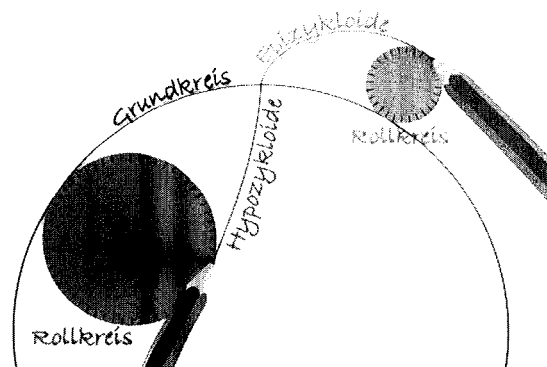
Kreisevolvente:

- Rollgerade** wird auf einem Grundkreis abgerollt



Zykloide

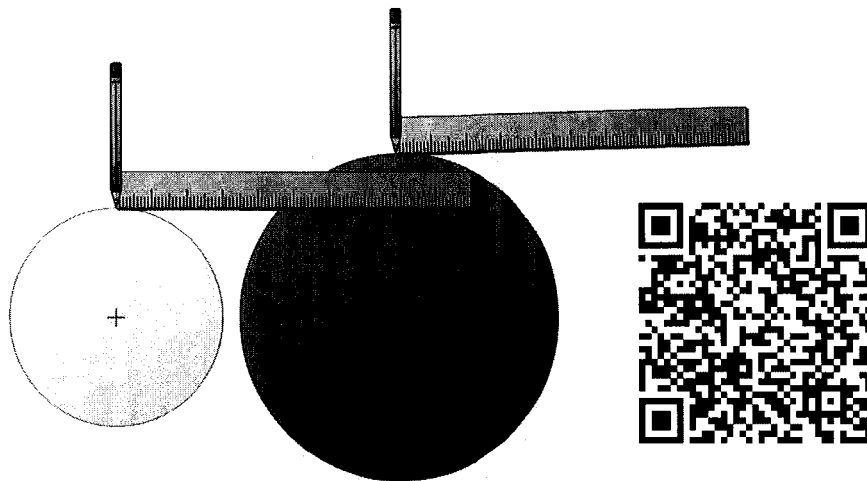
- Rollkreis** wird auf einem Grundkreis abgerollt



Quellen:
ahoefer.de, tec-science.com

7.4 Zahnradgetri

Evolventenverzah



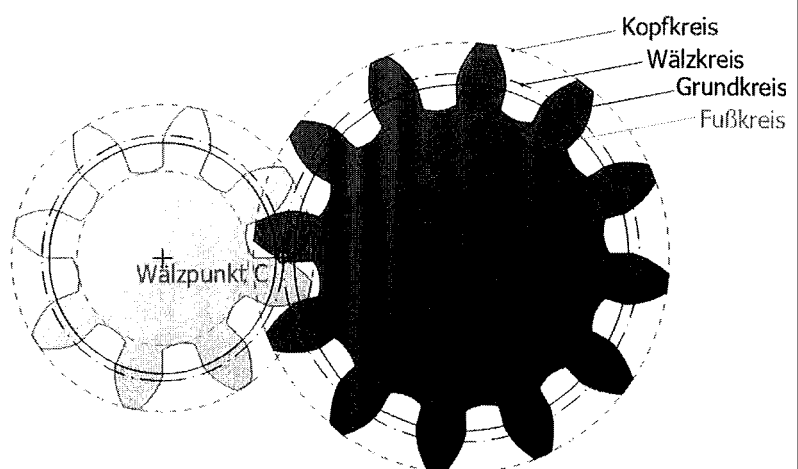
- Damit die Zähne beim Eingriff nicht an den Grundkreis des anderen Zahnrads stoßen, wird der Zahngrund ausgerundet

Quelle:
ahoeffer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Evolventenverzahnung

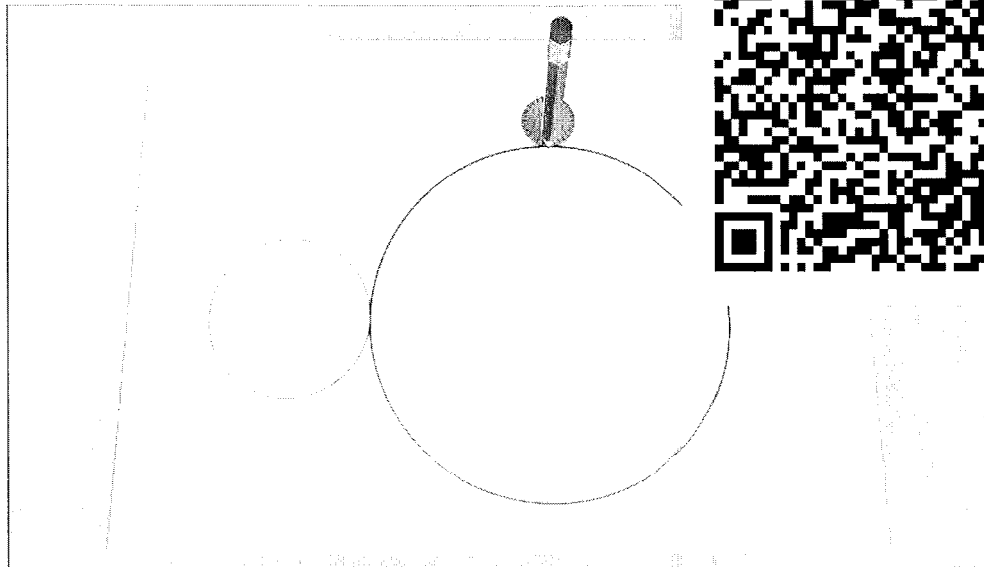
- Man unterscheidet:
 - Kopfkreis
 - Wälzkreis
 - Grundkreis
 - Fußkreis
- Im Wälzpunkt C tritt kein Gleiten sondern reines Wälzen auf



Quelle:
ahoeffer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Zykloidenverzahnung



Quelle:
tec-science.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

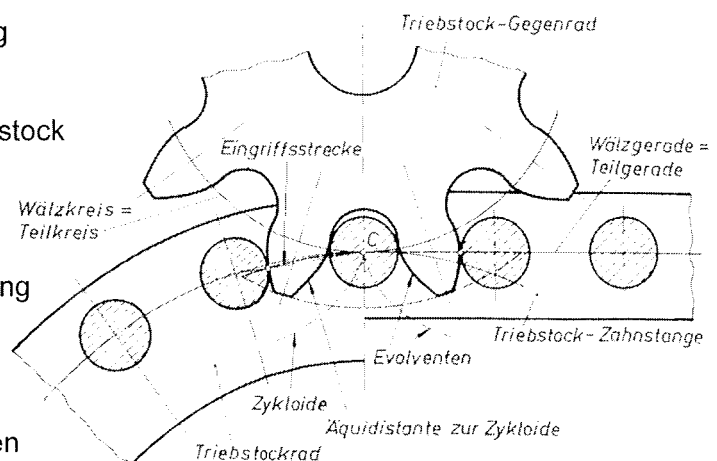
Folie 29

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

7.4 Zahnradgetriebe

Triebstockverzahnung

- Spezialfall, der bei Punktverzahnung auftritt
- Dieser Punkt wird durch einen Triebstock (Bolzen) erweitert
- schlechtes Abnutzungsverhalten
- Triebstockrad -> Zykloidenverzahnung
- Triebstock-Zahnstange -> Evolventenverzahnung
- Triebstockverzahnung nur bei großen Übersetzungen



Quelle:
ethz.ch (IWF, Dimensionierung II)

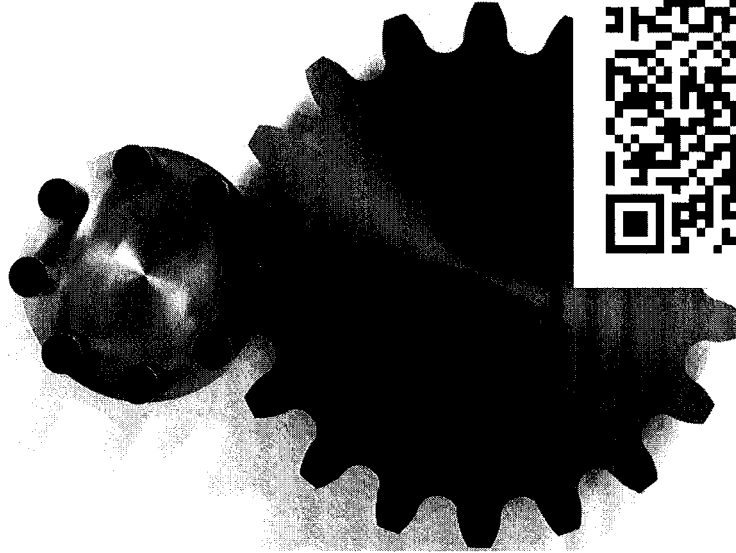
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 30

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

7.4 Zahnradgetriebe

Triebstockverzahnung

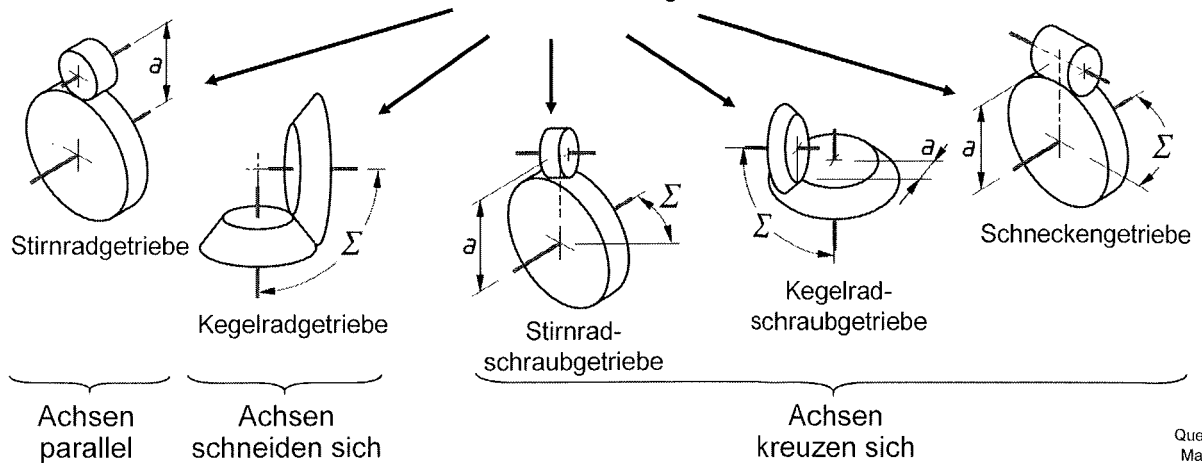


Quelle:
tec-science.com

7.4 Zahnradgetriebe

Bauarten

- Zahnradgetriebe bestehen aus einem oder mehrere Zahnradpaaren
- Sie können in verschiedene Getriebebauarten eingeteilt werden:



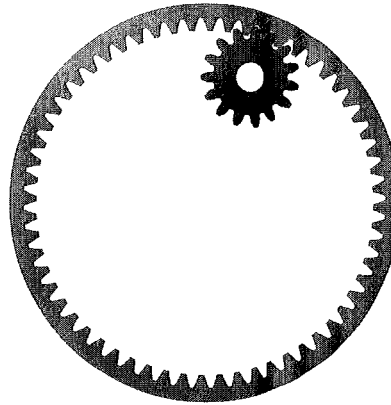
Quelle:
Matek

7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Sonderfälle

▸ Innenverzahnung

- Breitere Kontaktfläche der Zahnflanken → Größere Drehmomentübertragung
- Geringere Achsenabstand bei gleichem Übersetzungsverhältnis wie bei Außenverzahnung möglich
- Aufwendige Herstellung



Quelle:
ahoefer.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 33

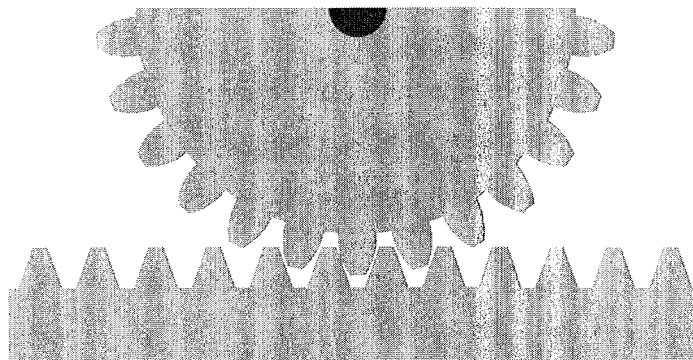
Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Sonderfälle

▸ Zahnstange

- Können als Stirnräder mit unendlich großem Umfang betrachtet werden
- Immer mit einem außenverzahnten Zahnrad gepaart
- Erzeugen eine lineare Bewegung



Quelle:
gg-antriebstechnik.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

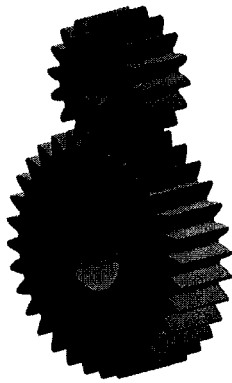
Folie 34

Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

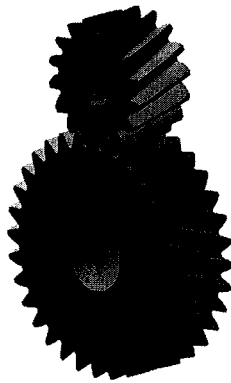
7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Verzahnungsarten

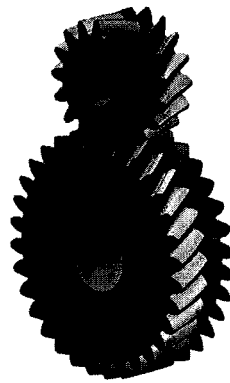
- Stirnräder lassen sich auch bezüglich ihrer Verzahnungsart unterscheiden:



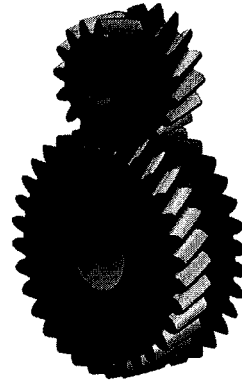
Geradverzahnung



Schrägverzahnung



Pfeilverzahnung



Doppelschrägverzahnung

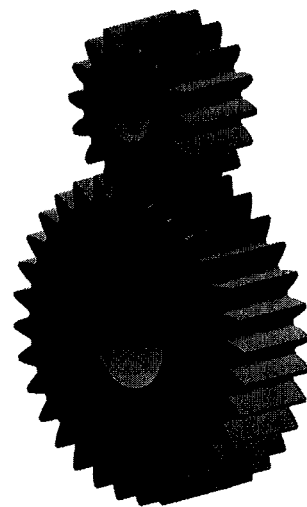
Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Verzahnungsarten

Geradverzahnung

- Zahnräder können kostengünstig hergestellt werden
 - Allerdings:
 - Flanken greifen jeweils komplett gleichzeitig auf der vollen Breite der Zähne ineinander
 - Kraftübertragung setzt abrupt ein/ hört abrupt auf
 - Dies führt zu einer relativ starken Geräuscentwicklung
- Eher für geringe Umfangsgeschwindigkeiten geeignet



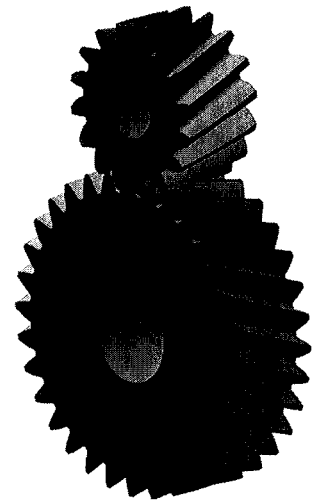
Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Verzahnungsarten

Schrägverzahnung

- Die Kraftübertragung steigt und sinkt allmählich
- Geräuscentwicklung wird reduziert
- Übertragung eines höheren Drehmoments (bei gleicher Abmessung wie geradverzahntes Zahnrad)
- Allerdings:
 - Wirken von Axialkräften auf die Getriebewelle
 - Höherer Lagerverschleiß



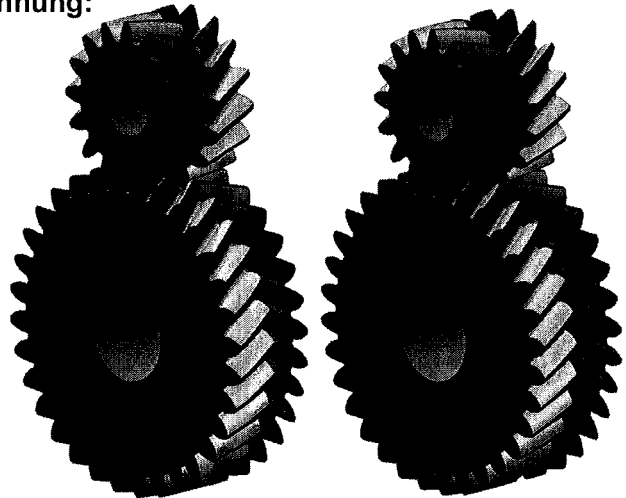
Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Verzahnungsarten

Pfeilverzahnung und Doppelschrägverzahnung:

- verbinden die Vorteile der Gerad- und Schrägverzahnung:
 - Höhere Beanspruchbarkeit
 - Geringere Geräuscentwicklung
 - Keine Axialkräfte
 - Geringerer Verschleiß
- Allerdings: aufwändige Fertigung
- Selten genutzt

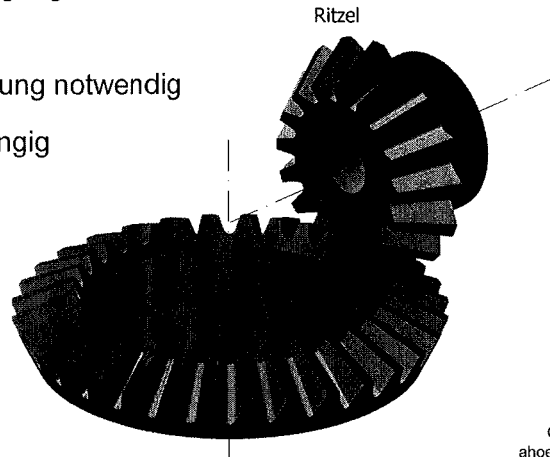


Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Kegelradgetriebe

- Achsen stehen nicht parallel sondern in einem Winkel (meist 90°) zueinander
- Ermöglichen die Übertragung einer Drehbewegung und eines Drehmoments mit sich **schneidenden Achsen**
- Hohe Sorgfalt bei Fertigung, Einbau und Lagerung notwendig
- Laufruhe und Lebensdauer sind hiervon abhängig

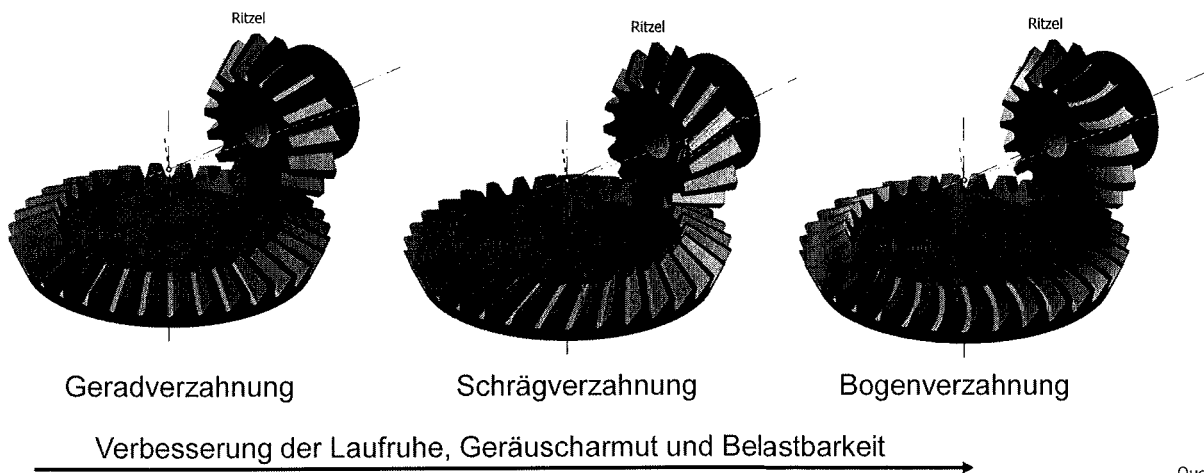


Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Kegelradgetriebe

- Auch Kegelräder können verschiedene Verzahnungen aufweisen:

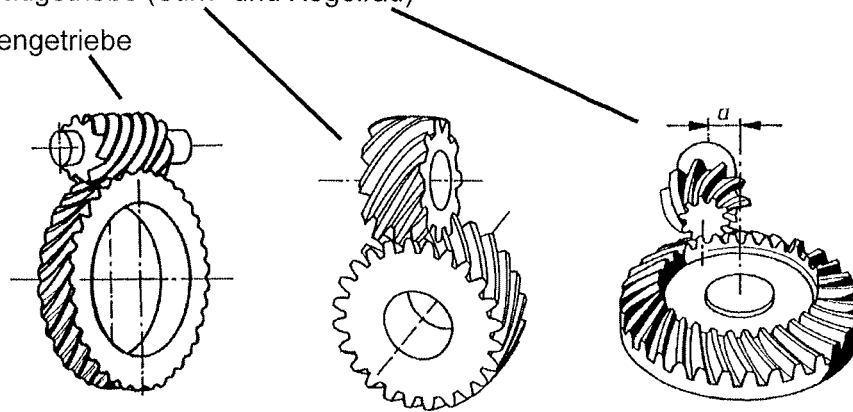


Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Schraubgetriebe

- Schraubgetriebe besitzen sich kreuzende Achsen (meist 90°)
- Zu den Schraubgetrieben zählen
 - Schraubradgetriebe (Stirn- und Kegelrad)
 - Schneckengetriebe



Quelle:
Matek

7.4 Zahnradgetriebe

Schraubgetriebe

Schraubradgetriebe

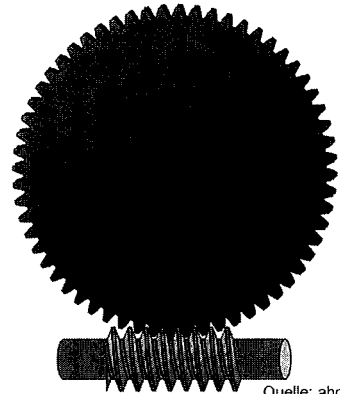
- Schraubräder können axial verschoben werden ohne den Eingriff zu gefährden
→ einfacher Einbau
 - Allerdings haben sie einige Nachteile:
 - geringere Tragfähigkeit
 - höheren Verschleiß
 - Wesentlich kleinerer Wirkungsgrad
- als andere Zahnradgetriebe

7.4 Zahnradgetriebe

Schraubgetriebe

Schneckengetriebe:

- Bestehen immer aus einer Schnecke und einem Schneckenrad
- Übertragung von großen Drehmomenten, da meist mehrere Zähne im Eingriff sind
- Linienberührung von Schnecke und Schneckenrad
- Im Vergleich zu anderen Zahnradgetrieben sind sie
 - Geräuschärmer
 - Kleiner und leichter (bei gleichem Übersetzungsverhältnis)
- Nachteile sind:
 - Die Flanken gleiten aneinander vorbei → hoher Verschleiß
 - Hohe Axialkräfte
 - Empfindlich gegen Veränderung des Achsabstandes

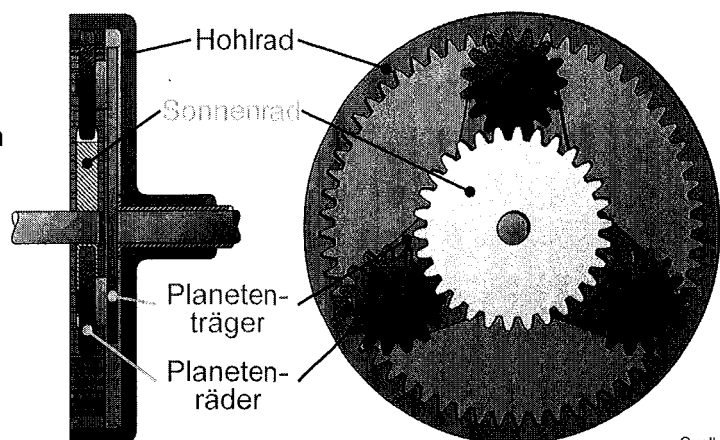


Quelle: ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Planetengetriebe

- Bei Planetengetrieben liegen die An- und Abtriebswelle coaxial (auf einer gemeinsamen Achse)
- Es besteht aus
 - Hohlräder
 - Planetenträger mit Planetenrädern
 - Sonnenrad



Quelle:
ahoefer.de

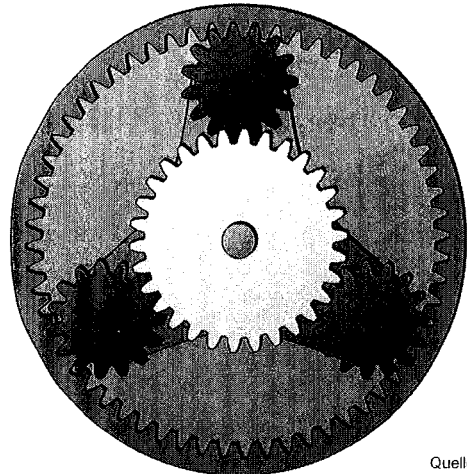
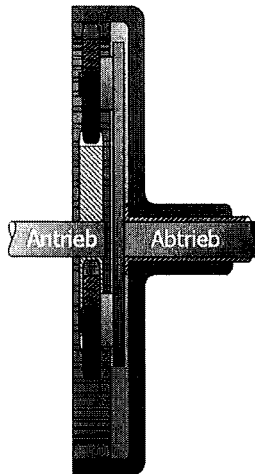
7.4 Zahnradgetriebe

Planetengetriebe

→ Antriebs- und Abtriebswelle des Planetengetriebes können frei gewählt werden:

▮ Variante 1:

- Antrieb: Sonnenrad
- Abtrieb: Planetenträger



Quelle:
ahoefer.de

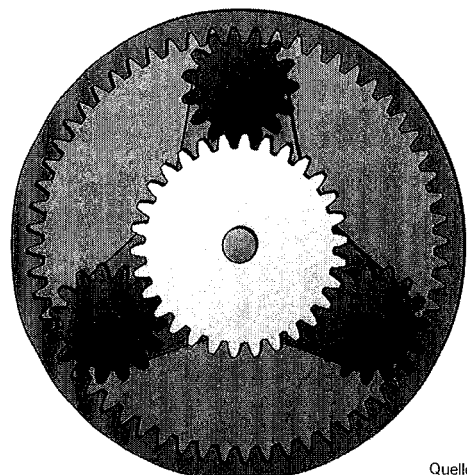
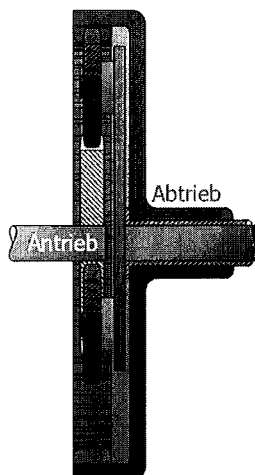
7.4 Zahnradgetriebe

Planetengetriebe

▮ Antriebs- und Abtriebswelle des Planetengetriebes können frei gewählt werden:

→ Variante 2:

- Antrieb: Sonnenrad
- Abtrieb: Hohlrad

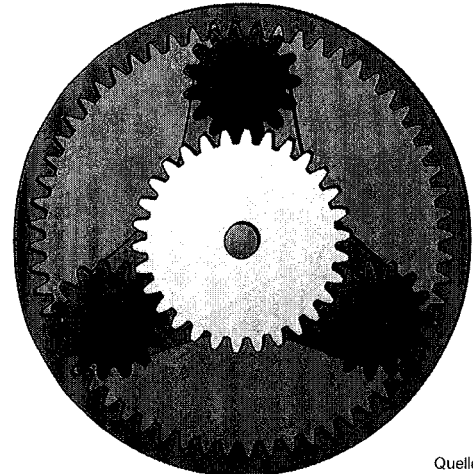
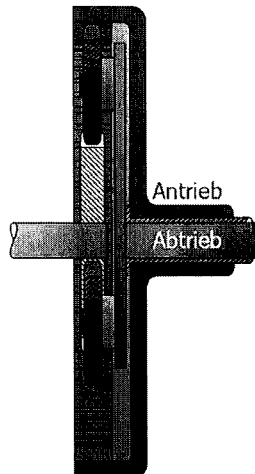


Quelle:
ahoefer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Planetengetriebe

- › Antriebs- und Abtriebswelle des Planetengetriebes können frei gewählt werden:
- › Variante 3:
 - Antrieb: Hohlrad
 - Abtrieb: Planetenträger



Quelle:
ahoeffer.de

7.4 Zahnradgetriebe

Planetengetriebe

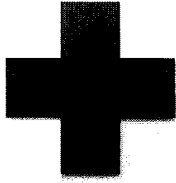
- › Je nachdem an welchen Wellen der An- und Abtrieb erfolgt können verschiedene Übersetzungsverhältnisse realisiert werden:

Variante	1	2	3
Antrieb	Sonnenrad	Sonnenrad	Hohlrad
Abtrieb	Planetenträger	Hohlrad	Planetenträger
Übersetzungs- verhältnis	$i = 1 + \frac{z_H}{z_S}$	$i = -\frac{z_H}{z_S}$	$i = 1 + \frac{z_S}{z_H}$
Übersetzungs- verhältnis am Beispiel	3,0	-2,0	1,5

→ In Schaltgetrieben kann zwischen verschiedenen Übersetzungsverhältnissen gewechselt werden

7.4 Zahnradgetriebe

Vor- und Nachteile



Zahnradgetriebe



Vorteile:

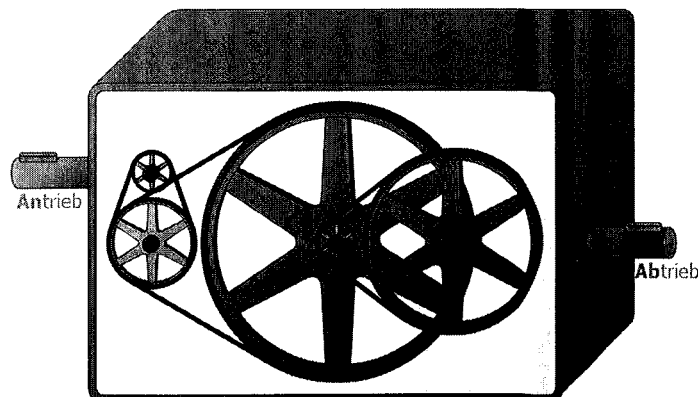
- Schlupffreie Leistungsübertragung
→ konstante Übersetzung
- Änderung der Drehrichtung möglich
- Kompakte Bauweise
- Hoher Wirkungsgrad

Nachteile:

- Starre Kraftübertragung
- Unerwünschte Schwingungen bei hohen Drehzahlen
- Schmierung notwendig

7.5 Zugmittelgetriebe

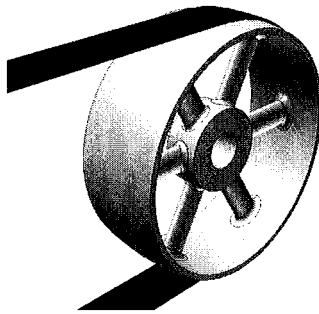
- Die Drehzahl- und Drehmomentwandlung erfolgt über Zugmittel (Riemen oder Ketten), die die An- und Abtriebswelle umschlingen
- Der Wellenabstand kann dabei deutlich größer sein als bei Zahnradgetrieben



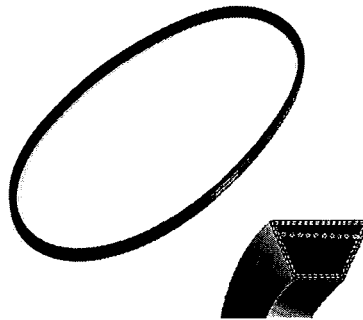
7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe

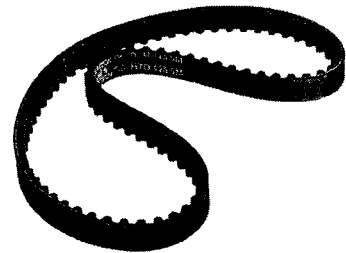
- Bei Riemengetrieben erfolgt die Kraftübertragung entweder
 - Nur reibschlüssig → Flach- und Keilriemen
 - Mit zusätzlichem Formschluss → Zahnriemen (Auch Synchronriemen genannt)



Flachriemen



Keilriemen



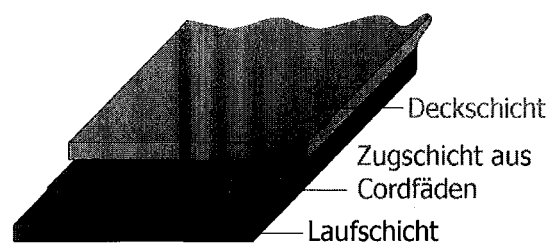
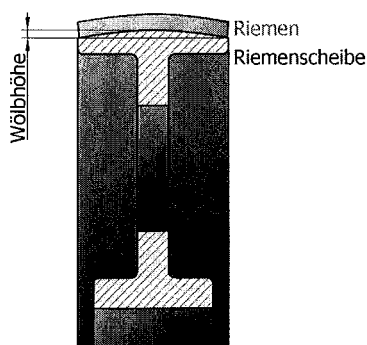
Zahnriemen

Quellen:
rs-online.com, wikipedia.org, dmt-onlineshop.de

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Flachriemen

- Einfachste Riemenart
- Material der Laufschiene (Schicht, mit der Riemen über die Scheibe läuft) muss hohe Reibfähigkeit und Verschleißfestigkeit besitzen
- Die Lauffläche ist leicht gewölbt, damit der Riemen nicht von der Riemenscheibe springt

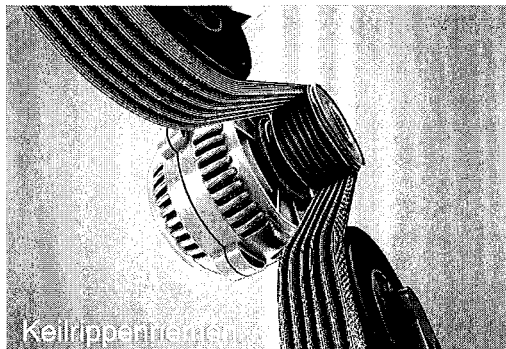
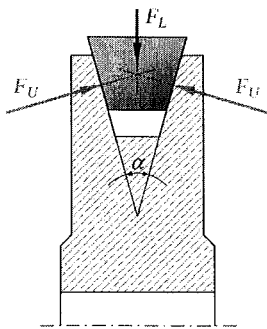


Quelle:
ahoeffer.de

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Keilriemen

- Keilriemen haben einen trapezförmigen Querschnitt
- Bei Belastung zieht sich der Keilriemen in die Trapezförmige Rille der Scheibe
→ erzeugt wesentlich höhere Anpresskraft als Flachriemen
- Ausführungsarten sind z.B. Schmalkeilriemen, Doppelkeilriemen oder Keilrippenriemen

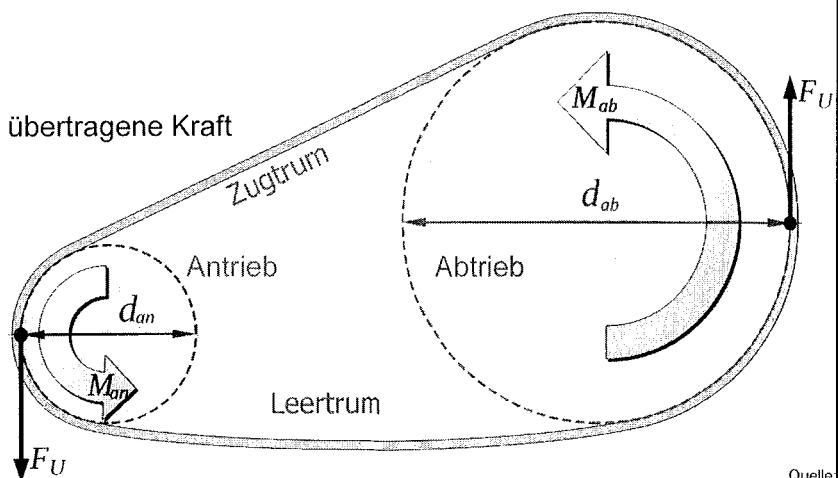


Quelle:
autobild.de, ahoeffer.de

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Kräfte

- Die freien Riemenabschnitte werden als Trume bezeichnet. Man unterscheidet:
 - das ziehende „Zugtrum“
 - das gezogene „Leertrum“
- Die zwischen den Scheiben übertragene Kraft ist die Umfangskraft F_U

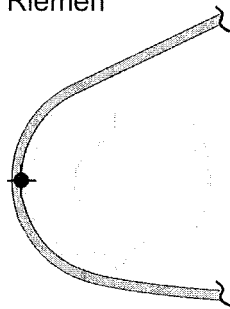


Quelle:
ahoeffer.de

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Kräfte

- » Die Übertragung von F_U zwischen Riemen und Scheibe erfolgt durch Reibung
- » Durch F_U stellen sich an den Trummen unterschiedliche Kräfte ein
- » Die Trumkräfte werden durch die Vorspannung der Riemen beeinflusst



Live-Inhalt

Quelle:
ahoefer.de

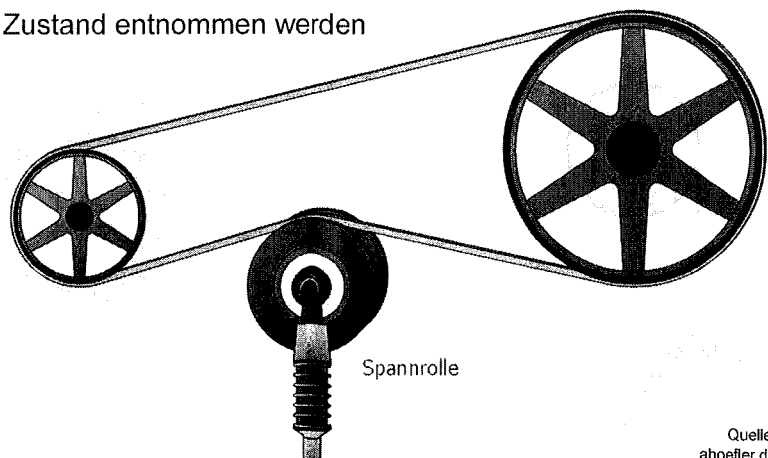
7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe – Vorspannmöglichkeiten

- » Vorspannung des Riemen ist nötig für die Kraftübertragung
- » Einstellbare Vorspannung z.B. wichtig bei Wartungsarbeiten
→ Riemen kann im entspannten Zustand entnommen werden

Bsp: **Spannrolle:**

- » Rolle wird über Gewichts- oder Federbelastung auf das Leertrum gedrückt



Quelle:
ahoefer.de

7.5 Zugmittelgetriebe

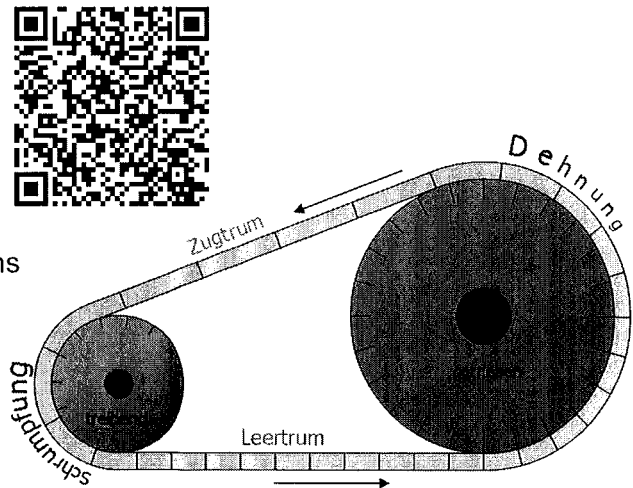
7.5.1 Riemengetriebe - Schlupf

- Schlupf: Geschwindigkeits-/ Drehzahldifferenz zweier Maschinenelemente bei der Bewegungsübertragung
→ führt zu einem nicht konstanten Übersetzungsverhältnis
- Gleitschlupf:
 - Wird die Umfangskraft größer als die Reibkraft gleitet der Riemen auf der Scheibe
 - Hoher Verschleiß → darf nur kurzzeitig geduldet werden (z.B. bei Überlastung)
 - Kann durch konstruktive Maßnahmen vermieden werden (höhere Vorspannkraft, Vergrößerter Umschlingungswinkel, Vergrößerung der Reibungszahl)

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Schlupf

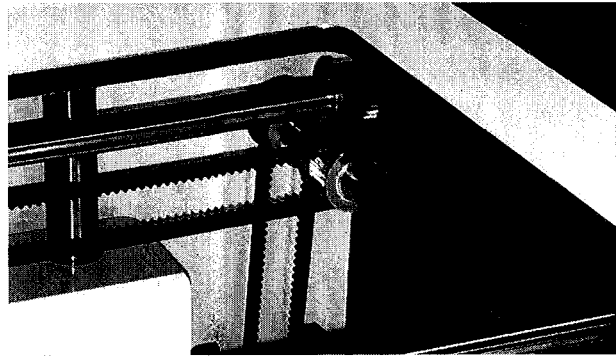
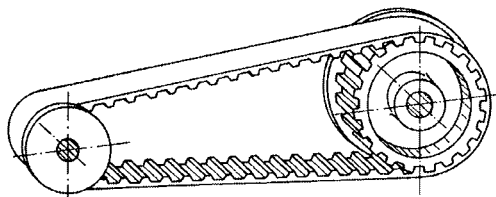
- Dehnschlupf:
 - Die unterschiedlichen Trumkräfte rufen unterschiedliche Dehnungen des Riemens hervor:
 - Getriebene Scheibe: Riemen wird aufgedehnt
 - Treibende Scheibe: Riemen zieht sich zusammen
 - Der Dehnungsausgleich verursacht eine relative Bewegung des Riemens auf der Scheibe



7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Zahnriemen

- › Um Schlupf zu vermeiden können Zahnriemen verwendet werden
- › Durch die formschlüssige Kraftübertragung laufen Scheiben und Riemen immer synchron
→ auch Synchronriemen genannt
- › Nachteile sind
 - Hohe Fertigungskosten
 - Hohe Empfindlichkeit

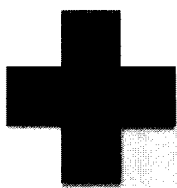


Zahnriemen in einem 3D-Drucker

Quelle:
ahoefer.de, Matek

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Vor- und Nachteile



Riemengetriebe

Vorteile:

- Elastische Kraftübertragung
- Geräuscharmer stoß- und schwingungsdämpfender Lauf
- Große Übersetzung in einer Stufe realisierbar
- Geringer Wartungsaufwand
- Größere Wellenabstände überbrückbar

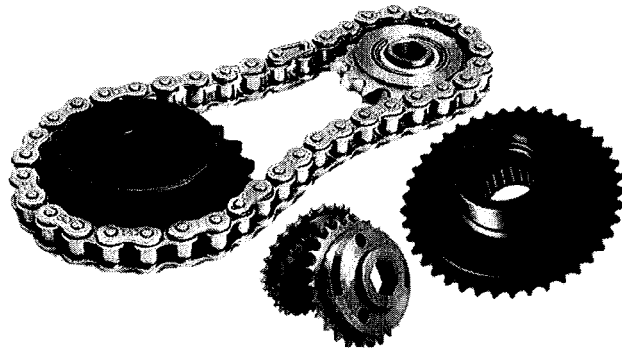
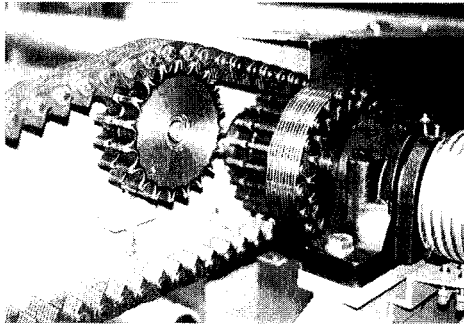
Nachteile:

- Größere Wellenbelastung
- Schlupf lässt keine konstante Übersetzung zu
- Umwelteinflüsse (Staub, Öl, Feuchtigkeit,...) haben Einfluss auf Reibungsverhalten

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.2 Kettengetriebe

- Werden wegen ihrer Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit häufig im Maschinenbau eingesetzt
- Sonderformen sind z.B. Zahnketten, bei denen die Drehmoment- und Bewegungsübertragung über Zahnlaschen erfolgt



Quelle:

iravrolamentos.com.br/zahnkette.com

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.2 Kettengetrieben Vor- und Nachteile



Kettengetriebe



Vorteile:

- Schlupffreie Leistungsübertragung
→ konstante Übersetzung
- Unempfindlich gegen Umwelteinflüsse (Schmutz, Feuchtigkeit, Temperatur,...)
- Geringere Lagerbelastung als Riemengetriebe

Nachteile:

- Unelastische, starre Kraftübertragung
- Kein Kreuzen der Wellen möglich
- Schwingen durch ungleichförmige Kettengeschwindigkeit
- Teurer als vergleichbare Riemengetriebe

7.6 Literatur

- Wittel, H., Muhs D. et al.: Roloff/Matek Maschinenelemente, 21. Auflage, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2013
- Höfler, A.: Getriebetechnik, unter <https://www.ahoefer.de/maschinenbau/getriebetechnik.html> (abgerufen am 16.11.2018)
- Volmer, J.: Getriebetechnik – Leitfaden, 1. Auflage, VBE Verlag Technik, Berlin, 1978
- Kerle, H., Corves, B., Hüsing, M.: Getriebetechnik, 4. Auflage, Springer-Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2011

8. Produktentwicklung

Inhalt

8.1 Einführung

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1 Planen

- 8.2.1.1 Entwicklungsphasen und Meilensteine
- 8.2.1.2 Analysieren der Markt-, Unternehmens- und Umfeldsituation
- 8.2.1.3 Finden und Auswählen von Produktideen
- 8.2.1.4 Formulierung eines Produktvorschlags
- 8.2.1.5 Klären der Aufgaben
- 8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

8.2.2 Konzipieren

- 8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems
- 8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen
- 8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien
- 8.2.2.4 Kombination der Lösungsprinzipien
- 8.2.2.5 Auswählen geeigneter Kombinationen

8. Produktentwicklung

Inhalt

- 8.2.2.6 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten
- 8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien
- 8.2.2.8 Erste Designkonzepte

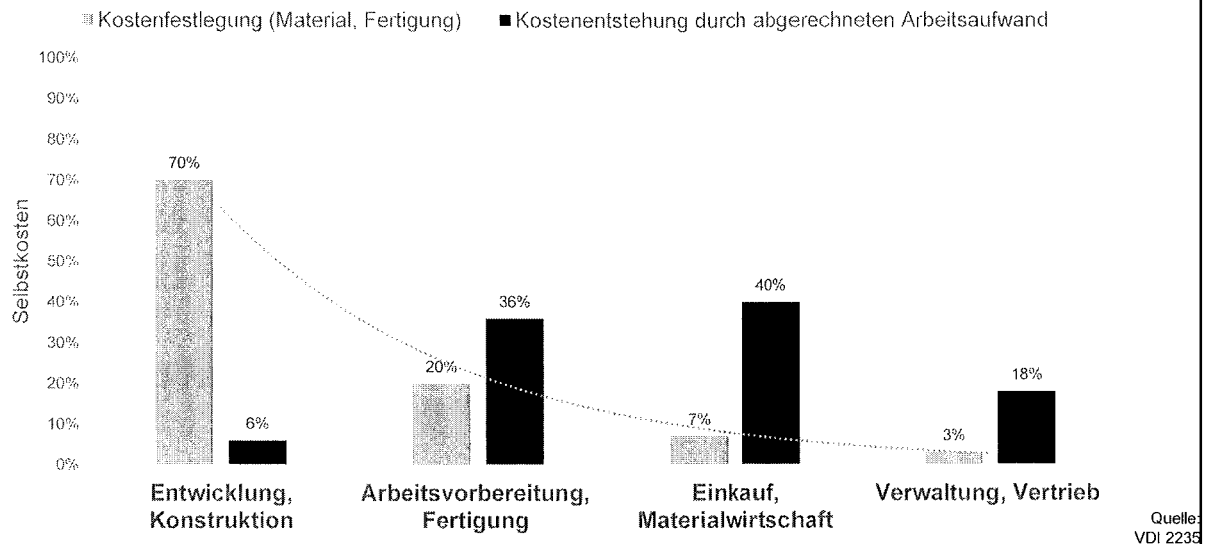
8.2.3 Entwerfen

8.2.4 Ausarbeiten

8.3 Literatur

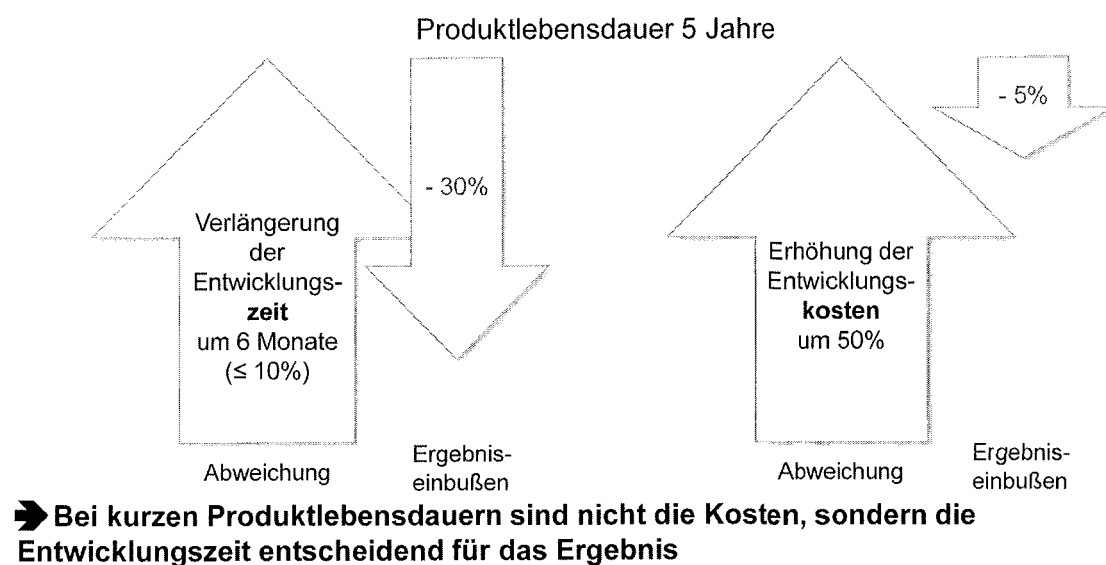
8.1 Einführung

Kostenfestlegung und Kostenberechnung in verschiedenen Unternehmensbereichen



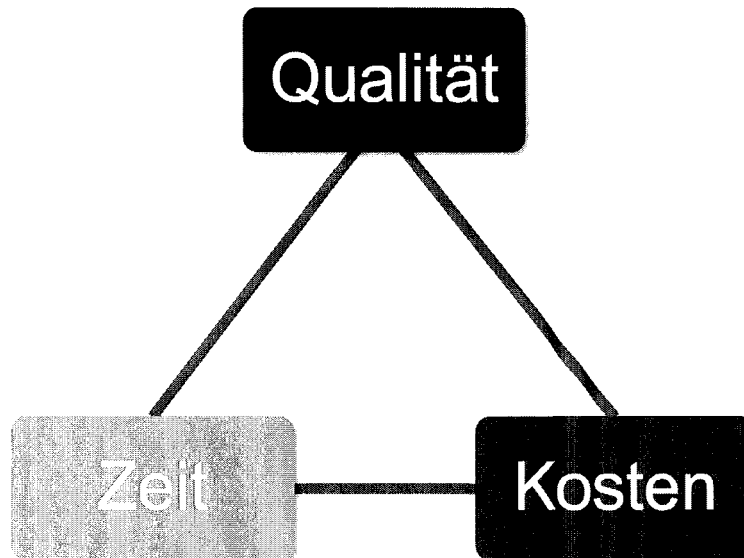
8.1 Einführung

Wirkung von Entwicklungszeiten auf das Ergebnis



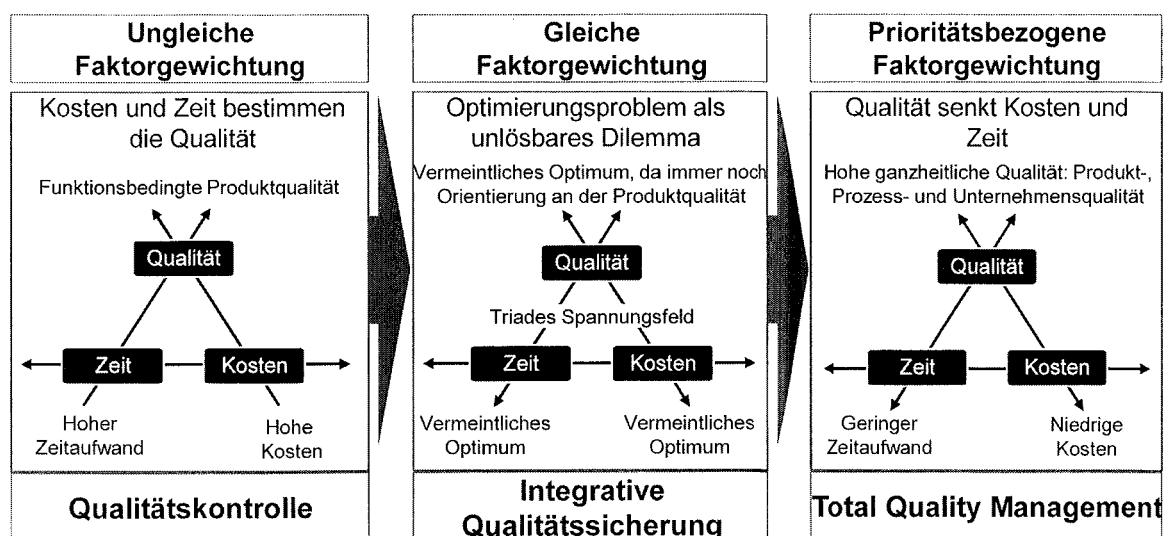
8.1 Einführung

Magisches Dreieck: Qualität – Kosten – Zeit



8.1 Einführung

Qualität – Kosten – Zeit im Spannungsfeld

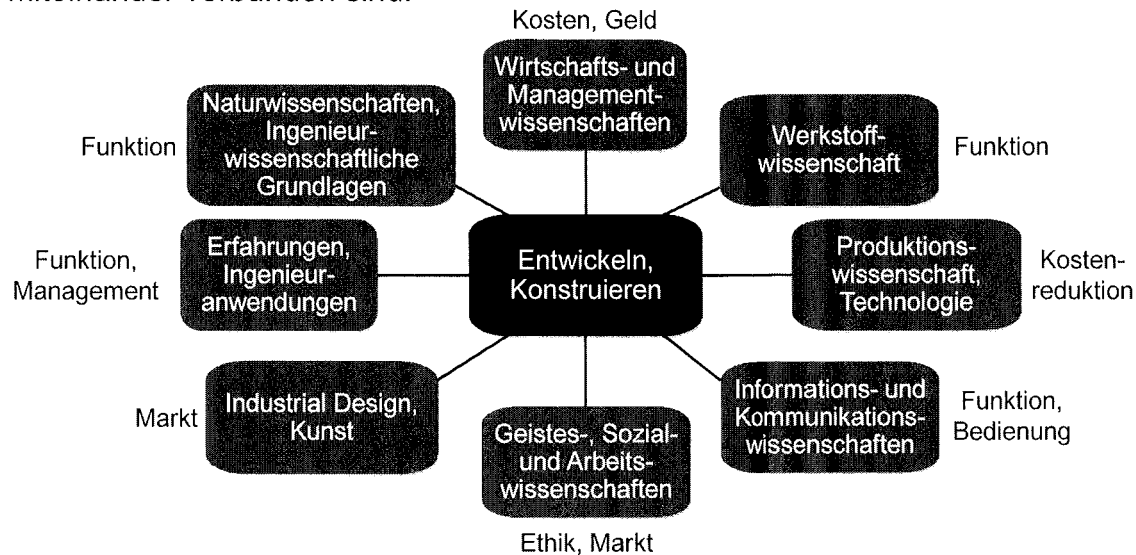


Von der Kosten- und Zeit- zur ganzheitlichen Qualitätsorientierung

Quelle: Qualitätsmanagement, W. Hansen

8.1 Einführung

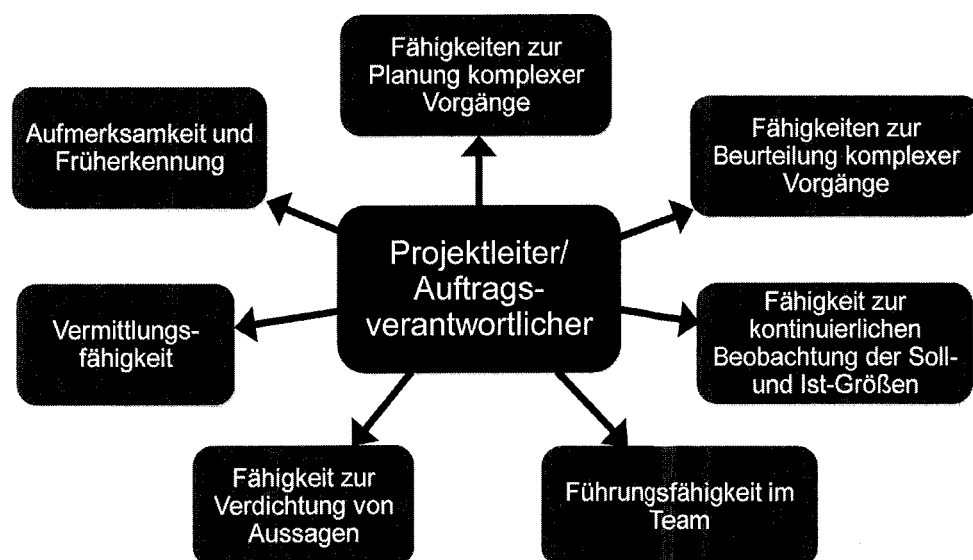
Benachbarte Wissensbereiche, die beim Entwickeln und Konstruieren miteinander verbunden sind:



Quelle:
Pahl/Beitz

8.1 Einführung

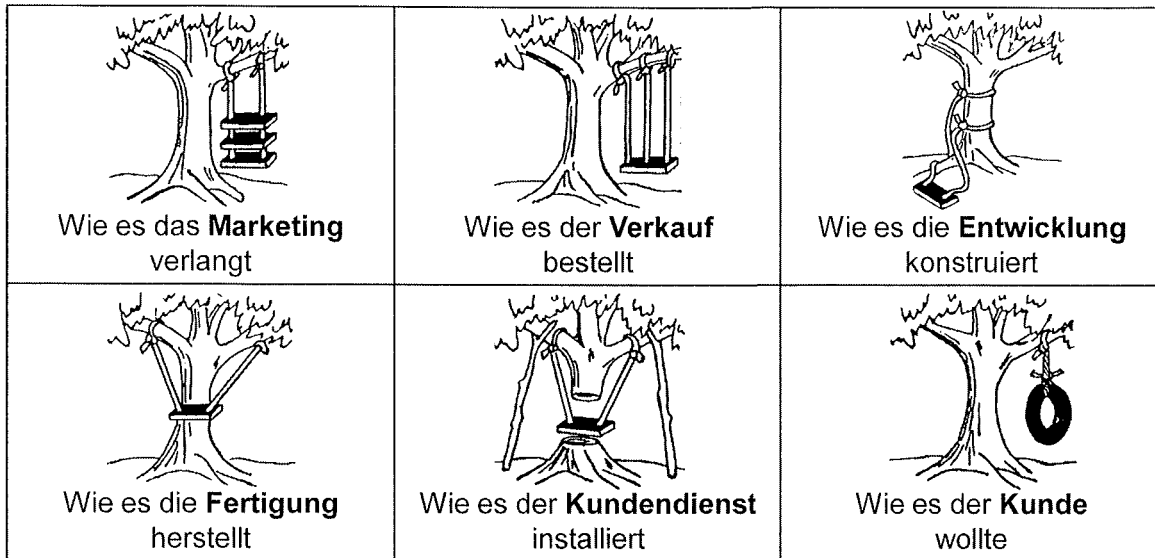
Notwendige Kompetenzen eines Projektleiters



Quelle:
Pahl/Beitz

8.1 Einführung

Folgen einer mangelhaften Entwicklung



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

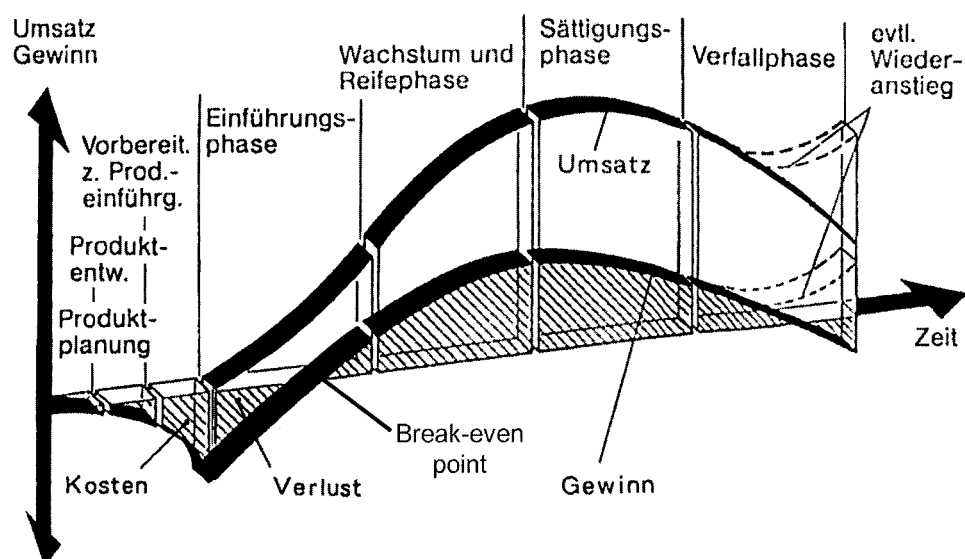
Folie 9

Institut
für
Medizingerätetechnik



8.1 Einführung

Lebenszyklus eines Produkts



Quelle:
Pahl/Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 10

Institut
für
Medizingerätetechnik



8.1 Einführung

Aufgabenstellung

- Lösungsneutrale Formulierung der Aufgabenstellung:

Konstruktion einer preiswerten, alltags- und reisetauglichen Mobilitätshilfe

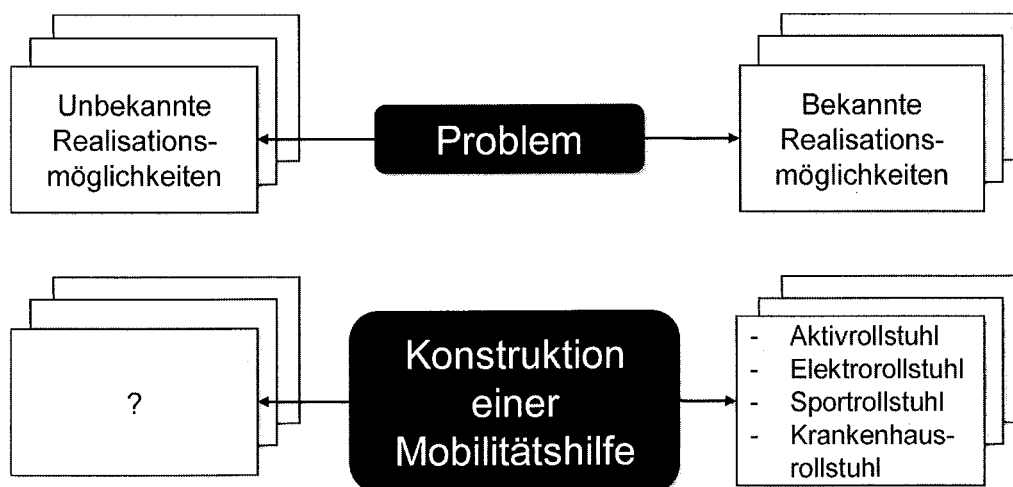
Leitbeispiel Rollstuhl



Quelle:
pixabay.com

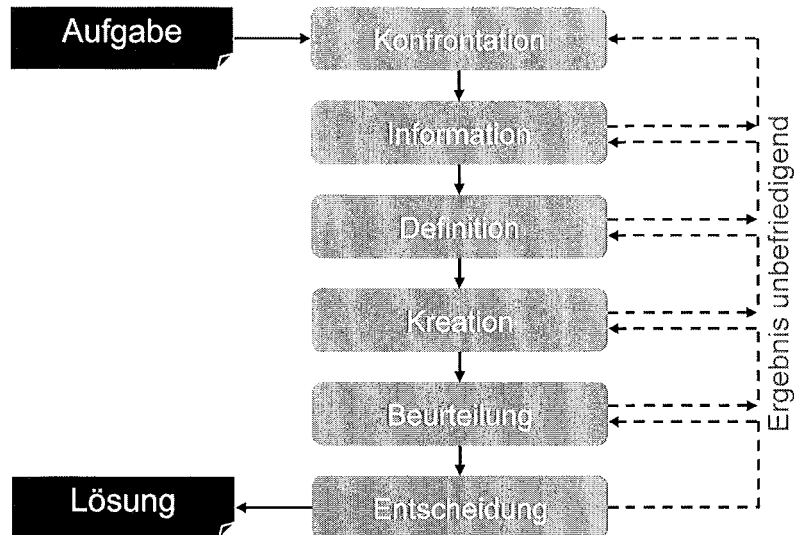
8.1 Einführung

Allgemeiner Lösungsprozess: Konfrontation



8.1 Einführung

Allgemeiner Lösungsprozess



8.1 Einführung

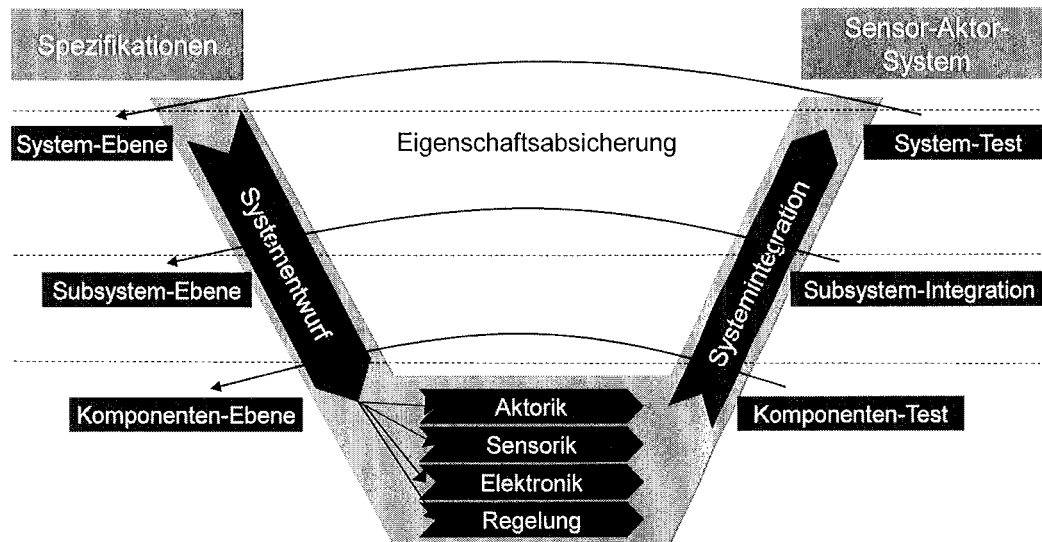
Warum „Methodisches Konstruieren“?

- bei jeder konstruktiven Tätigkeit branchenunabhängig anwendbar
- erleichtert Finden optimaler Lösungen
- Lösungen nicht zufallsbedingt erzeugen
- hilft Fehlentscheidungen zu vermeiden
- Arbeit erleichtern
- ermöglicht Berufsanfängern trotz mangelnder Erfahrung zu guten konstruktiven Lösungen zu gelangen
- macht Konstruieren „lernbar“

➔ **Verschiedene Konstruktionsmethoden z.B. VDI 2206, VDI 2221, „Design Thinking“**

8.1 Einführung

Entwurfsprozess VDI 2206



➔ Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme

Quelle:
VDI 2206

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

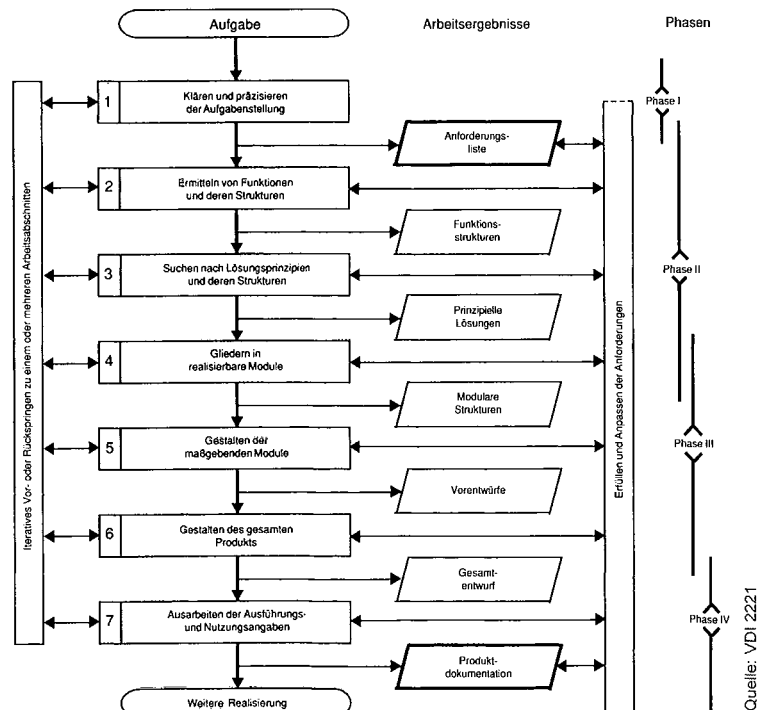
Folie 15

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

8.1 Einführung

Entwurfsprozess VDI 2221

➔ Methodik zum Entwickeln
und Konstruieren technischer
Systeme und Produkte



Quelle: VDI 2221

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

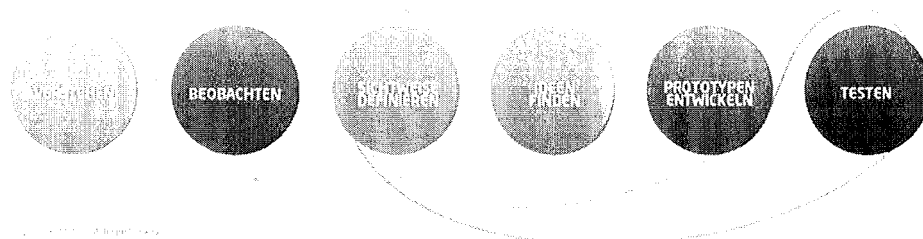
Folie 16

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

8.1 Einführung

Design Thinking

- Systematische Herangehensweise um komplexe Problemstellungen zu lösen
- Dabei steht immer der Nutzer mit seinen Bedürfnissen im Vordergrund
- Stetige Rückkopplung zwischen dem Entwickler und seiner Zielgruppe
- Der Entwicklungsprozess besteht aus sechs Phasen, die in iterativen Schleifen durchlaufen werden



Quelle:
hpi-academy.de

8.1 Einführung

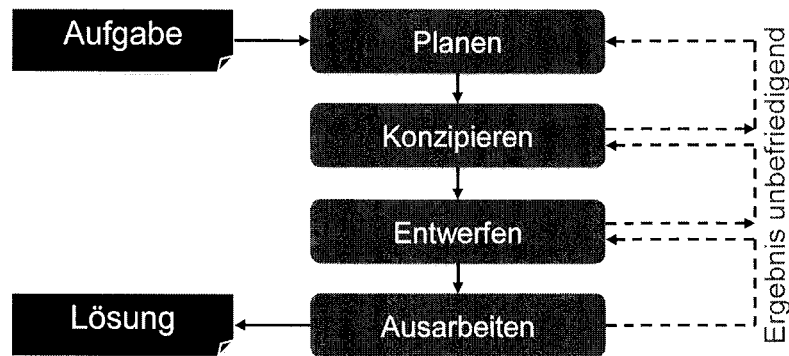
Design Thinking

- **Verstehen:** Das Team steckt den Problemraum ab.
- **Beobachten:** Die Teilnehmer sehen nach außen und bauen Empathie für Nutzer und Betroffene auf
- **Sichtweise definieren:** Gewonnene Erkenntnisse zusammentragen und verdichten
- **Ideen finden:** Das Team entwickelt zunächst eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten, um sich dann zu fokussieren
- **Prototypen entwickeln:** Anschließend werden Prototypen erstellt um konkrete Lösungen zu entwickeln
- **Testen:** Prototypen werden an passenden Zielgruppen getestet

8.1 Einführung

Konstruktionsprozess nach VDI 2221

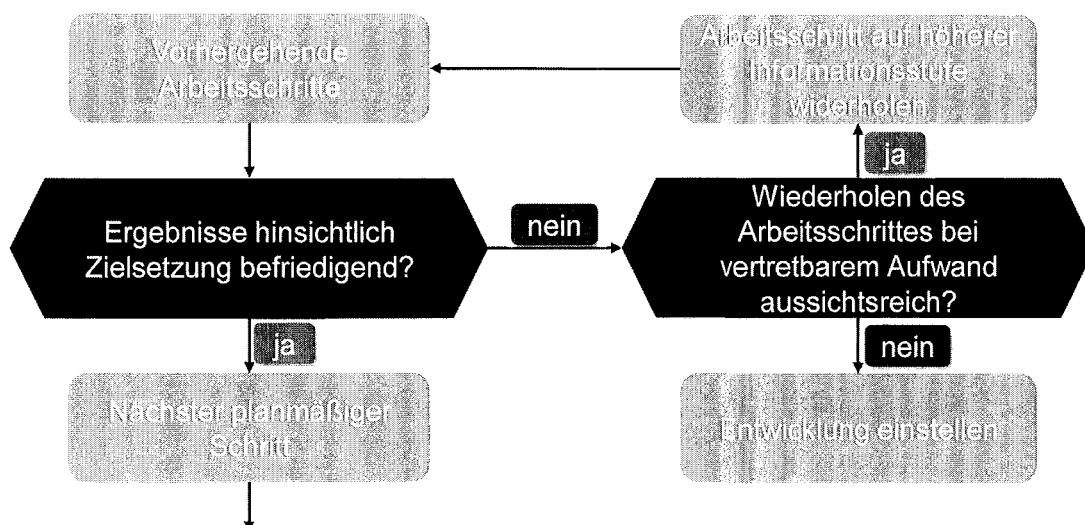
VDI-Richtlinie 2221: „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“



→ Im Folgenden wird näher auf den methodischen Konstruktionsprozess basierend auf der Richtlinie VDI 2221 eingegangen

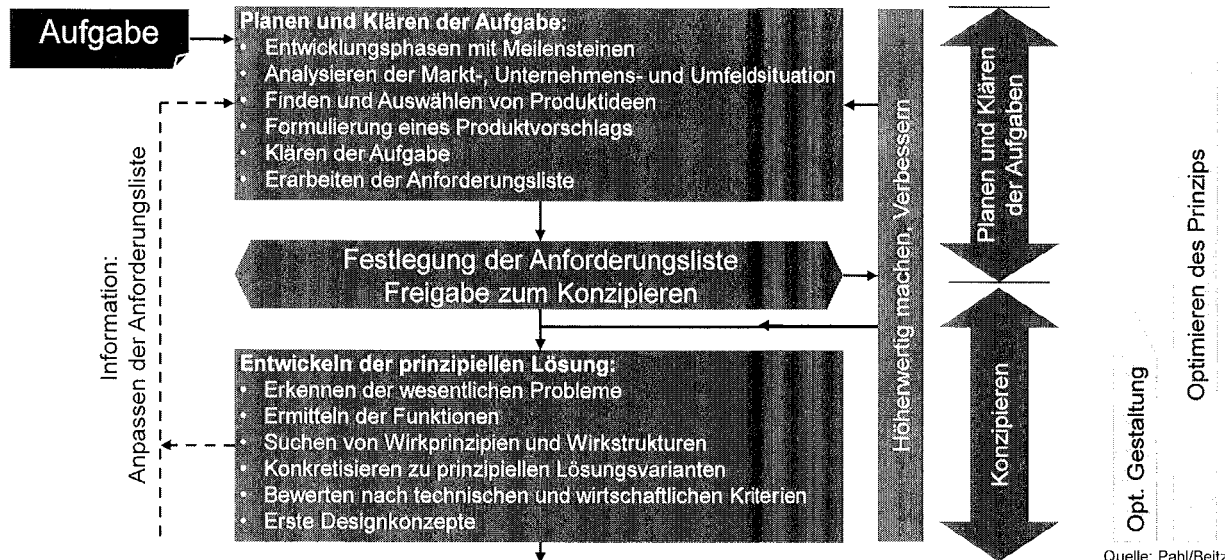
8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

Allgemeiner Entscheidungsprozess



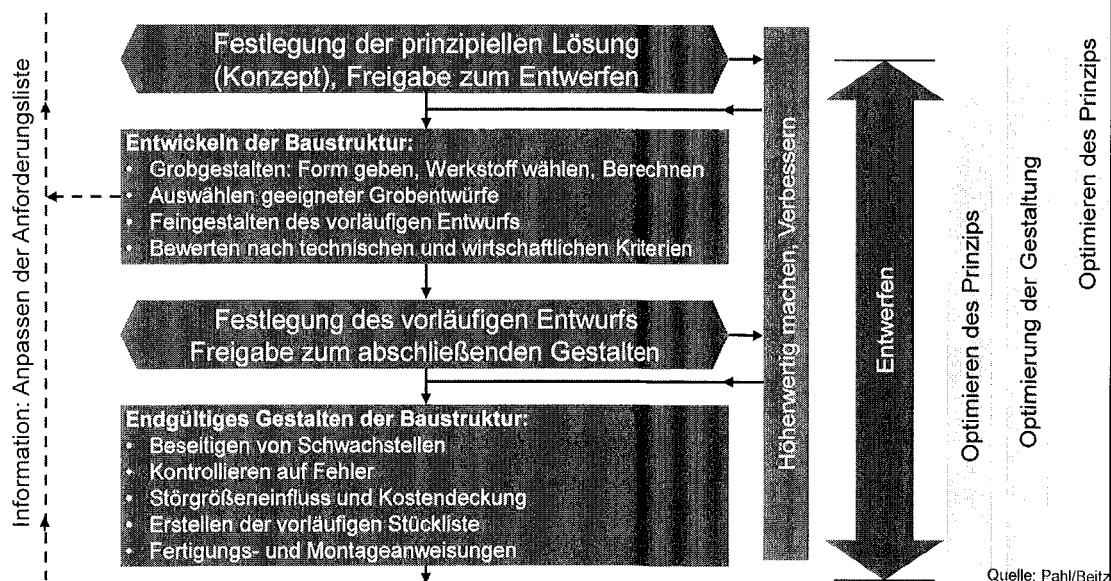
8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

Methodischer Konstruktionsprozess (1)



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

Methodischer Konstruktionsprozess (2)



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

Methodischer Konstruktionsprozess (3)



Quelle: Pahl/Beitz

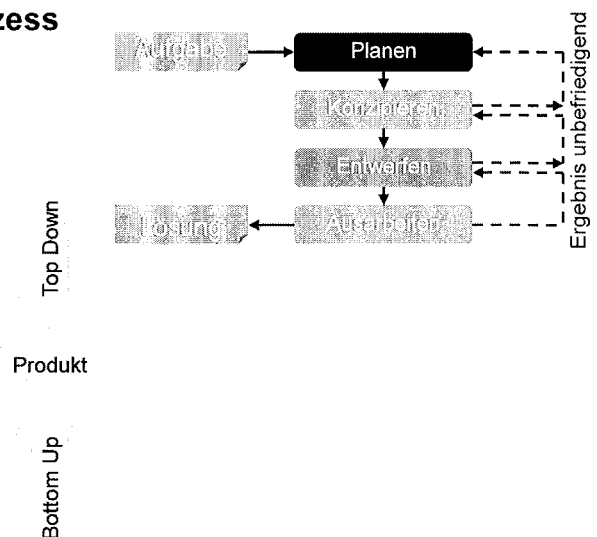
8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1 Planen

Neues Produkt planen:

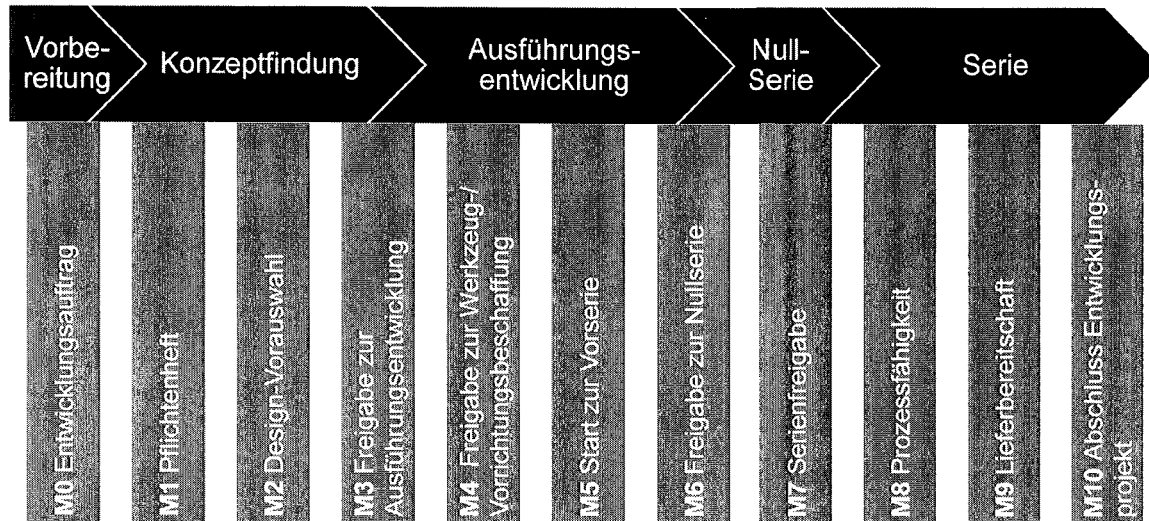
- externe Anregung: Kundenanfrage
 - Kundenanfrage
 - Marktanalyse
 - Freigabe durch Unternehmensleitung
- interne Anregung:
 - Produktidee aus beliebigem Geschäftsbereich oder
 - betrieblichem Vorschlagswesen
 - Freigabe durch Unternehmensleitung

Aufgabe klären



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

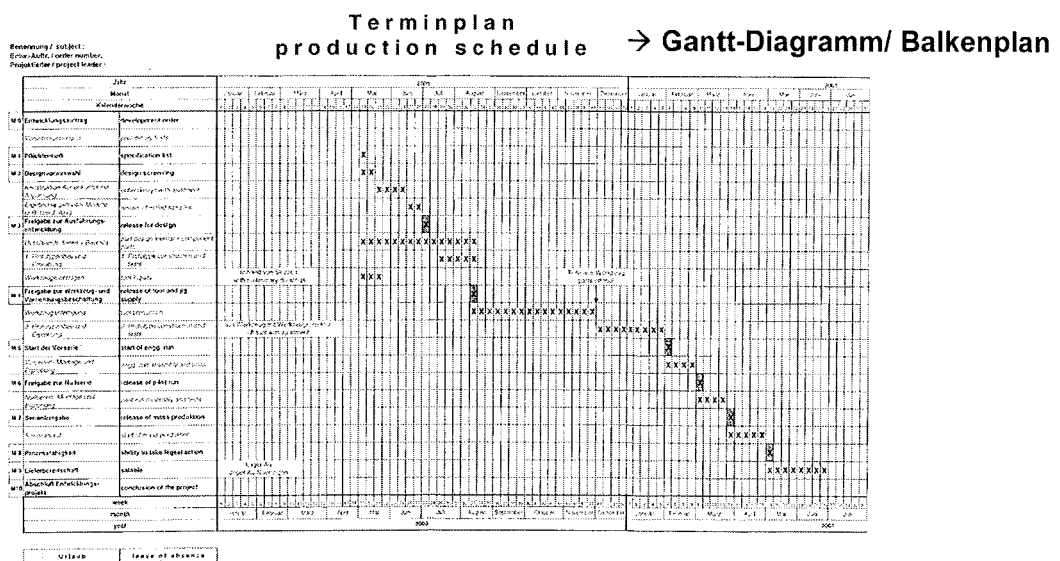
8.2.1.1 Entwicklungsphasen und Meilensteine (Beispiel)



Quelle:
Metabo

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.1 Entwicklungsphasen und Meilensteine – Gantt-Diagramm



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.2 Analysieren der Markt-, Unternehmens- und Umfeldsituation

Anregung zur Planung eines neuen Produkts durch:

- Markt- und Wettbewerbsanalysen, sog. Benchmarks
- Kundenbefragungen
- Studien über neue Forschungsergebnisse oder Technologietrends
- Patent-Recherche
- Auswertungen von Kundenreklamationen
- interne Qualitätsuntersuchungen
- Einführung neuer Fertigungsmöglichkeiten
- Kostendruck seitens des Markts

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.2 Analysieren der Markt-, Unternehmens- und Umfeldsituation

- Gewinnaussichten:
 - Bestehende Kunden binden
 - Neue Kundengruppen ansprechen
- Marketingstrategie:
 - Überlegenes Preis-Leistungsverhältnis
 - Reichhaltige Ausstattung und hohe Anpassungsfähigkeit
- Zielgruppen:
 - Nutzer, die für einen begrenzten Zeitraum auf einen Rollstuhl angewiesen sind (z.B.: Fortbewegung nach Verletzungen oder Operationen)
 - Nutzer, die auf Begleitpersonen angewiesen sind (z.B. ältere Menschen)
 - Als Standardrollstuhl für Krankenkassen und Reha-Einrichtungen

Leitbeispiel Rollstuhl

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.2 Analysieren der Markt-, Unternehmens- und Umfeldsituation

Bestehende Patente

- Rollstuhl mit Faltmechanismus



(11) EP 2 796 121 B1

(12) EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

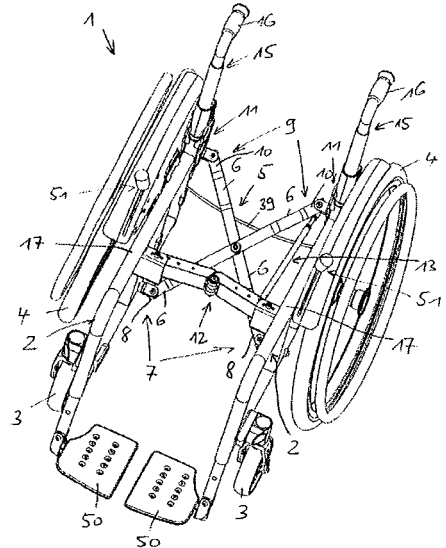
(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
08.07.2015 Patentblatt 2015/28

(51) Int. Cl.:
A61G 5/08 (2006.01) A61G 5/10 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 13164970.9

(22) Anmeldetag: 23.04.2013

„Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen faltbaren Rollstuhl [...] so weiterzubilden, dass, bei hoher Steifigkeit des Rollstuhls in auseinandergefaltetem Zustand, der Rollstuhl bezüglich dessen Breite auf ein kompaktes Faltmaß zusammengeklappt werden kann. Die Handhabung des Rollstuhls zum Auseinanderklappen und Zusammenklappen soll hierbei sehr einfach sein.“



Leitbeispiel Rollstuhl

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 29

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.2 Analysieren der Markt-, Unternehmens- und Umfeldsituation

Bestehende Patente

- Reise-Rollstuhl



US005634650A

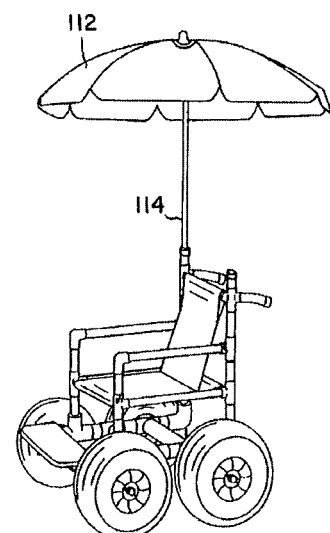
United States Patent [19]

Hensler, Sr. et al.

[11] Patent Number: 5,634,650

[45] Date of Patent: Jun. 3, 1997

„The wheelchair of this invention is particularly, although not exclusively, adapted for recreational purposes, including applications allowing the user to be transported across soft uneven surfaces such as a sandy beach or muddy lake shore and further to be transported into water of limited depths.“



Leitbeispiel Rollstuhl

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 30

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.3 Finden und Auswählen von Produktideen

Wichtig zum Finden von Produktideen:

- strategische Freiräume, Bedürfnisse des Marktes und allgemeine Trends erkennen
- gleichen Suchmethoden wie bei der Produktentwicklung einsetzbar
- Ausgangspunkt für neue Produkte können sein:
 - neue Produktfunktionen
 - andere Wirkprinzipien
 - neuartige Gestaltungen

Kriterien zum Auswählen von Produktideen:

- Unternehmensziele
- hoher Umsatz / Gewinn
- hoher Marktanteil
- Funktionsvorteile für den Anwender

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.4 Formulierung eines Produktvorschlags

- Produktidee in Produktvorschlag konkretisieren und präzisieren.
- Dabei die beabsichtigten Funktionen und die vorläufigen Anforderungen **lösungsneutral** beschreiben.

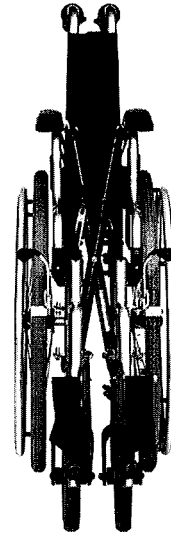


8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.4 Formulierung eines Produktvorschlags

- Faltbarer Rollstuhl
- Leichtgewichtrollstuhl
- Bedienung (Fahren und Bremsen) mit und ohne Begleitperson
- Anpassbar auf Nutzerbedürfnisse

Leitbeispiel Rollstuhl



Quelle:
aktivwelt.de

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.5 Klären der Aufgaben

- Aufgabe hat u. U. zeitlich veränderliche Bedingungen
- Aufgabenstellung muss zu Beginn möglichst umfassend und vollständig geklärt werden, um
 - Ergänzungen und Änderungen auf das Notwendigste zu beschränken,
 - Zeit, Kapazitäten und damit Kosten zu sparen.
- Die Entwicklungsabteilung erhält die Aufgabenstellung i. d. R. als internen oder externen Entwicklungsauftrag oder in Form eines Kundenauftrags.
- Auftrag enthält oft nicht alle notwendigen Informationen.
- Phase der Informationsgewinnung / Abstimmung mit dem Auftraggeber nötig.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Die Anforderungsliste beinhaltet

▫ **Forderungen:**

- müssen unter allen Umständen erfüllt werden
- ohne deren Erfüllung ist vorgesehene Lösung nicht akzeptabel
- Mindestanforderungen durch entsprechende Formulierungen angeben (z. B. Patientengewicht ≤ 110 kg)

F

▫ **Wünsche:**

- sollen nach Möglichkeit erfüllt werden
- dabei eventuell begrenzter Mehraufwand zulässig

W

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Forderungen und Wünsche werden mit Quantitäts- und Qualitätsaspekten formuliert

▫ **Quantität:**

- Anzahl, Stückzahl, Losgröße, Menge usw.
- oft auch pro Zeiteinheit wie Leistung, Durchsatz, Volumenstrom usw.

▫ **Qualität:**

- zulässige Abweichungen
- besondere Anforderungen wie tropenfest, korrosionsbeständig, schocksicher usw.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Anforderungsliste für					
Firma:		Projektnr.:		Ausgabe vom:	
Bearbeiter:				Ers. Ausg. v.:	
F W	Nr.	Anforderungen Forderung (F), Wunsch (W)	Beschreibung Quantifizierung	Verantw./ Quelle	Ände- rung

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten einer Anforderungsliste – Hauptmerkmal-Leitlinie

- Geometrie: Größe, Höhe, Breite, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Ausbau, Erweiterung
- Kinematik Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung
- Kräfte Kraftgröße, Kraftrichtung, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen
- Energie Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Erwärmung, Kühlung, Anschlussenergie, Arbeitsaufnahme, Energieumformung
- Stoff Physikalische und chemische Eigenschaften des Ein- und Ausgangsprodukts, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe, Materialfluss und -transport

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten einer Anforderungsliste – Hauptmerkmal-Leitlinie

- Signal Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigeart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform
- Sicherheit Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit
- Ergonomie Mensch-Maschine-Beziehung:
Bedienung, Bedienungsart, Bedienungsort, Bedienungshäufigkeit, Bedienperson
- Fertigung Einschränkung durch Produktionsstätte, größte herstellbare Abmessungen, bevorzugtes Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, mögliche Qualität und Toleranzen
- Kontrolle Mess- und Prüfmöglichkeit, besondere Vorschriften (TÜV, DIN, ISO, AD-Merkbl.)

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten einer Anforderungsliste – Hauptmerkmal-Leitlinie

- Montage Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung
- Transport Begrenzung durch Hebezeuge, Transportwege, Versandart und -bedingungen
- Gebrauch Geräuscharmheit, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort
- Instandhaltung Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung
- Recycling Wiederverwendung, Wiederverwertung, Entsorgung, Endlagerung, Beseitigung

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten einer Anforderungsliste – Hauptmerkmal-Leitlinie

- Kosten Max. zulässige Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition, Amortisation
- Termin Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten einer Anforderungsliste – Aufbau

- Eventuell in Teilsysteme (Funktions- bzw. Baugruppen) untergliedern
- Anforderungen können in Gruppen aufgeteilt werden
 - Technisch-physikalische Anforderungen
 - Fertigungstechnische Anforderungen
 - Wirtschaftliche Anforderungen
 - Mensch-Produkt-Anforderungen (Design-Anforderungen)
- nach Merkmalen der obigen Hauptmerkmal-Leitlinie ordnen

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste – Aufbau

- Quellen und Verantwortliche angeben
- Änderungen und Ergänzungen nachtragen
- mit Änderungsdienst auf neuestem Stand halten
- allen mit der Entwicklung des neuen Produkts in Berührung stehenden Stellen zustellen
- von den Verantwortlichen genehmigen lassen

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Leitbeispiel Rollstuhl

- Wo soll der Rollstuhl eingesetzt werden?
- Wie soll der Rollstuhl angetrieben werden?
- Wie schwer darf der Rollstuhl sein?
- Welche Last soll der Rollstuhl tragen?
- Welche Maße soll der Rollstuhl haben?
 - Packmaß
 - Gesamtmaß
- Gibt es besondere Design-Anforderungen?
- Welche Stückzahlen sollen gefertigt werden?
- Was darf der Rollstuhl kosten?

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste 1/2

Anforderungen „preiswerter, alltags- und reisetaugliche Mobilitätshilfe“

Leitbeispiel Rollstuhl	Eigengewicht bis 15 kg	F
	Packmaß Breite bis 40 cm	F
	Abnehmbare Räder (weitere Reduzierung des Packmaßes)	F
	Raddurchmesser: 24 Zoll	F
	Traglast: 110 kg	F
	Breite Sitzfläche: verschiedene Breiten zwischen 40 und 51 cm	F
	Gesamtbreite bis 73 cm	F
	Ergonomisches Design durch Anpassbarkeit an Körpermaße (Verstellbarkeit Höhe, Armlehnen,...)	F

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste 2/2

Anforderungen „preiswerter, alltags- und reisetaugliche Mobilitätshilfe“

Leitbeispiel Rollstuhl	Kippschutz	F
	Pannensichere Bereifung	W
	Erleichtertes Aus- und Einsteigen	W
	Stauraum (für einen 20 Liter Rucksack)	W
	Stückzahl: 10.000 pro Jahr	F
	Herstellkosten: bis zu 80 €	F
	Bedienung mit und ohne Begleitperson möglich	F
	Geringe Anzahl an Montageschritten	W
	Sichtbarkeit im Dunkeln (Verkehrssicherheit)	W

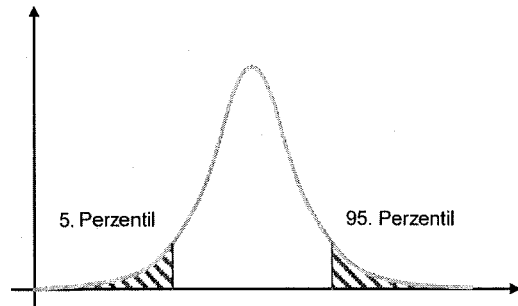
8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Traglast → bis 110 kg

Dichtefunktion der Normalverteilung:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$



Leitbeispiel Rollstuhl

Altersgruppen	Körpermasse (Körpergewicht) kg					
	Männer			Frauen		
	Perzentil					
	Jahre	5	50	95	5	50
18–65	63,5	79,0	100,0	52,0	66,0	87,0
18–25	59,5	72,5	95,0	49,0	60,0	78,5
26–40	63,5	78,5	101,0	50,5	63,5	86,5
41–60	65,0	82,0	102,5	54,0	69,5	90,5
61–65	64,0	81,0	97,5	54,5	70,5	89,0

Quelle:
DIN 33402-2

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 47

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Eigengewicht des Rollstuhl → Abhängig von zumutbarer Hebelast

Leitbeispiel Rollstuhl

Zumutbare Lasten beim Heben und Tragen (nach Hettinger)				
Lebensalter	Zumutbare Last in kg Häufigkeit des Hebens und Tragens			
	gelegentlich		häufiger	
	Frauen	Männer	Frauen	Männer
15 – 18 Jahre	15 ¹	35 ¹	10 ²	20 ²
19 – 45 Jahre	15 ¹	55 ²	10 ²	30 ²
> 45 Jahre	15 ¹	45 ²	10 ²	25 ²

¹ Grenzwerte, die im Normalfall ohne Gesundheitsgefährdung nicht überschritten werden dürfen
² Werte, die aus ergonomischer Sicht empfohlen werden
 Gelegentlich = höchstens zweimal je Stunde und bis zu 4 Schritte
 Häufiger = mehr als zweimal je Stunde oder Transportwege von mehr als 4 Schritten

Quelle:
vgb.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 48

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Gesamtbreite Rollstuhl

→ Rollstuhl muss durch Türen passen und seitlich Platz für Hände lassen

Leitbeispiel Rollstuhl

Flure und sonstige Verkehrsflächen müssen ausreichend breit für die Nutzung mit dem Rollstuhl oder mit Gehhilfen, auch im Begegnungsfall, sein.

Ausreichend ist eine nutzbare Breite

- von mindestens 150 cm;
- in Durchgängen von mindestens 90 cm;
- von mindestens 180 cm und mindestens 180 cm Länge nach höchstens 15 m Flurlänge zur Begegnung von Personen mit Rollstühlen oder Gehhilfen ;
- von mindestens 120 cm und höchstens 6 m Länge, wenn keine Richtungsänderung erforderlich ist und davor und danach eine Wendemöglichkeit gegeben ist,

Quelle:
DIN 18040-1:2010-10

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 49

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

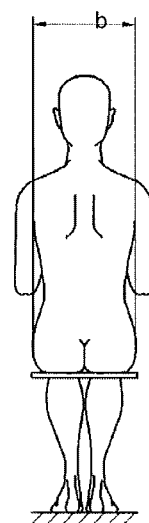
8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Breite Sitzfläche → verschiedene Breiten zwischen 40 und 51 cm

Leitbeispiel Rollstuhl

Hüftbreite, sitzend mm					
Männer			Frauen		
Perzentil					
5	50	95	5	50	95
350	375	420	360	390	460



Quelle:
DIN 33402-2

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 50

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Anforderungsliste für einen Rollstuhl (detailliert)						
Firma:		Projektnr.:			Ausgabe vom:	
Bearbeiter:					Ers. Ausg. v.:	
F	Nr.	Anforderungen	Beschreibung Quantifizierung	Verantw./ Quelle	Ände- rung	
		Planungsdaten:				
F	1	Fertigstellung der Entwürfe	bis 31.01.19			
		Technisch-physikalische Anforderungen				
F	2	Eigengewicht	max. 15 kg			
F	3	Traglast	max. 110 kg			
F	4	Gesamtbreite	max. 73 cm			
F	5	Breite Packmaß	max. 40 cm			
F	6	Breite Sitzfläche	40 cm – 51 cm			
F	7	Raddurchmesser	24 Zoll			
F	8	Kippschutz				
W	9	Pannensichere Bereifung				

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 51

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Anforderungsliste für einen Rollstuhl (detailliert)						
Firma:		Projektnr.:			Ausgabe vom:	
Bearbeiter:					Ers. Ausg. v.:	
F	Nr.	Anforderungen	Beschreibung Quantifizierung	Verantw./ Quelle	Ände- rung	
		Fertigungstechnische Anforderungen				
W	10	Geringe Anzahl an Montageschritten				
		Wirtschaftliche Anforderungen				
F	11	Stückzahl	10.000 pro Jahr			
F	12	Herstellkosten	max. 80 €			
		Mensch-Produkt-Anforderungen				
		<u>Betätigung und Benutzung</u>				
F	13	Anpassbarkeit an Körpermaße				
W	14	Erleichtertes Aus- und Einsteigen				
W	15	Stauraum	min. 20 L			
F	16	Bedienung mit und ohne Begleitperson möglich				

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 52

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

Leitbeispiel Rollstuhl

Anforderungsliste für einen Rollstuhl (detailliert)					
Firma:		Projektnr.:		Ausgabe vom:	
Bearbeiter:				Ers. Ausg. v.:	
F	Nr.	Anforderungen	Beschreibung Quantifizierung	Verantw./ Quelle	Ände- rung
W	17	Sichtbarkeit und Erkennbarkeit			
		Sichtbarkeit im Dunkeln			

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2 Konzipieren

Konzipieren = prinzipielle Festlegung einer Lösung durch:

1) Abstrahieren auf das **wesentliche Problem**

2) **Gesamtfunktion** ableiten

3) in Teilfunktionen aufgliedern (**Funktionsstruktur**)

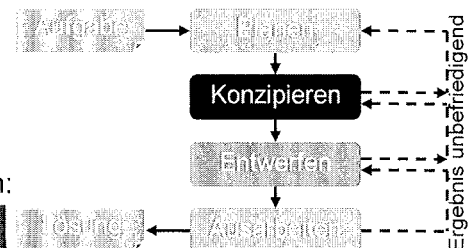
4) nach **Lösungsprinzipien** für Teilfunktionen suchen

5) Kombination der Lösungsprinzipien (**Prinzipkombinationen**)

6) aussichtsreichsten Prinzipkombinationen auswählen

7) zu prinzipiellen Lösungsvarianten (**Konzeptvarianten**) konkretisieren

8) nach **technischen und wirtschaftlichen Kriterien** bewerten



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems – Ziele

Ziel der Abstraktion ist

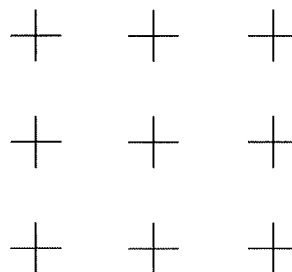
- Konventionelle Vorstellungen / Vorfixierungen / Vorurteile auflösen
- Durchbruch zu ungewohnten, technisch besseren oder wirtschaftlicheren Lösungen ermöglichen
- Abstrahieren → das Allgemeingültige und Wesentliche hervorheben
 - Wesenskern der Aufgabe
 - Gesamtfunktion

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Beispiel:

Verbinden sie die 9 Punkte in einem Zug mit 4 geraden Linien



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems – Vorgehen

Schrittweise Abstraktion anhand der Anforderungsliste

1. Schritt Gedankliche Wünsche weglassen
2. Schritt Forderungen weglassen, welche die Funktion und wesentliche Bedingungen nicht unmittelbar betreffen
3. Schritt Quantitative Angaben in qualitative umsetzen und dabei auf wesentliche Aussagen reduzieren
4. Schritt Problem lösungsneutral formulieren

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 1. Schritt – Wünsche weglassen

Leitbeispiel Rollstuhl	Eigengewicht bis 15 kg	F	Kippschutz	F
	Packmaß Breite bis 40 cm	F	Pannensichere Bereifung	W
	Abnehmbare Räder (weitere Reduzierung des Packmaßes)	F	Erleichtertes Aus- und Einsteigen	W
	Raddurchmesser: 24 Zoll	F	Stauraum	W
	Traglast: 110 kg	F	Stückzahl: 10.000 pro Jahr	F
	Breite Sitzfläche: verschiedene Breiten zwischen 40 und 51 cm	F	Herstellkosten: bis zu 80 €	F
	Gesamtbreite bis 73 cm	F	Bedienung mit und ohne Begleitperson möglich	F
	Ergonomisches Design durch Anpassbarkeit an Körpermaße (Verstellbarkeit Höhe, Armlehnen,...)	F	Geringe Anzahl an Montageschritten	W
			Sichtbarkeit im Dunkeln (Verkehrssicherheit)	W

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 1. Schritt – Wünsche weglassen

Leitbeispiel Rollstuhl	Eigengewicht bis 15 kg	F	Kippschutz	F
	Packmaß Breite bis 40 cm	F	Stückzahl: 10.000 pro Jahr	F
	Abnehmbare Räder (weitere Reduzierung des Packmaßes)	F	Herstellkosten: bis zu 80 €	F
	Raddurchmesser: 24 Zoll	F	Bedienung mit und ohne Begleitperson möglich	F
	Traglast: 110 kg	F		
	Breite Sitzfläche: verschiedene Breiten zwischen 40 und 51 cm	F		
	Gesamtbreite bis 73 cm	F		
	Ergonomisches Design durch Anpassbarkeit an Körpermaße (Verstellbarkeit Höhe, Armlehnen,...)	F		

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 2. Schritt – nur wesentliche Forderungen

Leitbeispiel Rollstuhl	Eigengewicht bis 15 kg	F	Kippschutz	F
	Packmaß Breite bis 40 cm	F	Stückzahl: 10.000 pro Jahr	F
	Abnehmbare Räder (weitere Reduzierung des Packmaßes)	F	Herstellkosten: bis zu 80 €	F
	Raddurchmesser: 24 Zoll	F	Bedienung mit und ohne Begleitperson möglich	F
	Traglast: 110 kg	F		
	Breite Sitzfläche: verschiedene Breiten zwischen 40 und 51 cm	F		
	Gesamtbreite bis 73 cm	F		
	Ergonomisches Design durch Anpassbarkeit an Körpermaße (Verstellbarkeit Höhe, Armlehnen,...)	F		

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 2. Schritt – nur wesentliche Forderungen

Leitbeispiel Rollstuhl

Eigengewicht bis 15 kg	F
Packmaß Breite bis 40 cm	F
Traglast: 110 kg	F
Gesamtbreite bis 73 cm	F
Herstellkosten: bis zu 80 €	F

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 3. Schritt – quantitativ ➔ qualitativ

Leitbeispiel Rollstuhl

Geringes Eigengewicht	F
Geringes Packmaß	F
Hohe Traglast	F
Geringe Gesamtbreite bis 73 cm	F
Kostengünstig	F

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 4. Schritt – Lösungsneutrales Formulieren des wesentlichen Problems mit Ergebnis der Abstraktion

Leitbeispiel Rollstuhl

Mobilitätshilfe mit geringen Abmessungen zur kostengünstigen Beförderung von Personen

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

- Wesentliches Problem der Aufgabenstellung → **Gesamtfunktion**
- Hierzu Produkt, Maschine usw. als **technisches System** mit einer **Systemgrenze** betrachten.
- **Ein- und Ausgangsgrößen** des Systems analysieren.
- In technischen Systemen werden **Energien, Stoffe und Signale** geleitet und / oder verändert.
- Die Ein- und Ausgangsgrößen des Systems können stets durch **Energie-, Stoff- und / oder Signalflüsse** mit den entsprechenden **Quantitäts- und Qualitätsangaben** beschrieben werden.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

• Energie (E):

- mechanische, thermische, elektrische, chemische, optische Energie, Kernenergie, aber auch
- Kraft, Drehmoment, Strom, Wärme

• Stoff (S):

- Gas, Flüssigkeit, feste Körper, Staub, aber auch
- Rohprodukt, Material, Prüfgegenstand, Behandlungsobjekt, Endprodukt, Bauteil oder Mensch

• Signal (N):

- Messgröße, Anzeige, Steuerimpuls, Daten, Information

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

• Systemgrenzen bestimmen:



• Aufstellen der Gesamtfunktion:

S: Mensch

E: Hand

N: Bremse

Mobilitätshilfe mit geringen
Abmessungen zur
kostengünstigen Beförderung
von Personen

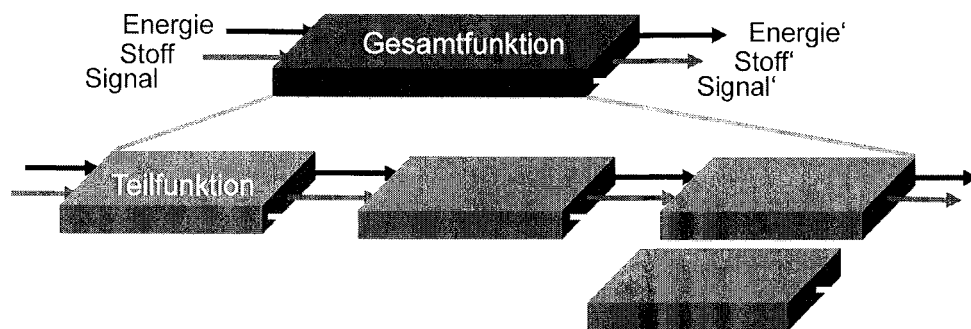
S: Mensch, bewegt

Leitbeispiel Rollstuhl

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

- › In der Regel ist ein Fluss von besonderer Bedeutung → als **Hauptfluss** auswählen
- › **Teilfunktionen** durch Synthese zur Funktionsstruktur verknüpfen
- › zeitliche und / oder **logische Zusammenhänge** suchen
- › anschließend **Nebenflüsse** ergänzen



Quelle:
Pahl/ Beitz

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen – Allgemein anwendbare Funktionen

Merkmal Eingang E/ Ausgang A	Allgemein anwendbare Funktionen	Symbole	Erläuterungen
Art	Wandeln		Art und Erscheinungsbild von E und A unterschiedlich
Größe	Ändern		E < A E > A
Anzahl	Verknüpfen		Anzahl von E > A Anzahl von E < A
Ort	Leiten		Ort von E ≠ A Ort von E = A
Zeit	Speichern		Zeitpunkt von E ≠ A

Quelle:
Pahl/ Beitz

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen – Allgemein anwendbare Funktionen

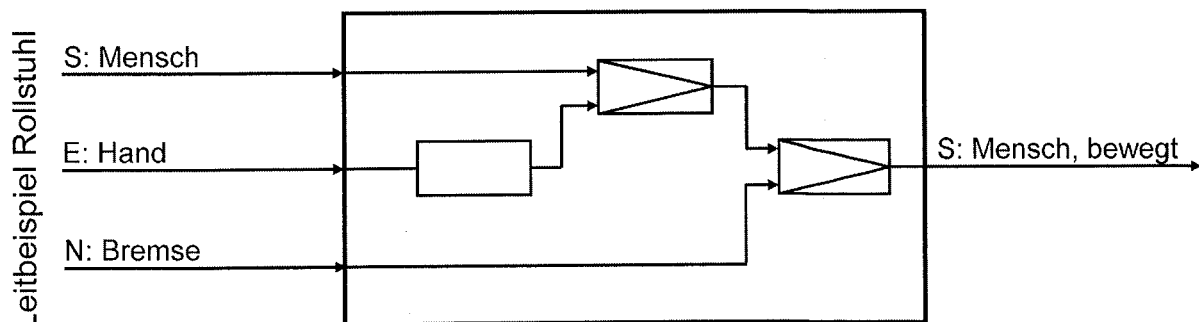
Beispiele:

	Energieumsatz	Stoffumsatz	Signalumsatz
Wandeln → 	Elektrische in mechanische Energie wandeln	Luft verflüssigen	Mechanisches in elektrisches Signal wandeln
Ändern → 	Drehmoment vergrößern	Blech walzen	Ausschlag vergrößern
Verknüpfen → 	Elektrische Energie mit Signal verknüpfen -> einschalten	Dampf absperren	Kennzeichnung vornehmen
Leiten → 	Kraft übertragen	Fluid fördern	Daten übertragen
Speichern → 	Kinetische Energie speichern	Stoff lagern	Daten bereithalten

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

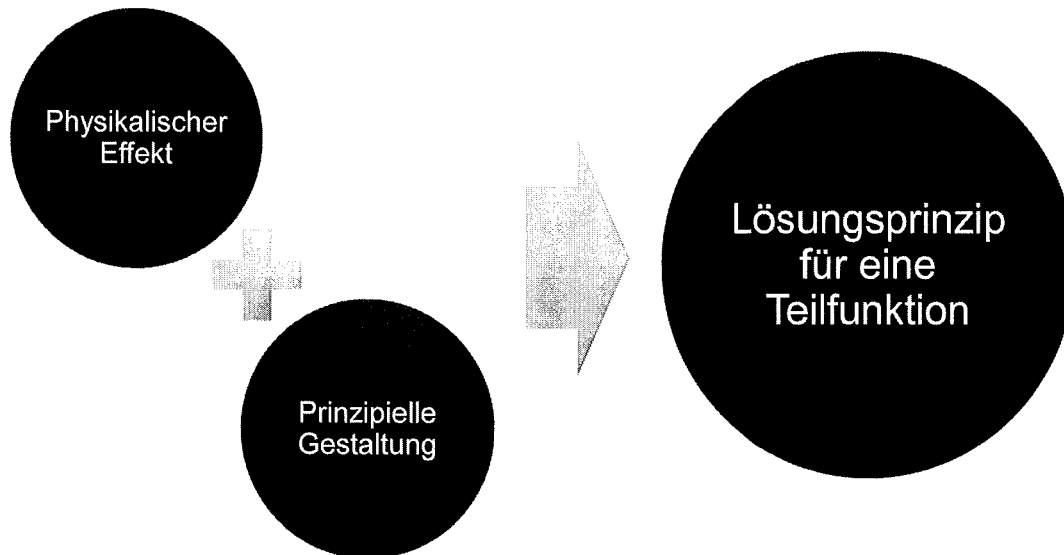
8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

• Funktionsstruktur eines Rollstuhls



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

▮ **Konventionelle Hilfsmittel:**

Literaturrecherchen, Analyse bekannter technischer Systeme, Analyse natürlicher Systeme, Messungen oder Modellversuche usw.

▮ **Intuitiv betonte Methoden:**

Brain-Storming, Methode 635, Delphi-Methode, Synektik usw.

▮ **Diskursiv betonte Methoden:**

systematische Untersuchung des physikalischen Geschehens, systematische Suche mit Hilfe von Ordnungsschemata, Verwendung von Konstruktionskatalogen usw.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Ordnen der Gesichtspunkte: Energieart, physikalische Effekte und Erscheinungsformen	
Merkmal:	Beispiel:
Mechanisch:	Gravitation, Trägheit, Fliehkraft
Hydraulisch:	Hydrostatisch, hydrodynamisch
Pneumatisch:	Aerostatisch, aerodynamisch
Elektrisch:	Elektrostatisch, elektrodynamisch, induktiv, kapazitiv, piezoelektrisch, Transformation, Gleichrichtung
Magnetisch:	Ferromagnetisch, elektromagnetisch
Optisch:	Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz, Polarisation, infrarot, sichtbar, ultraviolett
Thermisch:	Dichte, Ausdehnung, Bimetalleffekt, Wärmespeicher, Wärmeübertragung, Wärmeleitung, Wärmeisolierung
Chemisch:	Verbrennung, Oxidation, Reduktion, auflösen, binden, umwandeln, Elektrolyse, exotherme Reaktion, endotherme Reaktion
Nuklear:	Strahlung, Isotopen, Energiequelle
Biologisch:	Gärung, Verrottung, Zersetzung

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

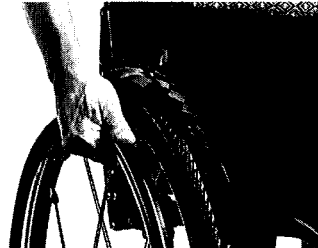
8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Erfüllung von Teilfunktionen durch Wirkprinzipien, die aus physikalischen Effekten sowie aus geometrischen und stofflichen Merkmalen aufgebaut werden

Teilfunktionen	Physikal. Effekte (lösungsneutral)	Wirkprinzipien für eine Teilfunktion (Phys. Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale)
	Reibungseffekt $F_h = \mu \cdot F_v$	
	Hebeleffekt $F_a \cdot a = F_b \cdot b$	
	Ausdehnungseffekt $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta S$	

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Leitbeispiel Rollstuhl	Teilfunktion	Physikalischer Effekt	Wirkprinzipien
	Antrieb	Eigenantrieb über Greifreifen	
		Fremdantrieb über Schiebegriffe (Begleitperson)	

Quellen: rollstore.de,
care-idee-shop.de

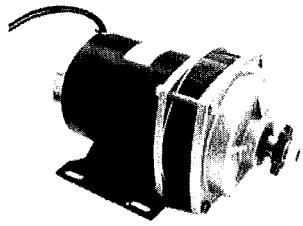
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 75

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Leitbeispiel Rollstuhl	Teilfunktion	Physikalischer Effekt	Wirkprinzipien
	Antrieb	Antrieb über einen Motor	

Quellen:
amazon.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 76

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Ordnenende Gesichtspunkte: Wirkgeometrie, Wirkbewegung und prinzipielle Stoffeigenschaften:

Wirkgeometrie

Merkmale:	Beispiele:
Art:	Punkt, Linie, Fläche, Körper
Form:	Rundung, Kreis, Ellipse, Hyperbel, Parabel, Dreieck, Quadrat, Rechteck, Fünf-, Sechs- oder Achteck
Lage:	axial, radial, tangential, vertikal, horizontal, parallel, hintereinander
Größe:	klein, groß, schmal, breit, niedrig, hoch
Anzahl:	einfach, doppelt, mehrfach, ungeteilt, geteilt

Wirkbewegung

Merkmale:	Beispiele:
Art:	ruhend, translatorisch, rotatorisch
Form:	gleichförmig, ungleichförmig, oszillierend, eben, räumlich
Richtung:	In x-, y-, z-Richtung, und / oder um x-, y-, z-Achse
Betrag:	Höhe der Geschwindigkeit
Anzahl:	eine, mehrere, zusammengesetzte Bewegungen

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Prinzipielle Stoffeigenschaften

Merkmale:	Beispiele:
Zustand:	fest, flüssig, gasförmig
Verhalten:	starr, elastisch, plastisch, zähflüssig
Form:	Festkörper, Körner, Pulver, Staub

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Variante	1	2	3	4	5
Merkmal					
Art					
Form					
Lage					
Größe					
Zahl					

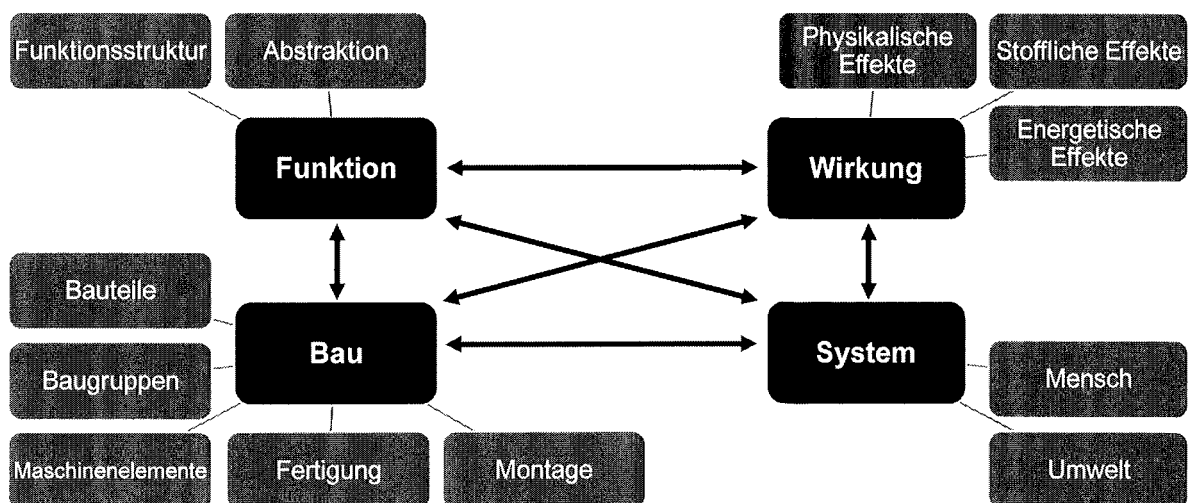
Beispiel: Wirkfläche einer Welle-Nabe-Verbindung

Quelle:
Pahl/ Beitz

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

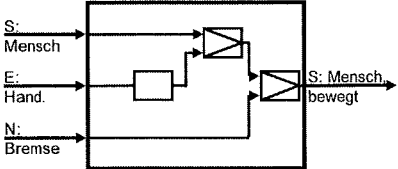
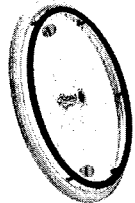
Zusammenhänge eines technischen Systems:



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Zusammenhänge eines technischen Systems:

Leitbeispiel Rollstuhl	Zusammenhänge	Elemente	Struktur	Beispiel: Rollstuhl:
	Funktions-zusammenhang	Funktion	Funktionsstruktur	
	Wirkzusammenhang	Physikalische Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale → Wirkprinzip	Wirkstruktur	Beispiel: Greifreifen am Rad 

Quelle: dietz-reha.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 81

Institut für Medizingerätetechnik **IMT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

Leitbeispiel Rollstuhl	Zusammenhänge	Elemente	Struktur	Beispiel: Rollstuhl:
	Bauzusammenhang	Bauteile bzw. Maschinenelemente, Verbindungen, Baugruppen	Baustruktur	
	System-zusammenhang	Technisches Produkt, Mensch, Umgebung, Produktlebenszyklus	Systemstruktur	

Quelle: rehashop.de, reha-versandhandel.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 82

Institut für Medizingerätetechnik **IMT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien – Begriffsdefinitionen

- Wirkprinzip: Grundsatz, von dem sich eine bestimmte Wirkung zur Erfüllung der Funktion ableitet (phys., biolog., chem. Effekt(e) sowie geom. und stoff. Merkmale in Verbindung mit einer Teilfunktion).
Das gewählte Wirkprinzip muss hinsichtlich der physikalischen Effekte beschreibbare Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung aufweisen
- Wirkstruktur: Verknüpfung von Wirkprinzipien mehrerer Teilfunktionen zum Erfüllen der Gesamtfunktion
Die aus einzelnen Wirkprinzipien aufgebaute Wirkstruktur muss eine geordnete Führung des Energie- bzw. Kraftflusses, des Stoff- und Signalfusses sicherstellen.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien – Begriffsdefinitionen

- Wirkungsweise: Zusammenwirken von technischen Gebilden, um Funktionen nach bestimmten Wirkprinzipien zu erfüllen
- Zweck: Ziel, Sinn einer Tätigkeit, vorgestellter und gewollter Vorgang oder Zustand
- Funktion: Innerhalb einer Funktionsstruktur muss eine klare Zuordnung der Teilfunktionen mit zugehörigen Eingangs- und Ausgangsgrößen sichergestellt werden.
- Wirkbewegung: Bewegung, die eine Wirkung erzwingt/ermöglicht.
- Wirkfläche: Fläche, an der oder über die eine Wirkung erzwungen oder ermöglicht wird.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien – Begriffsdefinitionen

- Wirkgeometrie: Anordnung von Wirkflächen (bzw. -linien, -räumen), über die eine Wirkung erzwungen oder ermöglicht wird.
- Wirkkörper: Körper, durch den oder an dem eine Wirkung erzwungen oder ermöglicht wird.
- Wirkort: Ort, an dem durch Wirkflächen und Wirkbewegungen Wirkungen erzwungen oder ermöglicht werden.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.4 Kombination der Lösungsprinzipien

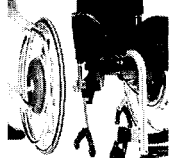
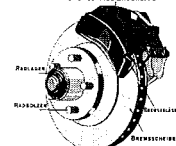
- Sind für die einzelnen Teilfunktionen einer Gesamtfunktion Lösungen gefunden worden, ergibt ihre sinnvolle Kombination die Gesamtlösung.
- Hauptproblem: Erkennen von Verträglichkeiten bzw. Unverträglichkeiten.
- Weiteres Problem: Auswahl der technisch und wirtschaftlich günstigsten Kombinationen.
- Die Kombination lässt sich übersichtlich in einem Ordnungsschema durchführen

→ **Morphologischer Kasten**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.4 Kombination der Lösungsprinzipien – Morphologischer Kasten

▣ Morphologischer Kasten für einen Rollstuhl

Leitbeispiel Rollstuhl	Lösung Funktion	1	2	3	4	5
	Bewegung erzeugen/ Antrieb	Greifreifen 	Schiebegriffe 	Zuggerät 	Reibradmotor 	Radnabenmotor 
	...					
	Bremsen	Trommelbremse 	Scheibenbremse 	Kniehebelbremse 		

Quellen: velocical-engineering.com, reha-hilfen.ch, medicalexp.de, rollstore.de, care-idee-shop.de, autoteleProf.de, sorgrollstuhltechnik.de

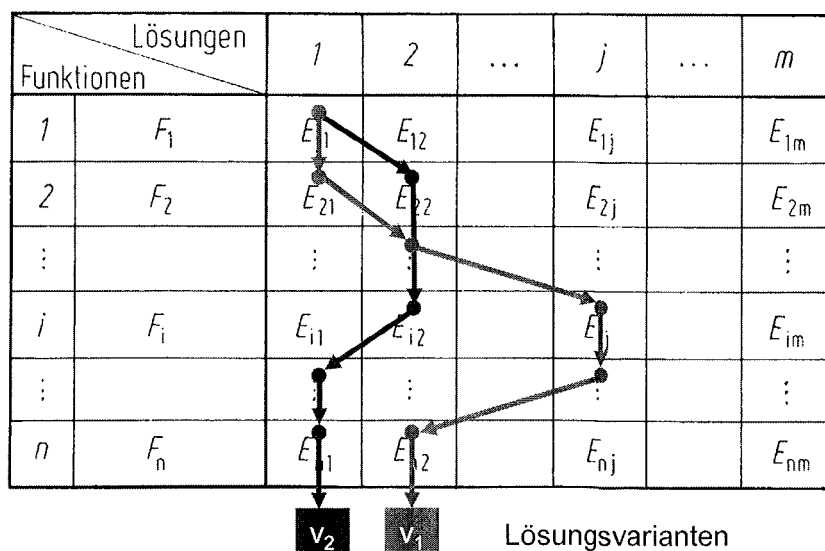
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 87

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.4 Kombination der Lösungsprinzipien – Morphologischer Kasten



Quelle: Pahl/ Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 88

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.5 Auswählen geeigneter Kombinationen

Kriterien der Auswahlliste

1. Lösungen mit der Aufgabe und untereinander verträglich (Kriterium A)
2. Forderungen der Anforderungsliste erfüllt (Kriterium B)
3. Realisierung mit ausreichender Wirkungshöhe, Größe, notwendiger Anordnung usw. möglich (Kriterium C)
4. Zulässiger Aufwand wird nicht überschritten (Kriterium D)
5. Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben (Kriterium E)
6. Lösungsart im eigenen Bereich bevorzugt (Kriterium F)

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.5 Auswählen geeigneter Kombinationen

Die Auswahlliste wird folgendermaßen ausgefüllt:

1. Lösungsvarianten eintragen (Nummer, Merkmal)
2. Jede Lösungsvariante einzeln nach den Auswahlkriterien überprüfen:
 - (+) ja
 - (-) nein → Bei Aussage „nein“ nicht weiter beurteilen
 - (?) Informationsmangel
 - (!) Anforderungsliste überprüfen
3. Beurteilung hinsichtlich entscheidender Kriterien als Bemerkung näher kennzeichnen
4. Entscheidung fällen und in Entscheidungsspalte eintragen
 - (+) Lösung weiterverfolgen
 - (-) Lösung scheidet aus
 - (?) Informationen beschaffen, Lösung erneut beurteilen
 - (!) Anforderungsliste auf Änderung überprüfen

→ Unbrauchbare Lösungen möglichst früh im Entwicklungsprozess ausscheiden!

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.5 Auswählen geeigneter Kombinationen

Leitbeispiel Rollstuhl

Lösungsvarianten (Lv) eintragen:									Entscheidung	
		Mit Aufgabenstellung verträglich								
		Forderungen der Anforderungsliste erfüllt								
		Grundsätzliche Realisierungschance gegeben								
		Zulässiger Aufwand zu erwarten								
		Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben								
		Im eigenen Bereich bevorzugt								
Lv		A	B	C	D	E	F	G	Bemerkungen (Hinweise, Begründungen)	
V ₁	1	+	+	+	?	+	+		Herstellkosten abschätzen	+
V ₂	2	+	?	+	+	+	+		Prüfen: Ausreichende Anpassbarkeit?	+
V ₃	3	+	-						Packmaß nicht kompakt genug	-
V ₄	4	+	+	+	+	-			Unzureichender Schutz vor Kippen	-

Beurteilen

der Lösungsvarianten (Lv):

- (+) Auswahlkriterium erfüllt
- (-) Auswahlkriterium nicht erfüllt
- (?) Informationsmangel
- (!) Anforderungsliste prüfen

Entscheiden

über Lösungsvarianten (Lv):

- (+) Lösung weiter verfolgen
- (-) Lösung scheidet aus
- (?) Information beschaffen und Lösung erneut beurteilen
- (!) Anforderungsliste auf Änderung prüfen

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

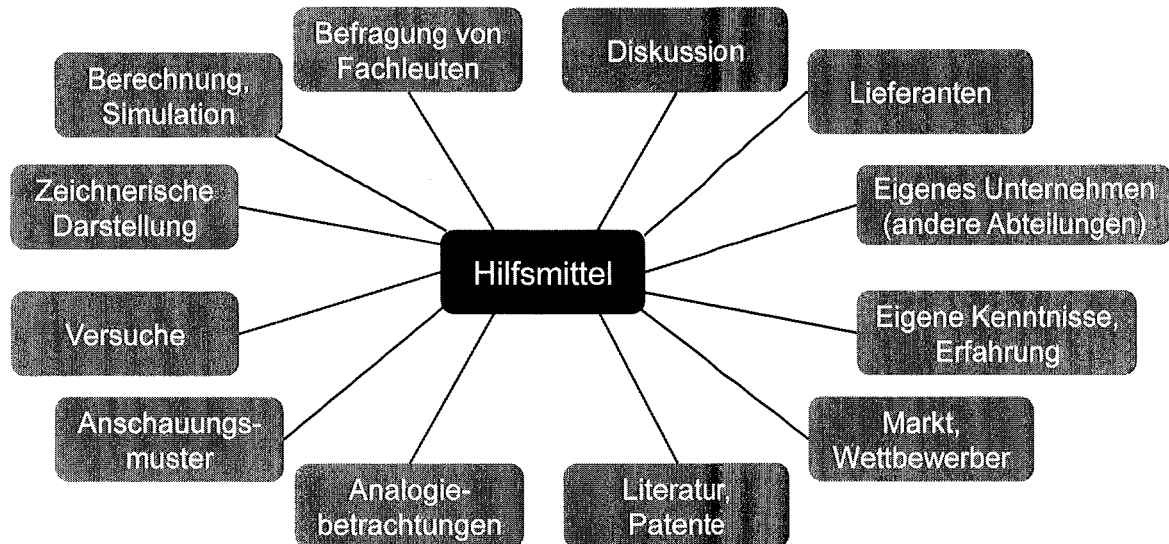
8.2.2.6 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten – Vorgehen

- Anforderungsliste analysieren, Forderungen und wichtige Wünsche auch quantitativ beachten.
- Prüfen, ob ein vorläufiges Aufstellen von Bewertungskriterien nützlich ist.
- Prinzipielle Lösungen so weit konkretisieren, dass sie beurteilbar werden.
- Beurteilungslücken beseitigen.

„Lösungsvarianten“ werden auch „Konzeptvarianten“ genannt!

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.6 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

Die Lösungsvarianten können unter technischen oder wirtschaftlichen Kriterien bewertet werden. Dabei gilt allgemein:

- › Voneinander unabhängige Bewertungskriterien angeben (keine Doppelbewertung)
- › Möglichst gleiche Gewichtung anstreben
- › Varianten neutral bezeichnen
- › Stets Vorzüge als Bewertungsgrundlage wählen (z.B. geräuscharm, hoher Wirkungsgrad) → positiv formulieren

Bei der Bewertung werden folgende Schritte durchlaufen:



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



1. Erkennen der entscheidungsrelevanten Eigenschaften
 - Wichtige technische Eigenschaften sowie Mindestanforderungen und Wünsche aus der Anforderungsliste
 - Mindestens ein Bewertungskriterium aus jeder Hauptmerkmalgruppe anstreben.
2. Prüfen ihrer Bedeutung (Gewichtung) für den Gesamtwert der Lösung
 - Nur Gleichgewichtiges vergleichen oder bei stark unterschiedlicher Bedeutung Gewichtungsfaktoren festlegen.
3. Eigenschaften möglichst in quantitativen Kenngrößen beschreiben
 - z. B. Leistung, Verbrauch, Anzahl usw.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

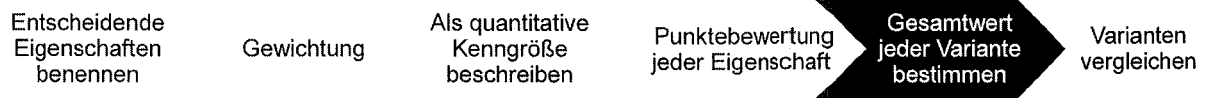
8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



4. Beurteilen der jeweiligen Eigenschaft der verschiedenen Varianten nach festzulegenden Wertvorstellungen
 - Punktebewertung der Eigenschaften, z.B.:
 - 4 Punkte: sehr gut, ideal
 - 3 Punkte: gut
 - 2 Punkte: ausreichend
 - 1 Punkt: gerade noch tragbar
 - 0 Punkte: unbefriedigend

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



5. Bestimmen des Gesamtwertes für jede Variante

Technische Wertigkeit:

$$W_t = \frac{\sum_{k=1}^n p_k}{\sum_{j=1}^n p_{id,j}} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n \cdot p_{max}}$$

p_k = Punktzahl für die jeweils bewertete Eigenschaft

$p_{id,j}$ = Ideale Punktzahl (= p_{max})

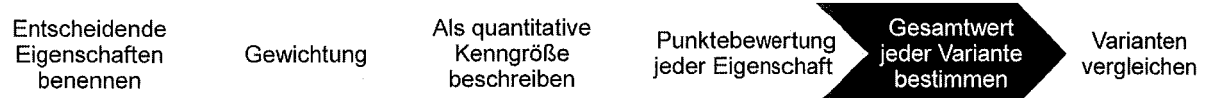
p_{max} = maximal zu erzielende Punktzahl

n = Anzahl der bewerteten Eigenschaften

mit $0 \leq W_t \leq 1$

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



5. Bestimmen des Gesamtwertes für jede Variante

Technische Wertigkeit:

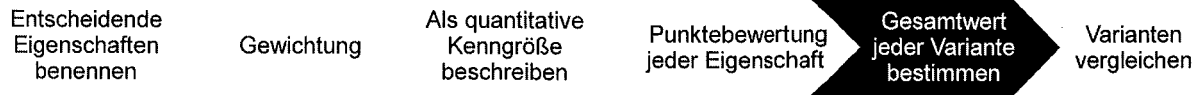
- * Falls notwendig, Gewichtung der Eigenschaften vornehmen:

$$W_t = \frac{\sum_{k=1}^n g_k \cdot p_k}{\sum_{k,j=1}^n g_k \cdot p_{id,j}} = \frac{g_1 \cdot p_1 + g_2 \cdot p_2 + \dots + g_n \cdot p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot p_{max}}$$

g_n = Gewichtungsfaktor für die jeweils bewertete Eigenschaft

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



5. Bestimmen des Gesamtwertes für jede Variante

Technische Wertigkeit:

▫ Beurteilung

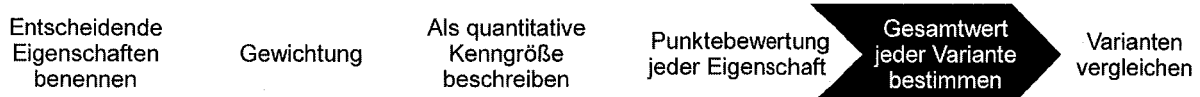
$W_t > 0,8$ recht gute Lösung

$W_t \approx 0,7$ gute Lösung, aber punktuell verbessern

$W_t < 0,6$ unbefriedigende Lösung, auf jeden Fall verbessern

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



5. Bestimmen des Gesamtwertes für jede Variante

Wirtschaftliche Wertigkeit:

▫ Alleiniger Maßstab: Herstellkosten

▫ Herstellkosten einer Variante H_{variante} werden auf „Vergleichskosten H_0 “ bezogen:

$$W_w = H_0 / H_{\text{Variante}}$$

mit $H_0 = 0,7 \cdot H_{\text{zulässig}}$ oder $= 0,7 \cdot H_{\text{minimum}}$ der billigsten Variante

Mit $0 \leq W_w \leq 1$

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen

Entscheidende
Eigenschaften
benennen

Gewichtung

Als quantitative
Kenngröße
beschreiben

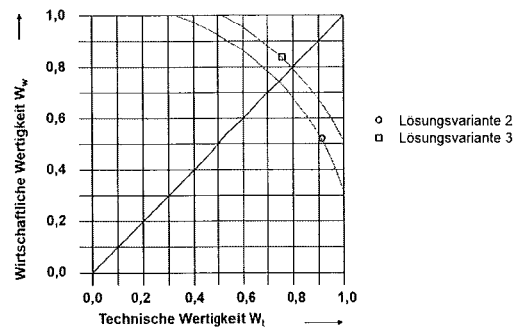
Punktebewertung
jeder Eigenschaft

Gesamtwert
jeder Variante
bestimmen

Varianten
vergleichen

6. Vergleichen der Varianten

- z. B. in Technische Wertigkeit W_t / Wirtschaftliche Wertigkeit W_w - Diagramm



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

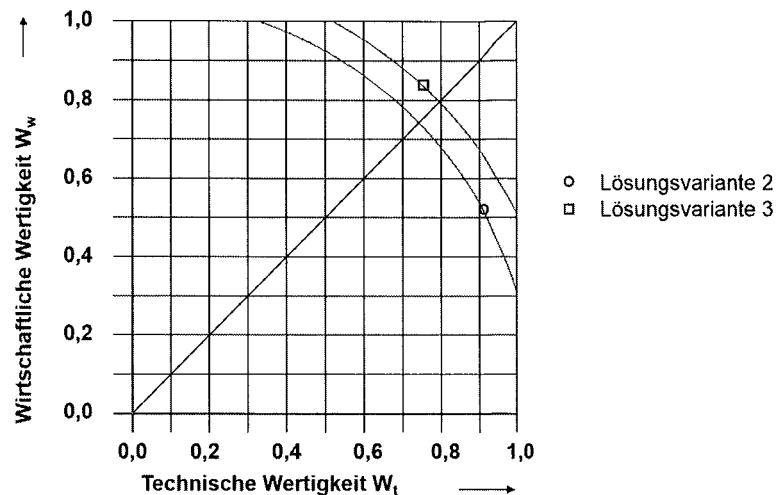
8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

Anforderungsliste für einen Rollstuhl (detailliert)					
Firma:		Projektnr.:		Ausgabe vom:	
Bearbeiter:				Ers. Ausg. v.:	
F	Nr.	Anforderungen	Lösungs- variante 1	Lösungs- variante 2	Lösungs- variante 3
F	1	Planungsdaten: Fertigstellung der Entwürfe	4	4	4
		Technisch-physikalische Anforderungen			
F	2	Eigengewicht	4	4	4
F	3	Traglast	3	4	1
F	4	Gesamtbreite	0	4	4
		...	...	...	...
		Σp_k		59	48
		Wertigkeit $W_t (\Sigma p_{i,d} = 64)$		0,92	0,75

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

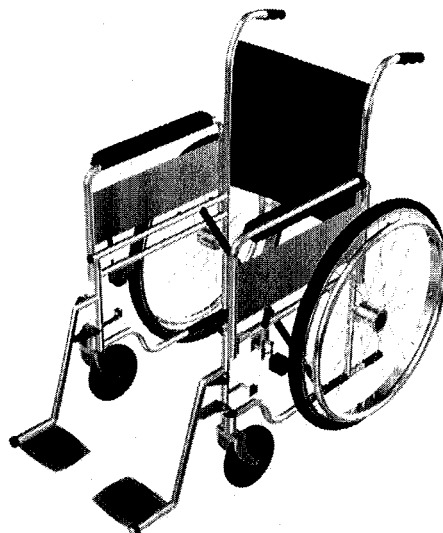
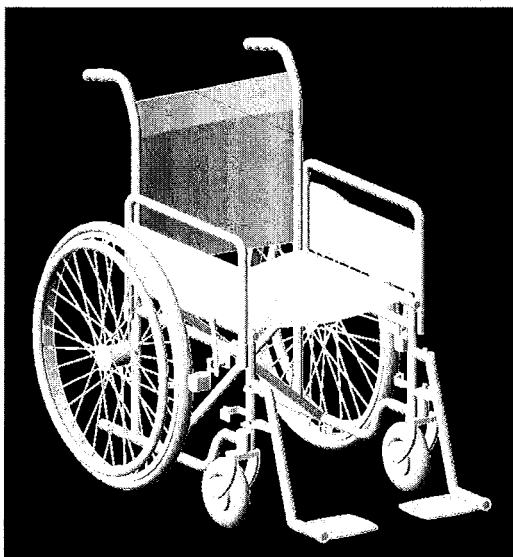
Wertigkeitsdiagramm (Stärkendiagramm):



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.8 Erste Designkonzepte

Leitbeispiel Rollstuhl

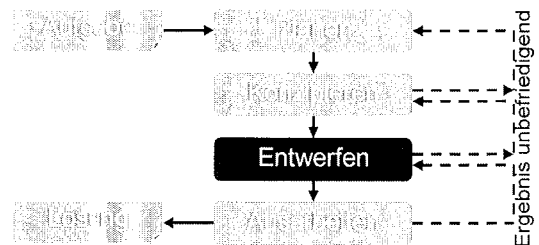


Quellen:
cad.de, cadblocksfree.com

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.3 Entwerfen

- konkrete Gestaltung der prinzipiellen Lösung
- Festlegen der
 - Hauptabmessungen
 - Werkstoffe und
 - Fertigungsverfahren
- Überprüfung geometrischer Verträglichkeiten
- Dimensionierungen
- Suche nach Teillösungen für Nebenfunktionen
- Ermittlung der Herstellkosten usw.



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.3 Entwerfen

- beinhaltet im Vergleich zum *Konzipieren* mehr korrektive Arbeitsschritte
- Analyse- und Synthese-Vorgänge wechseln sich ab und ergänzen sich
- Komplexität dieser Phase → viele Tätigkeiten werden zeitlich parallel und iterativ durchgeführt
- kein allgemeingültiger Ablaufplan
- das Vorgehen ist dem Problem und dem vorliegenden Konkretisierungsniveau anzupassen

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.3 Entwerfen

Grundsätzliches Vorgehen:

- vom Qualitativen zum Quantitativen
- vom Abstrakten zum Konkreten
- von einer Grobgestaltung zu einer Feingestaltung

Für Überprüfungs- und Korrekturschritte:

- Checkliste „Leitlinie mit Hauptmerkmalen beim Gestalten“

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

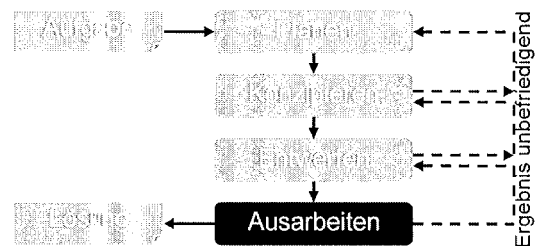
8.2.3 Entwerfen – Leitlinien mit Hauptmerkmalen beim Gestalten

Hauptmerkmal	Beispiele
Funktion	Wird die vorgesehene Funktion erfüllt? Welche Nebenfunktionen sind erforderlich?
Wirkprinzip	Bringen die gewählten Wirkprinzipien den gewünschten Effekt, Wirkungsgrad und Nutzen? Welche Störungen sind aus dem Prinzip zu erwarten?
Auslegung	Garantieren die gewählten Formen und Abmessungen mit einem vorgesehenen Werkstoff bei der festgelegten Gebrauchszeit und unter der auftretenden Belastung <i>Ausreichend Haltbarkeit</i> <i>Zulässige Formänderung</i> <i>Genügend Stabilität</i> <i>Genügend Resonanzfreiheit</i> <i>Störungsfreie Ausdehnung</i> <i>Annehmbares Korrosions- und Verschleißverhalten?</i>
Sicherheit und Normen	Sind die Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit beeinflussenden Faktoren Berücksichtigt

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

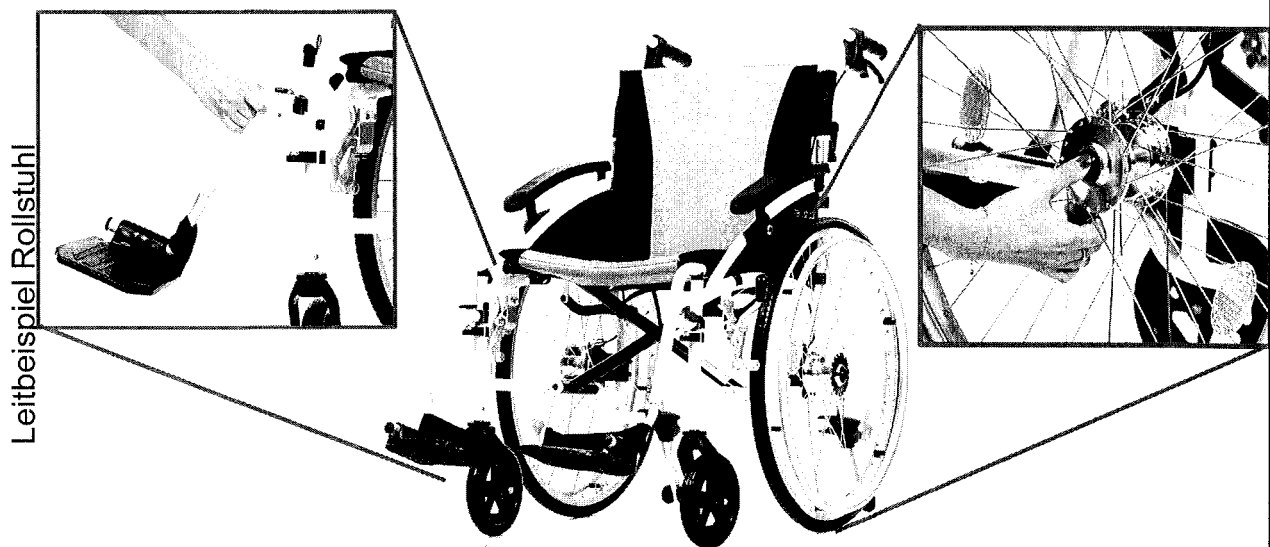
8.2.4 Ausarbeiten

- letzte Phase des Konstruktionsprozesses
- Erstellung aller Unterlagen für Herstellung, Montage, Vertrieb, Transport und Betrieb des Erzeugnisses, wie z. B.:
 - Gesamt- und Gruppenzeichnungen
 - fertigungsgerechte Einzelteil- und Fertigungszeichnungen
 - Zusammenbauzeichnungen, Explosionszeichnungen
 - Stücklisten



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten

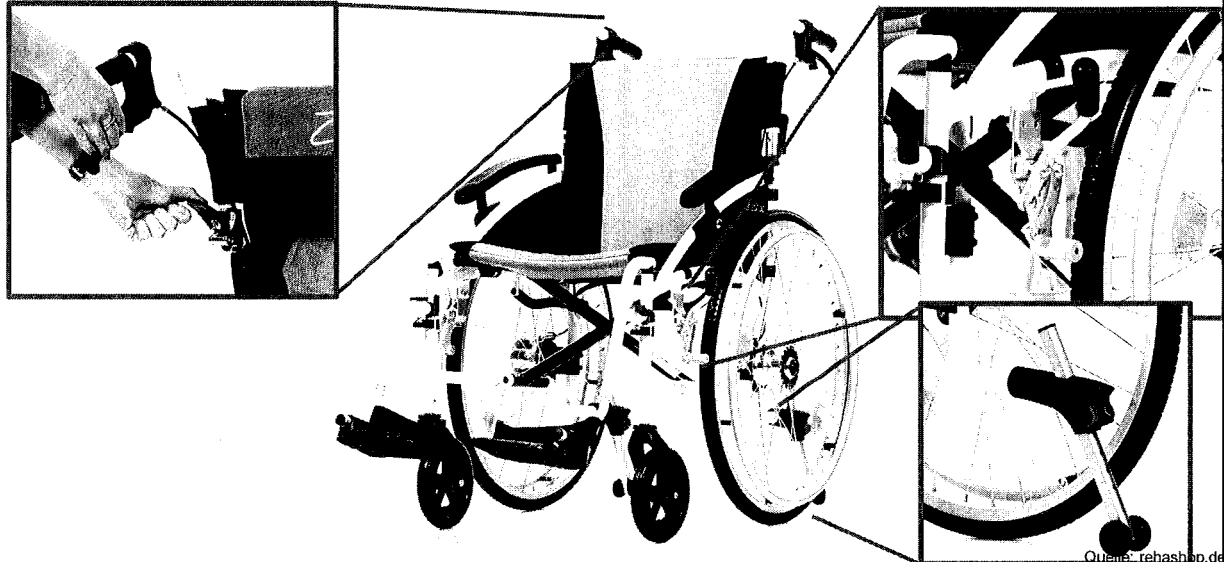


Quelle: rehashop.de

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

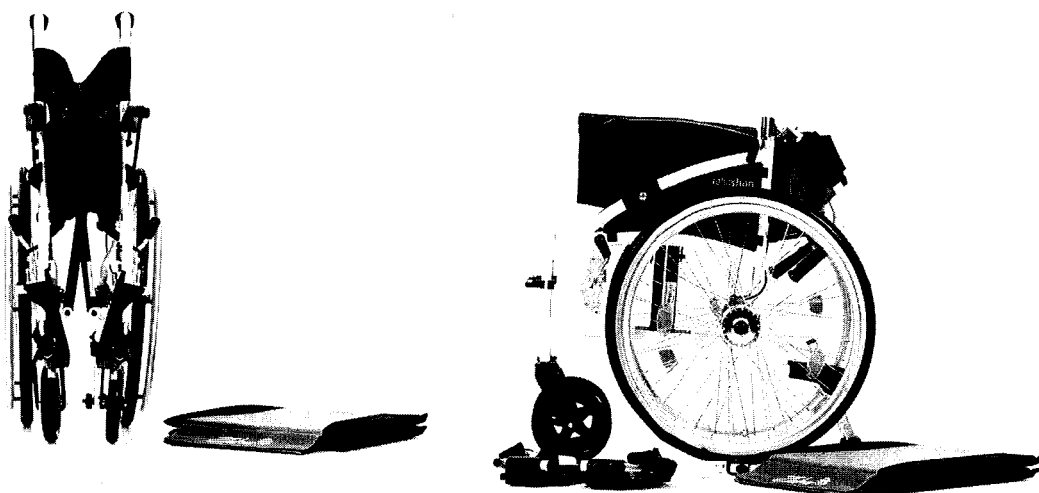
Folie 111

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 112

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Produktdokumentation

Zur Produktdokumentation gehören:

- Funktionsbeschreibungen
- Montageanleitungen
- Transporthinweise
- Inbetriebnahmeanleitungen
- Betriebsanleitungen, Bedienungsanleitungen
- Wartungspläne, Wartungsvorschriften
- Stromlaufpläne, Schaltpläne
- Pläne für Kabel, Leitungen, Rohre usw.

→ MDR

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Anwendererprobung

Leitbeispiel Rollstuhl



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Anwendererprobung

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

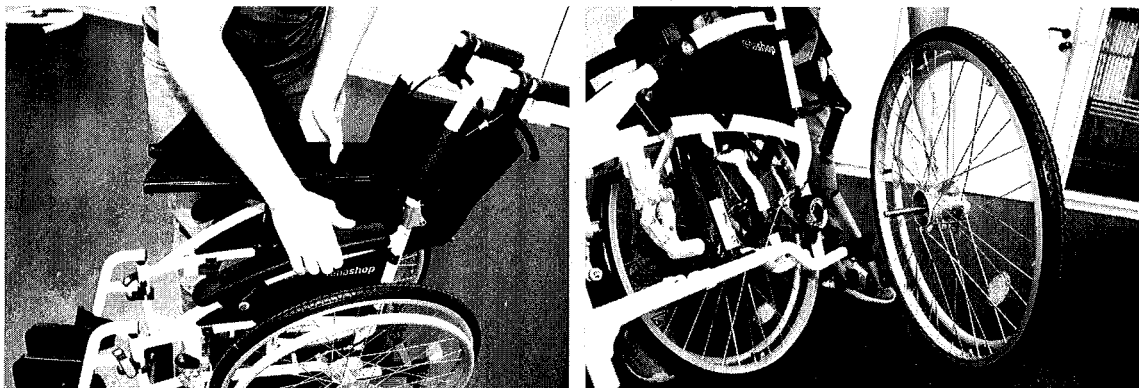
Folie 115

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Anwendererprobung

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 116

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

Mobilitätshilfen mit anderen Anforderungen

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 117

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

8.3 Literatur

- Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung, 5. Auflage. München: Hanser 2013
- Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998
- Pahl G., Beitz W.: Konstruktionslehre, Grundlagen, 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015
- Maier, T., Schmid, M.: IDeEnKompakt, Manuskript zur Vorlesung Techn. Design, www.iktd.uni-stuttgart.de/lehre/master/td, 2016
- VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Beuth Verlag Berlin, 1993
- VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, 1997; Blatt 2: Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1982.
- VDI-Richtlinie 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2004.
- VDI-Richtlinie 2225 Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1998
- Hasso-Plattner-Institut Academy GmbH: Was ist Design Thinking?, unter: <https://hpi-academy.de/design-thinking/was-ist-design-thinking.html> (abgerufen am 19.11.2018)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 118

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

9. Produkt und Produktprogramm

Inhalt

9.1 Produktbeschreibung

- 9.1.1 Definition der Produktgestalt
- 9.1.2 Beispiel für den Gestaltaufbau

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

- 9.2.1 Beispiel der Produktbeschreibung
- 9.2.2 Tragwerksgestalt
- 9.2.3 Interfacegestalt
- 9.2.4 Funktionsgestalt

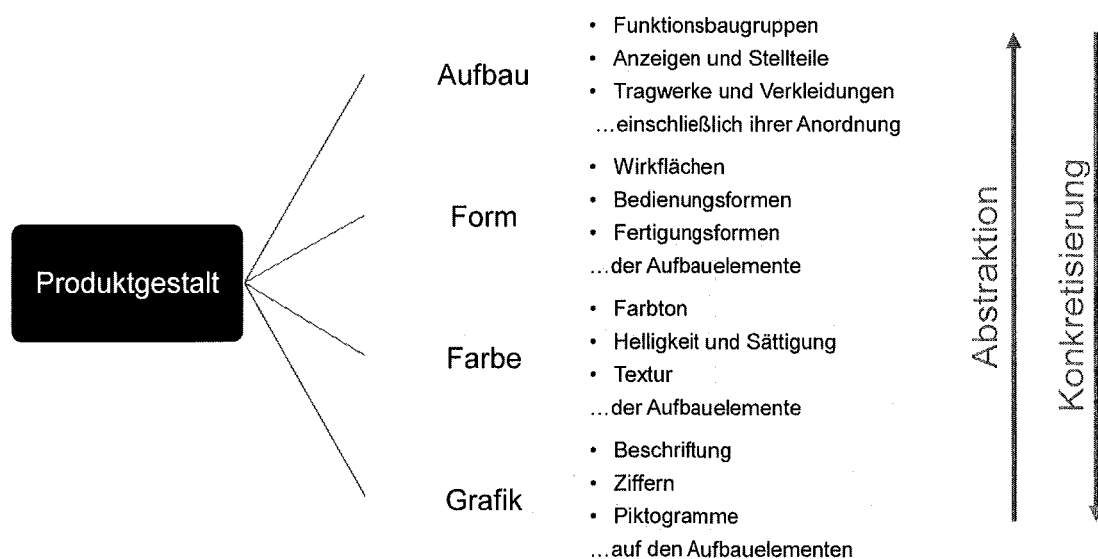
9.3 Produktprogramm

- 9.3.1 Baureihe
- 9.3.2 Baukästen
- 9.3.3 Lösungsprinzipien für Produktprogramme

9.4 Literaturverzeichnis

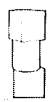
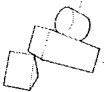
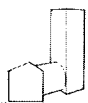
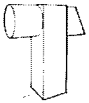
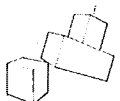
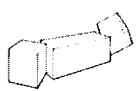
9.1 Produktbeschreibung

9.1.1 Definition der Produktgestalt



9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für den Gestaltaufbau – Lösungsfeld für räumliche Aufbautypen

2 Gestaltanordnungen bei 2 Gestaltelementen		Total geordnete Gestalten			
		1 Gestaltanordnung bei 3 Gestaltelementen			
		Stab-Gestalt	L-Gestalt	V-Gestalt	T-Gestalt
		Z-Gestalt			
					
					
					

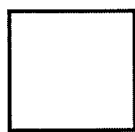
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 3

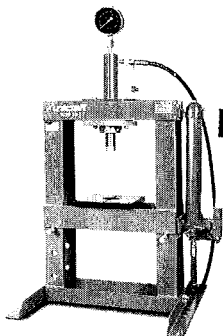
Institut für Medizingerätetechnik **INT**

9.1 Produktbeschreibung

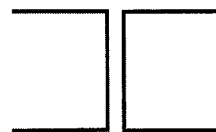
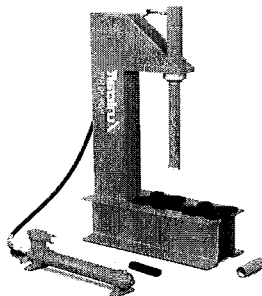
9.1.2 Beispiele für den Gestaltaufbau



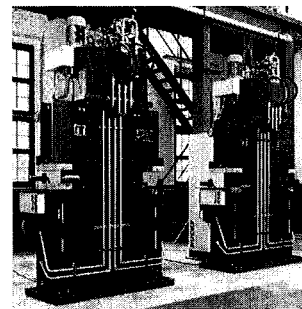
O-Press



C-Press



Doppel-C-Press



Quellen:
stama.ch, rucks.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

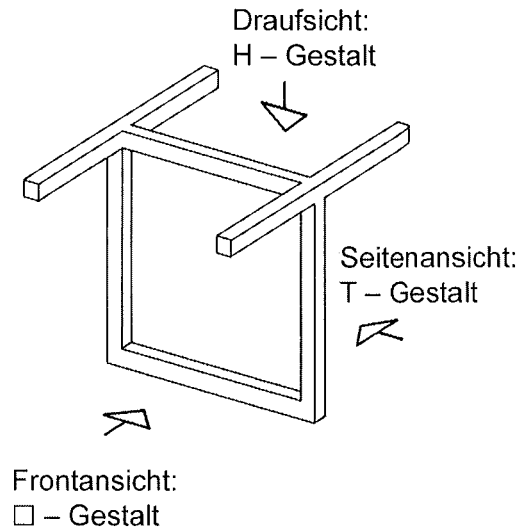
Folie 4

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

9.1 Produktbeschreibung

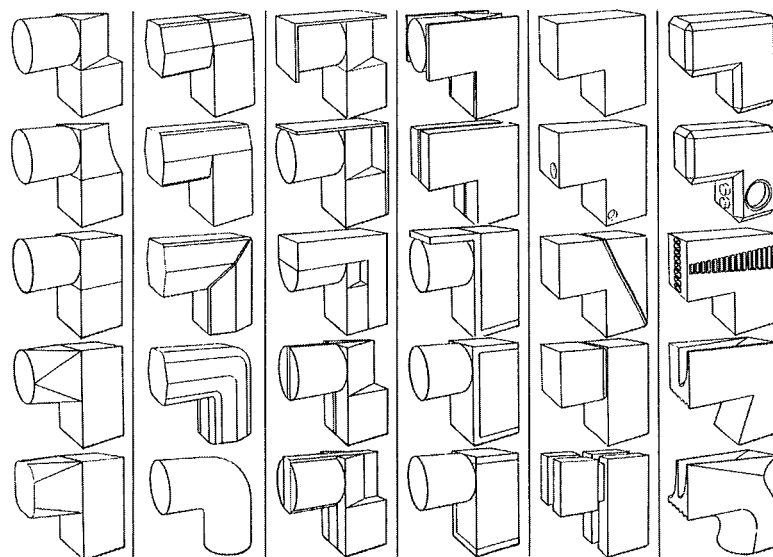
9.1.2 Beispiele für den Gestaltaufbau – Räumliche Bautypen

- □-T-H-Gestalt



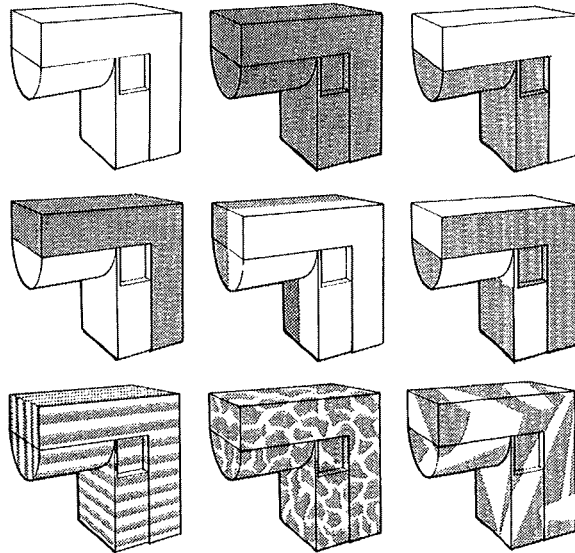
9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für Formgebung



9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für Farbgebung



Quelle:
IKTD, Universität Stuttgart

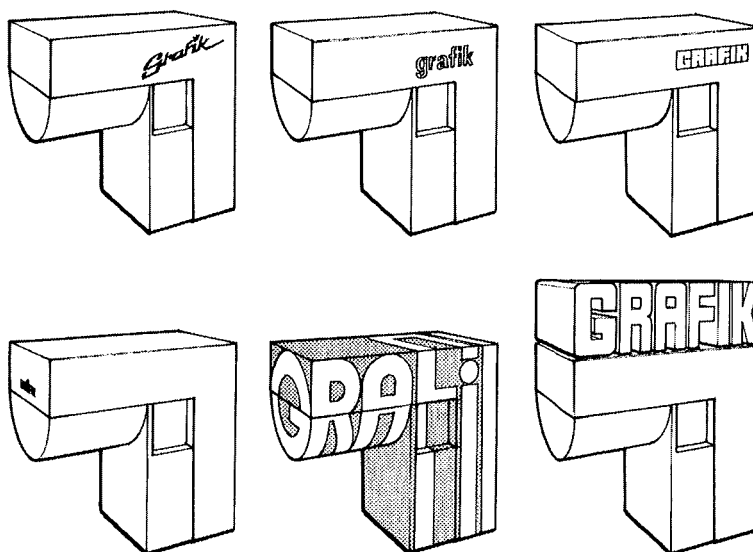
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 7

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für Grafik



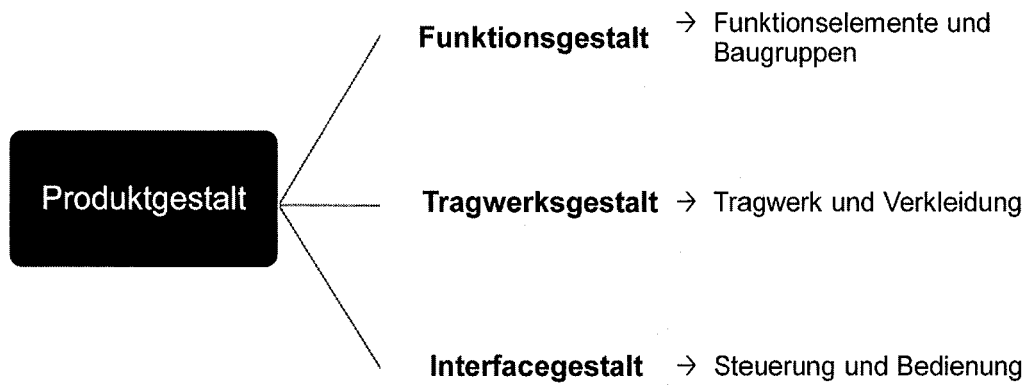
Quelle:
IKTD, Universität Stuttgart

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 8

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

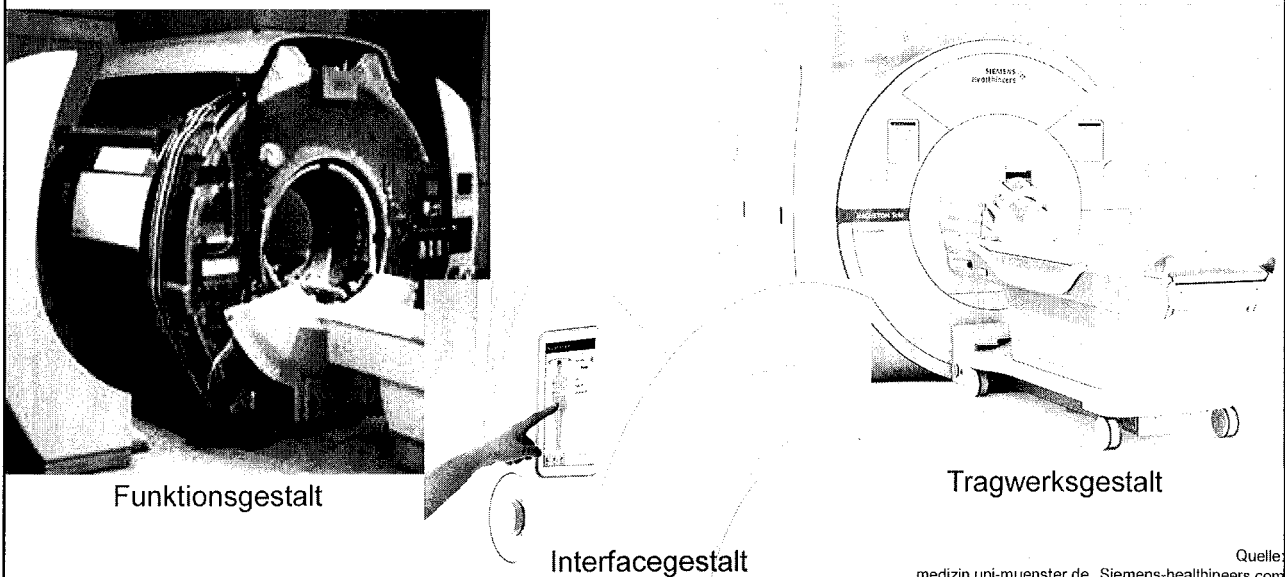
9.2 Erweiterte Produktbeschreibung



Untergliederung der Produktgestalt als erweiterte Produktbeschreibung

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.1 Produktgestalt – Beispiel eines Computertomographen

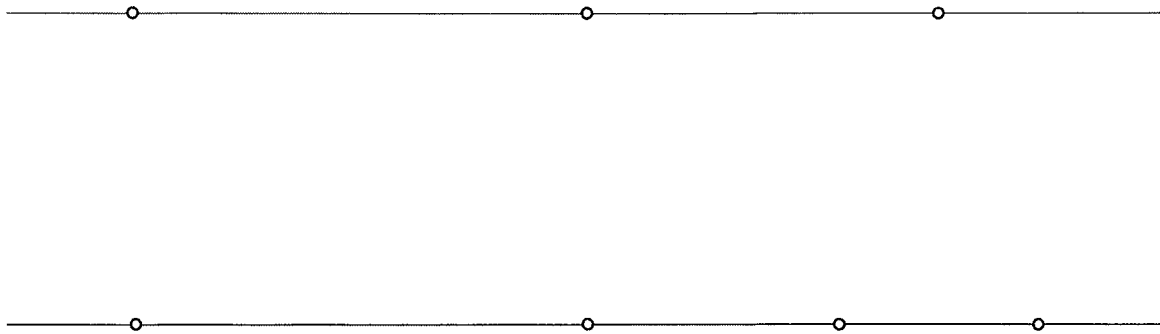


Quelle:
medizin.uni-muenster.de, Siemens-healthineers.com

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.2 Tragwerksgestalt - Kraftleitung

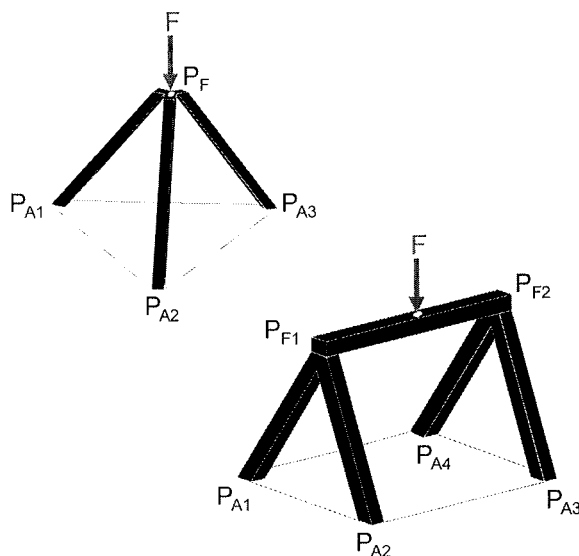
- Konzeptionen von Tragwerksgestalten aus der Kraftleitung



Live-Inhalt

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.2 Tragwerksgestalten – Kraftleitung



- „Dreibein“:

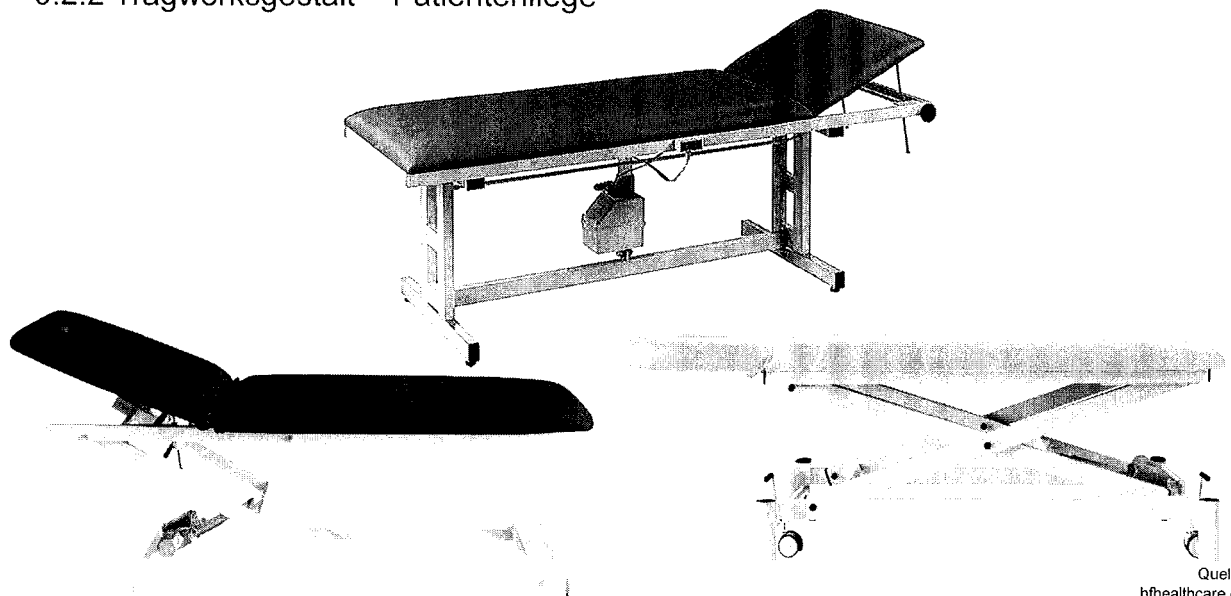
Direkte Verbindung von P_F mit $P_{A1} - P_{A3}$ mittels einer Pyramidengestalt aus drei schrägen Stabelementen

- „Bock“:

Indirekte Verbindung von P_{F1} und P_{F2} mit $P_{A1} - P_{A4}$ mittels einer Portal-Pylon-Gestalt aus zwei Pylon-Gestalten und einem waagrechten Stabelement

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.2 Tragwerksgestalt – Patientenliege



Quelle:
hfhealthcare.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

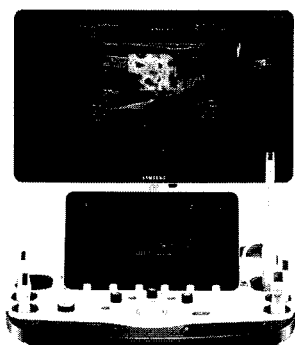
Folie 13

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

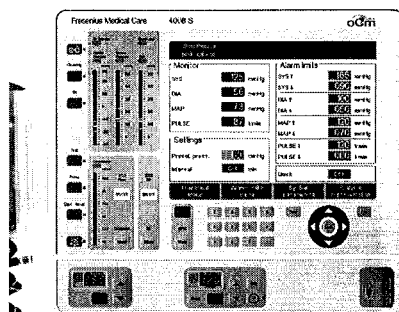
9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.3 Interfacegestalt

- Mögliche Interfaces:



Ultraschallgerät



Dialysegerät



Endoskop

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

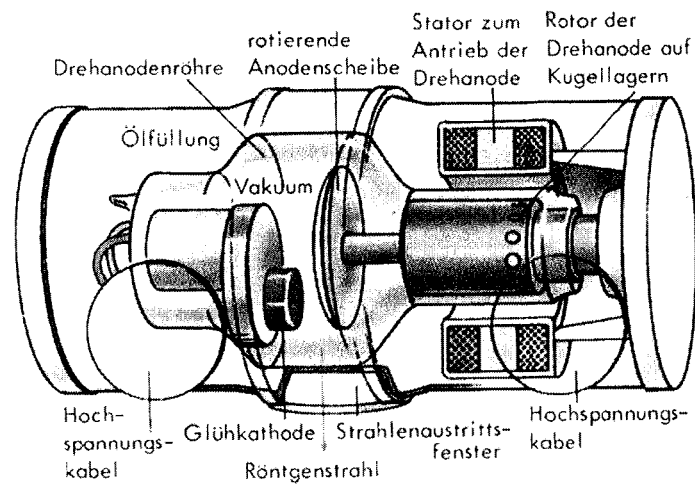
Folie 14

Institut
für
Medizingerätetechnik **INW**

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.4 Funktionsgestalt

- › Funktionsgestalt: Aufbau einer Röntgenröhre



Quelle:
Agrv.de

9.3 Produktprogramm

- Ein Produktprogramm besteht aus mindestens 2 Produkten gleicher Zwecksetzung von einem Hersteller
- Elemente = Produkt- oder Designvarianten
- Ein Produktprogramm kann realisiert werden über:
 - Baureihen
 - Baukasten

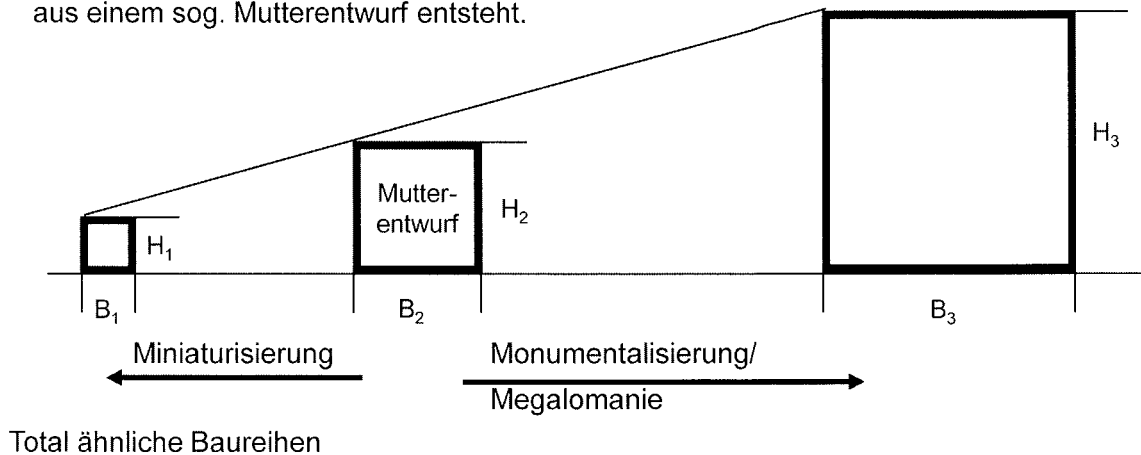


Quelle:
bechtold-sohn.de

9.3 Produktprogramm

9.3.1 Baureihen

- Größenbaureihe zwischen einer kleinsten Baugröße und einer größten Baugröße, die durch Verkleinerung (Miniaturisierung) oder durch Vergrößerung (Monumentalisierung) aus einem sog. Mutterentwurf entsteht.



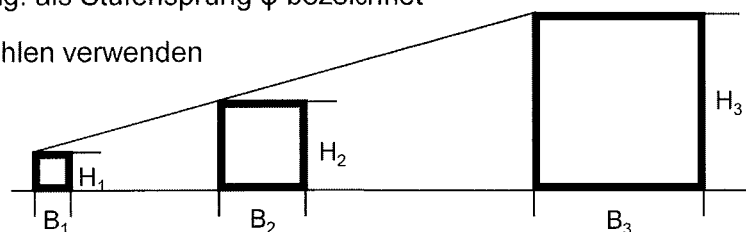
9.3 Produktprogramm

9.3.1 Baureihe

- Die Größenänderung wird allg. als Stufensprung φ bezeichnet

→ Wenn möglich Normungszahlen verwenden

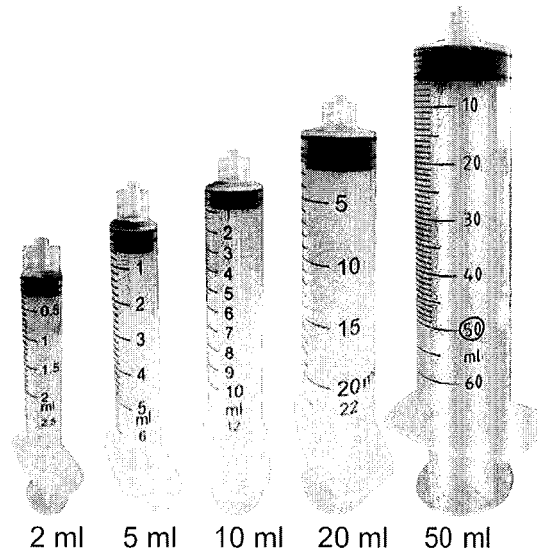
$$\begin{aligned} H_2 &= \varphi \cdot H_1 \\ H_3 &= \varphi \cdot H_2 = \varphi^2 \cdot H_1 \\ B_2 &= \varphi \cdot B_1 \\ B_3 &= \varphi \cdot B_2 = \varphi^2 \cdot B_1 \end{aligned}$$



Reihe	Stufensprung				
R5	$q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$	1.0	1.6	2.5	4.0
R10	$q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1,25$	1.0	1.25	1.6	2.0
R20	$q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1,12$	1.0	1.12	1.25	1.4
R40	$q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1,06$	1.0	1.06	1.12	1.18

9.3 Produktprogramm

9.3.1 Baureihen – Einmalspritzen



Quelle:
rewa-shop.de

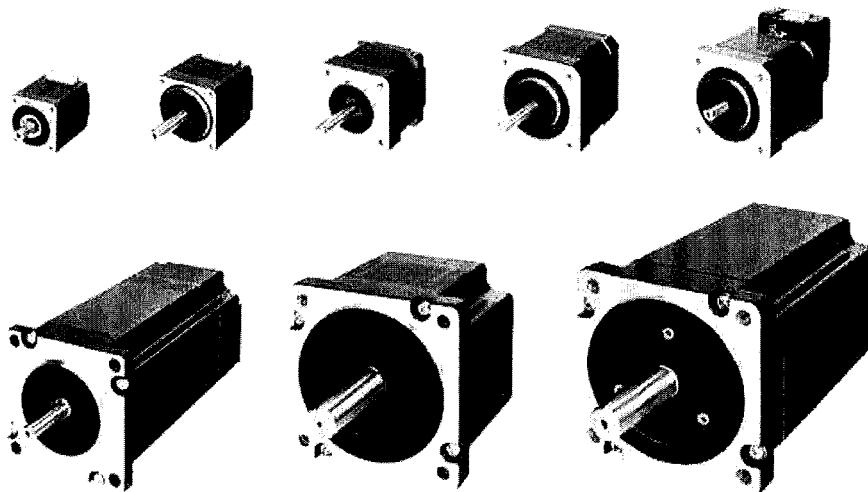
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 19

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

9.3 Produktprogramm

9.3.1 Baureihen – NEMA Schrittmotoren



Quelle:
Kocomotion.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

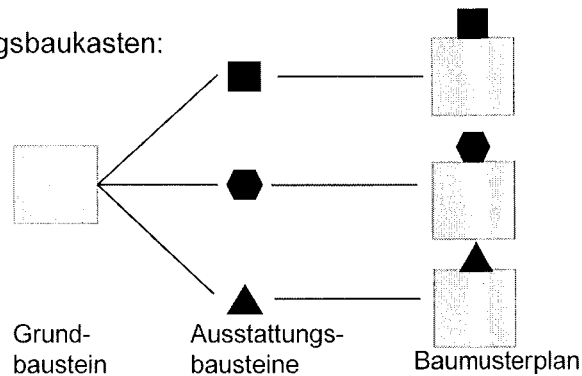
Folie 20

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

9.3 Produktprogramm

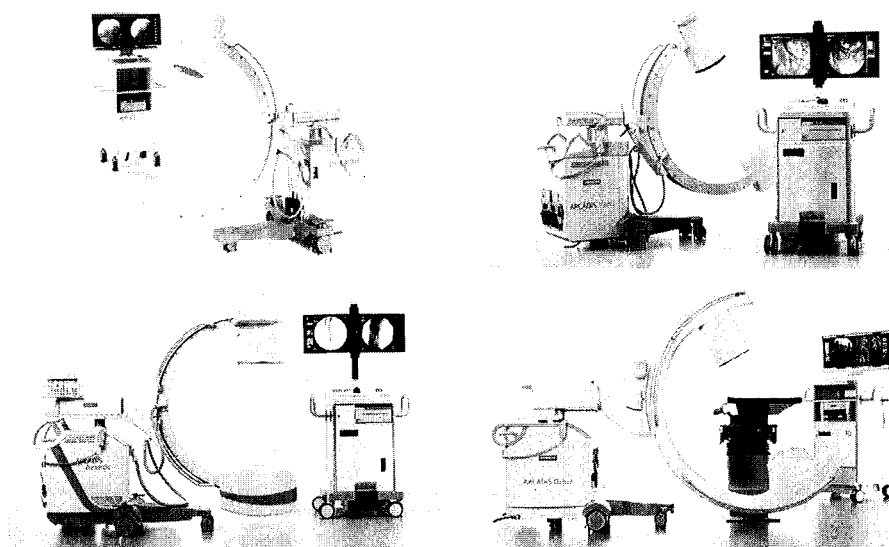
9.3.2 Baukasten

- › Ein Baukasten besteht aus einem Grundbaustein und variablen Bausteinen (sog. Ausstattungsbausteine) bzw. Variantenteilen
- › Baukästen erfüllen durch einen **hohen Gleichteilanteil** gleichzeitig fertigungstechnische und wirtschaftliche Kriterien.
- › Beispiel Ausstattungsbausteine:



9.3 Produktprogramm

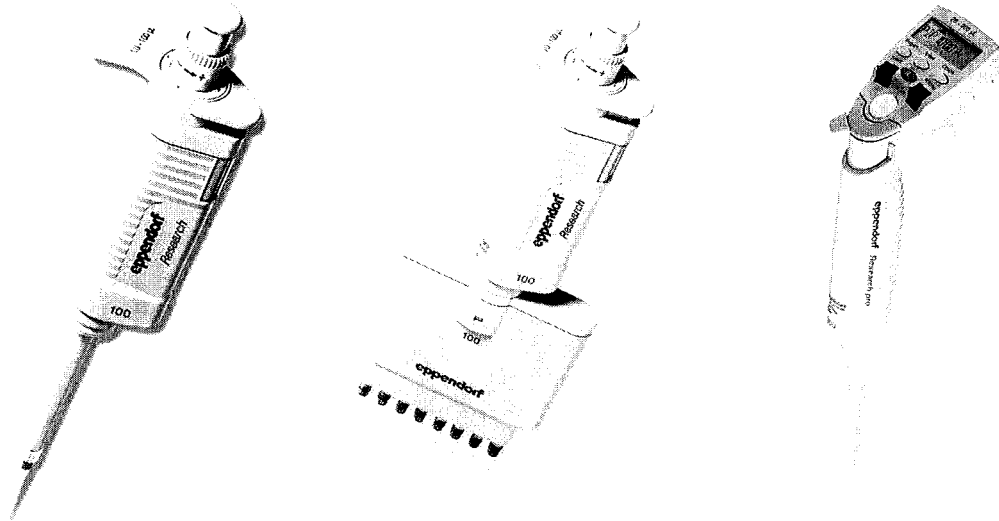
9.3.2 Baukasten – C-Bogen-Baulasten der Firma Siemens



Quelle: med-archiv.de
Siemens Healthcare

9.3 Produktprogramm

9.3.2 Baukasten – Pipettenprogramm der Firma Eppendorf



Quelle:
Eppendorf

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

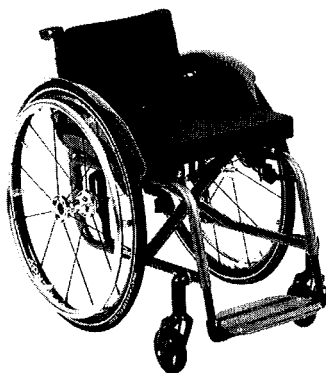
Folie 23

Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

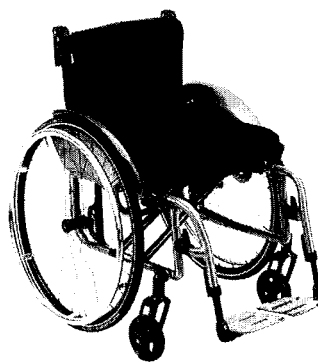
9.3 Produktprogramm

9.3.2 Baukasten – Rollstuhl-Programm

Rollstühle „Avantgarde“ der Firma Otto Bock:



Avantgarde DS
„Sehr geringes Eigengewicht
und Faltmaß“



Avantgarde DV
„abnehm- und wegschwenkbare
Beinstützen“



Avantgarde XXL2
„Außerordentliche Stabilität“

Quelle:
ottobock.de

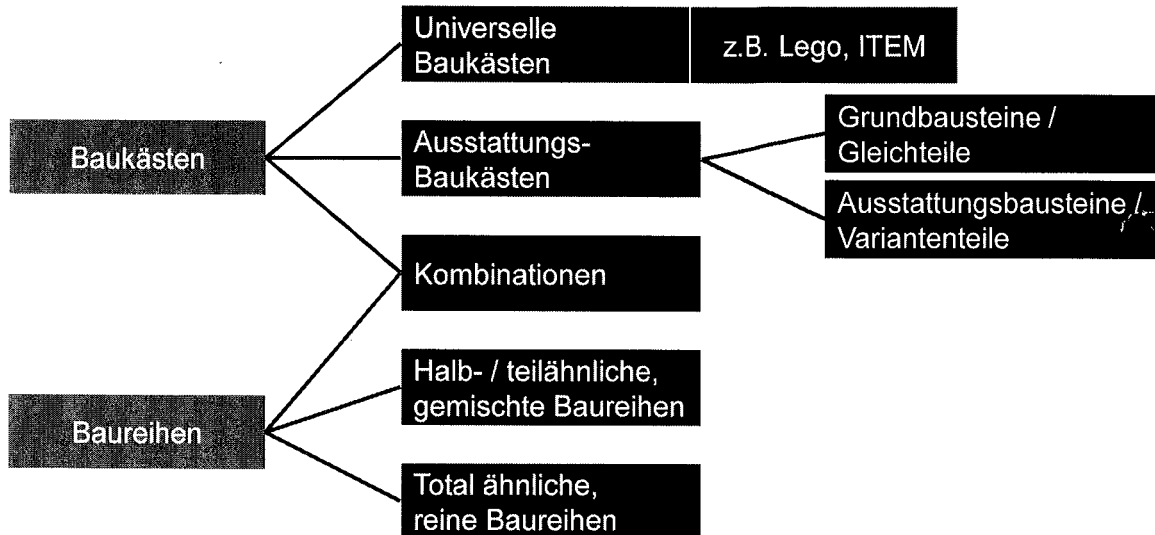
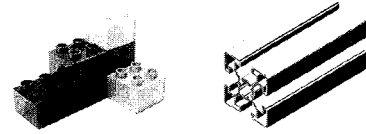
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik I

Folie 24

Institut
für Medizingerätetechnik **INT**

9.3 Produktprogramm

9.3.3 Lösungsprinzipien für Produktprogramme



9.4 Literaturverzeichnis

- Maier, T., Schmid, M.: IDeEnKompakt, Manuskript zur Vorlesung Techn. Design, www.iktd.uni-stuttgart.de/lehre/master/td, 2016
- Binz H.: Konstruktionslehre I, Vorlesungsskript, Universität Stuttgart
- Pahl G., Beitz W.: Konstruktionslehre, Grundlagen, 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013
- Kienzle O.: Normen und Konstruieren, Z. Konstruktion 4/1967, S. 121-125
- Gerhard E.: Baureihenentwicklung, 1984
- Gerstner, K.: Programme entwerfen, 3. Auflage, Lars Müller Verlag Baden, 2007
- Kienzle O.: Normungszahlen, 1950
- Claussen, U., Rodenacker W. G.: Maschinensystematik und Konstruktionsmethodik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998
- Borowski K.-H.: Das Baukastensystem in der Technik, 1961