

Universität Stuttgart
Institut für Medizingerätetechnik

**Skript zur
Vorlesung**

Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

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

**Wintersemester
2020/2021**

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung

- 1.1 Ausbildungsziele
- 1.2 Vorlesungsinhalte
- 1.3 Definition des Begriffs „Konstruieren“
- 1.4 Tätigkeiten in Entwicklung und Konstruktion
- 1.5 Konstruktionsarten
- 1.6 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens
- 1.7 Analoger Designprozess
- 1.8 Literaturverzeichnis

2 Maschinenelemente

- 2.1 Achsen und Wellen
 - 2.1.1 Unterscheidung
 - 2.1.2 Achsen
 - 2.1.3 Wellen
 - 2.1.4 Technische Zeichnung
- 2.2 Welle-Naben-Verbindungen
 - 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
- 2.4 Kupplungen
 - 2.4.1 Unterteilung
 - 2.4.2 Fremdbetätigte Kupplung
 - 2.4.3 Selbstschaltende Kupplung
 - 2.4.4 Nicht-schaltbare Kupplung
- 2.5 Getriebe
 - 2.5.1 Aufgaben
 - 2.5.2 Zahnradgetriebe
 - 2.5.3 Zugmittelgetriebe
- 2.6 Dichtung
 - 2.6.2 Statische Dichtung
 - 2.6.3 Dynamische Dichtung
- 2.7 Federn
- 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

3 Grundlagen der Statik

- 3.1 Grundbegriffe und Axiome
 - 3.1.1 Kräfte
 - 3.1.1.1 Flächenkraft
 - 3.1.2 Gleichgewichtsaxiom
 - 3.1.3 Verschiebbarkeit der Kräfte längs ihrer Wirkungslinie

- 3.1.4 Axiom vom Kräfteparallelogramm
- 3.1.5 Kräftezerlegung
- 3.1.6 Reaktionsgesetz
- 3.2 Kräftepaar und Momente
 - 3.2.1 Kräftepaar
 - 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
 - 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
 - 3.7.1 Selbsthemmung
- 3.8 Literaturverzeichnis

4 Ermittlung der Spannungen

- 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 durch 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
 - 4.5.5 Vergleich offene/geschlossene Querschnitte
- 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

5 Grundlagen der Gestaltung

- 5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren
 - 5.1.1 Funktionsgerecht – Festigkeitsgerecht – Fertigungsgerecht
 - 5.1.2 Gestaltungs- oder Formelemente
 - 5.1.3 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

5.3 Urformen

5.3.1 Gießen

- 5.3.1.1 Gießverfahren
- 5.3.1.2 Gießverfahren – Reaktionsspritzgießen: Polyurethan
- 5.3.1.3 Gießverfahren – Vor- und Nachteile
- 5.3.1.4 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen
- 5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen
- 5.3.1.6 Praktisches Vorgehen beim Konstruieren von Gussteilen

5.3.2 Additive Fertigung

- 5.3.2.1 FDM-Druck
- 5.3.2.2 Selektives Lasersintern
- 5.3.2.3 Stereolithographie
- 5.3.2.4 Inkjet-Verfahren

5.3.3 Extrudieren

5.3.4 Blasformen

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1 Umformen von Blechen

- 5.4.1.1 Druckumformen – Walzen
- 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 Erodieren

- 5.4.3.1 Strahlbearbeitung – Laserschneiden
- 5.4.3.2 Strahlbearbeitung - Wasserstrahlschneiden

5.5 Literaturverzeichnis

6 Antriebstechnik

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
- 6.7.4 Piezoaktuatorik

6.8 Literaturverzeichnis

7 Umwandlung von Bewegungsformen

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 Kettengertriebe

7.6 Literaturverzeichnis

8 Produktentwicklung

8.1 Einführung

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1 Planen

8.2.1.1 Entwicklungsphasen und Meilensteine – Gantt-Diagramm

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 Aufgabenstellung

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 – Morphologischer Kasten

8.2.2.5 Auswählen geeigneter Kombinationen

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 Literaturverzeichnis

9 Produkt und Produktprogramm

9.1 Produktbeschreibung

9.1.1 Definition der Produktgestalt

9.1.2 Beispiele für den Gestaltaufbau

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.1 Produktgestalt

9.2.2 Tragwerksgestalt

9.2.3 Interfacegestalt

9.2.4 Funktionsgestalt

9.3 Produktprogramm

9.3.1 Baureihen

9.3.2 Baukasten

9.3.3 Lösungsprinzipien für Produktprogramme

9.4 Literaturverzeichnis



Universität Stuttgart



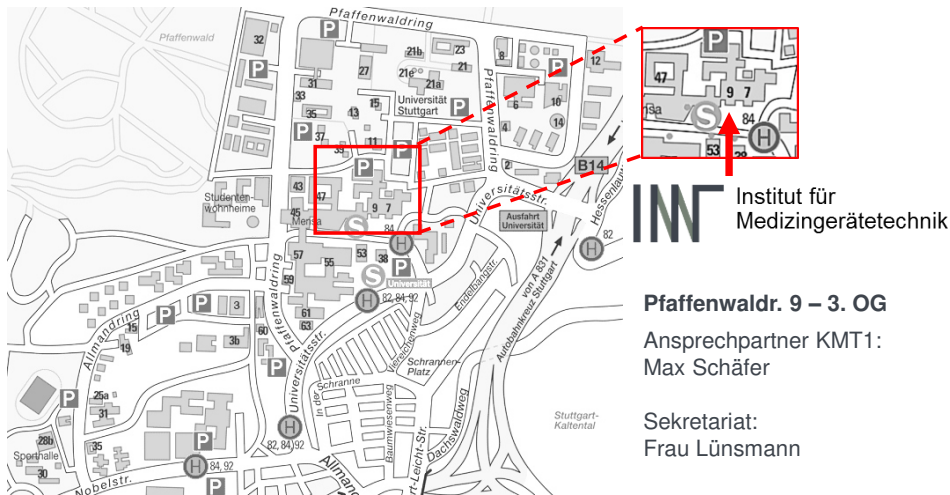
Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

1. Einführung

WS 2020/21

Prof. Dr.
Peter P. Pott

Organisatorisches



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 2

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Ansprechpartner KMT1:

Max Schäfer

Raum 3.203

Telefon: +49 711 685-68392

E-Mail: max.schaefer@imt.uni-stuttgart.de

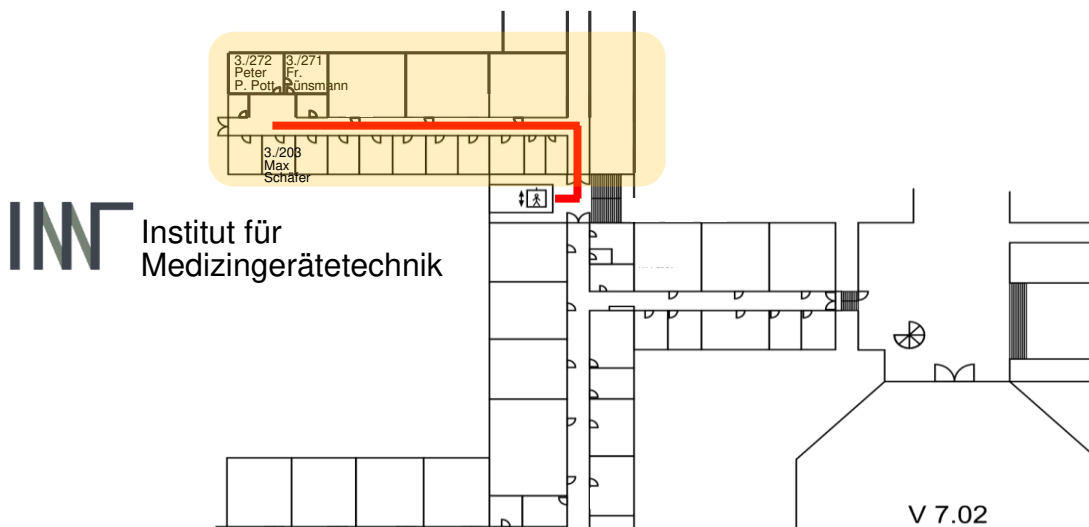
Sekretariat:

Frau Lünsmann

Raum 3.271

Telefon: +49 711 685-68391

E-Mail: dagmar.luensmann@imt.uni-stuttgart.de



Organisatorisches			
Konstruktion in der Medizingerätetechnik (KMT) für Medizintechnik			
KMT 1		KMT 2	EFL
Vorlesung	Übung	Vorlesung + Übung	Bei Prof. Schmauder
Die Vorlesungsaufzeichnungen werden auf ILIAS hochgeladen.	Die Übung besteht aus dem Seminar Technische Kommunikation und Gruppenübungen . Die Übung beginnt mit dem Seminar, welches aufgezeichnet und auf ILIAS hochgeladen wird (erste Session am 11.11.2020). Die Anmeldung zur Übung erfolgt über C@MPUS. Genaue Termine und Räume für die Gruppenübungen werden im Seminar bekannt gegeben.		
Das Skript wird kapitelweise auf ILIAS hochgeladen.	Das Skript wird kapitelweise auf ILIAS hochgeladen.		
Prüfung			Prüfung

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 3

Institut für Medizingerätetechnik

INT

Organisatorisches

Das Skript zur Vorlesung soll und kann den Besuch der Vorlesung **nicht** ersetzen! Es ist zudem als Nachschlagewerk für die Bearbeitung der Übungsaufgaben und die spätere berufliche Praxis konzipiert.

Fragen, die die KMT betreffen bitte an kmt@imt.uni-stuttgart.de.

Unter <https://www.imt.uni-stuttgart.de/lehre/vorlesungen> können Sie weitere, vom IMT angebotene, Lehrveranstaltungen einsehen.

Die Übung beginnt mit dem Einführungsseminar „Technische Kommunikation“. Anschließend starten die Gruppenübungen. In der Übung werden grundlegende Dinge des technischen Zeichnens vermittelt. Dazu zählen Ansichten und Darstellungen, Schnitte durch Bauteile um Funktionen im Inneren darzustellen, Zusammenbau- und Einzelteilzeichnungen sowie Bemaßungen und Toleranzen. Die Übung ist eine unbenotete Studienleistung (USL). ABER: das Bestehen ist notwendig, um das gesamte Modul zu bestehen! Das Bestehen ist jedoch keine Voraussetzung um die Prüfung anzutreten.

Prüfung

Das Modul beinhaltet eine Prüfung in EFL und eine Prüfung in KMT (über 2 Semester). Die KMT-Prüfung besteht aus zwei Teilen (Kurzfragen und Konstruktions-/ Berechnungsaufgaben).

Nachteilsausgleich

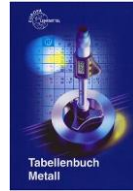
Studierende mit Behinderungen oder chronischen Erkrankungen haben gegenüber nicht beeinträchtigten Studierenden besondere Bedürfnisse, etwa bei der Erbringung von Studien- und Prüfungsleistungen. Durch das Recht auf einen Nachteilsausgleich sollen diese Bedürfnisse bestmöglich abgedeckt werden. Mehr zu dem Thema finden Sie unter <https://www.student.uni-stuttgart.de/studienorganisation/behinderung/>.

Studierende mit Kindern oder pflegebedürftigen Angehörigen haben ebenfalls einen Anspruch auf einen Nachteilsausgleich, um das Studium flexibler zu gestalten. Mehr zu diesem Thema finden Sie unter <https://www.student.uni-stuttgart.de/beratung/studium-und-familie/familienzeiten/>.



Literaturempfehlungen

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



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 4

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Literaturempfehlung

Die empfohlene Literatur kann in der Universitätsbibliothek ausgeliehen werden. Das Buch Maschinenelemente von Roloff/Matek kann zusätzlich kostenlos als E-Book heruntergeladen werden.



<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-26280-8>

1. Einführung

- 1.1 Ausbildungsziele
- 1.2 Vorlesungsinhalte
- 1.3 Definition des Begriffs „Konstruieren“
- 1.4 Tätigkeiten in Entwicklung und Konstruktion
- 1.5 Konstruktionsarten
- 1.6 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens
- 1.7 Analoger Designprozess
- 1.8 Literaturverzeichnis

1.1 Ausbildungsziele



Vermittlung von

- Fachwissen
- Methodenwissen
- Fähigkeiten und
- Fertigkeiten

Entwickeln und Konstruieren
(medizin-)technischer Produkte

Methodik

Technisches Zeichnen

Berechnung von Maschinenelementen

Gestaltung von Maschinenelementen

Innovations- und Gestaltungsprozess

Übertragung der Kenntnisse auch auf komplexere Aufgabenstellungen

Quelle:
de.cleanpng.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 6

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Ausbildungsziele

Ziel der Vorlesung und Übung „Konstruktion in der Medizingerätetechnik“ ist es, durch die Vermittlung von Fachwissen, Methodenwissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, einen wesentlichen Beitrag zur Ingenieurausbildung und zum Entwickeln und Konstruieren (medizin-)technischer Produkte zu leisten.

Außerdem soll die Faszination für Innovations- und Gestaltungsprozesse geweckt, ingenieurmäßige Fähigkeiten wie analytisches und systematisches Denken, Kreativität, technisches und wirtschaftliches Beurteilungsvermögen gefördert und Kenntnisse über Grundlagen der Berechnungen, Gestaltung von Maschinen bzw. Maschinenelementen, deren Funktion, Wirkprinzip, Einsatzgebiete und systematische Zusammenhänge verschiedener Maschinenelemente vermittelt werden.

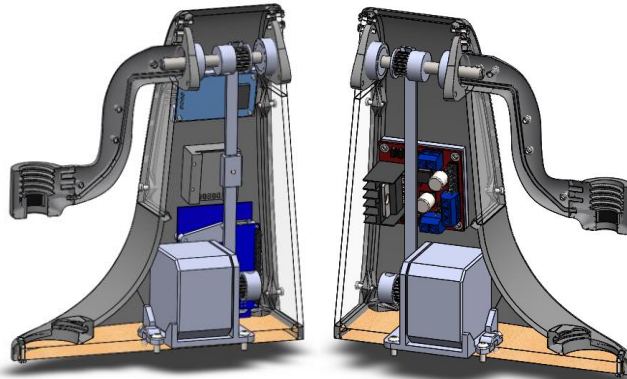
Dazu werden verschiedene Methoden erlernt und die gewonnenen Kenntnisse auch auf komplexere Aufgabenstellungen übertragen. Darüber hinaus lernen Sie richtig zu Skizzieren und die Grundlagen des Technischen Zeichnens.

Fertigkeit bezeichnet im Allgemeinen einen erlernten oder erworbenen Anteil des Verhaltens. Der Begriff der Fertigkeit grenzt sich damit vom Begriff der Fähigkeit ab, die als Voraussetzung für die Realisierung einer Fertigkeit betrachtet wird. Können umfasst Fähigkeit und Fertigkeit.

Maschinenelemente können mechanisch oder elektrisch bzw. elektronisch sein. Zu mechanischen Maschinenelementen zählen z.B. Achsen und Wellen, Lager, Zahnräder, Kupplungen, Planetengetriebe, Spannelemente, Schrauben, Bolzen, Dichtungen oder Federn. Elektrische Maschinenelemente sind beispielsweise Motoren, Schalter, Drehzahlregler oder auch die Motorelektronik.

1.1 Ausbildungsziele

Studentische Projekte am IMT



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 7

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Studentische Projekte

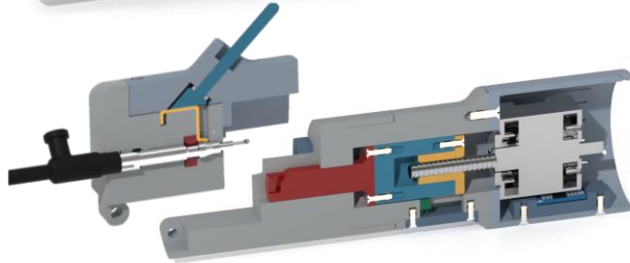
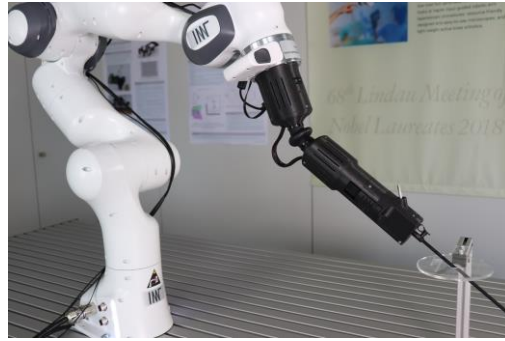
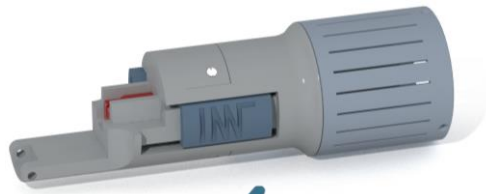
Auf der Folie ist das Resultat eines Projektes aus der Praktischen Entwicklung von Medizinprodukten (PEMP) zu sehen. Die PEMP ist eine Vorlesung, die im 6. Bachelor-Semester belegt werden kann. Hier wird eigenständig ein medizintechnisches Gerät entwickelt. Vergangenes Semester sollte eine Dosiereinheit entwickelt werden, die eine bestimmte Anzahl an Tropfen aus oben abgebildeten medizinischen Flaschen entnimmt. Dabei wurden Kenntnisse z.B. über Lager, Achsen, Wellen oder die Antriebstechnik, sowie Anforderungen an die Gestaltung (z.B. druckgerecht) und die Umwandlung von Bewegungsformen etc. angewandt. Dies sind alles Teilbereiche der KMT Vorlesung.



<https://www.imt.uni-stuttgart.de/lehre/vorlesungen/pemp/>

1.1 Ausbildungsziele

Studentische Projekte am IMT



Quelle:
Gerrit Friedrich, Bachelorarbeit, IMT

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 8

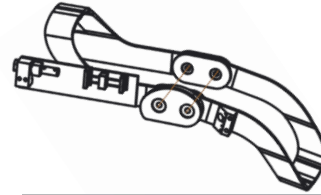
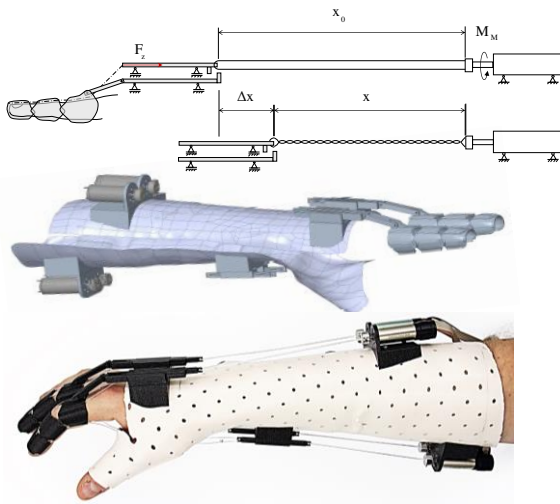
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Studentische Projekte

Am IMT wird im Bereich der Medizinrobotik geforscht. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde dabei eine Schnittstelle entwickelt, um konventionelle Instrumente der minimalinvasiven, laparoskopischen Chirurgie an einem Knickarmroboter zu lagern und zu aktuierten. Herausfordernd war dabei die Entwicklung einer kompakten und genauen Antriebseinheit, die Integration zahlreicher Funktionen in begrenztem Bauraum, sowie die Gestaltung für die Fertigung im 3D-Druck (FDM, Fused Deposition Modelling). Abgebildet ist neben dem ausgearbeiteten CAD-Modell und ausgewählten Schnittansichten auch der 3D-gedruckte Prototyp und dessen Test am Roboter.

1.1 Ausbildungsziele

Studentische Projekte am IMT



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 9

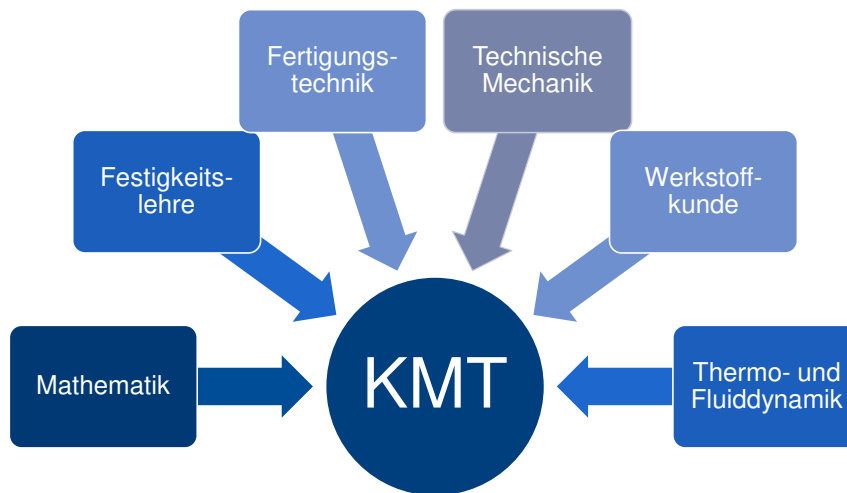
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Studentische Projekte

Anhand der Handorthese (links) und der Knieorthese (rechts) kann der Entwicklungsprozess, der mit dem Finden von Lösungsprinzipien startet, bis hin zur Erstellung eines CAD-Modells und dem Aufbau eines ersten Prototypen verdeutlicht werden. Zur Aktuierung wird in beiden Fällen ein Twisted-String-Antrieb verwendet. Die Funktionsweise des Twisted-String-Antriebs wird später im Kapitel noch verdeutlicht.

1.2 Vorlesungsinhalte

Synergien mit anderen Vorlesungen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 10

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Festigkeitslehre

Die Festigkeitslehre soll Spannungen und Verformungen in einem Bauteil ermitteln und nachweisen, dass sie mit ausreichender Sicherheit gegen Versagen des Bauteils aufgenommen werden. Die hierfür maßgebenden Werkstoffkennwerte sind abhängig von dem Spannungszustand, von den Spannungsarten (Zug-, Druck-, Schubspannung), vom Belastungszustand (statisch/dynamisch), von der Betriebstemperatur, sowie von der Größe und Oberflächenbeschaffenheit des Bauteils.

Fertigungslehre

Die Fertigungslehre behandelt die Fertigungsverfahren bzw. Herstellverfahren von Bauteilen wie z.B. spanende Bearbeitung (Drehen, Fräsen etc.) oder spanlose Bearbeitung (Gießen, Spritzen, Schmieden etc.).

Mathematik

Die Mathematik liefert die mathematischen Grundlagen.

Thermodynamik

Die Thermodynamik untersucht geschlossene und offene Systeme und ermittelt die Energie- und Stoffbilanz.

Werkstoffkunde

Die Eigenschaften von Bauteilen werden durch die Werkstoffwahl entscheidend beeinflusst. Das Ziel der Werkstoffkunde ist die Eigenschaftsoptimierung.

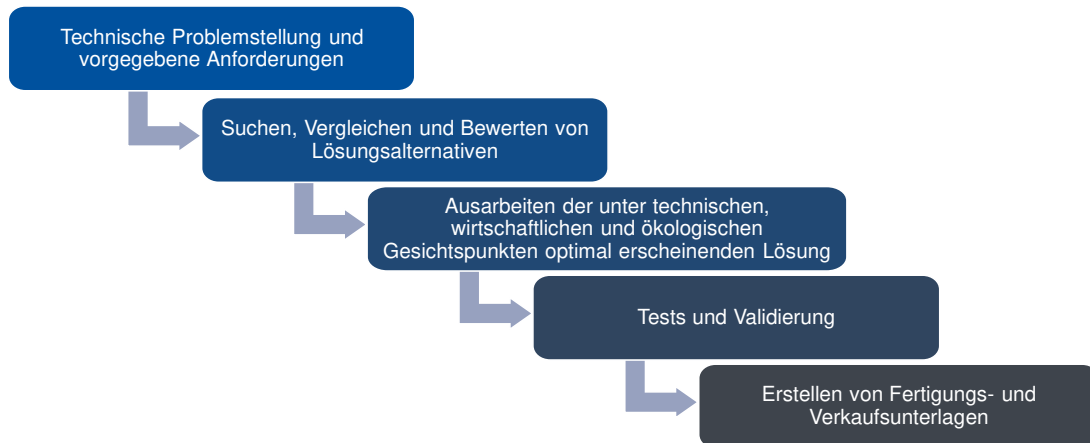
Technische Mechanik

Die technische Mechanik behandelt die Statik starrer Körper, d.h. die Lehre vom Gleichgewicht starrer Körper, die Kinematik, d.h. die Lehre von der geometrischen und analytischen Beschreibung der Bewegungszustände von Körpern sowie der Kinetik, d.h. die Bewegung von Massepunkten, Körpern etc.

→ Alle genannten Vorlesungen/Fachgebiete stehen in engem Zusammenhang zur KMT

1.3 Definition des Begriffs „Konstruieren“

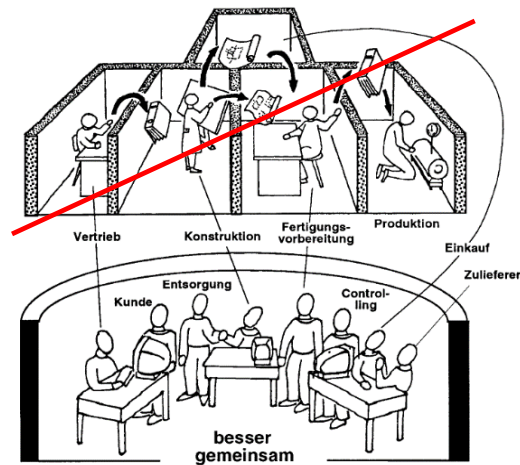
Schöpferische Tätigkeit:



Konstruieren

Der Begriff Konstruieren umfasst nicht nur z.B. das reine Entwerfen eines CAD-Modells. Vielmehr startet die Aufgabe mit einer technischen Problemstellung und vorgegebenen Anforderungen. Im Anschluss sind zunächst Lösungsalternativen zu suchen, welche diese Anforderungen erfüllen. Die erarbeiteten Lösungsalternativen werden unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten miteinander verglichen und bewertet. Die am besten erscheinende Lösung wird dann ausgearbeitet und anschließend auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft. Fallen alle Tests positiv aus, können die Fertigungs- und Verkaufsunterlagen angefertigt werden, in denen alle relevanten Daten dokumentiert werden. Für diese schöpferische Tätigkeit benötigt der Konstrukteur natur- und ingenieurwissenschaftliches Grundlagen- und Methodenwissen, spezielles Erfahrungswissen sowie persönliche Fähigkeiten und Fertigkeiten.

1.4 Tätigkeiten in Entwicklung / Konstruktion



Quelle:
Ehrlenspiel

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 12

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Tätigkeiten in der Entwicklung / Konstruktion

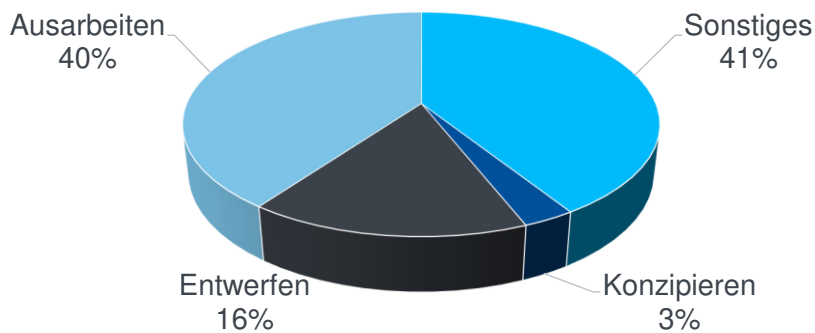
Als Entwickler*in bzw. Konstrukteur*in ist man in den gesamten Produktentstehungsprozess eingebunden. Die Projektarbeit findet in interdisziplinären Teams statt.

Simultaneous Engineering

Bei der Produktentwicklung wird häufig auf das sogenannte Simultaneous Engineering zurückgegriffen. Es beschreibt eine Methode, die die Phase der Produktentwicklung verkürzen soll. Dabei werden notwendige Entwicklungsarbeiten parallel durchgeführt. Eine gute Kommunikation und Teamarbeit ist auch hier ausschlaggebend für ein erfolgreiches Ergebnis.

1.4 Tätigkeiten in Entwicklung / Konstruktion

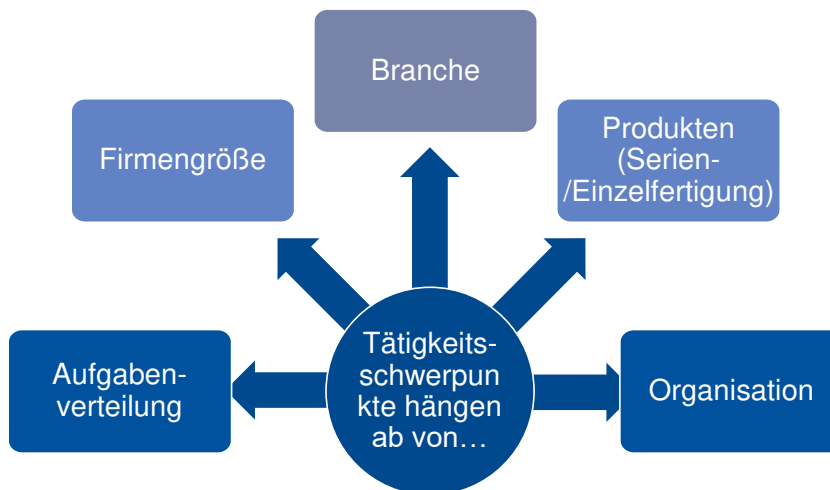
Zeitanteile von Konstruktionstätigkeiten



Konstruktionstätigkeiten

Das Konzipieren beinhaltet das Erstellen von Lösungskonzepten für ein konstruktives Problem. Das Entwerfen stellt dann die konkrete Erstellung eines Konstruktionsentwurfs dar. Beim Ausarbeiten wird der Entwurf detaillierter ausgearbeitet, damit die Bauteile später gefertigt und montiert werden können. Zur Kategorie Sonstiges zählt viel Organisation, wie z.B. Änderungswesen an bestehenden Produkten, Besprechungen, Teilnahme an projektübergreifenden Problemen, Verwaltungsarbeit etc.

1.4 Tätigkeiten in Entwicklung / Konstruktion



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 14

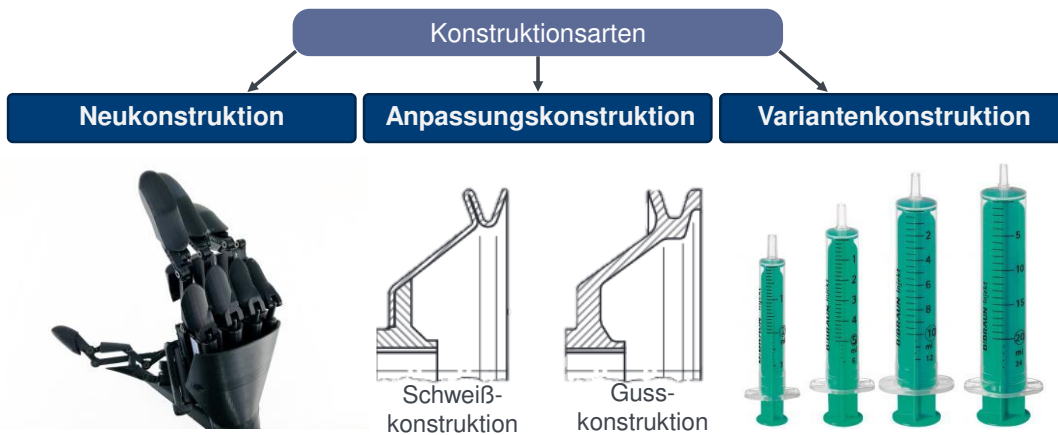
Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Tätigkeitsschwerpunkte

In großen Unternehmen mit Serienfertigung, wie z. B. Kraftfahrzeughersteller, sind Forschung, (Vor-)Entwicklung und (Serien-)Konstruktion getrennte Bereiche mit sehr unterschiedlichen Aufgabenstellungen und daraus abgeleiteten Tätigkeiten, die durch eine hohe Aufgabenteilung gekennzeichnet sind. In der (Vor-)Entwicklung wird das neue Produkt bis zur Erstellung eines Prototypen oder Musters bearbeitet. Nach der anschließenden Erprobung wird das Produkt in der (Serien-)Konstruktion bis zur Serienreife ausgearbeitet. Die Komplexität des Produkts bringt mit sich, dass der/die Konstrukteur*in hier oft nur noch für eine Baugruppe oder gar ein einzelnes Teil zuständig ist. Dabei werden immer mehr leistungsfähige Berechnungs- und Simulationsprogramme eingesetzt, was wiederum dazu führt, dass für die Anwendung dieser komplexen Werkzeuge entsprechend ausgebildete Spezialisten*innen hinzugezogen werden müssen.

In kleineren Unternehmen kann der/die Konstrukteur*in hingegen auch für eine gesamte Maschine oder Anlage verantwortlich sein, woraus sich sehr vielfältige Tätigkeiten, von der Anforderungsermittlung über das Entwerfen hin zum Ausarbeiten der Fertigungsunterlagen bis zur Inbetriebnahme der Maschine, ergeben.

1.5 Konstruktionsarten



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

Quelle:
Youbionic, europa-lehrmittel, Praxindo

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 15

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Neukonstruktion

Bei einer Neukonstruktion handelt es sich um eine Aufgabenstellung, die neu oder bereits bekannt, aber verändert ist. Ein neues Lösungsprinzip wird durch die Auswahl und Kombination bekannter Prinzipien und Technologien oder einer technischen Neuentwicklung erarbeitet.

Anpassungskonstruktion

Bei einer Anpassungskonstruktion werden bereits bekannte bzw. sich bereits bewährte Lösungsprinzipien beibehalten. Es ist lediglich eine Anpassung der Gestaltung des Produkts an veränderte Randbedingungen oder eine Neukonstruktion einzelner Teile und Baugruppen nötig. Im Vordergrund stehen geometrische, festigkeitsmäßige, fertigungs- und werkstofftechnische Fragestellungen.

Variantenkonstruktion

Bei einer Variantenkonstruktion werden die Größe und/oder Anordnung von Teilen und Baugruppen variiert (z. B. Baureihen, Baukästen). Dabei wird das Lösungsprinzip ebenfalls beibehalten, Abmessungen können abgeändert werden. Bei dieser Art der Konstruktion treten meist keine größeren konstruktiven Probleme auf.

1.6 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)

Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

Der Konstruktionsprozess ist ein informationstechnischer Prozess, bei dem Informationen gewonnen, verarbeitet und ausgegeben werden. 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.

Rechnerunterstützung in der Konstruktion

Rechner-basierte Hilfsmittel haben nicht nur das Arbeitsumfeld, sondern auch die Arbeitsweisen und Arbeitstechniken des*r Konstrukteurs*innen maßgeblich verändert.

CAD-System

Auto-Differenzialgetriebe: Animation erstellt mit Autodesk Inventor

https://www.youtube.com/watch?v=zyNO_hNlhws

FEM-Programme

“FEM - Dynamic analysis of the hertzian contacts in a back up roll bearing”

<https://www.youtube.com/watch?v=20exjzKSzB8>

CFD-Programme

Flow Separation - CFD Unsteady Simulation

<https://www.youtube.com/watch?v=fCniTNB2ONQ>

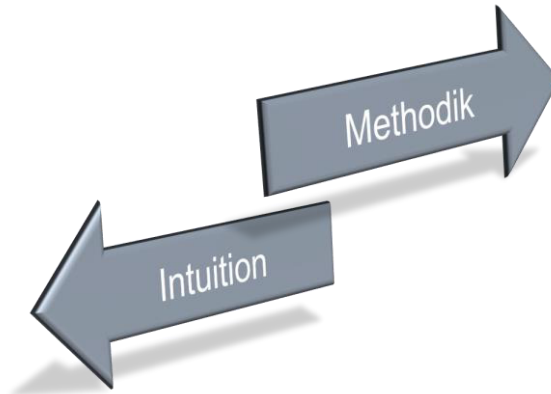
CFD of Left Ventricle Blood Flow

<https://www.youtube.com/watch?v=M6MAWTgZEQY>



1.6 Hilfsmittel und Methoden des Konstruierens

Methoden



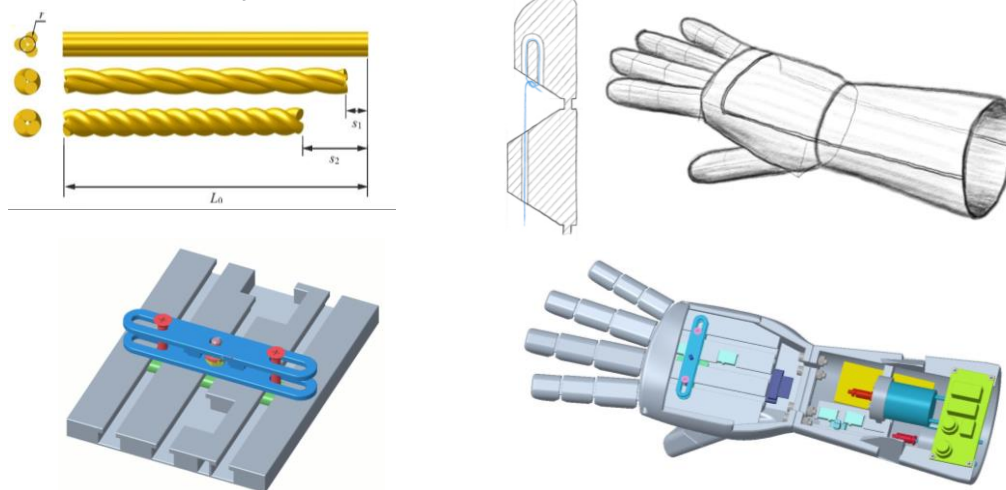
Methoden zum Konstruieren

Methoden zum Konstruieren sollen ein planvolles und problemorientiertes Vorgehen ermöglichen, d.h. prinzipiell bei jeder konstruktiven Tätigkeit branchenunabhängig anwendbar sein. Des Weiteren sollen die verwendeten Methoden erfindungs- und erkenntnisfördernd sein, d.h. das Finden bestmöglicher Lösungen erleichtern. Die Lösungen sollen nicht zufallsbedingt erzeugt werden, wodurch Fehlentscheidungen vermieden werden können. Methodisches Konstruieren erleichtert die Arbeit und spart Zeit, auch indem eine Übertragung der Lösung auf verwandte Aufgaben ermöglicht wird. Die Methoden sollen lehr- und erlernbar sein. Darüber hinaus sind solche Methoden speziell für Berufsanfänger eine gute Hilfe, trotz mangelnder Berufserfahrung und Fachkenntnissen, zu guten konstruktiven Lösungen zu gelangen.

Aus der Vielzahl dieser Methoden sei hier exemplarisch nur die Konstruktionsmethodik genannt, deren Grundlagen in Kapitel 8 beschrieben werden.

1.7 Analoger Designprozess – Light-Weight-Low-Cost Hand

Studentisches Projekt am IMT



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 18

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Light-Weight-Low-Cost Hand

Amputationen stellen für Betroffene eine erhebliche Einschränkung für den Alltag dar und verursachen psychische und physische Probleme. Handprothesen können die durch Amputation entstandenen Probleme lindern. Die derzeit auf dem Markt vorhandenen Prothesen liegen in einem Kostenbereich von 25.000-70.000€ und beinhalten komplexe Technologien, was die Entwicklung einer kostengünstigen und verfügbaren Alternative motiviert.

Die Flexion der Finger erfolgt bei der Light-Weight-Low-Cost Hand mittels eines Twisted String Antriebs. Der Twisted String Antrieb erzeugt relativ hohe Zugkräfte, indem ein Faserbündel entlang der Längsachse durch einen Motor verdrillt wird und sich damit verkürzt. Erste Gestaltungskonzepte sind in den Skizzen rechts oben abgebildet. Auf der Folie links unten ist der entworfene Mechanismus für variables Greifen beliebiger Geometrien unter Einsatz aller vier Finger dargestellt. Das fertige CAD-Modell der Handprothese mit allen Komponenten (inklusive der Elektronik) ist rechts unten abgebildet.

1.7 Analoger Designprozess – Light-Weight-Low-Cost-Hand

Studentisches Projekt am IMT



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 19

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Light-Weight-Low-Cost Hand

Auf der Folie ist der erste Prototyp der Light-Weight-Low-Cost Hand zu sehen. Die schöpferische Aufgabe des Konstruierens ist aber, wie bereits gelernt, damit nicht beendet. Tests und eine Validierung des Prototypen sind essentiell, um zu überprüfen inwieweit die Anforderungen erfüllt werden und welche Komponenten nochmals überarbeitet werden müssen. Im Falle der Light-Weight-Low-Cost Hand wird im Validierungsversuch getestet, wie groß Objekte sein müssen, um sie mit der Hand greifen und halten zu können.

1.8 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



Universität Stuttgart

Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

2. Maschinenelemente

WS 2020/21

Prof. Dr.
Peter P. Pott

2. Maschinenelemente

Inhalt

- 2.1 Achsen und Wellen
- 2.2 Wellen-Naben-Verbindungen
- 2.3 Lager
- 2.4 Kupplungen
- 2.5 Getriebe
- 2.6 Dichtung
- 2.7 Federn
- 2.8 Verbindungen
- 2.9 Literaturverzeichnis

2. Maschinenelemente



- Systematische Einteilung der Maschinenelemente: Gliederung nach

Funktion

Wirkprinzip

Gestaltung

Quelle:
www.flohr-industrietechnik.de, www.conrad.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 3

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

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 Elementgruppen verwendet.

Mechatronische Komponenten bestehen aus Kombinationen von mechanischen, elektrischen/elektronischen bzw. pneumatischen/ hydraulischen Elementen.

Ein Maschinenelement kann aus einem Teil (z.B. Schraube, Mutter, Feder, etc.), mehreren Teilen (z.B. Wälzlager, Ringfeder-Spannelement, Gleitringdichtung, etc.) oder mehreren einfachen Maschinenelementen (z.B. Kupplung, Riementrieb, Zahnradgetriebe, Ventil, etc.) bestehen.

Die Maschinenelemente müssen unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden und deshalb auch unterschiedliche Funktionen erfüllen.

Beispiele für Maschinenelemente der Verbindungstechnik:

Kleberverbindungen, Lötverbindungen, Schweißverbindungen, Schraubenverbindungen, Nietverbindungen, Bolzen- und Stiftverbindungen, Federn

Beispiele für Maschinenelemente der Antriebstechnik:

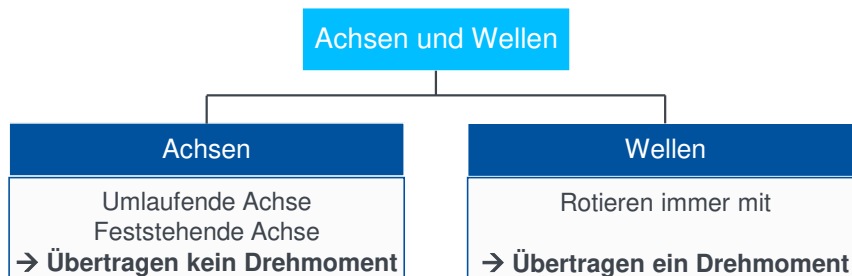
Achsen und Wellen, Welle-Nabe-Verbindungen, Lager, Dichtungen

Beispiele für Konstruktionselemente der Antriebstechnik:

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

2.1 Achsen und Wellen

2.1.1 Unterscheidung



Achsen

Achsen tragen und lagern rotierende Elemente. Dabei kann das rotierende Element fest mit der Achse verbunden sein (**umlaufende Achse**) oder das rotierende Element dreht sich lose auf der Achse (**feststehende Achse**). Achsen leiten die Rotation nicht weiter, sie übertragen kein Drehmoment aber Kräfte.

Wellen

Wellen rotieren immer mit und übertragen die Rotation auf weitere Bauelemente. Wellen übertragen ein Drehmoment.

→ Achsen und Wellen sind Bauteile, die bei Rotationsbewegungen eingesetzt werden.

2.1 Achsen und Wellen

2.1.2 Achsen



Steckachse am Rollstuhl



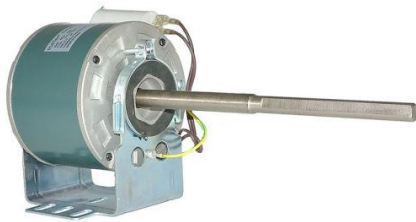
Bolzenachse am Bremshebel
des Rollstuhls

Achsen – Beispiele

In der linken Abbildung ist eine Steckachse eines Rollstuhls dargestellt. Steckachsen werden oftmals eingesetzt, wenn eine einfache und werkzeugfreie (De-)Montage des Rades gewünscht ist. Auch im Bremshebel des Rollstuhls ist eine Achse, genauer eine Bolzenachse (siehe blaue Pfeile), verbaut.

2.1 Achsen und Wellen

2.1.3 Wellen



Elektromotor mit langer Welle



Getriebewelle

Quelle:
hvac-fanmotor.com, ingenieurkurse.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 6

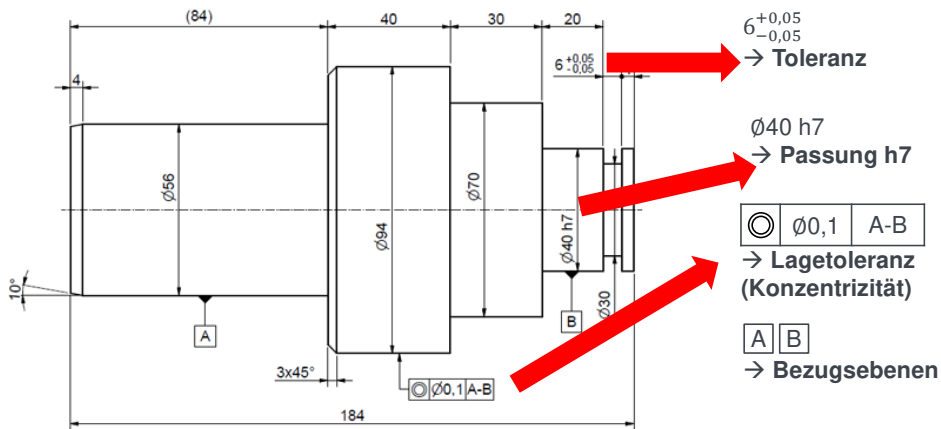
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Wellen – Beispiele

Wellen werden beispielsweise in Getrieben eingesetzt. Man spricht dann von Getriebewellen (Abbildung rechts). Ein weiteres Beispiel ist die Welle eines Elektromotors. In der linken Abbildung ist ein Elektromotor mit einer besonders langen Welle abgebildet.

2.1 Achsen und Wellen

2.1.4 Technische Zeichnung



Quelle:
technisches-zeichnen.net

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

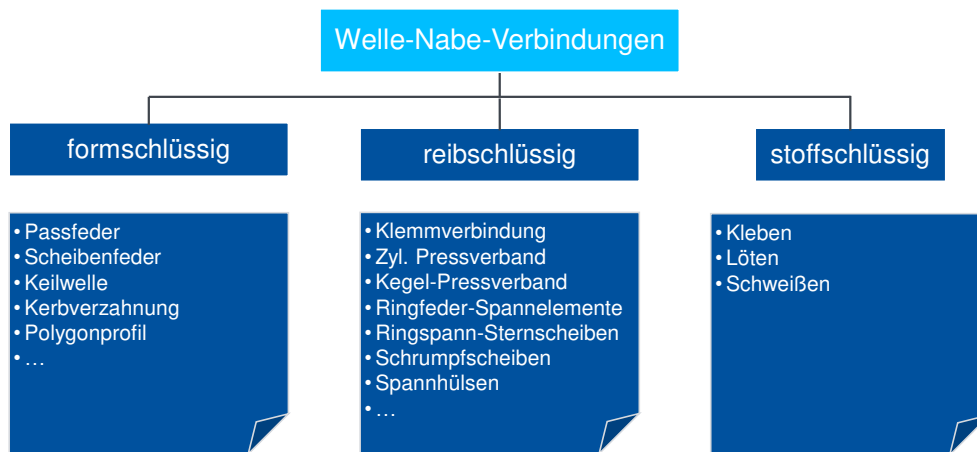
Folie 7

Institut
für
Medizingerätetechnik

Welle – technische Zeichnung

Auf der Folie ist eine technische Zeichnung einer Welle dargestellt. Neben den jeweiligen Durchmessern und Längen der einzelnen Absätze sind auch Anmerkungen zur Toleranz bezüglich eines gegebenen Maßes, zur Lagetoleranz und zur erforderlichen Passung angegeben.

2.2 Welle-Nabe-Verbindung



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 8

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Welle-Nabe-Verbindung

Die Nabe ist ein Maschinenelement, das mit einer Bohrung versehen ist und dadurch auf eine Welle oder Achse geschoben werden kann. Um eine Rotationsbewegung (Drehmoment) von einer Welle auf ein anderes Bauteil zu übertragen, ist eine Welle-Nabe-Verbindung nötig, die die Welle mit der Nabe formschlüssig, kraftschlüssig oder stoffschlüssig verbindet.

Formschluss

Innenkontur der Nabe und Außenkontur der Welle passen ineinander, sodass das Drehmoment über die Flanken der Kontur in Form einer Flächenkraft übertragen werden kann

Reibschluss

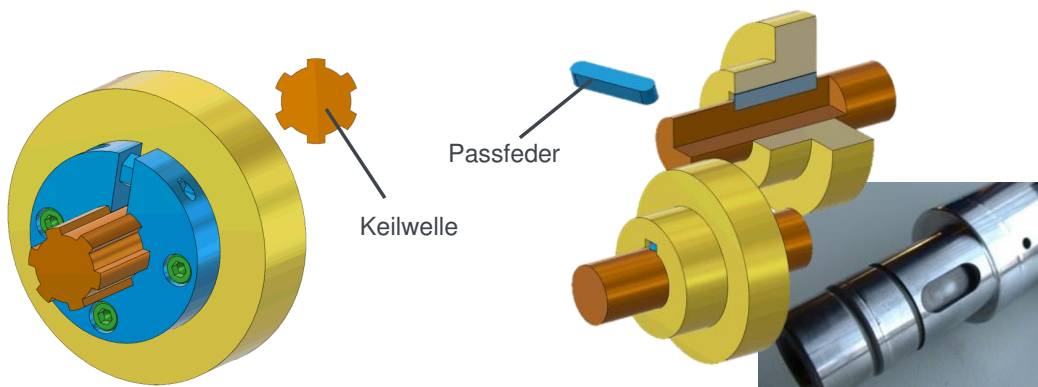
Welle und Nabe sitzen so fest aufeinander, dass das Drehmoment mit Hilfe der herrschenden Reibkraft übertragen wird.

Stoffschluss

Welle und Nabe sind fest über das Material miteinander verbunden.

2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.2 Formschlüssige Verbindungen



Quelle:
Lader.com, konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 9

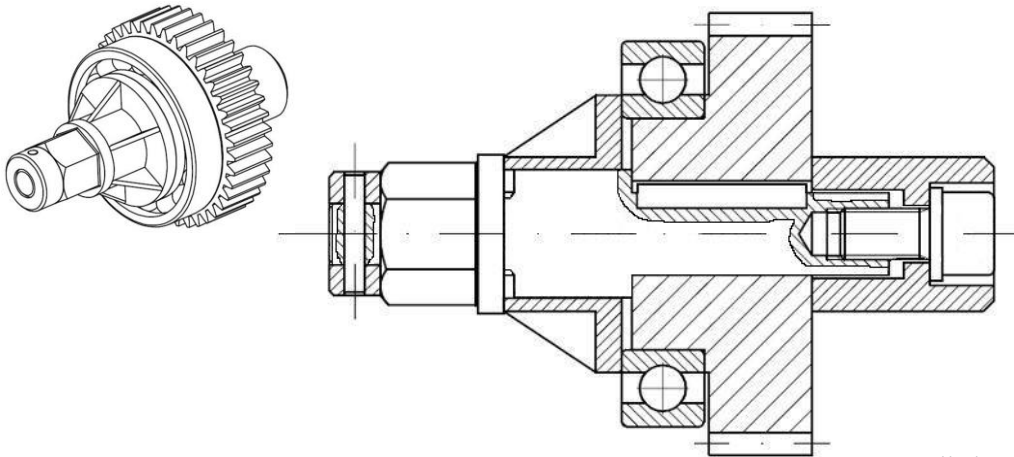
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindung

Die formschlüssige Welle-Nabe-Verbindung wird durch die Wahl spezieller Formen der Bauteile (z.B. eine Keilwelle) oder durch die Verwendung zusätzlicher Elemente (z.B. Passfedern) hergestellt. Bei der Passfederverbindung (Abbildung rechts) wird sowohl in die Welle als auch in die Nabe eine Nut gefräst, in welche anschließend die Passfeder eingelegt wird. Diese Welle-Nabe-Verbindung lässt sich leicht (de-)montieren und wird oft bei kleineren Drehmomenten eingesetzt. Bei der formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindung über eine Keilwelle (Abbildung links), weisen Welle und Nabe eine spezielle Form auf. Die in der Abbildung dargestellte Keilwelle besitzt 6 Keile auf ihrem Umfang.

2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.2 Formschlüssige Verbindungen - Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

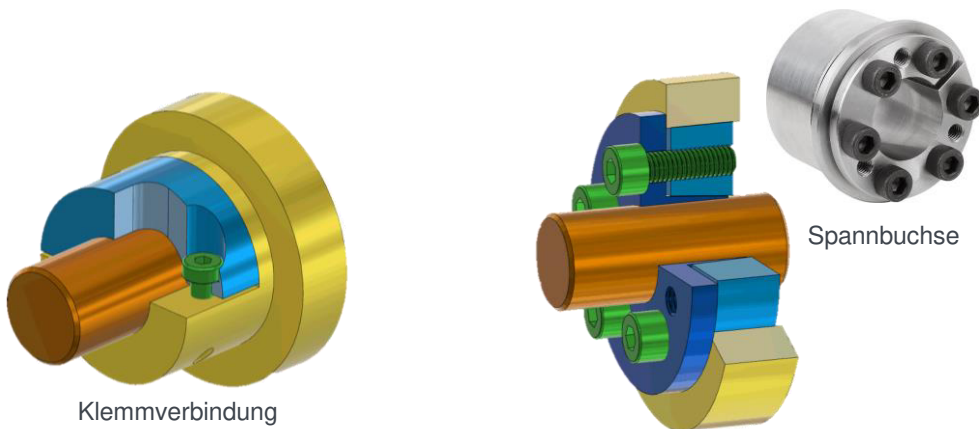
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 10

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.3 Kraftschlüssige Verbindung



Quelle:
norelem.de, konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 11

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindung

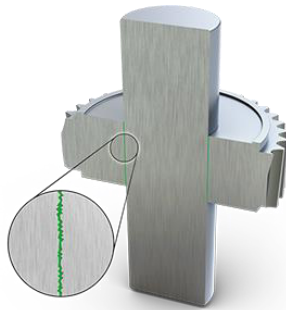
Die kraftschlüssige Verbindung zwischen Welle und Nabe erfolgt durch Reibung bzw. Anpressen eines Bauteils.

Die **Klemmverbindung** (links) wird häufig bei Wellen und Kupplungen eingesetzt. Die Nabe ist dabei zweiteilig. Eine kraftschlüssige Verbindung wird erzielt, indem die Welle durch Verschraubung der Halbschalen auf die Nabe geklemmt wird.

In dem **Spannelement** (rechts) werden die beiden Ringe mithilfe der Schrauben gegeneinander verspannt. Durch die Konus-Form der Ringe wirken Radialkräfte auf die Welle und die Nabe und eine Drehmomentübertragung wird ermöglicht.

2.2 Welle-Nabe-Verbindung

2.2.4 Stoffschlüssige Verbindungen



Klebeverbindung



Schweißverbindung

Quelle:
fahrzeug-instandhaltung.ch

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 12

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

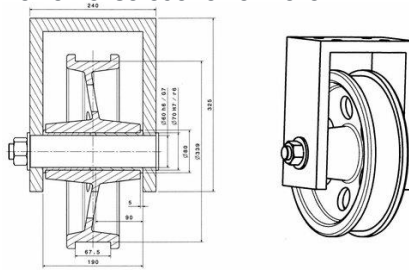
Stoffschlüssige Welle-Nabe-Verbindung

Bei **Klebeverbindungen** (links) wird die Nabe, wie der Name schon sagt, mit einem Klebstoff auf die Welle geklebt. Der Spalt zwischen Welle und Nabe sollte dabei maximal 0,2 mm breit sein. Wird ein warm ausgehärteter Klebstoff verwendet, muss die Nabe einen größeren Ausdehnungskoeffizienten im Vergleich zur Welle aufweisen. Der aufgetragene Klebstoff erwärmt sich während der chemischen Reaktion, wodurch sich die Nabe stärker ausdehnt als die Welle. Der Spalt zwischen Welle und Nabe wird größer und weiterer Klebstoff kann nachfließen. Nachdem die chemische Reaktion beendet ist, erkaltet der Klebstoff auf Normaltemperatur, ohne Änderung des Volumens. Die Nabe hingegen schrumpft während des Abkühlungsprozesses, wodurch eine feste Verbindung erzielt wird.

2. Maschinenelemente

Kontrollfragen

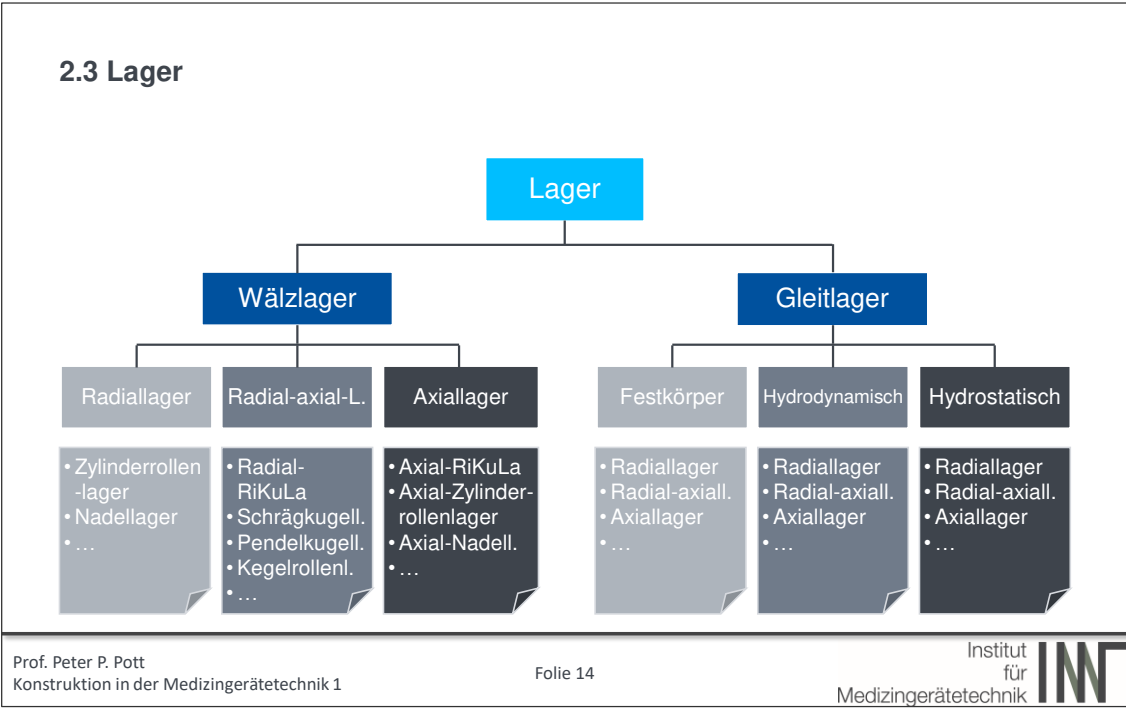
1. Wodurch unterscheiden sich Achsen und Wellen?
2. Ordnen Sie folgende Welle-Nabe-Verbindungen den Kategorien **formschlüssig**, **reibschlüssig** und **stoffschlüssig** zu: Klemmverbindung, Klebeverbindung, Polygonprofil.
3. Handelt es sich hier um eine Achse oder eine Welle?



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

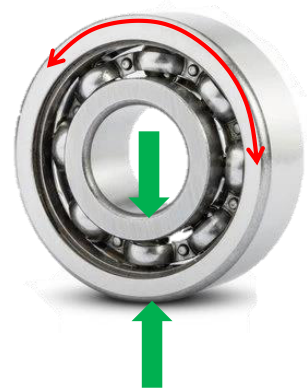
Folie 13

Institut
für
Medizingerätetechnik



2.3 Lager

2.3.1 Aufgaben



Quelle:
ottobock.de, bbraun.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 15

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Lager

Lager stützen und führen bewegliche Teile, die sich relativ zueinander bewegen. Dabei lassen sie nur Bewegungen in die vorgesehene Richtung zu. Zudem nehmen Lager äußere Kräfte und Momente auf und reduzieren die Reibung zwischen zwei bewegten Teilen, was einen reduzierten Verschleiß bedingt.

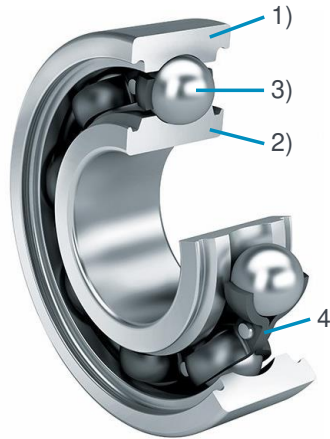
Lager können z.B. nach ihrem Wirkprinzip und nach der Richtung der Lagerkraft in Wälz- und Gleitlager bzw. Radial- und Axiallager eingeteilt werden. Darüber hinaus kann zwischen verschiedenen Bauformen wie z.B. Steh- und Flanschlager unterschieden werden.

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

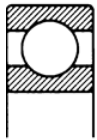
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 16

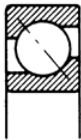
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Wälzlager

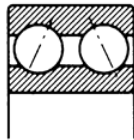
Es sind verschiedene Bauarten und Anordnungen eines Wälzlagers möglich.



Rillen-
kugellager



Schräggugellager
einreihig



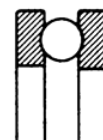
Schräggugellager
zweireihig



Vierpunkt-
lager



Pendel-
kugellager

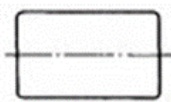


Axial-Rillen-
kugellager

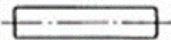
Die Wälzkörper sind dabei nicht in jedem Wälzlager kugelförmig. Je nach Anwendungsfall kommen verschiedene Formen zum Einsatz.



Kugel



Zylinderrolle



Nadelrolle



Kegelrolle



symmetr.
Tonnenrolle



unsymmetr.
Tonnenrolle

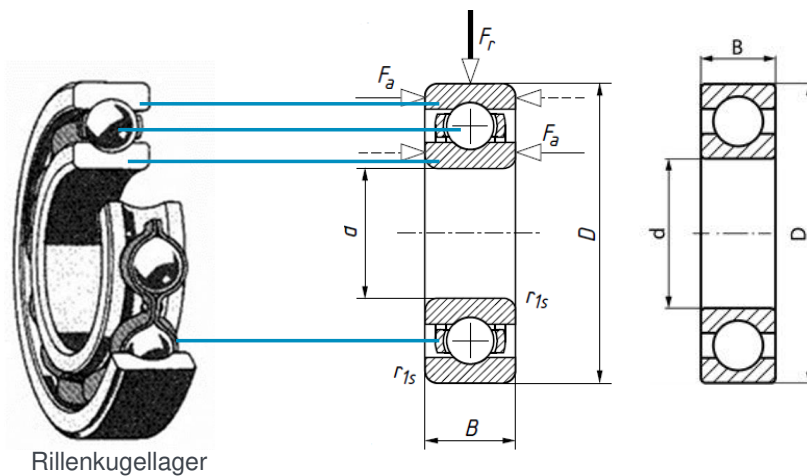


<https://www.youtube.com/watch?v=E2B5ERmHnNI>

Quelle:
Hinzen, FAG

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Technische Zeichnung



Rillenkugellager

Quelle:
Matek, Hinzen, maedler.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 17

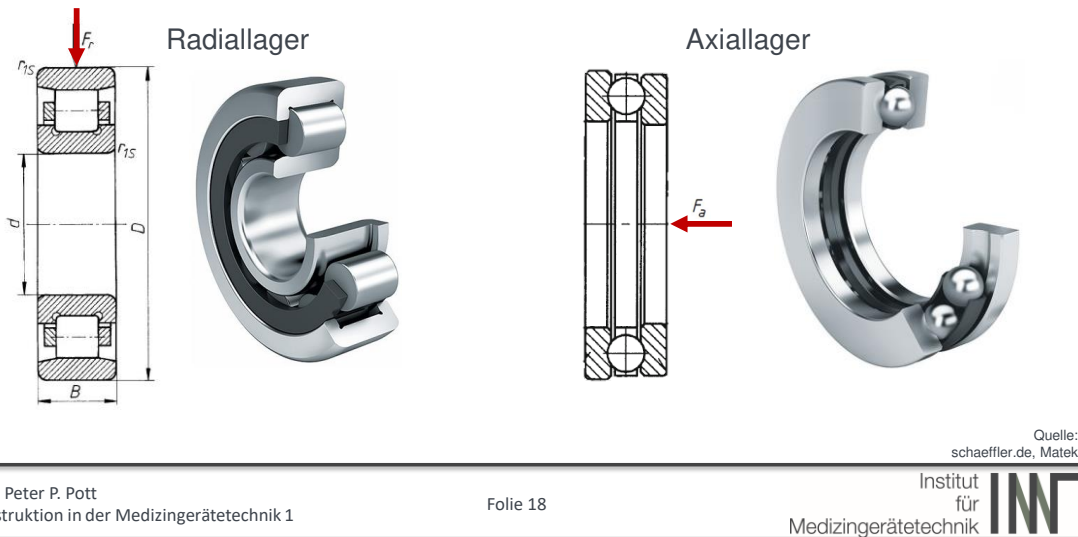
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Wälzlager – Technische Zeichnung

Auf der Folie ist die technische Zeichnung eines Rillenkugellagers zu sehen. Der Außen- und Innenring sowie der Käfig, in dem die Wälzkörper sitzen werden geschnitten. Die Wälzkörper selbst werden nicht geschnitten. Die rechte Abbildung ist eine vereinfachte Darstellung eines Rillenkugellagers, in der nur die drei relevanten Einbaumaße eines Lagers (Innen-, Außendurchmesser und Breite) eingetragen sind. In der Darstellung in der Mitte der Folie sind zudem die wirkenden Kräfte (Radialkraft, Axialkräfte) eingezeichnet.

2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 18

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Radiallager

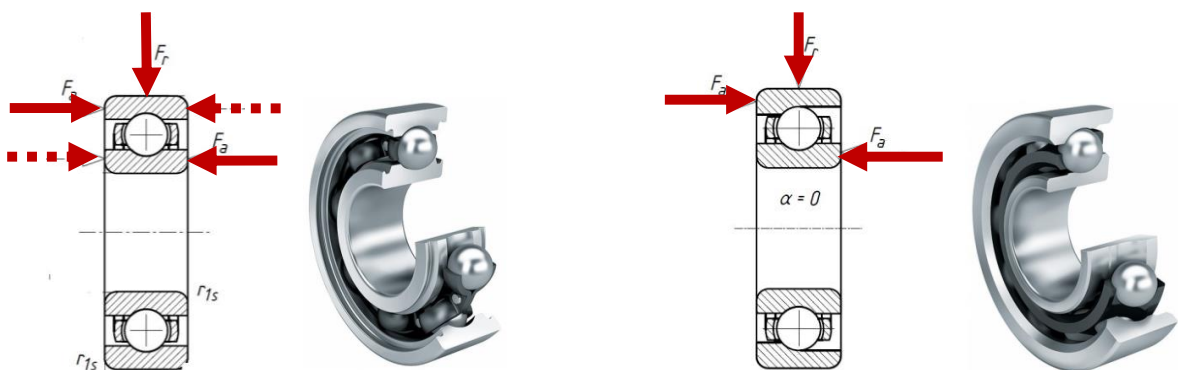
Radiallager werden bei radialen Belastungen, d.h. Belastungen, die senkrecht zur Welle wirken, verwendet. Auf der Folie dargestellt ist ein Zylinderrollenlager mit Zylinderrollen als Wälzkörper.

Axiallager

Axiallager werden bei axialen Belastungen, d.h. Belastungen, die in Richtung der Welle wirken, verwendet. Auf der Folie dargestellt ist ein einseitig wirkendes Axial-Rillenkugellager mit Kugeln als Wälzkörper. Diese Lager nehmen hohe Axialkräfte in nur einer Richtung auf. Sollen Axialkräfte in beide Richtungen aufgenommen werden, wird ein zweiseitig wirkendes Axial-Rillenkugellager benötigt.

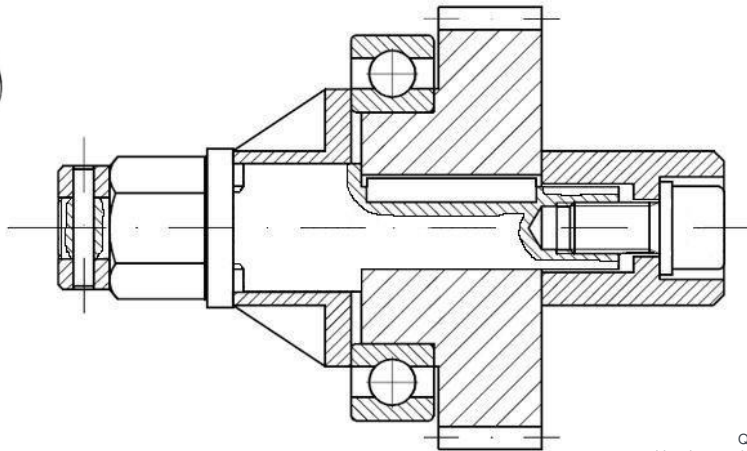
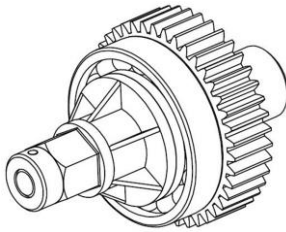
Radial-Axial-Lager

Radial-Axial-Lager werden verwendet, wenn sowohl Radial- als auch Axialkräfte aufgenommen werden sollen. Nachfolgend dargestellt sind ein Radial-Rillenkugellager (links) und ein Schrägkugellager (rechts).



2.3 Lager

2.3.2 Wälzlager – Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

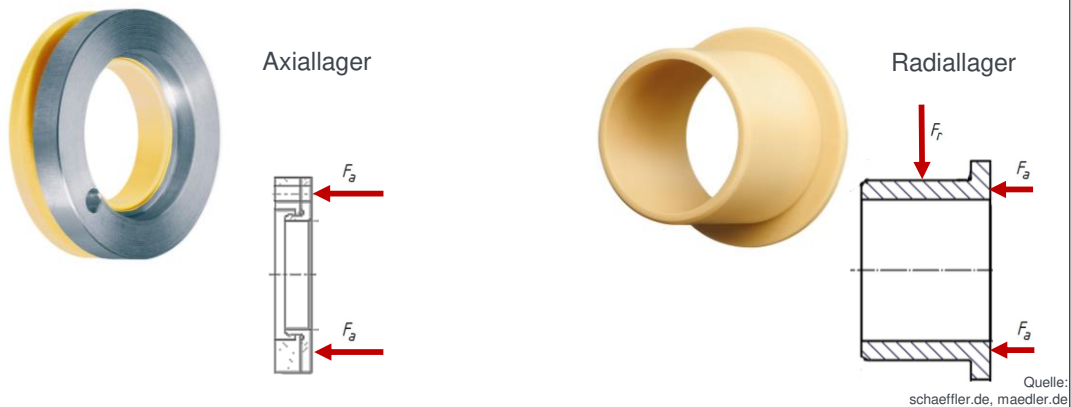
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 19

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 20

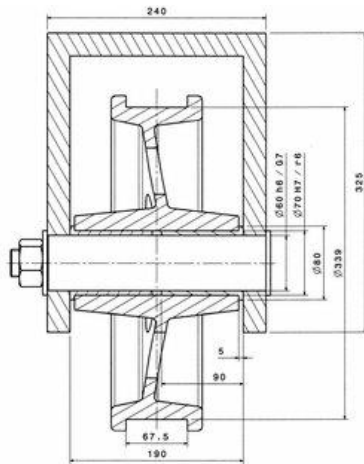
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Gleitlager

Bei Gleitlagern kommt es zu einer Gleitbewegung zwischen der Welle und der Lagerschale. Die dadurch entstehende Reibung kann durch die Wahl eines geeigneten Schmierstoffs (z.B.: Öle, Gase, Fette, Wasser, Festschmierstoffe) oder durch die Wahl geeigneter Werkstoffpaarungen verringert werden. Der Schmierstoff kann, falls nötig, durch eine externe Pumpe in den Zwischenraum eingebracht werden. Die einfachste Form der Gleitlager sind Lagerbuchsen, die auf die Welle aufgesteckt werden. Gleitlager werden teilweise mit einem Schmierloch gefertigt, durch das der Schmierstoff in das Lager gelangt. Das auf der Folie oben rechts dargestellte Lager besitzt zudem eine Flanschbefestigung.

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager – Anwendungsbeispiel



Quelle:
Hinzen

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 21

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

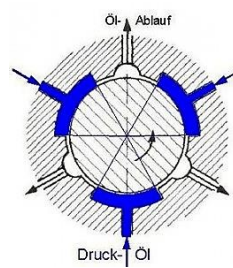
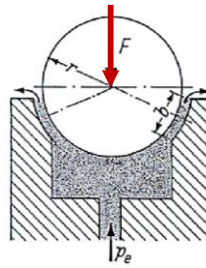
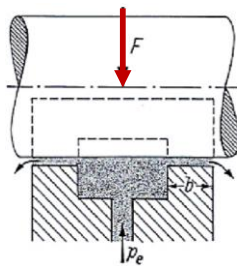
Gleitlager – Anwendungsbeispiel

Auf der Folie ist ein Modell und eine technische Zeichnung einer Bockrolle dargestellt. Bockrollen sind nicht schwenkbare Rollen, die demnach nur Bewegungen in eine Richtung durchführen können.



2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager - Hydrostatisch



Quelle: link.springer.com, Stuttgart.de



Quelle: netzkonstrukteur.de, directindustry.de, Roloff/Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 22

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

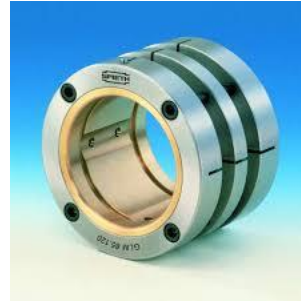
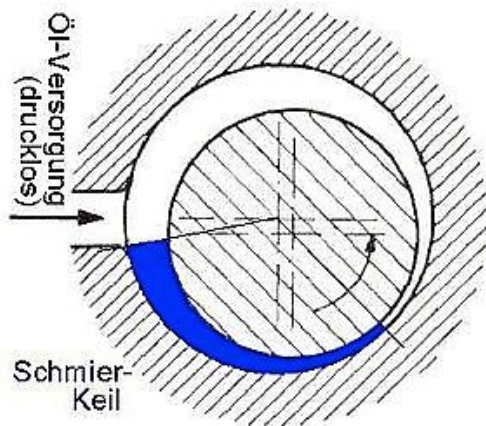
Hydrostatische Lager

Bei hydrostatisch wirkenden Gleitlagern wird die Tragkraft durch eine externe Druckerzeugung bereitgestellt. Das bedeutet, dass der nötige Schmierstoffdruck außerhalb der Lagerstelle durch eine Pumpe erzeugt wird. Hydrostatische Lager eignen sich für niedrige Drehzahlen und für verschleißfreie Präzisionslagerungen.

Der Brunnen steht in Stuttgart Stadtmitte an der Ecke Calwerstraße/Gymnasiumstraße.

2.3 Lager

2.3.3 Gleitlager - Hydrodynamisch



Quelle:
spieth-maschinenelemente.de, netzkonstrukteur.de, Roloff/Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 23

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Hydrodynamische Lager

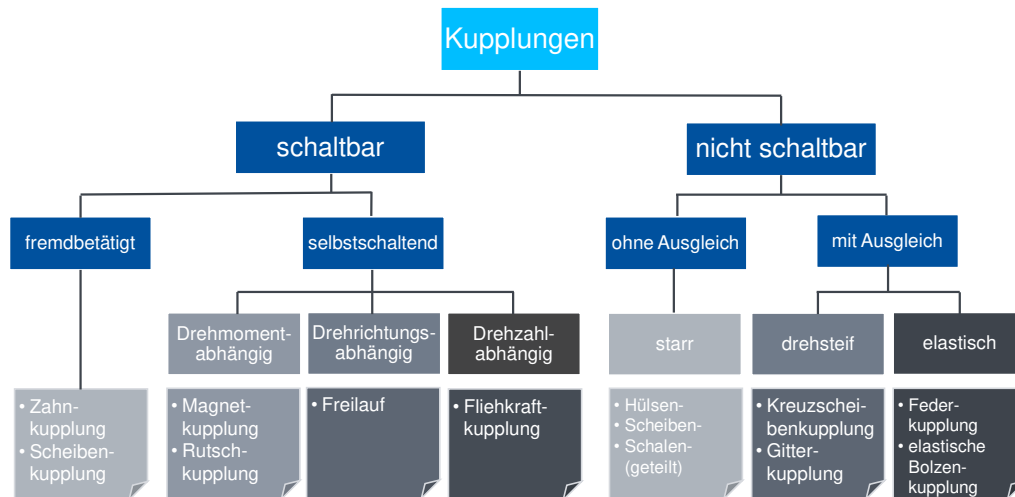
Hydrodynamische Lager arbeiten nach dem Prinzip der internen (dynamischen) Druckerzeugung. Der nötige Schmierstoffdruck baut sich allein aus der Relativbewegung zwischen der Welle und der Lagerschale auf. Hydrodynamische Lager werden z.B. bei hohen Drehzahlen und Belastungen oder für verschleißfreien Dauerbetrieb eingesetzt.

2. Maschinenelemente

Kontrollfragen

1. Erläutern Sie die Aufgaben von Lagern. Wie werden Lager bezüglich der Richtung ihrer Lagerkraft eingeteilt?
2. Wie lassen sich Wälzlager bezüglich der Form ihrer Wälzkörper einteilen?
3. Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile eines Gleit- bzw. Wälzlagers.

2.4 Kupplungen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 25

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Kupplungen

Die Hauptfunktion von Kupplungen ist die Übertragung der Rotationsenergie bzw. die Übertragung von Drehmomenten und Drehbewegungen. Zudem können Kupplungen Wellenverlagerungen ausgleichen (Ausgleichskupplung), Drehmoment-Stöße dämpfen (elastische Kupplung) oder Teile miteinander verschalten (Schaltkupplung).

2.4 Kupplungen

2.4.1 Unterteilung

- Hauptfunktion:

Übertragung von Rotationsenergie
(Drehmomente, Drehbewegungen)

- Mögliche Nebenfunktionen:



Ausgleichskupplung



Elastische Kupplung



Schaltkupplung

Quellen:
ke-next.de, ludwigmeister.de, directindustry.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 26

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Hauptfunktion

Die Hauptfunktion von Kupplungen ist die Übertragung der Rotationsenergie bzw. die Übertragung von Drehmomenten und Drehbewegungen.

Nebenfunktion: Ausgleichskupplung

Wellenenden fluchten nicht immer. Eigentlich nie, denn Wärmedehnung führt immer auch zu einem Wellenversatz. Daher ist es nötig, Winkel- und Radialversatz sowie möglichen Axialversatz auszugleichen. Die Kupplung agiert dabei wie ein kleines Gelenk. Die Ausgleichskupplung wird auch als flexible Kupplung, elastische Kupplung, Beam Kupplung und Wendelkupplung bezeichnet und gehört zu den verdrehsteifen und elastischen Kupplungen.

Nebenfunktion: elastische Kupplung

Drehmoment wird nicht immer stoßfrei erzeugt bzw. abgenommen. Um Schwingungen im Antriebstrang zu reduzieren, werden rotierende Dämpfungselemente eingesetzt. Auch können Vibrationen bzw. Geräusche auf diese Weise reduziert werden.

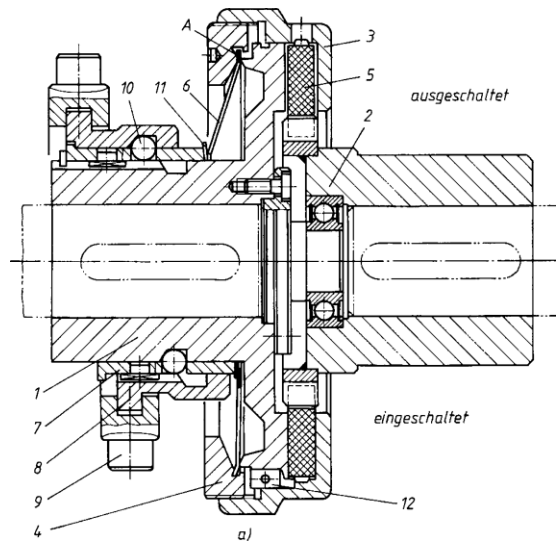
Nebenfunktion: Schaltkupplung

In vielen Systemen muss der Drehmomentfluss unterbrochen werden, ohne die Rotation stillzusetzen. Hierfür werden Schaltkupplungen eingesetzt. Auch die Überlastkupplung ist eine Schaltkupplung.

2.4 Kupplungen

2.4.2 Fremdbetätigte Kupplung

- **Schaltkupplung**


 Quelle:
Roloff/Matek

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 27

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schaltkupplung

Auf der Folie ist eine Ringspann-Schaltkupplung mit Rastung in ausgeschaltetem (oben) und eingeschaltetem (unten) Zustand dargestellt. Das Drehmoment wird von der Mitnehmernabe (2) über die Zahn-/Bolzenverbindung in die Reibscheibe (5) eingeleitet. Beim Einkuppeln wird der Kupplungsring (3) über den Einstellring (4) durch die Anpressfeder (6) nach links gegen die Reibscheibe (5) und die Kupplungsnahe (1) gepresst. Die Anpressfeder wird mittels des Schaltrings (9) über die 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. Das Ein- / Nachstellen der Kupplung erfolgt mithilfe des in den Kupplungsring eingeschraubten Einstellrings. Die in den Nuten geführten Zylinderrollen (12) ermöglichen das Verschieben der Teile (1) und (3) zueinander und verhindern damit das Verdrehen gegeneinander.

Gegenüber Lamellenkupplungen haben Zweiflächenkupplungen den...

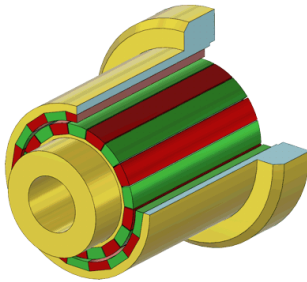
- ...Vorteil, dass die anfallende Reibungswärme besser gespeichert und abgeführt werden kann.
- ...Vorteil, dass das Leerlaufmoment kleiner ist.
- ...Nachteil, dass sie größer und teurer sind.

 Quelle:
Roloff/Matek

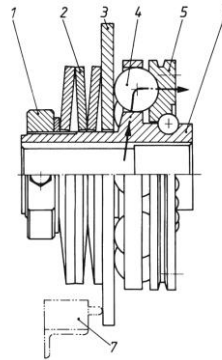
2.4 Kupplungen

2.4.3 Selbstschaltende Kupplung

- Drehmomentabhängig



Magnetkupplung



Sperrkörper-Sicherheitskupplung

Quelle:
konstruktionsatlas.de; Roloff/Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 28

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Selbstschaltende Kupplung – Drehmomentabhängig

In kraftschlüssigen Sperrkörper-Sicherheitskupplungen werden Kugeln oder Bolzen als Sperrkörper eingesetzt. Bei der auf der Folie dargestellten Sperrkörper-Sicherheitskupplung wird das Drehmoment von der Nabe (6) über die Sperrkörper (4) auf den Flansch (5) übertragen. Mit der Mutter (1) kann das Grenzmoment eingestellt werden. Wird dieses Grenzmoment überschritten, werden die Tellerfedern (2) durch die Sperrkörper (4) zusammengedrückt. Die Sperrkörper (4) rutschen aus der Vertiefung des Flansches (5) und die Kupplung rutscht durch. Soll der Motor stillgelegt werden, kann über die Scheibe (3) ein Endschalter (7) betätigt werden.

Quelle:
Roloff/Matek

Drehrichtungsabhängig: Freilauf

<https://www.youtube.com/watch?v=QjR7dimpSJA>
[renold.com]



Drehzahlabhängig: Fliehkraftkupplung

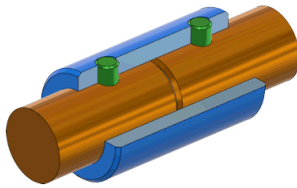
https://www.youtube.com/watch?v=qMj_UxfmJ68
[youtube.com/DihavGnaro]



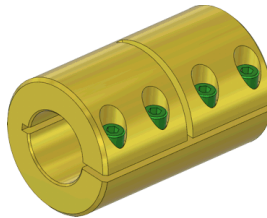
2.4 Kupplungen

2.4.4 Nicht-schaltbare Kupplung

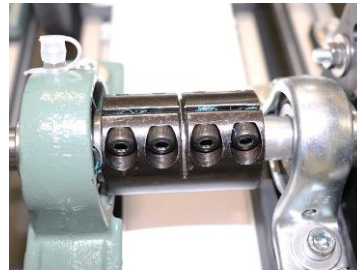
- Starr



Hülsekupplung



Schalenkupplung



Schalenkupplung an der
Nonsense-Maschine

Quelle:
konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 29

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

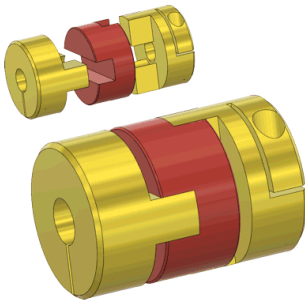
Starre Kupplung

Starre Kupplungen verbinden zwei Wellen zentrisch miteinander. Das bedeutet, sie gleichen im Gegensatz zu z.B. einer Ausgleichkupplung keinerlei Versatz aus. Aus diesem Grund sollten starre Kupplungen nur eingesetzt werden, wenn eine Fluchtung der beiden zu verbindenden Wellen gewährleistet ist. Die in einem System möglicherweise auftretenden Schwingungen werden über die starre Kupplung ungedämpft übertragen.

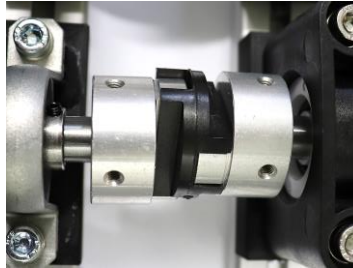
2.4 Kupplungen

2.4.4 Nicht-schaltbare Kupplung

- **Drehsteif** (Ausgleich von Wellenversatz)



Kreuzscheibenkupplung
(bei axialem Versatz)



Kreuzscheibenkupplung an
der Nonsense-Maschine

Quelle:
konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 30

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Drehsteife Kupplung

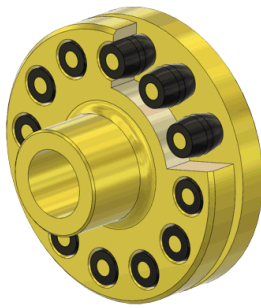
Drehsteife Kupplungen werden verbaut, wenn axialer oder radialer Wellenversatz ausgeglichen werden muss. Wellenversatz kann aufgrund von Toleranzen auftreten oder auch wenn die beiden Wellenenden nicht fluchtend verbaut sind. Drehsteife Kupplungen werden beispielsweise zur Anbindung von Encodern oder auch zur Übertragung von winkelgenauen Antriebsbewegungen von einem Servomotor zu einer Maschine eingesetzt.

Ein Beispiel für eine drehsteife Kupplung ist die Kreuzscheibenkupplung.

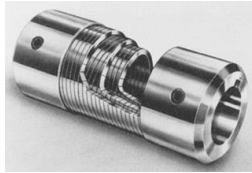
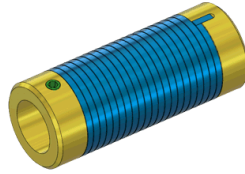
2.4 Kupplungen

2.4.4 Nicht-schaltbare Kupplung

- **Elastisch** (Dämpfung von Schwingungen und Stößen)



Elastische Bolzenkupplung



Federkupplung



Wendelkupplung an der
Nonsense-Maschine

Quelle:
konstruktionsatlas.de; Günther, Matek

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 31

Drehelastische Kupplung

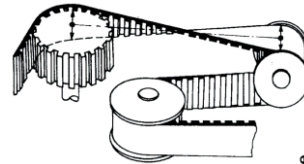
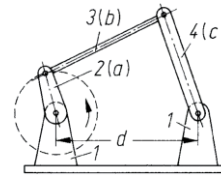
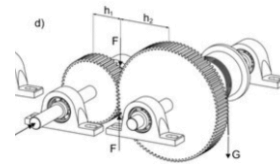
Drehelastische Kupplungen werden z.B. bei ungleichförmigen Drehbewegungen eingesetzt. Dabei soll die Übertragung von Schwingungen, die beispielsweise aus den eben genannten ungleichförmigen Drehbewegungen resultieren, abgeschwächt werden. Darüber hinaus können sie ebenfalls Wellenversatz ausgleichen. Je nachdem, wie elastisch die Kupplung ist, können teilweise nur geringe Drehmomente übertragen werden.

Federkupplung

Der Federkörper der Mehrlagen-Schraubenfeder-Kupplung (Abbildung in der Mitte) besteht aus drei gegenläufigen Schraubenfedern und ist in die Anschlussnaben eingelötet. Bei der Übertragung eines Drehmoments können sich immer zwei Federlagen aufeinander abstützen. Dadurch sind diese Kupplungen für beide Drehrichtungen verwendbar und weisen ein gutes Dämpfungsvermögen auf. Außerdem besitzen sie einen kleinen Außendurchmesser, eine glatte Oberfläche und sind völlig wartungsfrei.

2.5 Getriebe

2.5.1 Aufgaben



Quelle:
ahoeffer.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 32

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Getriebe – Aufgaben

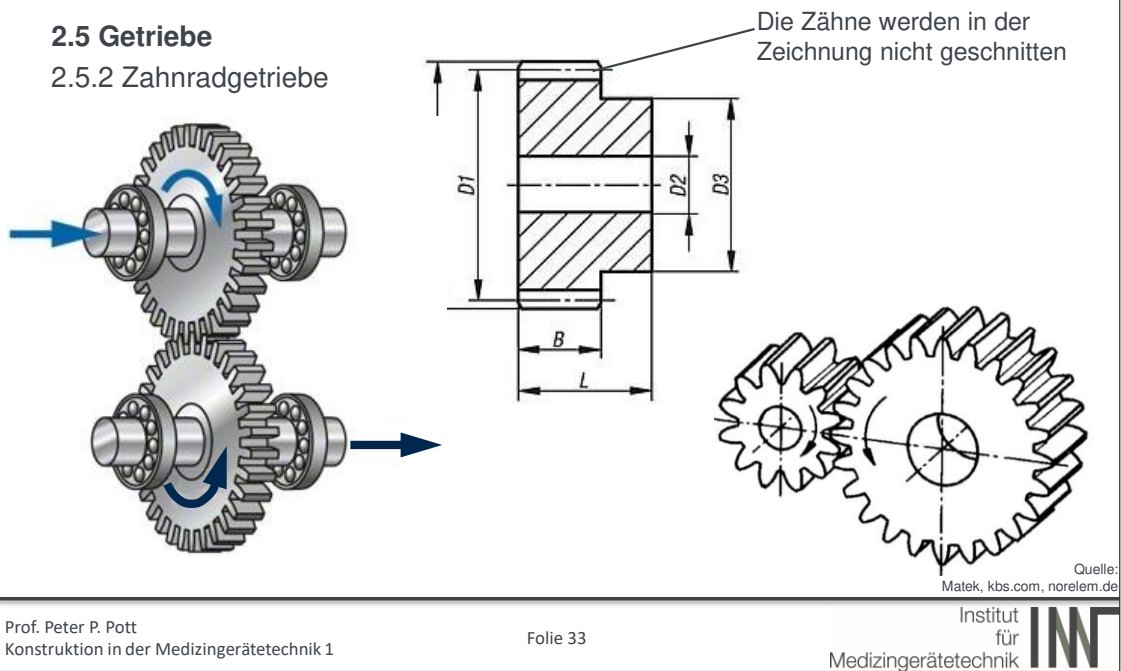
Ein Getriebe wird zwischen dem Antrieb und dem Abtrieb eines Gerätes eingesetzt. Ein Antrieb kann z.B. ein Motor oder die Pedale eines Fahrrads sein. Ein Abtrieb kann z.B. ein Rad oder ein Bohrfutter sein.

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 von Getrieben wie z.B.: Zahnradgetriebe oder Zugmittelgetriebe. Auch Systeme mit ungleichförmigen Übertragungen (z.B. Rotation zu Translation beim Scheibenwischer) zählen zu den Getrieben!

2.5 Getriebe

2.5.2 Zahnradgetriebe



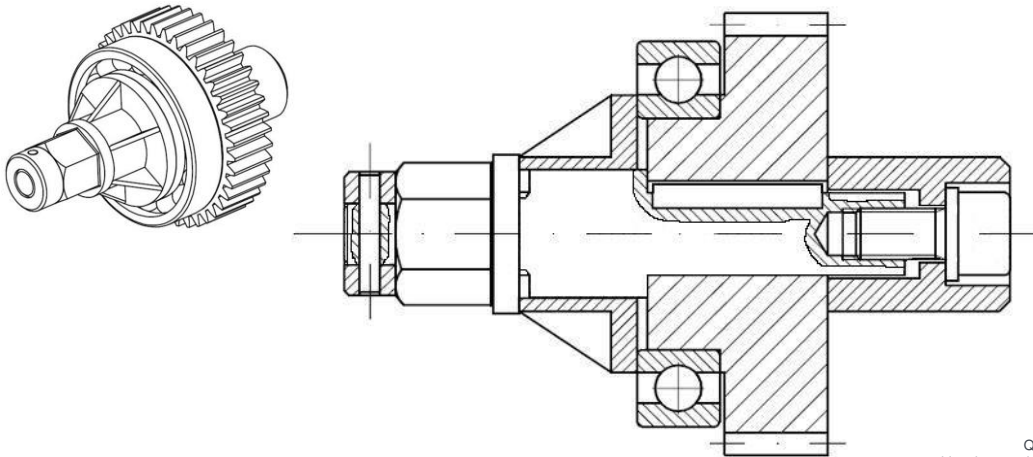
Zahnradgetriebe

Zahnradgetriebe sind Gruppierungen aus einem oder mehreren Zahnradpaaren. Sie werden zur Drehmomentübertragung zwischen zwei nicht fluchtenden Wellen genutzt. Die Rotationsbewegung wird von einem auf das andere Zahnrad übertragen und ändert dabei die Richtung. Bei unterschiedlicher Zähnezahl ändern sich die Drehzahl und das Drehmoment. Zahnradgetriebe besitzen einen relativ hohen Wirkungsgrad und können sehr kompakt verbaut werden. Da die Kraft formschlüssig übertragen wird, können Versätze nicht ausgeglichen werden. Es findet eine starre Kraftübertragung statt. Schwingungen im System stellen somit einen kritischen Faktor dar und sollten vermieden werden.

In der zeichnerischen Darstellungen werden die Zähne der Zahnräder **nicht** geschnitten.

2.5 Getriebe

2.5.2 Zahnradgetriebe – Das Zahnrad: Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 34

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

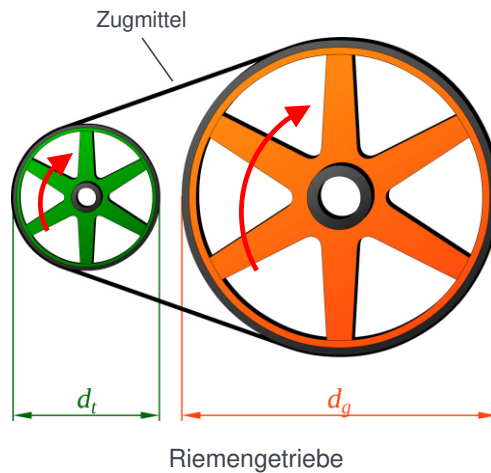


ahoefer.de

2.5 Getriebe

2.5.3 Zugmittelgetriebe

- Riemengetriebe
- Kettengetriebe



Quelle:
ahoefer.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 35

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Zugmittelgetriebe

Bei Zugmittelgetrieben wird zwischen Riemen- und Kettengetrieben unterschieden. Zugmittel übertragen im Allgemeinen eine Rotationsbewegung zwischen zwei Rädern bzw. Scheiben mithilfe eines Zugmittels. Besitzen die beiden Räder unterschiedliche Durchmesser, ändert sich die Drehzahl und das Drehmoment der Rotationsbewegung. Bei Riemengetrieben findet die Kraftübertragung von der sogenannten Antriebs- zur Abtriebswelle meist reibschlüssig statt. Zudem handelt es sich, im Gegensatz zu Zahnrad- oder auch Kettengetrieben, um eine elastische Kraftübertragung. Nachteilig ist unter anderem, dass durch Dehnung des Riemens keine konstante Übersetzung des Getriebes gewährleistet werden kann. Kettengetriebe hingegen, besitzen eine konstante Übersetzung und sind auch bei hohen Temperaturen und Schmutz einsetzbar. Kettengetriebe sind im Vergleich zu leistungsmäßig gleichwertigen Riemengetrieben meist teurer.



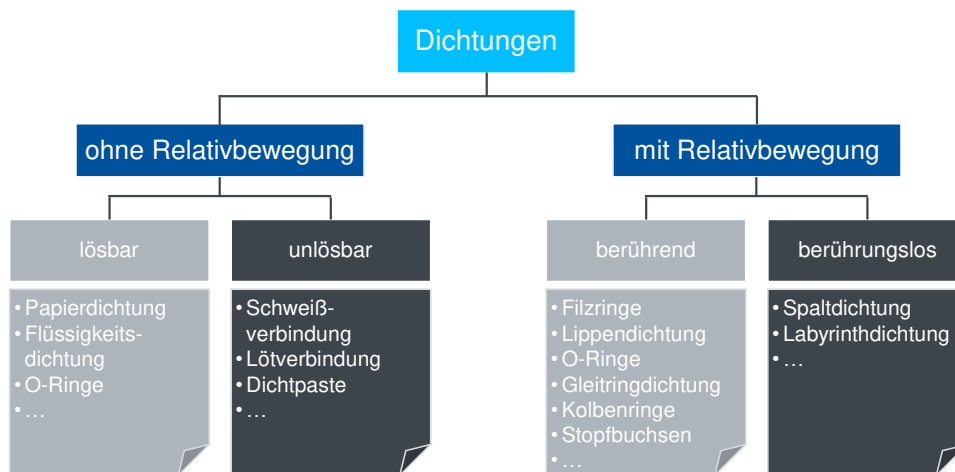
ahoefer.de

2. Maschinenelemente

Kontrollfragen

1. Nennen Sie je einen Anwendungsfall für eine Schalenkupplung, eine Kreuzscheibenkupplung und eine Federkupplung.
2. Werden die Zähne von Zahnrädern in der zeichnerischen Darstellung geschnitten?
3. Erläutern Sie die Aufgabe von Getrieben. Gehen Sie auch auf das Verhalten von Drehzahl und Drehmoment ein.

2.6 Dichtung



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 37

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

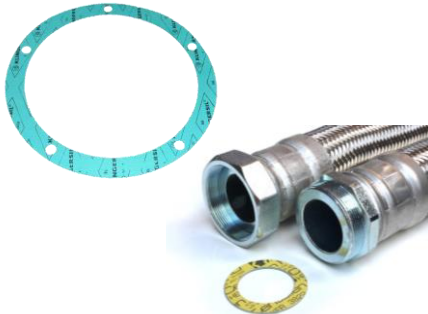
Dichtungen

Dichtungen verhindern oder begrenzen den Stoffaustausch (fest, flüssig oder gasförmig) zwischen zwei Räumen. Anwendungsbeispiele hierfür sind die Verhinderung des Ölaustritts aus Lagern, des Wasseraustritts aus Leitungen, oder des Eindringens von Verschmutzungen in Lager. Wie gut eine Dichtung dabei abdichten kann, hängt von der Anwendung ab. Als statische Dichtungen werden Dichtungen bezeichnet, die zwischen zwei ruhenden Bauteilen angebracht werden. Dynamische Dichtungen befinden sich zwischen bewegten Bauteilen.

2.6 Dichtung

2.6.2 Statische Dichtung - Lösbar

- Papierdichtung



Quellen: der-schlauchfritze.de, mohlpage.de

- O-Ring



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 38

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

O-Ring

O-Ringe sind Rundringe aus Elastomerwerkstoffen und sind nach DIN ISO 3601 genormt. Sie besitzen im unbelasteten Zustand einen kreisförmigen Querschnitt. Der O-Ring kann sowohl axial als auch radial abdichten. O-Ringe können als dynamische Dichtung eingesetzt werden, wenn die Geschwindigkeit mäßig und die wirkenden Drücke begrenzt sind. Dennoch werden sie hauptsächlich als statische Dichtungen verwendet. Sie werden z.B. oft bei Wasseranschlüssen verwendet, da sie auch bei relativ hohen Drücken eingesetzt werden können. Aufgrund ihrer einfachen Form sind sie in der Herstellung sehr kostengünstig.

2.6 Dichtung

2.6.2 Statische Dichtung - Unlösbar

- Schweißverbindung



- Lötverbindung



Quelle:
wigtec.de, praxistipps.focus.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 39

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

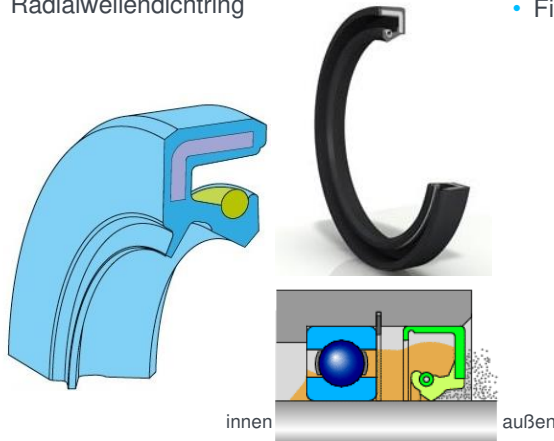
Statische Dichtung – unlösbar

Sowohl die Schweiß- als auch die Lötverbindung zählen zu den unlösbaren, statischen Dichtungen. Dabei dichten beide Varianten stoffschlüssig ab. Die Schweißverbindung findet beispielsweise Anwendung bei Leitungen, die hohen Temperaturen und einem hohen Innendruck ausgesetzt sind.

2.6 Dichtung

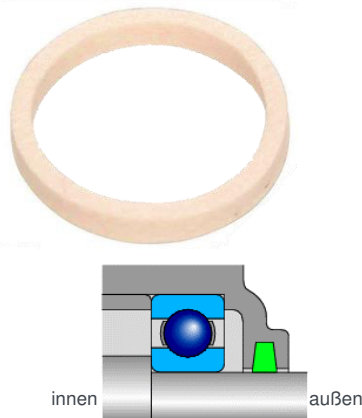
2.6.3 Dynamische Dichtung - Berührend

- Radialwellendichtring



Quelle: ludwigmeister.de

- Filzring



Quelle:

link.springer.com, juraprofi.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 40

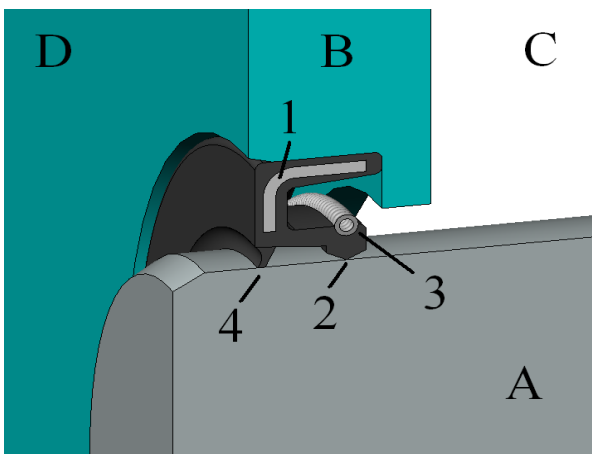
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Radialwellendichtringe

Radialwellendichtringe werden zum Abdichten zwischen ruhenden und bewegten Bauteilen verwendet. Als allgemeines Beispiel kann hier das Abdichten gegen radiale Flächen, wie z.B. zwischen einer Welle und einem Gehäuse, aufgeführt werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen eingebauten Radial-Wellendichtring nach DIN 3760 (geschnitten).

- A: Welle
- B: Gehäuse
- C: Flüssigkeitsseite (bzw. Druckseite)
- D: Luftseite
- 1: Metallring
- 2: Dichtlippe
- 3: Schlauchfeder
- 4: Staublippe (optional)

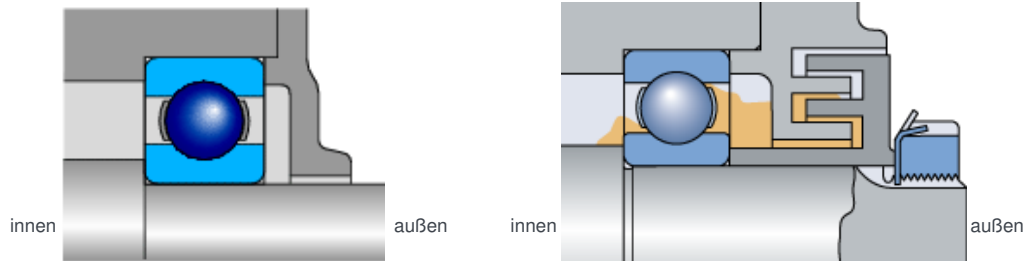


Quelle:
Wikipedia

2.6 Dichtung

2.6.3 Dynamische Dichtung - Berührungslos

- Spaltdichtung
- Labyrinthdichtung



Quelle:
skf.com, juraprofi.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 41

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

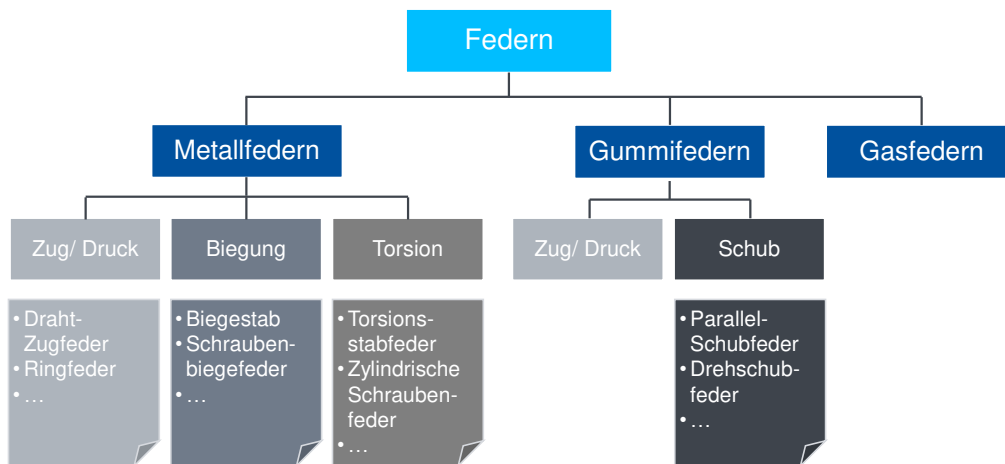
Berührungslose Dichtungen

Berührungslose Dichtungen machen sich die Dichtwirkung enger Spalte zu Nutzen. Sie kommen häufig zum Einsatz, wenn Achsen und Wellen mit hohen Drehzahlen abgedichtet werden müssen.

Die **Spaltdichtung** ist eine der einfachsten berührungslosen Dichtungen. Sie ist jedoch nur dann geeignet, wenn die Verschmutzung gering gehalten werden kann.

Die **Labyrinthdichtung** ist eine der wirksamsten Dichtungen in dieser Kategorie. Die Gänge werden dabei meist mit Fett gefüllt. Dies hat zur Folge, dass selbst bei einer verschmutzten Umgebung kaum Fremdkörper eindringen können. Sie bieten somit eine hohe Dichtwirkung und sind gleichzeitig kostengünstig und platzsparend. Durch eine Variation in der Anzahl der einzelnen Gänge, kann die Dichtwirkung dem Anwendungsfall angepasst werden. Labyrinthdichtungen finden sich z.B. in elektrischen Fahrmotoren oder auch in Schleifspindeln.

2.7 Federn



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 42

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Federn

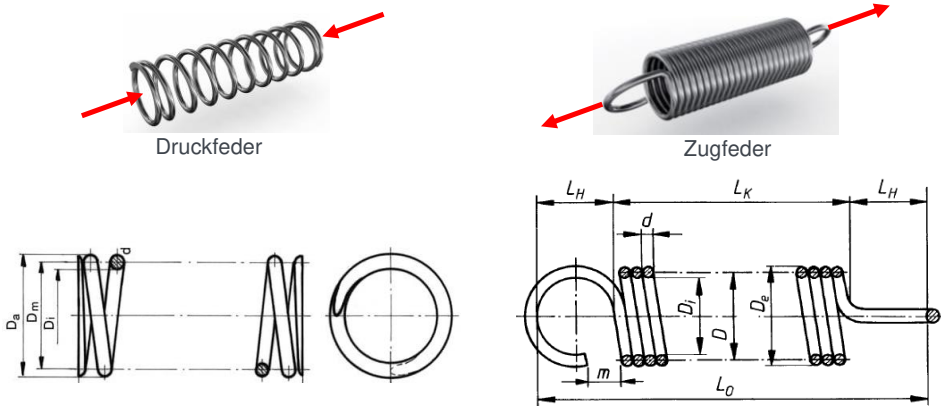
Federn können durch Kontraktion, Dehnung oder Verdrehen eine Kraft aufnehmen und in Form von potentieller Energie speichern oder wieder abgeben. Mehrere Federn können zu Federsystemen zusammengeschaltet werden.

Je nach Gestalt unterscheidet man z.B.

- Schraubenfedern
- Tellerfedern
- Stabfedern
- Blattfedern
- Spiralfedern
- Ringfedern
- Torsionsfedern
- Teleskopfedern

2.7 Federn

Schraubenfeder



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 43

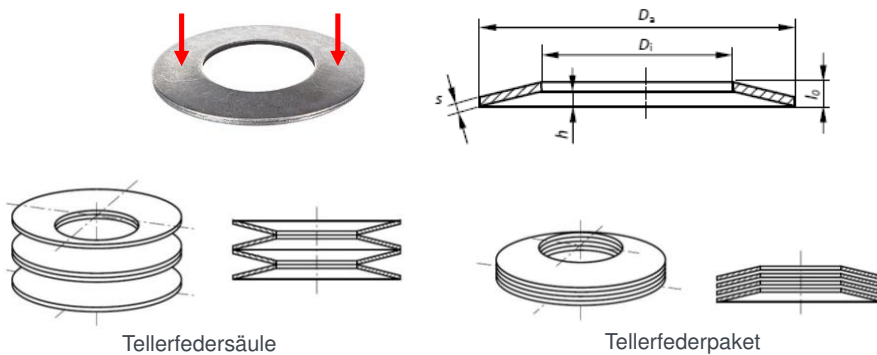
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Schraubenfeder

Schraubenfedern sind die meist eingesetzten Federn. Es wird zwischen Zug- bzw. Druckfedern unterschieden. Zugfedern nehmen Zugkräfte auf und erfahren infolgedessen eine Dehnung. Druckfedern werden bei der Aufnahme von Druckkräften gestaucht. Zug- und Druckfedern werden in vielen Bereichen des Maschinenbaus, wie z.B. in Schaltern als Rückstellfeder, in Relais, aber auch in Sitzmöbeln, Kugelschreibern oder Schlössern, verwendet.

2.7 Federn

Tellerfeder



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 44

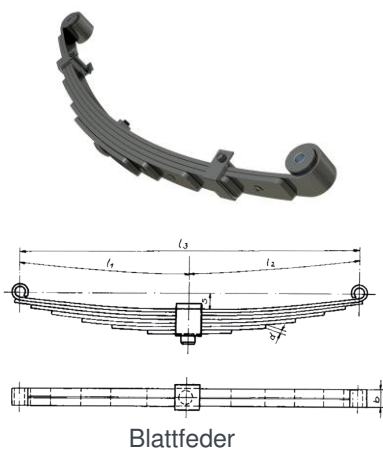
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Tellerfeder

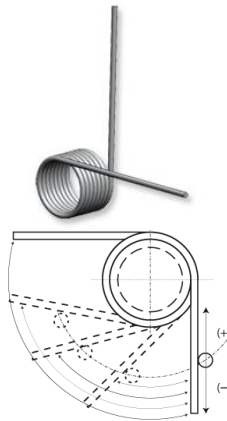
Eine einzelne Tellerfeder besitzt eine vergleichsweise niedrige Federwirkung. Durch wechselseitiges Aufeinanderschichten von Tellerfedern (Tellerfedersäule, Reihenschaltung) kann eine höhere Federwirkung erzielt werden. Wird eine härtere Feder, als eine einzelne Tellerfeder benötigt, können die einzelnen Tellerfedern gleichsinnig zu Tellerfederpaketen (Parallelschaltung) gestapelt werden. Somit kann je nach Anwendungsfall aus einer Kombination einfacher Tellerfedern die gewünschte Federwirkung erzielt werden. Wird zur Herstellung üblicher Federstahl verwendet, muss dieser nach der Fertigung wärmebehandelt werden. Tellerfedern werden beispielsweise in Reibungskupplungen, in Scheibenbremsen als Rückstellfedern oder auch zum Spielausgleich bei Kugellagerringen verwendet.

2.7 Federn

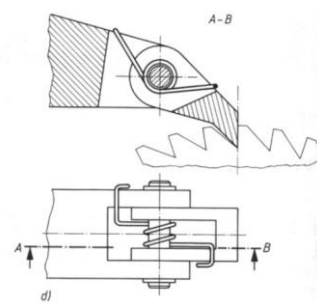
Stabfeder



Blattfeder



Drehfeder



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 45

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Blattfeder

Blattfedern gehören zu den meist verwendeten, auf Biegung beanspruchten Federn. Blattfedern zeichnen sich durch ein flaches, bogenförmiges Profil aus. Häufig werden geschichtete Blattfedern eingesetzt. Sie sind oft in Nutzfahrzeugen wie Kastenwagen oder Anhängern verbaut.

Drehfeder

Drehfedern werden auch als Torsions- oder Schenkelfedern bezeichnet. Sie werden in links- und rechts gewickelter Ausführung gefertigt. Torsionsfedern erzeugen ein Drehmoment. Ein typischer Anwendungsfall ist die Wäscheklammer, sie kommen aber auch bei Klemmbrettern oder Garagentoren zum Einsatz.

2.7 Federn

Weitere Federarten

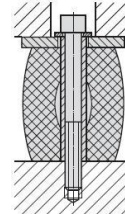
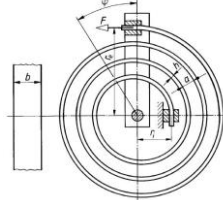
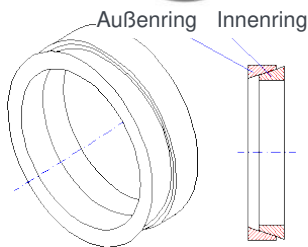
Ringfeder



Spiralfeder



Gummifeder



Quelle:
tedata.com, directindustry.it

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 46

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Ringfeder

Die Ringfeder ist aus geschlossenen Außen- und Innenringen aufgebaut. Die einzelnen Ringe greifen mit den kegelförmig ausgeführten Flächen ineinander. Wird eine axiale Druckkraft auf die Feder ausgeübt, schieben sich die Ringe ineinander und die Gesamtlänge der Feder verringert sich. Ringfedern eignen sich aufgrund ihrer guten Dämpfungseigenschaften besonders als Pufferfedern.

Spiralfeder

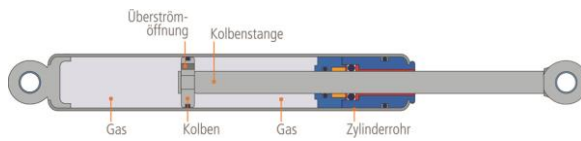
Spiralfedern werden häufig aus Stahlbändern hergestellt. Diese werden gewunden, wobei der Abstand zwischen jeder Windung konstant bleibt. Der Abstand ist dabei so zu wählen, dass sich die einzelnen Windungen auch im gespannten Zustand nicht berühren. Spiralfedern kommen beispielsweise in Messinstrumenten als Rückstellfedern zum Einsatz.

Gummifeder

Gummifedern werden meist als Druckfedern verwendet, um Stöße oder Schwingungen zu dämpfen oder auch Maschinenteile abzufedern. Beispiele hierfür sind Stoßdämpfer oder die Lagerung von Bremsgestängen im Fahrzeugbau oder allgemein die Lagerung von schwingenden und pendelnden Teilen im Maschinenbau.

2.7 Federn

Gasdruckfedern



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 47

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

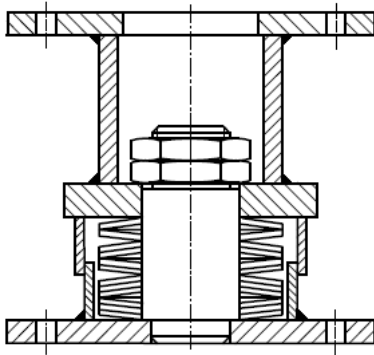
Gasdruckfedern

Gasdruckfedern sind pneumatische Federn, die die Komprimierbarkeit von Gasen für ihre federnde Wirkung nutzen. Die Federkraft ist dabei vom Federweg unabhängig. Ein weiterer Vorteil der Gasdruckfeder ist, dass je nach Anwendungsfall ein Dämpfungsmechanismus direkt in das Federsystem integriert werden kann. Ein Beispiel für Gasdruckfedern im Alltag ist die PKW-Motorhaubenabstützung oder auch die Fahrwerksfederung.

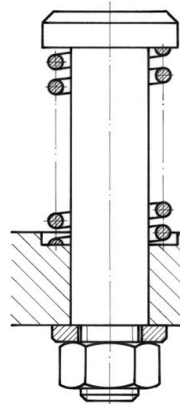
2.7 Federn

Einbaubeispiele

- Schwingungsdämpfer aus Tellerfedern



- Federbolzen mit Druckfeder



Quelle:
me-lrt.de, lehrerfreunde.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 48

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Federn – Einbaubeispiele

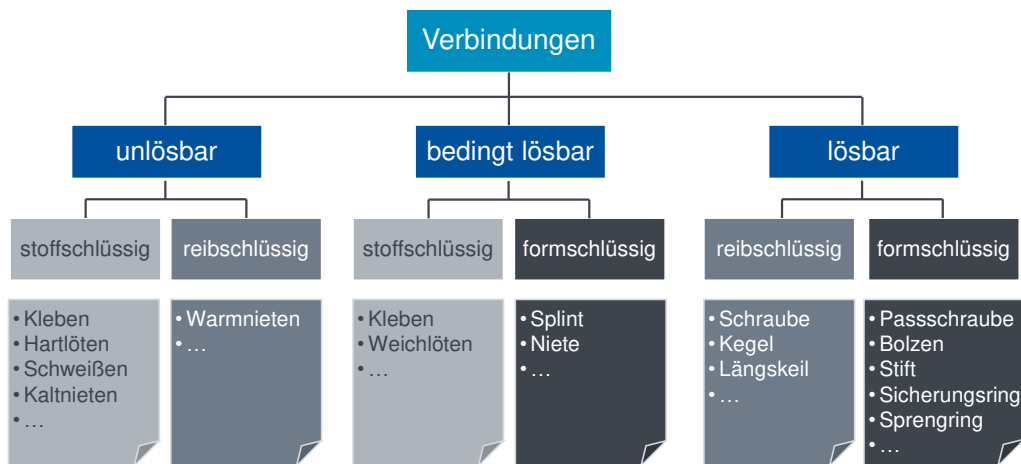
Die linke Abbildung zeigt einen Schwingungsdämpfer aus Tellerfedern. Die Tellerfedern sind sowohl zu Federpaketen als auch zu Federsäulen angeordnet. Bei dem Federbolzen in der rechten Abbildung ist eine Druckfeder verwendet worden. Wie durch die Schnittdarstellung ersichtlich, besitzt die Druckfeder einen kreisförmigen Querschnitt.

2. Maschinenelemente

Kontrollfragen

1. Welche Funktion haben Dichtungen?
2. Worin besteht der Unterschied zwischen einer statischen- und einer dynamischen Dichtung?
3. Erläutern Sie die Vorteile von Tellerfedern gegenüber Schraubenfedern.
4. Nennen Sie zwei Beispiele für Stabfedern.

2.8 Verbindungen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 50

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Verbindungen

Die Verbindungstechnik beinhaltet kurz gesagt alle Methoden, die verwendet werden um Einzelteile zusammenzufügen. Es wird zwischen nicht lösbaren-, bedingt lösbaren- und lösbaren Verbindungen unterschieden. Nicht lösbar bedeutet, dass zum Trennen der Verbindung die Bauteile beschädigt werden müssen. Lösbare Verbindungen können ohne Beschädigung der Bauteile getrennt werden und von bedingt lösbar wird gesprochen, wenn nur die Hilfsmittel, die zum Fügen benutzt wurden, zerstört werden müssen. Je nach zugrunde liegendem physikalischen Wirkprinzip wird weiter in formschlüssige-, kraftschlüssige- und stoffschlüssige Verbindungen eingeteilt.

2.8 Verbindungen

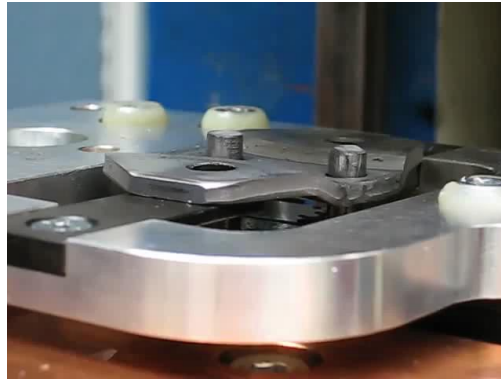
2.8.1 Unlösbare Verbindungen

Stoffschlüssig



Schweißverbindung
am Rollstuhl

Reibschlüssig



Quelle:
gatzsch.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 51

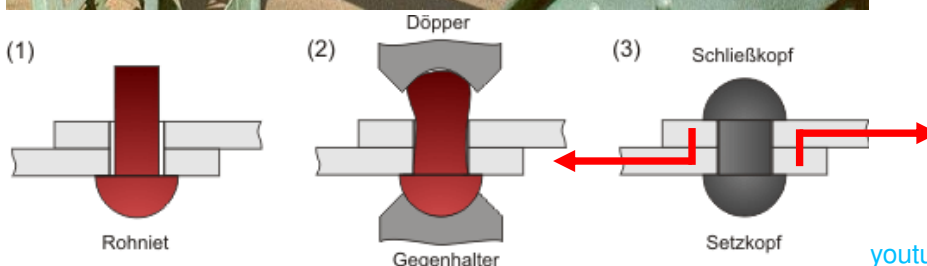
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schweißverbindung

Beim Schweißen werden die Bauteile durch Schweißnähte unlösbar zusammengefügt. Schweißverbindungen sind stoffschlüssig und eignen sich daher besonders zum Übertragen von Kräften und Biege-/Torsionsmomenten. Zudem können die gefügten Bauteile anschließend auch bei höheren Temperaturen betrieben werden.

Warmnieten

Beim Warmnieten wird der Niet warm, d.h. in einem rotglühenden Zustand, gepresst. Kühlt der Niet anschließend wieder ab, schrumpft der Schaft. Die erkalteten Bauteile verhindern jedoch den Schrumpfungsprozess, wodurch eine Kraft entsteht, die die Bauteile reibschlüssig miteinander verbindet. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das Prinzip des Warmnietens und eine Brücke, bei der das Nietverfahren angewandt wurde.



youtube.com/watch?v=3ZGBo8T4Cac

→ Reibschlüssige Kraftübertragung: keine Scherkraft im Niet!

Quelle:
Roloff/Matek, oberfeuer-krautsand.de

2.8 Verbindungen

2.8.1 Unlösbare Verbindungen - Lötverbindungen



Quelle:
hausjournal.net

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 52

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Lötverbindungen

Löten ist ein thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Werkstoffen. Die flüssige Phase entsteht durch Schmelzen eines Lotes. Die Schmelztemperatur der Grundwerkstoffe wird dabei nicht erreicht.

Je nach Löttemperatur wird unterschieden in:

- Weichlöten (unter 450°C)
- Hartlöten (über 450°C)
- Hochtemperaturlöten (über 900°C)

2.8 Verbindungen

2.8.2 Bedingt lösbare Verbindungen - Formschlüssig



Quelle:
siegener-seilwerk.de, wikipedia.org

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 53

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

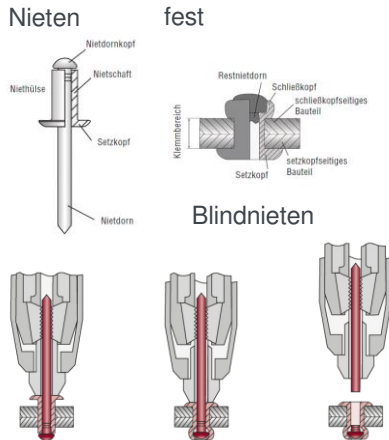
Splint

Der Splint ist ein Sicherungselement, das zur Lagesicherung verbundener Bauteile dient. Die Lagesicherung ist nur in eine Richtung wirksam, wobei sich die Richtung von der Belastungsrichtung unterscheiden muss. Anwendung findet eine Splintsicherung beispielsweise bei Schäkeln (links) oder auch bei Kronenmuttern (rechts), um die Kronenmutter gegen Verdrehen zu sichern.

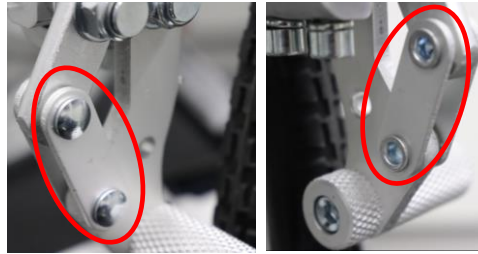
2.8 Verbindungen

2.8.2 Bedingt lösbare Verbindungen - Formschlüssig

• Nieten



beweglich



Niete an der Feststellbremse des Rollstuhls

Quelle:
Dresselhaus

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 54

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

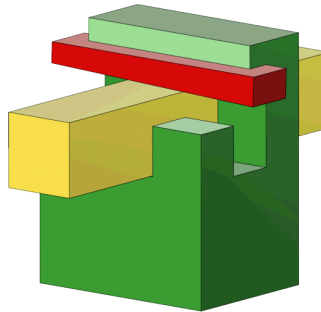
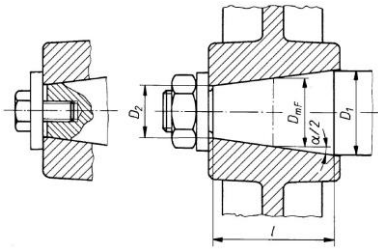
Nietverbindungen

Beim Nieten werden die Bauteile formschlüssig zusammengefügt. Der maschinelle und zeitliche Aufwand des Nietprozesses ist vergleichsweise hoch, weshalb das Nieten in vielen Bereichen z.B. durch Schweißverbindungen ersetzt wurde. Dennoch werden Nietverbindungen auch heutzutage noch häufig im Flugzeug- und Leichtbau verwendet. Sie versagen bei stoßartiger Belastung oder gar Überlastung nicht schlagartig, da sie durch das sogenannte Setzen hohe Deformationen abfangen können. Ein weiterer Vorteil der Nietverbindungen ist, dass auch ungleichartige Werkstoffe miteinander verbunden werden können. Aufgrund des erhöhten zeitlichen und maschinellen Aufwands, sind Nietverbindungen in der Fertigung teurer als z.B. Schweißverbindungen. Zudem sind zum Nieten Nietlöcher in den Bauteilen notwendig. Durch diese Nietlöcher kann die Stabilität der Bauteile gemindert werden.

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Reibschlüssig

- Kegelverbindung
- Keilverbindung



Quelle:
Matek, konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 55

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Kegelverbindung

Kegelverbindungen sorgen dafür, dass z.B. eine Radnabe zentrisch auf einem Wellenende sitzt. Dadurch wird eine hohe Genauigkeit in der Drehbewegung erreicht.

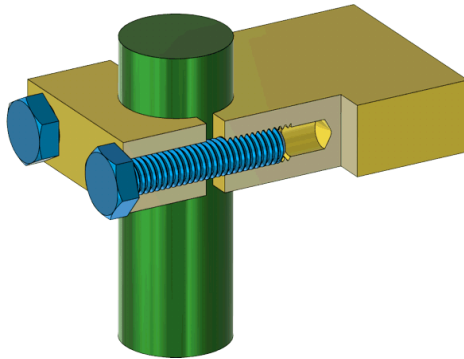
Keilverbindung

Keilverbindungen werden unter anderem zum Verbinden von Naben und Wellen bei ungleichmäßigen Drehmomenten verwendet. Die Kräfte werden dabei über den hergestellten Reibschluss übertragen. Im Gegensatz zu einer Passfederverbindung ist keine zusätzliche Sicherung gegen axiales Verschieben nötig. Jedoch muss jeder Keil einzeln eingepasst werden, wodurch höhere Kosten und Aufwand entstehen.

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Reibschlüssig

- Schraub-Klemmverbindung



Schraub-Klemmverbindung am Rollstuhl

Quelle:
konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 56

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schrauben-Klemmverbindung

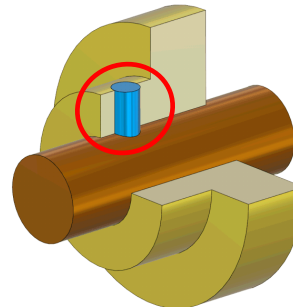
Auf der Folie dargestellt ist eine Schrauben-Klemmverbindung zwischen einem flachen Material mit einer Bohrung und einem runden Material. Das flache Material ist in der Mitte der Bohrung geteilt. Durch die Schraubenverbindung kann das runde Material geklemmt werden.

Ein Beispiel für eine Schrauben-Klemmverbindung ist die Befestigung der Bremshebel am Handgriff eines Rollstuhls (rechtes Bild).

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen

Bolzen- und Stiftverbindungen



Quelle:
TU-Dresden, konstruktionsatlas.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 57

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Bolzen- und Stiftverbindungen

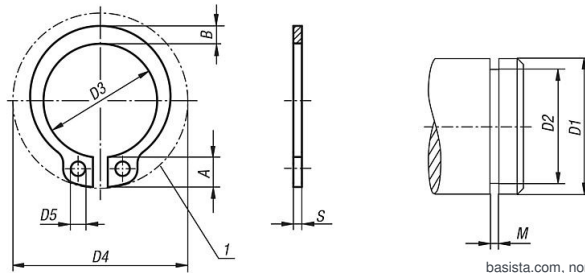
Bolzen sind zylinderförmige Verbindungselemente. Sie werden für eine bewegliche Verbindungen von Bauteilen genutzt. Einfache Bolzen werden bei Querbelastrungen eingesetzt. Soll die Verbindung auch für Längsbelastungen ausgelegt sein, wird meist ein Bolzen mit Gewinde verwendet. Um einen Formschluss zwischen dem Bolzen und den zu verbindenden Bauteilen herzustellen, sind oftmals z.B. umlaufende Nuten für Stellringe vorgesehen. Bolzen werden meist eingesetzt, wenn die Verbindung schnell und oft gelöst werden soll.

Stifte hingegen verbinden Bauteile fest miteinander (Presspassung). Je nach Anwendung können Stifte in verschiedenen Ausführungen zum Einsatz kommen (Zylinderstifte, Kegelstifte, Spannstifte etc.). Der Stift wird zum Verbinden der zwei Bauteile in eine durch beide Bauteile gehende Bohrung gesteckt. Je nach Toleranz entsteht so ein Form- oder Kraftschluss. Ein Stift wird meistens verwendet, wenn Querkkräfte auftreten.

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen

- Sicherungsring



Quelle:
basista.com, norelem.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 58

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

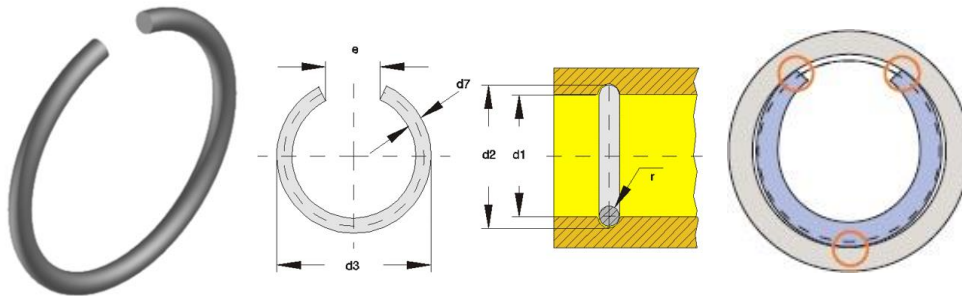
Sicherungsring

Sicherungsringe sichern Maschinenteile auf Wellen oder in Bohrungen gegen axiales Verschieben. Sie können geringe axiale Kräfte aufnehmen. Durch spezielle Zangen, die den Sicherungsring bei der Montage entweder aufweiten oder verengen, können die Sicherungsringe in die vorgesehene Nut eingeführt werden. Der zur Montage benötigte Platz ist bei der Konstruktion zu beachten. Ebenfalls zu beachten ist die hohe Kerbwirkung, die bei Verwendung eines Sicherungsrings entsteht.

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen

- Sprengring



Quelle:
federnshop.com, ludwigmeister.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 59

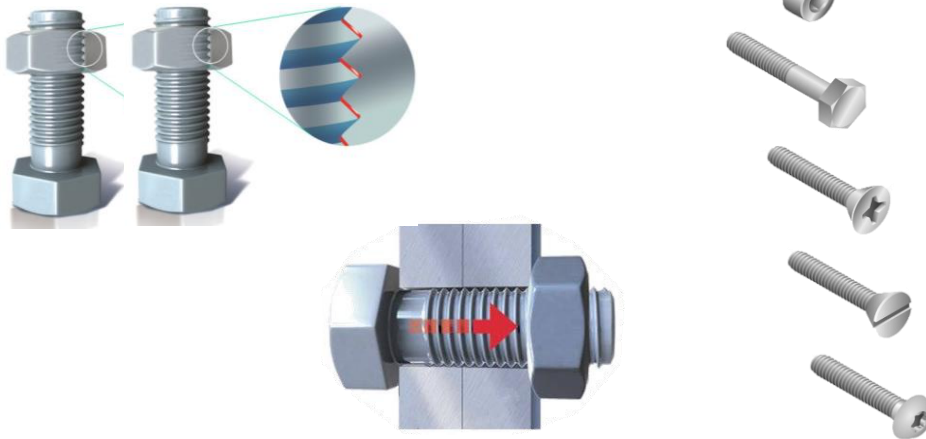
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Sprengring

Sprengringe sind eine Sonderform der Sicherungsringe. Sie dienen beispielsweise zur formschlüssigen, axialen Sicherung von Lagern, Achsen, Wellen etc. in Bohrungen. Sprengringe werden meist aus Federstahl-Draht gefertigt und besitzen einen konstanten Querschnitt.

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Schraubverbindung



Quelle:
konstruktionspraxis.vogel.de, frantos.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 60

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schraubverbindung

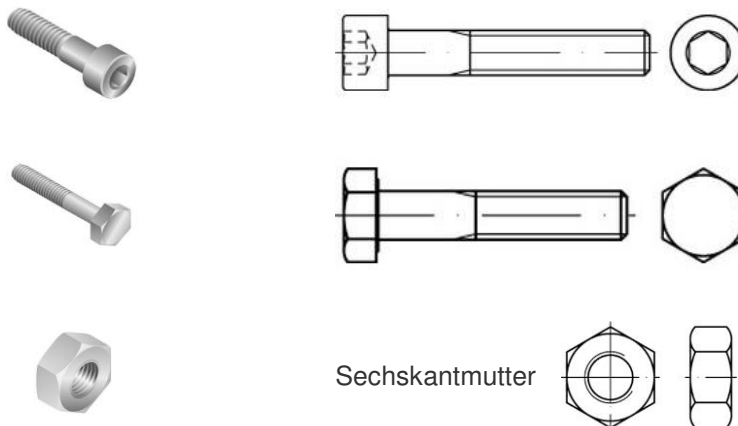
Schrauben zählen zu den am häufigsten verwendeten Maschinen- und Verbindungselementen. Die Schraubenverbindung beruht auf der Paarung einer Schraube mit Außengewinde und einem Bauteil mit Innengewinde (z.B. Mutter). Befestigungsschrauben verbinden Bauelemente durch die Vorspannkraft. Ein Vorteil von Schraubverbindungen ist, dass sich die verbundenen Bauteile zerstörungsfrei voneinander lösen lassen.

Der Schraubenkopf kann verschiedene Formen und verschiedene Antriebe haben.

Beispiele hierfür sind:

- Zylinderschraube mit Innensechskant (Inbus®)
- Sechskantschraube „Maschinenschraube“
- Senkschraube mit Kreuzschlitz
- Senkschraube mit Schlitz
- Flachkopfschraube mit Innensechsrund (Torx®)

Technische Zeichnungen:

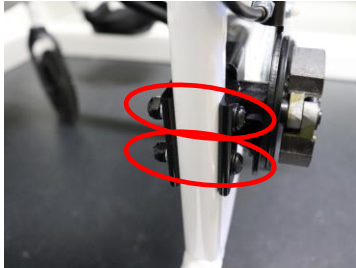


Sechskantmutter

2.8 Verbindungen

2.8.3 Lösbare Verbindungen - Schraubverbindung

- Am Rollstuhl:



reibschlüssige Schraubverbindung
am Rollstuhl



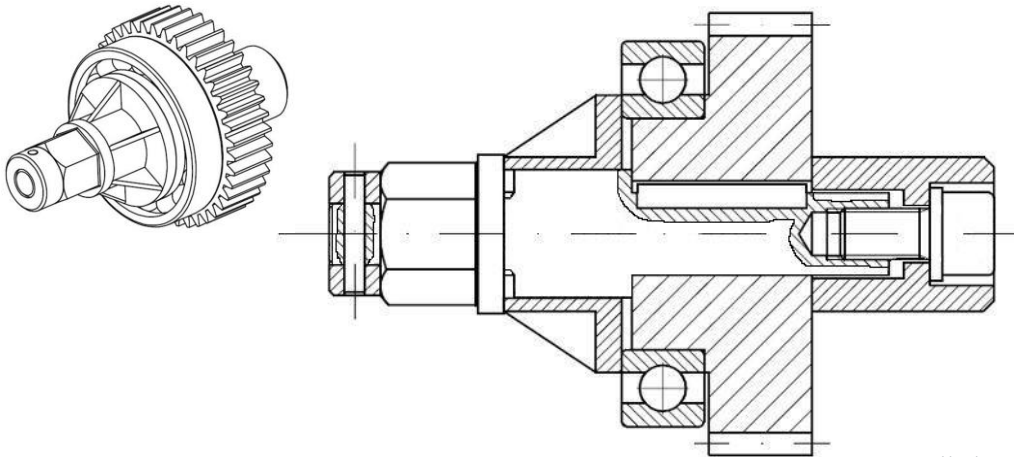
formschlüssige Schraubverbindung
am Rollstuhl

Schraubverbindungen am Rollstuhl

Auf der Folie sind beispielhaft eine reibschlüssige- und eine formschlüssige Schraubverbindung am Rollstuhl dargestellt. Für die reibschlüssige Verbindung wird dabei meist eine Durchsteckschraube, für die formschlüssige Verbindung eine Passschraube verwendet.

2.8 Verbindungen

2.8.4 Einbaubeispiel



Quelle:
maschinenbau-student.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 62

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Einbaubeispiel – Schraubenverbindung

Achtung: Die Schraube wird nicht geschnitten da sie ein Normteil und rotationssymmetrisch ist.

2. Maschinenelemente

Kontrollfragen

1. Was müssen Sie als Konstrukteur*in bei der Verwendung von Sicherungsringen beachten?
2. Nennen Sie die Vor- und Nachteile einer Schweißverbindung.
3. Wie nennt man das Lötverfahren, bei dem eine Temperatur von 500°C gemessen wird?

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)



Universität Stuttgart

Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

3. Statik

WS 2020/21

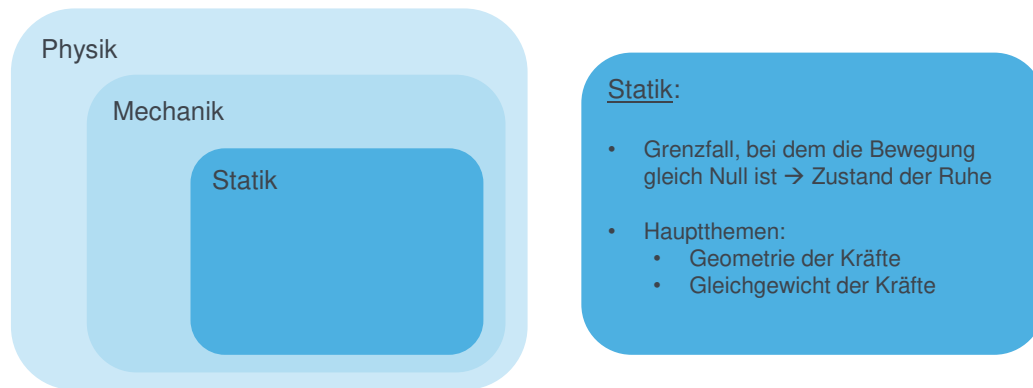
Prof. Dr.
Peter P. Pott

3. Grundlagen der Statik

Inhalt

- 3.1 Grundbegriffe und Axiome
- 3.2 Kräftepaar und Momente
- 3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem
- 3.4 Freischneiden von Bauteilen
- 3.5 Stützungs- und Lagerungsarten
- 3.6 Innere Beanspruchungen
- 3.7 Reibung
- 3.8 Literaturverzeichnis

3. Grundlagen der Statik



Mechanik

Die Mechanik ist ein Teilgebiet der Physik und befasst sich mit Bewegungen und Kräften in der Natur.

Statik

Die Statik ist wiederum ein Teilgebiet der Mechanik. Für die Statik ist der Grenzfall relevant, bei dem die Bewegung gleich Null ist. Dieser Zustand wird auch Zustand der Ruhe genannt. Das Themenfeld der Statik kann in zwei Hauptthemen aufgeteilt werden. Zum einen in die Geometrie der Kräfte, das heißt die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte und zum anderen in das Gleichgewicht der Kräfte, welches die Bedingungen für die Erhaltung des Zustandes der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung ist.

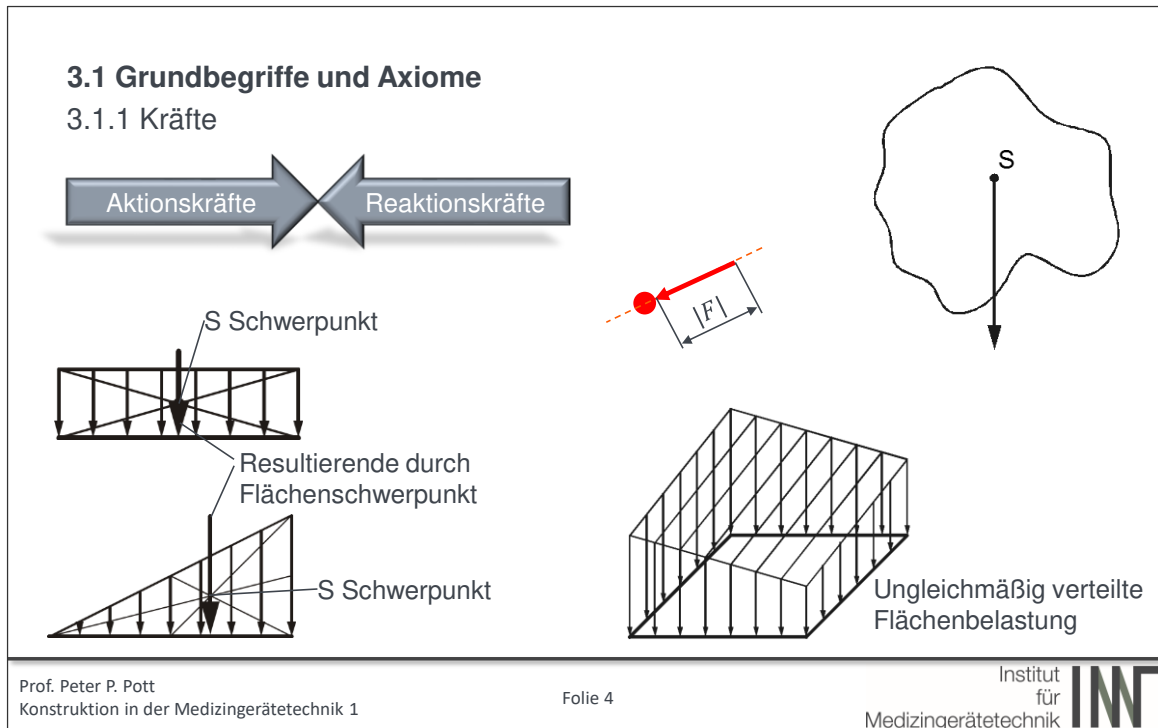
Die Verformung der Körper unter der Einwirkung von Kräften bleibt unberücksichtigt. Es werden alle Körper als starr angesehen.

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



Kräfte

Äußere oder eingeprägte Kräfte resultieren aus Belastungen und werden auch **Aktionskräfte** genannt. Innere Kräfte werden auch als Stützkkräfte oder **Reaktionskräfte** bezeichnet. Es wird somit nach der Entstehung der Kräfte unterschieden. Nach Newton wird der Kraft das Symbol F (für Force) und die Einheit: $1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ zugeordnet. Je nach der Art und Weise des Kraftangriffs und dessen Verteilung werden die im Folgenden beschriebenen Kräfte unterschieden.

Einzelkraft

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

Linienkraft

Eine Linienkraft greift entlang einer Linie verteilt an. Die Einheit ist 1 N/mm . Zeichnerisch wird eine Linienkraft als Pfeilschar dargestellt. Auf der Folie ist eine gleichmäßig verteilte Linienkraft und eine ungleichmäßig, linear verteilte Streckenlast dargestellt. Die Resultierende geht jeweils durch den Flächenschwerpunkt. Der Schwerpunkt S befindet sich im Schnittpunkt der sog. Schwerpunktlinien, d.h. im Schnittpunkt der Verbindung einer Dreieck-Ecke mit dem gegenüberliegenden Punkt der Streckenhalbierenden.

Flächenkraft

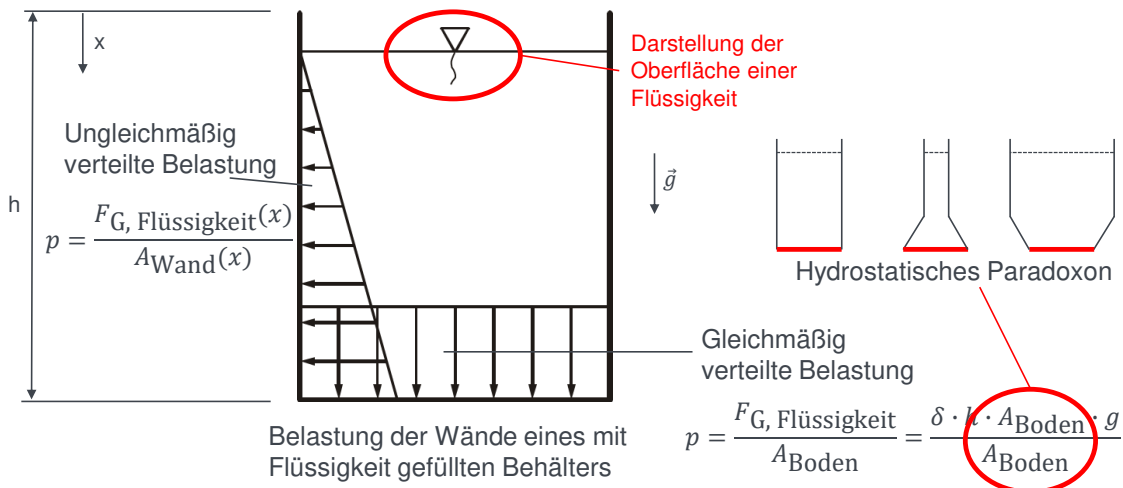
Eine Flächenkraft greift über eine Fläche eines Körpers verteilt an. Die Einheit der Flächenkraft ist 1 N/mm^2 . Die Darstellung erfolgt meist zweidimensional in senkrechter Projektion. Die Dimension der Flächenkraft ist gleichzeitig die Dimension des Druckes und der Spannung: $1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ Pa}$ (*Pascal*). Eine Flächenkraft kann gleichmäßig oder ungleichmäßig verteilt sein.

Volumenkraft

Eine Volumenkraft greift über das Volumen des Körpers verteilt, genauer an den kleinsten Massenelementen, an. Die Einheit der Volumen-/Massenkraft ist 1 N/mm^3 . Die Darstellung erfolgt meist durch eine im Schwerpunkt des Körpers angreifende Einzelkraft.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.1.1 Flächenkraft



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 5

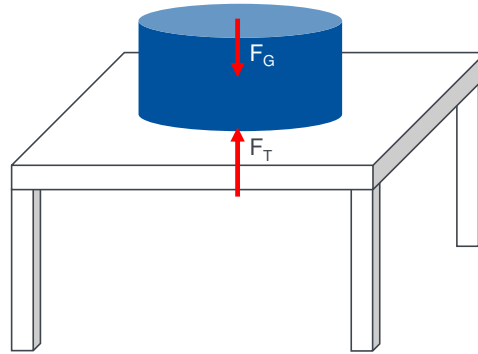
Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Kräfte

Bei der Betrachtung der nach Art und Weise des Kraftangriffs (der Verteilung) unterschiedenen Kräfte ist zu beachten, dass eine Einzelkraft und eine 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



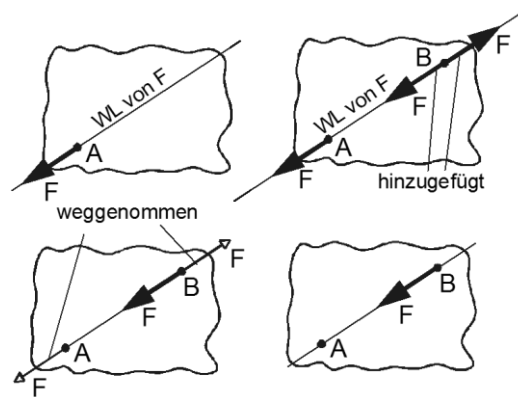
Gleichgewichtsaxiom

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

Im einfachsten Fall handelt es sich um zwei Kräfte (z.B. Körper ruht auf einem Tisch).

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 (WL) verschoben werden.

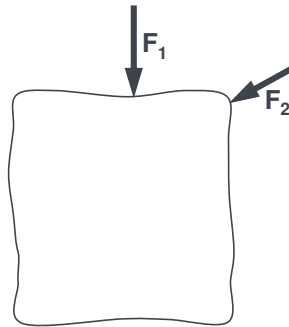
Verschiebbarkeit der Kräfte

An einem beliebigen Angriffspunkt A wirkt eine Kraft F. Auf ihrer Wirkungslinie (WL) fügt man in Punkt B zwei genauso große Kräfte F hinzu, die gegensinnig zueinander wirken. Anschließend nimmt man die Kraft F im Punkt A und die zur ihr gegensinnige Kraft F in Punkt B weg. Es bleibt die Kraft F übrig, die aber nicht mehr in Punkt A, sondern in Punkt B angreift.

Die Kraft F wird daher auch als *linienflüchtiger Vektor* bezeichnet.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.4 Axiom vom Kräfteparallelogramm



Addition von Kräften

Zwei Kräfte mit demselben Angriffspunkt sind hinsichtlich ihrer Wirkung einer Einzelkraft 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.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.5 Kräftezerlegung



Kräftezerlegung

So wie zwei Kräfte zu einer Resultierenden zusammengesetzt 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.

3.1 Grundbegriffe und Axiome

3.1.6 Reaktionsgesetz

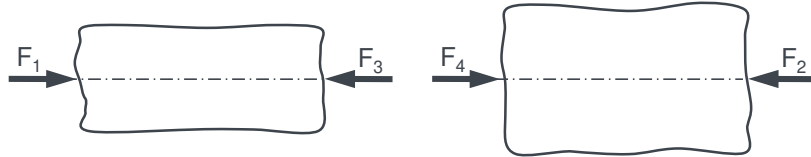
- quasi-starrer Gesamtkörper:

$$\mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_2 = \mathbf{0} \rightarrow \mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_2$$

- $\mathbf{F}_3$ und $\mathbf{F}_4$: **innere Kräfte** (Reaktionskräfte)

- Gleichgewichtsaxiome für jeden einzelnen Körper

$$\mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_3 = \mathbf{0}, \quad \mathbf{F}_4 - \mathbf{F}_2 = \mathbf{0} \quad \text{und} \quad \mathbf{F}_3 = \mathbf{F}_4 = \mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_2$$



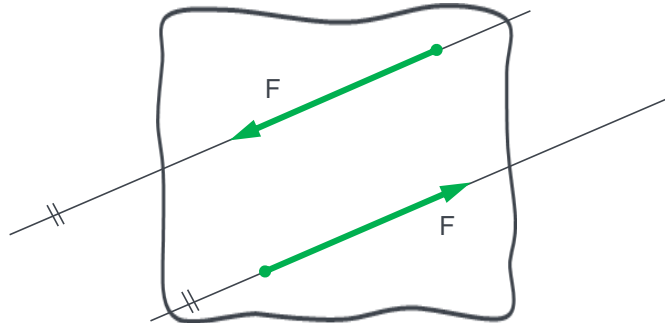
Reaktionsgesetz

Werden zwei Körper durch äußere Kräfte F_1 und F_2 unter der Voraussetzung zusammengedrückt, dass das Erstarrungsprinzip und das Gleichgewichtsaxiom gelten, so können beide Körper als ein quasi-starrer Gesamtkörper angesehen werden. Für diesen Fall sind dann die an der Berührungsstelle auftretenden Kräfte F_3 und F_4 innere Kräfte (Reaktionskräfte).

Demnach gilt das Reaktionsgesetz: **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



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 11

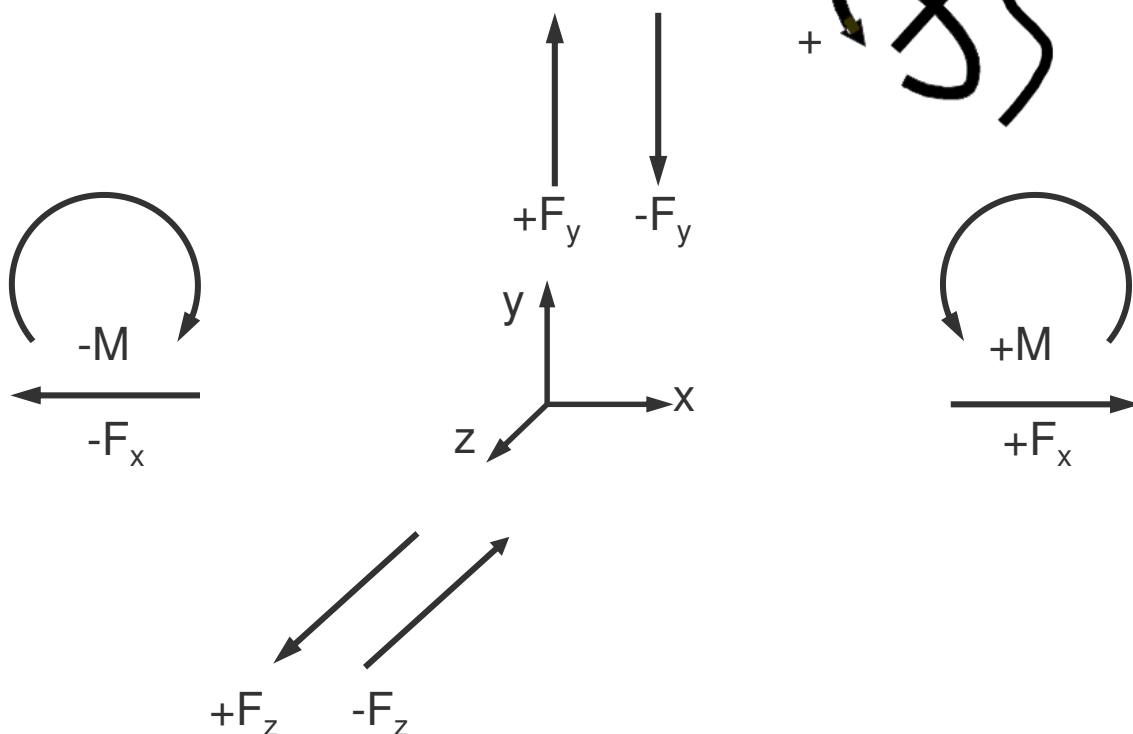
Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Kräftepaar

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

Dieses Kräftepaar resultiert in einem Drehmoment.

Vorzeichenkonventionen für Kräfte und Momente

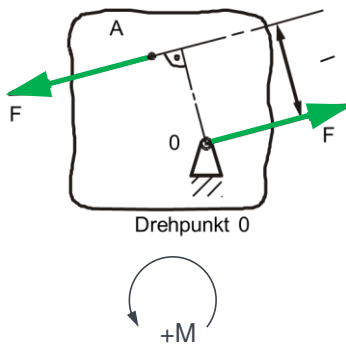


3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Momente um einen Punkt

Moment einer Einzelkraft an einem drehbar gelagerten Körper um Drehpunkt 0:

$$M_0 = F \cdot l$$

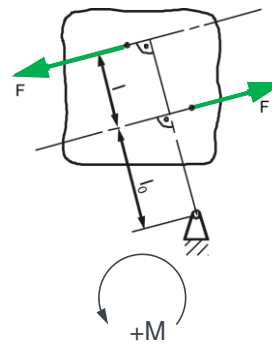


Kräftepaar außerhalb des Drehpunktes:

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

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

$$M_0 = F \cdot l$$



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 12

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Momente um einen Punkt

Ein Moment ist die Drehwirkung einer Kraft bzw. eines Kräftepaares um einen festen Punkt bzw. eine Achse. Definitionsgemäß ist ein Moment gegen den Uhrzeigersinn positiv, mit dem Uhrzeigersinn negativ.

Das Moment einer Einzelkraft an einem drehbar gelagerten Körper um den Drehpunkt 0 beträgt

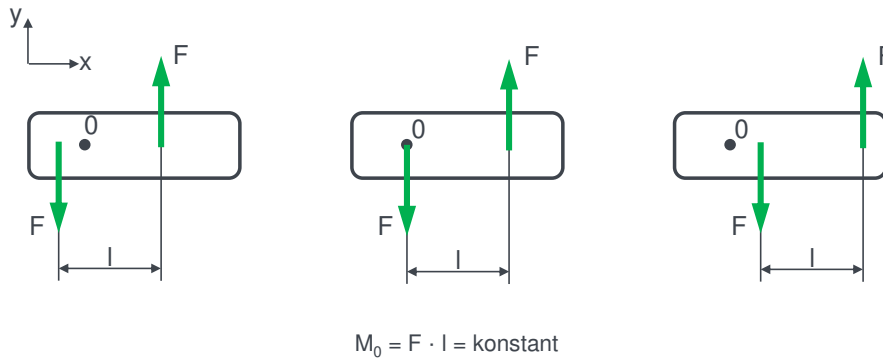
$M_0 = F \cdot l$. Im Drehpunkt selbst tritt die Reaktionskraft $-F$ auf.

Das Moment eines Kräftepaares außerhalb des Drehpunktes 0 beträgt $M_0 = F \cdot l$. Da l_0 keinen Einfluss auf das resultierende Moment hat, ist das Moment eines Kräftepaares bezüglich aller beliebigen Drehpunkte gleich groß.

3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Momente um einen Punkt

Ein Kräftepaar kann in seiner Wirkungsebene (x-y-Ebene) beliebig verschoben werden, ohne dass sich seine Wirkung auf den starren Körper ändert.



Verschiebung eines Kräftepaares in seiner Wirkungsebene

Erläuterung:

Links $M_0 = F \cdot (l - x) + F \cdot x = F \cdot l$

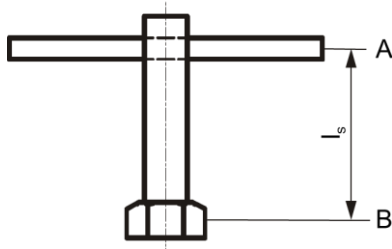
Mitte $M_0 = F \cdot l$

Rechts $M_0 = F \cdot (l + x) - F \cdot x = F \cdot l$

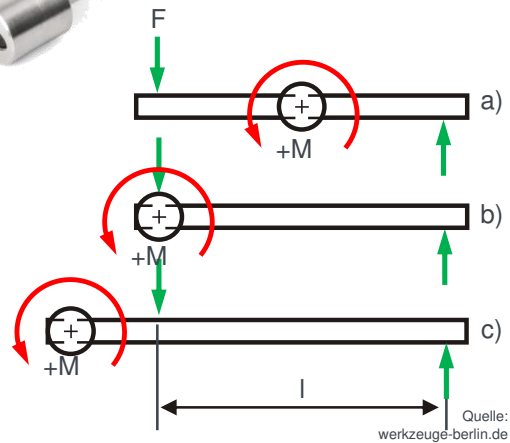
3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.2 Momente um einen Punkt

Beispiel Steckschlüssel:



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



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 14

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Verschiebung eines Kräftepaares in eine parallele Wirkungsebene

Ein Kräftepaar kann auch in eine zu seiner Wirkungsebene parallele Ebene verschoben werden, ohne dass sich seine Wirkung ändert.

In den Fällen a), b) und c) ist das am Steckschlüssel aufgebraachte Moment jeweils gleich.

Das in der Ebene A aufgebraachte Moment wird in der Ebene B wirksam, wobei der Abstand l_s der Ebenen bedeutungslos ist.

3.2 Kräftepaar und Momente

3.2.3 Analytische Bestimmung des Momentes

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

$$F_x = F \cdot \cos \gamma$$

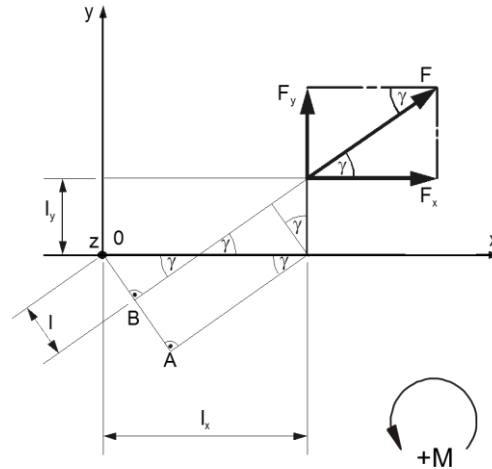
$$F_y = F \cdot \sin \gamma$$

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

$$M_z = F \cdot l$$

$$M_z = M_{zy} + M_{zx}$$

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



Analytische Bestimmung des Momentes – Erläuterungen

Die Kraft F lässt sich in die Komponenten F_x und F_y zerlegen. Das Moment der Kraft F um die z-Achse beträgt $M_z = F \cdot l$.

Die Momente der Kraftkomponenten um die z-Achse betragen:

$$M_{zx} = -F_x \cdot l_y$$

$$M_{zy} = F_y \cdot l_x$$

Das Moment M_z der Kraft F um die z-Achse ergibt sich zu:

$$M_z = F_y \cdot l_x - F_x \cdot l_y$$

$$M_z = M_{zy} + M_{zx}$$

Daraus folgt, dass das Moment einer Kraft gleich der Summe der Momente ihrer Komponenten ist.

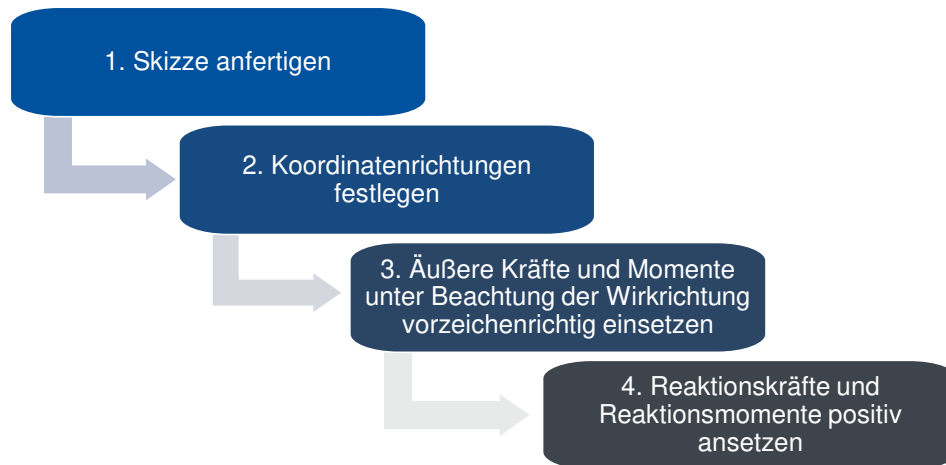
3. Grundlagen der Statik

Kontrollfragen

1. Durch was ist eine Kraft definiert?
2. Kann sich ein bewegter Körper im Kräftegleichgewicht befinden?
3. Erläutern Sie den Unterschied zwischen inneren und äußeren Kräften.
4. Was besagt das Reaktionsgesetz?
5. Was ist die Einheit des Drehmoments?

3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

3.3.1 Vorgehen beim Ermitteln der Reaktionen



Gleichgewichtsbedingungen

Es gilt im Raum allgemein (hier: für die Statik), dass die Summe aller Kräfte F und die Summe aller Momente M immer null ist.

$$\sum F_x = 0 \qquad \sum M_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad \sum M_y = 0$$

$$\sum F_z = 0 \qquad \sum M_z = 0$$

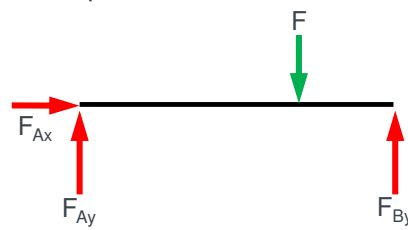
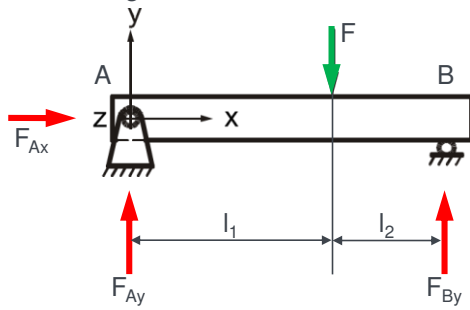
Dabei entsprechen die Auflagerkräfte und Einspannmomente den Reaktionskräften bzw. -momenten. Gibt es mehr unbekannte Reaktionen als Gleichgewichtsbedingungen handelt es sich um ein statisch unbestimmtes System.

Man ist bestrebt, statisch un- oder überbestimmte Systeme zu vermeiden, da es hier beispielsweise zu Verklebungen und inneren Spannungen kommen kann. Statisch un- oder überbestimmte Systeme werden mit Hilfe der Elastostatik (hier nicht behandelt) berechnet.

Mit Hilfe der Gleichgewichtsbedingungen können auch dynamische Systeme berechnet werden, was hier ebenfalls nicht behandelt wird.

3.3 Gleichgewichtsbedingungen für das Kraftsystem

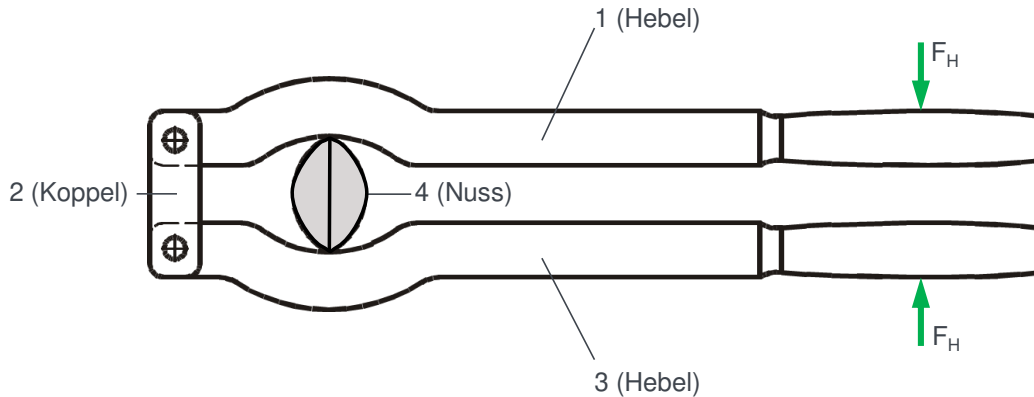
3.3.1 Vorgehen beim Ermitteln der Reaktionen – Beispiel: Belasteter Balken



Berechnung der Reaktionskräfte in A und B

3.4 Freischneiden von Bauteilen

Beispiel: Äußere Kräfte an einem Nussknacker



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 19

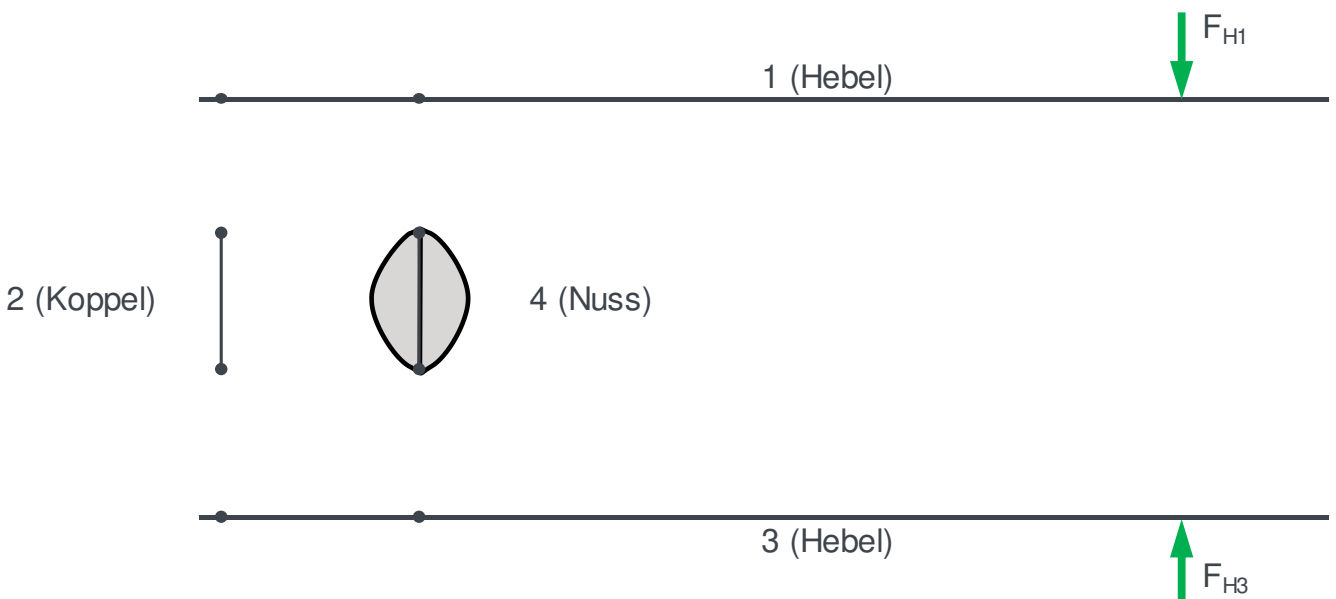
Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Freischneiden von Bauteilen

Bei den bisherigen Überlegungen wurde von einzelnen Körpern ausgegangen, an denen Kräfte und/oder Momente angreifen. Eine Maschine besteht jedoch in der Regel aus ruhenden und bewegten Teilen, d.h. es handelt sich um ein System von Elementen, die Kräfte und Momente aufeinander ausüben.

Um das System der Elemente mit seiner Vielzahl von Aktions- und Reaktionskräften bzw. –momenten durchschaubar zu machen und die Regeln der Statik anwenden zu können, muss das System gedanklich in einzelne, starre Körper aufgelöst oder zerlegt werden. Diesen Vorgang nennt man Freischneiden. Dabei sind, entsprechend dem Reaktionsgesetz, an dem jeweils zu untersuchenden Körper äußere Kräfte anzubringen, die den Belastungen entsprechen, die von den abgetrennten Elementen auf ihn ausgeübt werden. Das Vorgehen beim Freischneiden von Bauteilen wird hier exemplarisch an einem Nussknacker veranschaulicht. Das System ‚Nussknacker‘ besteht aus zwei Hebeln, einer Koppel und einer Nuss.

Die Handkräfte treten als Flächenkräfte auf. Sie werden durch resultierende Ersatzkräfte F_{H1} und F_{H3} ersetzt. Die Indizes geben dabei lediglich an, von welchem Element die Kraft auf welches Element ausgeübt wird. So bedeutet der Index "41,, dass die Kraft von Teil 4 auf Teil 1 ausgeübt wird. Dabei gilt weiterhin der alte Grundsatz : "Aktio = Reaktio".

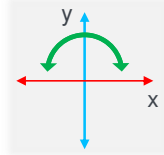


3.5 Stützungs- und Lagerungsarten

❓ Art des „Anschlusses“



In x-y-Ebene frei beweglicher starrer Körper:



Quelle:
Dubbel

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 20

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Stützungs- und Lagerungsarten

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.

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

Ein frei im Raum beweglicher Körper hat sechs Freiheitsgrade: Translation in und Rotation um x-, y- und z-Achse.

Die Aufgabe der Stützen und Auflager ist es, diese Freiheitsgrade vollständig oder teilweise aufzuheben. 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.

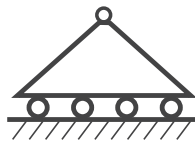
3.5 Stützungs- und Lagerungsarten

3.5.1 Eine Auflagerreaktion, 2 Freiheitsgrade

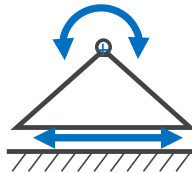
Beispiel:



Symbol:



oder



Reaktion



Freiheitsgrade



Quelle:
Eichfelder.de, Buch: Keine Panik vor Mechanik

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 21

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

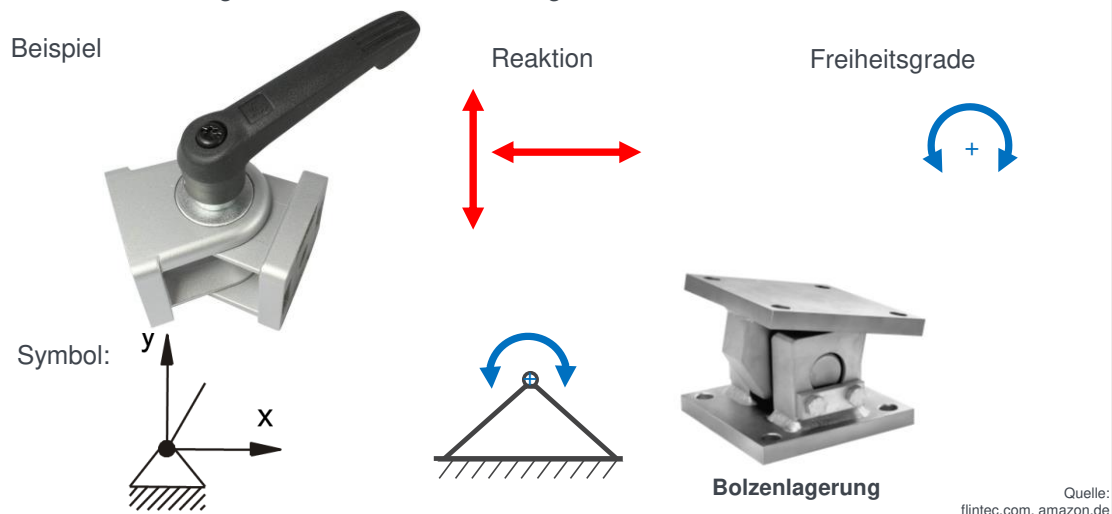
Loslagerung

Ein Loslager ruft im ebenen Fall eine Auflagerreaktion (senkrecht zu der Linie, in der es verschiebbar ist) hervor und besitzt zwei Freiheitsgrade (Verschieben entlang der Linie und eine Rotation). Das bedeutet, dass es sich bei einem Loslager um ein verschiebliches Auflager handelt, welches Bewegungen senkrecht zum Boden des Loslagers unterbindet. Da es nur eine Auflagerreaktion hervorruft, demnach nur Kräfte in einer Richtung aufnimmt, wird es häufig auch als einwertiges Lager bezeichnet.

3.5 Stützungs- und Lagerungsarten

3.5.2 Zwei Auflagerreaktionen, 1 Freiheitsgrad

Beispiel



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 22

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

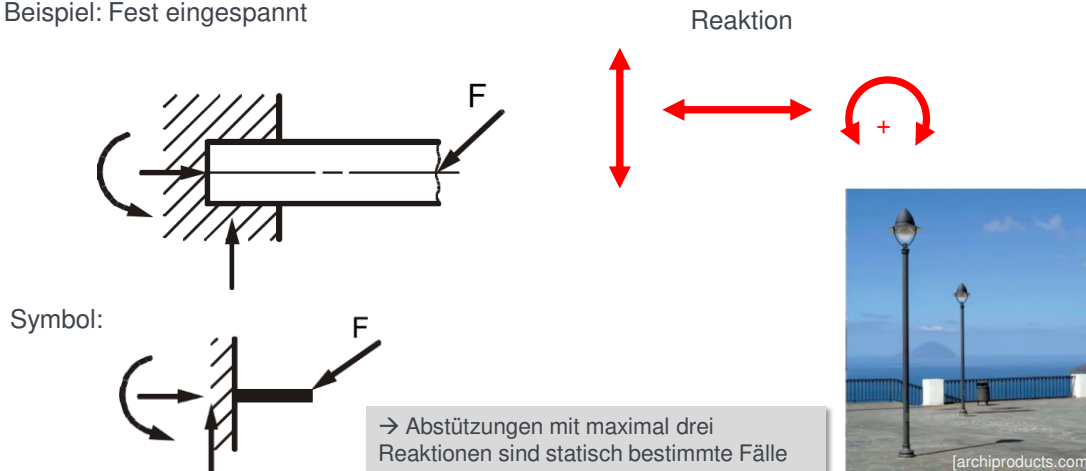
Festlagerung

Ein Festlager ist (im ebenen Fall) durch zwei Auflagerreaktionen und einem Freiheitsgrad bestimmt. Das Festlager nimmt Kräfte sowohl in x- als auch in y-Richtung auf, jedoch keine Momente. Demnach kann keine Verschiebung, wie dies beim Loslager der Fall ist, stattfinden. Lediglich Drehungen um den Lagerpunkt werden zugelassen. Festlager werden häufig auch als zweiwertige Lager bezeichnet.

3.5 Stützungs- und Lagerungsarten

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen, kein Freiheitsgrad

Beispiel: Fest eingespannt



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 23

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Feste Einspannung

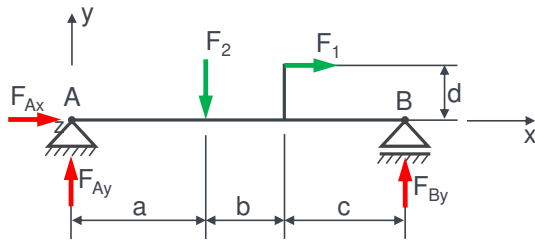
Eine feste Einspannung besitzt keine Freiheitsgrade und ruft (im ebenen Fall) drei Auflagerreaktionen hervor. Demnach handelt es sich bei der festen Einspannung um ein dreiwertiges Lager. Abstützungen mit maximal drei Reaktionen sind statisch bestimmte Fälle. Die Reaktionskräfte bzw. -momente lassen sich mit Hilfe der drei Gleichgewichtsbedingungen bestimmen.

Abstützungen mit mehr Auflagerreaktionen als aufzuhebende Freiheitsgrade heißen statisch überbestimmte Systeme. Statisch unbestimmte Systeme lassen sich mit Hilfe der Elastostatik berechnen. Abstützungen mit mehr Auflagerreaktionen sind z.B. Balken mit zwei Festlagern anstelle eines Fest- und Loslagers oder auch ein Balken mit zwei Festlagern und einem Loslager.

3.5 Stützungs- und Lagerungsarten

3.5.3 Drei Auflagerreaktionen

Beispiel: Statisch bestimmt gelagerter Balken



Lösungsansatz:

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

Fest-Los-Lagerung

Die Berechnung der Lagerreaktionskräfte wird hier beispielhaft an einem statisch bestimmt gelagerten Balken (Fest-Los-Lagerung) durchgeführt. Die Summe der Lagerreaktionen ist gleich den Freiheitsgraden eines Systems. → 3 Lagerreaktionen für ein ebenes System, 6 Lagerreaktionen für den 3D-Fall.

Berechnung der Lagerreaktionskräfte

3. Grundlagen der Statik

Kontrollfragen

1. Welche drei Freiheitsgrade besitzt ein in der x-y-Ebene frei beweglicher starrer Körper?
2. Welche Lagerungsart wird als einwertiges-, welche als zweiwertiges-, welche als dreiwertiges Lager bezeichnet und warum? Nennen Sie auch jeweils ein Beispiel.
3. Wann ist ein System statisch bestimmt?
4. Wie viele Freiheitsgrade gibt es im 2D-Fall, wie viele im 3D-Fall?

3.6 Innere Beanspruchungen



THE NEW EXTREME-KICK FROM USA:
FREECUTTING...

Quelle:
Buch: Keine Panik vor Mechanik

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 26

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Innere Beanspruchungen

Die Voraussetzungen für die Dimensionierung von Bauteilen sind zum einen die Ermittlung aller an einem Körper wirkenden äußeren Kräfte und Momente (einschließlich der Reaktionskräfte und -momente) und zum anderen die Ermittlung der inneren Beanspruchungen. Dazu wird das zu betrachtende Bauteil gedanklich an der interessierenden Stelle durchgeschnitten und Gleichgewichtsbedingungen für eines der beiden Teilstücke aufgestellt.

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 1: Einseitig eingespannter Balken



Gegeben: $q(x)$

Gesucht: F_{Ax} , F_{Ay} , M_A

1: Schnittstelle

Quelle:
stuttgarter-nachrichten.de, cleanpng.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

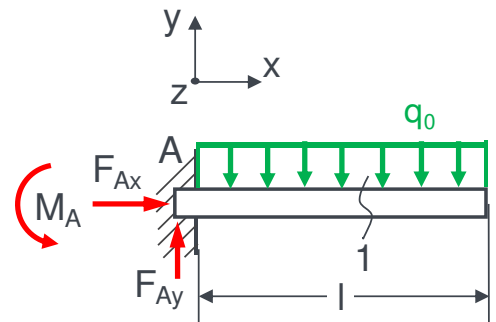
Folie 27

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Innere Beanspruchungen – einseitig eingespannter Balken

Die Einspannung (links) wird durch die Reaktionen F_{Ax} , F_{Ay} und M_A ersetzt. Die Streckenlast $q(x) = q_0 \cdot l$ kann durch eine resultierende Kraft durch den Schwerpunkt der Streckenlast ersetzt werden. Zur Ermittlung der inneren Beanspruchung wird der Balken an einer beliebigen Stelle x geschnitten.

Ermittlung der Auflagerreaktionen

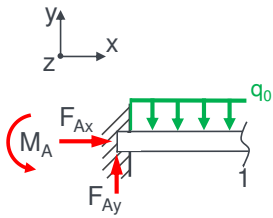


3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 1: Einseitig eingespannter Balken



Schnittstelle 1: Schnittkräfte am linken Schnitthufer



Ermittlung der inneren Beanspruchungen

Schnittstelle 1

3.6 Innere Beanspruchungen

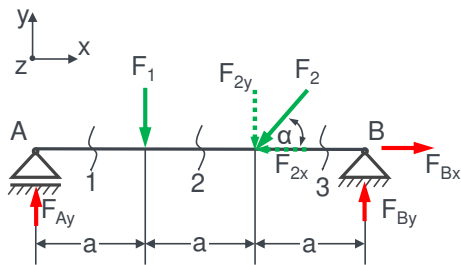
Beispiel 1: Einseitig eingespannter Balken – Beanspruchungsverlauf



3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 2: Balken auf zwei Stützen

Ermittlung der Auflagerreaktionen



Gegeben: F_1 , F_2 , α , a

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

1,2,3: Schnittstellen

Innere Beanspruchungen – Balken auf zwei Stützen

Das Loslager (links) wird durch die Lagerreaktionskraft F_{Ay} , das Festlager (rechts) durch die Lagerreaktionskräfte F_{By} und F_{Bx} ersetzt. Die Kraft F_2 wird in die Komponenten F_{2y} und F_{2x} zerlegt. An den Schnittstellen 1, 2 und 3 wird der Balken später für weitere Berechnungen geschnitten.

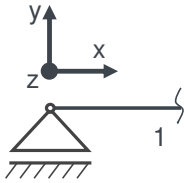
Ermittlung der Auflagerreaktionen

3.6 Innere Beanspruchungen

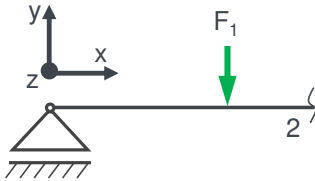
Beispiel 2: Balken auf zwei Stützen



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



b) **Schnittstelle 2:**



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 31

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Innere Beanspruchungen – Balken auf zwei Stützen

In jeden Zwischenraum zwischen zwei benachbarten Beanspruchungs- oder Einleitungsstellen wird eine Schnittstelle gelegt. Auf der Folie sind die für die Schnittreaktionen an der Schnittstelle des linken Teiles definierten Vorzeichenkonventionen dargestellt.

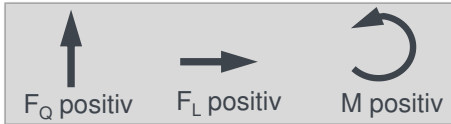
Ermittlung der inneren Beanspruchungen

Schnittstelle 1

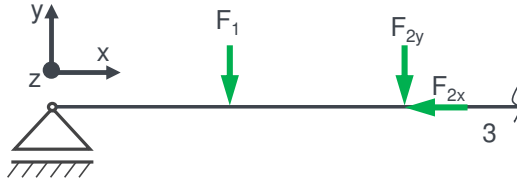
Schnittstelle 2

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 2: Balken auf zwei Stützen



c) Schnittstelle 3:



Innere Beanspruchungen – Balken auf zwei Stützen

Ermittlung der inneren Beanspruchungen

Schnittstelle 3

Jetzt haben wir alle inneren Beanspruchungen (die inneren Querkräfte: F_{Q1} , F_{Q2} und F_{Q3} und die inneren Momente M_1 , M_2 und M_3) bestimmt.

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 2: Balken auf zwei Stützen – Beanspruchungsverlauf



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 33

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Innere Beanspruchungen – Balken auf zwei Stützen

Beanspruchungsverlauf

Werden jetzt die äußeren Kräfte zahlenmäßig festgelegt, so kann der Verlauf der inneren Beanspruchungen qualitativ richtig aufgezeichnet werden.

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:

- $F_{Bx} = F_{2x} = 120 \text{ N}$
- $F_{By} = \frac{1}{3}(F_1 + 2F_{2y}) = \frac{1}{3}(150 \text{ N} + 2 \cdot 180 \text{ N}) = 170 \text{ N}$
- $F_{Ay} = \frac{1}{3}(F_{2y} + 2F_1) = \frac{1}{3}(180 \text{ N} + 2 \cdot 150 \text{ N}) = 160 \text{ N}$

a) für $0 \leq x_1 \leq a$:

- $F_{Q1} = F_{Ay} = 160 \text{ N}$
- an der Stelle $x_1 = 0$: $M_1 = F_{Ay} \cdot x_1 = 160 \text{ N} \cdot 0 = 0$
- an der Stelle $x_1 = a$: $M_1 = F_{Ay} \cdot a = 160 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 160 \text{ Nm}$

b) für $a \leq x_2 \leq 2a$

- $F_{Q2} = F_{Ay} - F_1 = 10 \text{ N}$
- an der Stelle $x_2 = 2a$: $M_2 = F_{Ay} \cdot 2a - F_1 \cdot a = 170 \text{ Nm}$

c) für $2a \leq x_3 \leq 3a$:

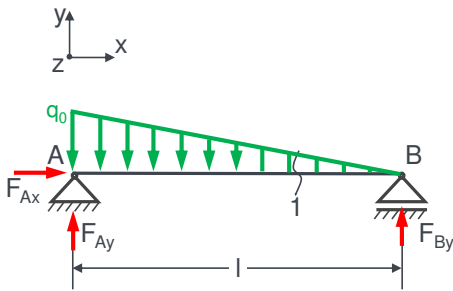
- $F_{L3} = F_{2x} = 120 \text{ N}$
- $F_{Q3} = F_{Ay} - F_a - F_{2y} = -170 \text{ N}$
- an der Stelle $x_3 = 3a$: $M_3 = F_{Ay} \cdot 3a - F_1 \cdot 2a - F_{2y} \cdot a = 0$

Mit Hilfe der unter a) bis c) ermittelten Zahlenwerte kann der Beanspruchungsverlauf aufgezeichnet werden. Das innere Moment verbiegt den Balken und wird als Biegemoment bezeichnet. Dessen Verlauf heißt Biegemomentenverlauf.

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 3: Balken auf zwei Stützen

Ermittlung der Auflagerreaktionen



Gegeben: $q(x)$

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

1: Schnittstelle

Innere Beanspruchungen – Balken auf zwei Stützen

Das Festlager (links) wird durch die Lagerreaktionskräfte F_{Ay} und F_{Ax} , das Loslager (rechts) durch die Lagerreaktionskraft F_{By} ersetzt. Die Streckenlast $q(x)$ kann durch eine resultierende Kraft durch den Schwerpunkt der Streckenlast ersetzt werden. Zur Ermittlung der inneren Beanspruchung wird der Balken an einer beliebigen Stelle x geschnitten.

Ermittlung der Auflagerreaktionen

3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 3: Balken auf zwei Stützen

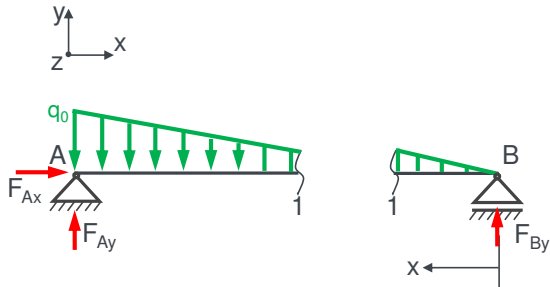

 F_Q positiv


 F_L positiv


 M positiv



Schnittstelle 1: Schnittkräfte am rechten Schnittufer



Ermittlung der Resultierenden:

Innere Beanspruchungen – Balken auf zwei Stützen

Ermittlung der inneren Beanspruchungen

Schnittstelle 1

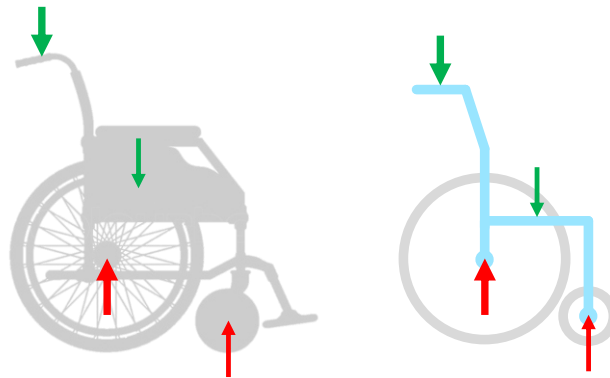
3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel 3: Balken auf zwei Stützen – Beanspruchungsverlauf



3.6 Innere Beanspruchungen

Beispiel: Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 37

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Innere Beanspruchungen

Am Beispiel des Rollstuhl soll verdeutlicht werden, dass es oft sinnvoll ist technische Systeme zu abstrahieren.

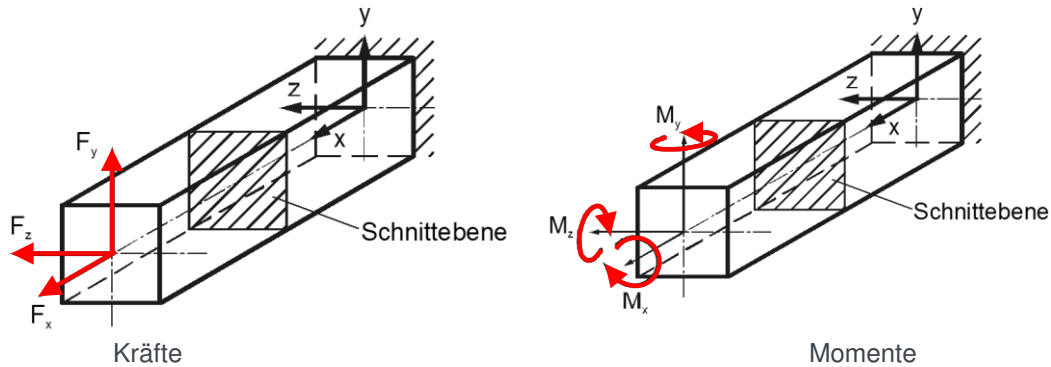
Links der reale Rollstuhl, den es zu berechnen gilt. „Berechnen“ bedeutet die Ermittlung von Lagerreaktion (Kräfte auf die Räder), Biege- und Torsionsmomente in den Streben, Kräfte allgemein... Ziel ist es, Kräfte in Schweißnähten, Kugellagern oder weiteren Maschinenelementen zu erhalten, um z.B. deren Lebensdauer zu ermitteln.

In der Mitte eine schematische Darstellung des Rollstuhls von der Seite. Die grünen Pfeile zeigen die von außen auf den Rollstuhl einwirkenden Kräfte (Gewicht des Benutzenden und Kraft am Griff). Die roten Pfeile sind die Auflagerreaktionen.

Rechts die Abstraktion. Mit Hilfe dieser Darstellung wird es einfach, die Kräfte und später dann auch z.B. den Biegemomentverlauf – also die inneren Beanspruchungen – darzustellen.

3.6 Innere Beanspruchungen

Mögliche Kräfte/ Momente an eingespannten einem Balken



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 38

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Eingespannter Balken

Der Balken ist an der hinteren schraffierten Fläche vollflächig befestigt. 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.

Bei den sechs Beanspruchungsgrößen handelt es 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)

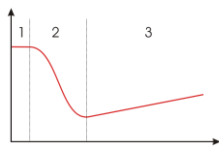
3.7 Reibung

Coloumbsches Reibungsgesetz: $F_{R0} \leq \mu_0 F_N = \text{Max}(F_{R0})$

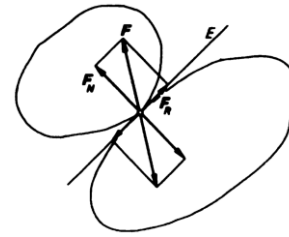
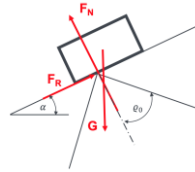
Haftreibung: $F_R = \mu_0 F_N = \mu_0 \cdot G \cdot \cos(\alpha)$

Gleitreibung

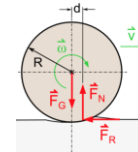
Stribeck-Kurve:



Grenzreibung (1)
Mischreibung (2)
Flüssigkeitsreibung (3)



Rollreibung



Quelle: maschinenbau-wissen.de, de.wikipedia.org/wiki/Stribeck-Kurve

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 39

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

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 ($\rightarrow$ Coloumbsches Reibungsgesetz).

F_N : Normalkraft

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

Haftreibung

Die Haftreibungskraft ist die Reaktionskraft, die innerhalb der Grenzen des Systems stets eine solche Größe annimmt, sodass ein Gleichgewicht vorhanden ist.

Gleitreibung

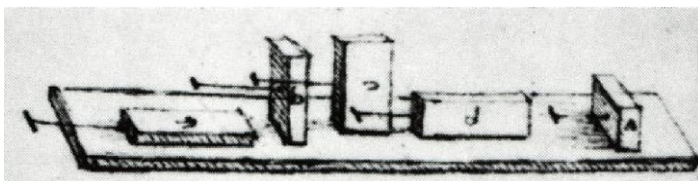
Ist die Tangentialkraft größer als der Maximalwert von F_R , ist kein Haften mehr möglich. Der Körper beginnt zu gleiten.

Rollreibung

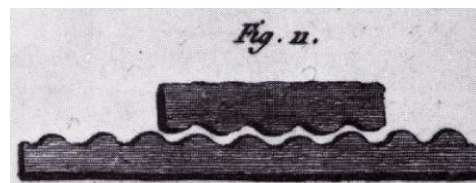
Die Rollreibungskraft ist die Kraft, die beim Abrollen eines Rades oder Wälzkörpers entsteht und der Bewegung entgegengerichtet ist.

Stribeck-Kurve

Die Stribeck-Kurve beschreibt den Verlauf der Reibungskraft in Abhängigkeit von der Reibgeschwindigkeit, im Falle hydrodynamischer Reibung.



Skizze von Leonardo da Vinci zur Unabhängigkeit der Reibung von der Form der Körper



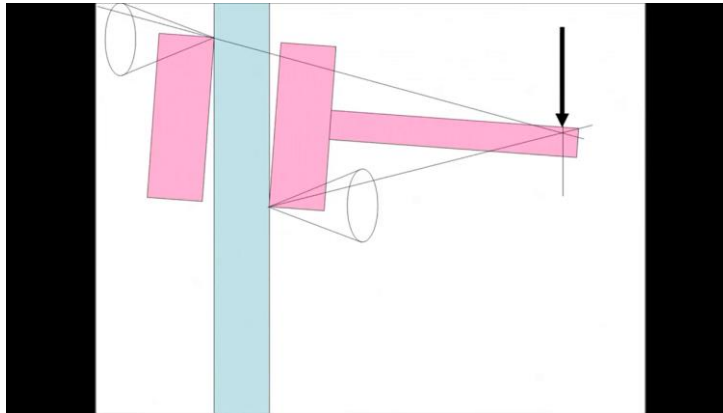
Skizze von Coulomb zur Modellvorstellung Haft- und Gleitreibung

3.7 Reibung

3.7.1 Selbsthemmung

- **Selbsthemmung:**

$$\tan(\varphi) < \mu$$



Selbsthemmung

Als Selbsthemmung wird der durch Reibung verursachte Widerstand gegen ein Verrutschen oder ein Verdrehen zweier aneinander liegender Körper bezeichnet. Sobald die Haftreibung überschritten ist, sind die Körper nicht mehr selbsthemmend. Beeinflussende Parameter sind dabei der Neigungswinkel, die Oberflächenrauigkeit der Auflageflächen, die Werkstoffpaarung, der Schmierstoff und die Erwärmung.

Keile und Kegel müssen einen kleineren Halbwinkel als der Arcustangens der Haftreibungszahl zwischen Keil und zu verkeilenden Werkstück aufweisen, um die nötige Spannkraft und damit Selbsthemmung zu erreichen
 $\rightarrow \varphi < \arctan(\mu)$.

So werden beispielsweise auf CNC-Werkzeugmaschinen zur Werkzeugaufnahme Steilkegel verwendet, da Morsekegel aufgrund des ausgeführten Kegelwinkels selbsthemmend wirken und sich daher ein automatischer Werkzeugwechsel problematisch gestalten kann.



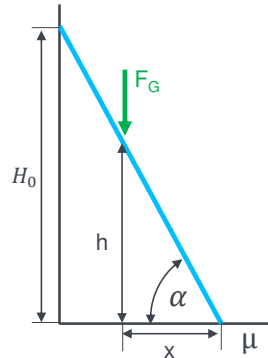
<https://youtu.be/j6xEEfggPu8>

Quelle:

3.7.1 Beispiel zur Reibung

Rechenbeispiel: Selbsthemmung Leiter

Eine Leiter ist an eine sehr glatte Wand gelehnt (reibungsfrei). Am Boden wirkt jedoch der Reibungskoeffizient $\mu = 0,4$. Der Winkel zwischen Boden und Leiter beträgt $\alpha = 60^\circ$.



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 41

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Rechenbeispiel: Selbsthemmung Leiter

- (a) Wie hoch kann eine Person auf die Leiter steigen, bevor diese rutscht?
- (b) Unter welchem Winkel α muss die Leiter stehen, damit sie gefahrlos bis nach ganz oben erklommen werden kann?
- (c) Wie hängen μ und α zusammen?

3. Grundlagen der Statik

Kontrollfragen

1. Was muss zur Bestimmung der inneren Beanspruchungen zunächst gemacht werden?
2. Wohin sollten die Schnittstellen gelegt werden?
3. Erläutern Sie drei verschiedene Reibungsarten.
4. Geben sie die Gleichgewichtsbedingungen im Raum an.

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



Universität Stuttgart



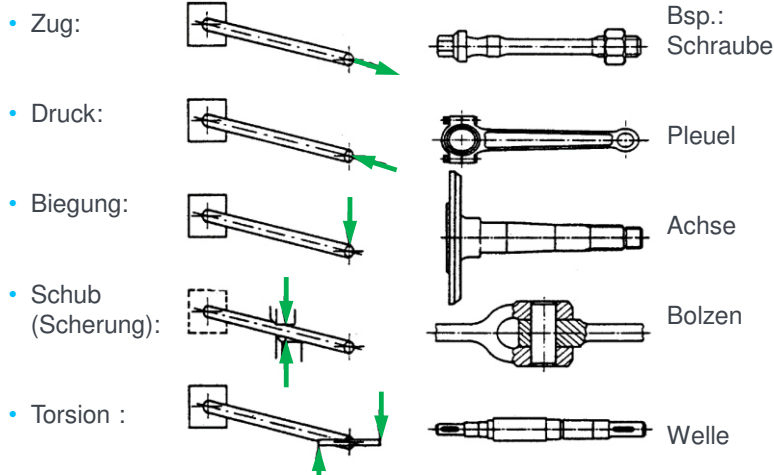
4. Ermittlung der Spannungen

Inhalt

- 4.1 Grundlagen
- 4.2 Normalspannung aus Längskraft
- 4.3 Normalspannung durch Biegung
- 4.4 Schubspannung infolge Querkraft
- 4.5 Schubspannung infolge Torsion
- 4.6 Flächenpressung
- 4.7 Zusammenfassung von Spannungen
- 4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung
- 4.9 Literaturverzeichnis

4.1 Grundlagen

4.1.1 Grundbelastungsfälle


 Quelle:
H. Dietmann

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 3

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Grundbelastungsfälle

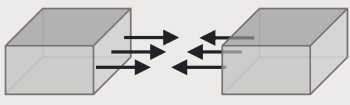
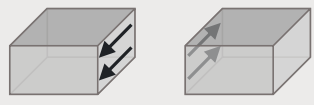
Ein einseitig fest eingespannter Stab kann z.B. auf Zug, Druck, Biegung, Scherung oder Torsion belastet werden. Wobei Zug- und Druckkräfte in Richtung der Stabsachse wirken und Biegung durch Kräfte oder Momente quer zur Stabsachse hervorgerufen wird. Eine Abscherung des Stabes tritt durch Schubbelastungen auf, die ebenfalls aus einer Kraft quer zur Stabsachse resultieren. Beim letzten hier betrachteten Fall, der Torsion, wird der Stab durch Torsionsmomente verdreht, nicht aber die Stabsachse. Je nach Belastungsart werden dabei unterschiedliche Spannungen im Stab hervorgerufen. Ziel dieses Kapitels ist es, die Grundlagen zur Ermittlung von auftretenden Spannungen zu vermitteln.

4.1 Grundlagen

4.1.2 Spannungen

$$\frac{F}{A} \text{ bzw. } \frac{dF}{dA} \quad (4.1) \quad \text{Einheit: 1 N/mm}^2 \text{ (entspricht 1 MPa)}$$

Kraft über betrachteten Querschnitt:

Normalspannungen σ  Längskräfte und Biegemomente $\sigma = \frac{F}{A} \text{ bzw. } \sigma = \frac{dF}{dA} \quad (4.2)$	Schubspannungen τ  Querkkräfte und Torsionsmomente $\tau = \frac{F}{A} \text{ bzw. } \tau = \frac{dF}{dA} \quad (4.3)$
---	--

Spannungen

Für die Beurteilung der Festigkeit eines Bauteils reicht die Kenntnis der beanspruchenden Kräfte offensichtlich nicht aus. Es ist vielmehr notwendig, eine Beziehung zwischen Kraft und beanspruchtem Querschnitt herzustellen, um eine geeignete Grundlage für die Beurteilung der Festigkeit zu erhalten. Diese Beziehung wird durch die Bildung des Quotienten aus Kraft und Querschnittsfläche (Gleichung (4.1)) hergestellt. Spannung ist damit die in einem Querschnitt im Innern eines Körpers auftretende Flächenkraft.

Normalspannungen σ bezeichnen Spannungen **senkrecht** zum Querschnitt des Bauteils. Ursache für Normalspannungen sind Längskräfte und Biegemomente.

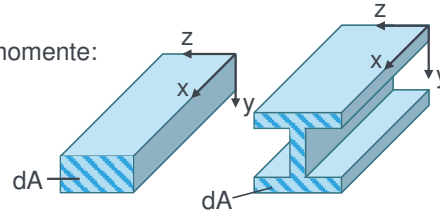
Schubspannungen τ bezeichnen Spannungen **parallel** zum Querschnitt des Bauteils. Ursache für Schubspannungen sind Querkkräfte und Torsionsmomente.

In der Regel interessieren Ort und Größe der maximal auftretenden Spannungen $\sigma_{\max}$ bzw. $\tau_{\max}$.

4.1 Grundlagen

4.1.3 Flächenmomente

- Man unterscheidet verschiedene Arten der Flächenmomente:
 - 0. Ordnung → **Querschnittsfläche**
 - 1. Ordnung → **Statisches Flächenmoment S**
 - 2. Ordnung → **Flächenträgheitsmoment I**



1. Ordnung – statisches Moment

- Statisches Moment bezogen auf y-Achse: $S_y = \int_A z \cdot dA$ (4.4)

- Statisches Moment bezogen auf z-Achse: $S_z = \int_A y \cdot dA$ (4.5)

Flächenmomente

Der Querschnitt einer Fläche ist eine wichtige Größe zur Berechnung der Spannung und Dehnung. Es wird zwischen Flächenmomenten 0., 1. und 2. Ordnung unterschieden. Dabei ist immer zu beachten, auf welche Achse sich das Flächenmoment bezieht.

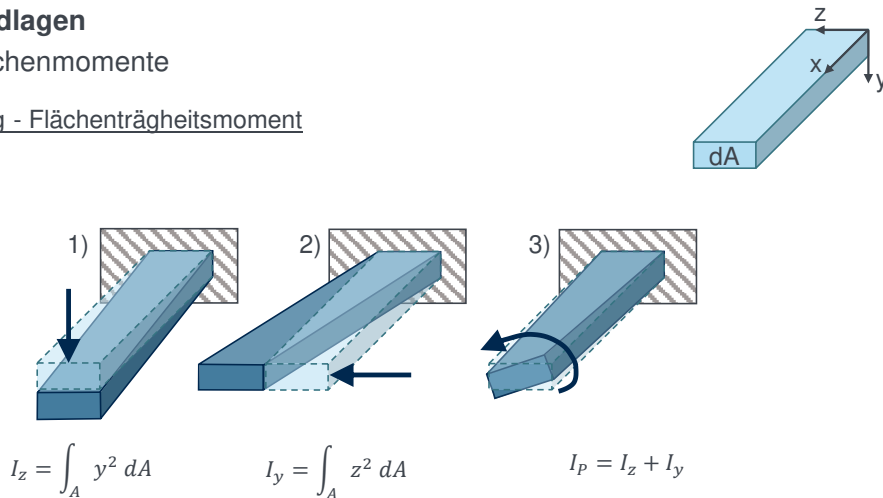
1. Ordnung – statisches Flächenmoment S

Das statische Flächenmoment S ist eine geometrische Größe zur Berechnung einer Schubspannung infolge einer Querkraft und wird für die Schwerpunktberechnung benötigt.

4.1 Grundlagen

4.1.3 Flächenmomente

2. Ordnung - Flächenträgheitsmoment



Flächenmomente

2. Ordnung – Flächenträgheitsmoment I

Das Flächenträgheitsmoment I ist eine geometrische Größe zur Berechnung von Spannungen bei Torsions- und Biegebeanspruchung. Man unterscheidet das polare Flächenträgheitsmoment I_P und die axialen Flächenträgheitsmomente I_z und I_y .

Auf der Folie ist (von links nach rechts) das Flächenträgheitsmoment I_z (Widerstand gegen Biegung um die z -Achse), das Flächenträgheitsmoment I_y (Widerstand gegen Biegung um die y -Achse) und das Flächenträgheitsmoment I_P (Widerstand gegen Torsion bei einem Moment um die x -Achse) dargestellt.

4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente

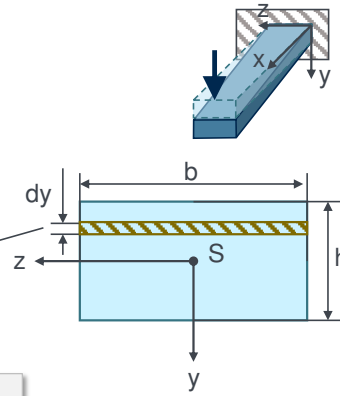
Flächenträgheitsmoment bezüglich der z-Achse:

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

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

Integration über gesamte Fläche (Grenzen $-\frac{h}{2}$ bis $+\frac{h}{2}$)

$$I_z = \frac{h^3 \cdot b}{12} \quad (4.8)$$



2. Ordnung – Flächenträgheitsmoment I bezüglich der z-Achse

Für einen Balken mit rechteckigem Querschnitt berechnet sich das Flächenträgheitsmoment bezüglich der z-Achse nach Gleichung (4.8). Die Integration findet dabei über die gesamte Fläche, d.h. von $-\frac{h}{2}$ bis $+\frac{h}{2}$ statt, da der Schwerpunkt des Balkens in der Mitte liegt.

Herleitung Gleichung (4.8):

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

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

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

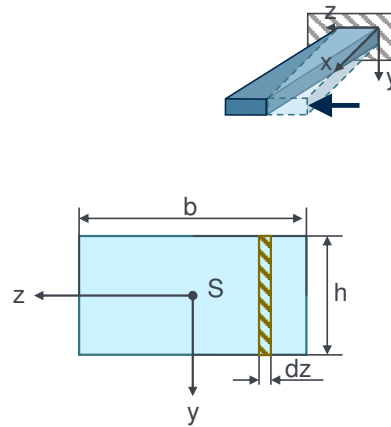
4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente

Flächenträgheitsmoment bezüglich der y-Achse:

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

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



• $I_{y1} + I_{y2}$ 😊 ~~$I_{y1} + I_{z2}$~~ 😞

2. Ordnung – Flächenträgheitsmoment I bezüglich der y-Achse

Für einen Balken mit rechteckigem Querschnitt berechnet sich das Flächenträgheitsmoment bezüglich der y-Achse nach Gleichung (4.10). Die Integration findet dabei über die gesamte Fläche, d.h. von $-\frac{b}{2}$ bis $+\frac{b}{2}$ statt, da der Schwerpunkt des Balkens in der Mitte liegt.

Herleitung Gleichung (4.10):

$$I_y = \int_{-b/2}^{b/2} z^2 \cdot h \cdot dz$$

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

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

Die Flächenträgheitsmomente für viele Querschnitte sind tabelliert und müssen daher nicht, wie oben zu sehen, extra hergeleitet werden. Im allgemeinen Fall ist b eine Funktion von y. Es ist dann die Funktion b(y) in das Integral einzusetzen! Flächenträgheitsmomente, die sich auf dieselbe Achse beziehen, können addiert und subtrahiert werden.

4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente

The diagram illustrates the calculation of the axial moment of inertia for a double-T beam. It consists of three parts:

- Left:** A cross-section of a double-T beam. The top flange is labeled 'Obergurt', the web is 'Steg', and the bottom flange is 'Untergurt'. The total height is h_2 , and the web height is h_1 . The flange width is $3b$, and the web width is b . A coordinate system with y and z axes is shown.
- Middle:** A rectangle representing the top flange with width $3b$ and height h_2 . Its moment of inertia is given by:

$$I_{z,1} = \frac{h_2^3 \cdot 3b}{12}$$
- Right:** A rectangle representing the web with width b and height h_1 . Its moment of inertia is given by:

$$I_{z,2} = \frac{h_1^3 \cdot b}{12}$$

The total moment of inertia for the double-T beam is calculated by subtracting the moments of the two flanges from the moment of the web:

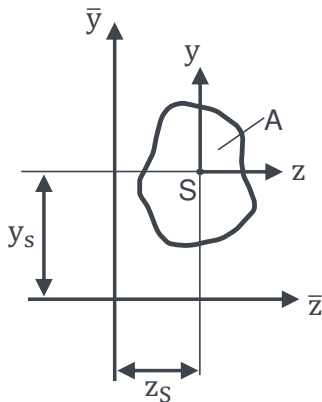
$$I_{z,ges} = I_{z,1} - 2 \cdot I_{z,2} = \frac{b}{12} \cdot (3 \cdot h_2^3 - 2 \cdot h_1^3)$$

Subtrahieren von Flächenträgheitsmomenten

Das Subtrahieren von Flächenträgheitsmomenten wird auf der Folie anhand eines Doppel-T-Trägers verdeutlicht. Nochmal: Nur Flächenträgheitsmomente, die sich auf dieselbe Achse beziehen, können addiert und subtrahiert werden!

4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente - Satz von Steiner



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

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

Steiner-Anteil

Flächenträgheitsmoment
bezüglich des
Schwerpunktes S

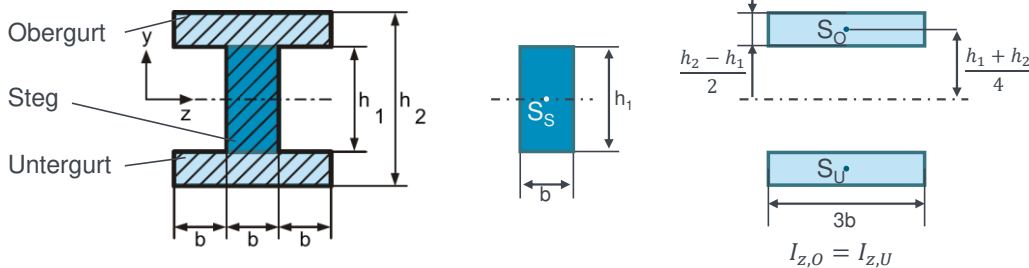
Satz von Steiner

Sind die Flächenträgheitsmomente bezüglich der Schwerpunktsachse bekannt, können mit dem Satz von Steiner Flächenträgheitsmomente bezüglich Bezugsachsen berechnet werden, die zu den Schwerpunktsachsen parallel verschoben sind. Flächenträgheitsmomente, die sich **nicht** auf dieselbe Achse beziehen, lassen sich somit mithilfe des Steinerschen Satzes zusammenfassen.

4.1 Grundlagen

4.1.3.1 Axiale Flächenträgheitsmomente - Satz von Steiner

Satz von Steiner am Beispiel eines Doppel-T-Trägers



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 11

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

Satz von Steiner – Vorgehen

Die Anwendung des Satzes von Steiner wird ebenfalls an einem Doppel-T-Träger verdeutlicht. Zunächst wird der Körper in bekannte Geometrien aufgeteilt. Anschließend sind die Schwerpunkte der einzelnen Geometrien und der Abstand der Einzelschwerpunkte zu den Ausgangsachsen zu bestimmen. Die Eigenträgheitsmomente der einzelnen Geometrien und die Steineranteile können dann addiert werden.

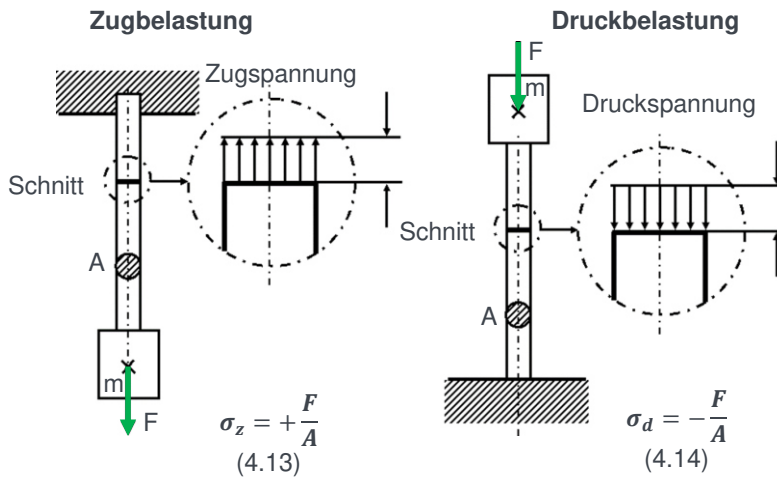
$$\begin{aligned} I_z &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + 2 \left[I_\zeta + y_s^2 \cdot A \right] \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + 2 \cdot \left[\frac{3 \cdot b \cdot \left(\frac{h_2 - h_1}{2}\right)^3}{12} + \left(\frac{h_2 + h_1}{4}\right)^2 \cdot (h_2 - h_1) \cdot \frac{1}{2} \cdot 3b \right] \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + 2 \cdot \left[\frac{3 \cdot b \cdot (h_2 - h_1)^3}{12 \cdot 8} + \frac{(h_2 + h_1)^2 \cdot (h_2 - h_1) \cdot 3b}{16 \cdot 2} \right] \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \frac{b \cdot (h_2 - h_1)^3}{16} + \frac{(h_2 + h_1)^2 \cdot (h_2 - h_1) \cdot 3b}{16} \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \frac{b}{16} \cdot (h_2 - h_1) \cdot [(h_2 - h_1)^2 + 3(h_2 + h_1)^2] \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \frac{b}{16} (h_2 - h_1) \cdot [h_2^2 - 2h_2 \cdot h_1 + h_1^2 + 3h_2^2 + 6h_2 \cdot h_1 + 3h_1^2] \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \frac{b}{16} (h_2 - h_1) \cdot [4h_2^2 + 4h_2 \cdot h_1 + 4h_1^2] \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \frac{b}{4} (h_2 - h_1) \cdot [h_2^2 + h_2 \cdot h_1 + h_1^2] \\ &= \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \frac{b}{4} (h_2^3 + h_2^2 \cdot h_1 + h_2 \cdot h_1^2 - h_1^3 - h_1^2 \cdot h_2 - h_1 \cdot h_2^2 - h_1^3) \\ &= \frac{b}{12} \cdot (3h_2^3 - 2h_1^3) \end{aligned}$$

4. Ermittlung der Spannungen

Kontrollfragen

1. Welche Grundbelastungsfälle gibt es? Nennen Sie je ein Beispiel.
2. Wozu wird der Satz von Steiner verwendet?
3. Beschreiben Sie die drei Flächenträgheitsmomente.

4.2 Normalspannung aus Längskraft



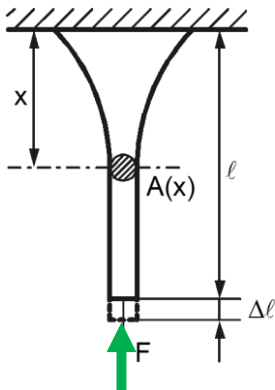
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 13

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Normalspannung aus Längskraft

Die Formeln für die Zug- und Druckspannung bei konstanten Querschnitten sind auf der Folie einzusehen. Will man die Zug-/Druckspannungen für Bauteile mit veränderlichem Querschnitt bestimmen, sind die folgenden Formeln zu verwenden.



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

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

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

Das Vorzeichen der Spannung, also die Festlegung ob Druck- oder Zugspannung, erfolgt nach der lokalen Wirkung auf das Bauteil. Steht der Werkstoff dort unter Druck, wird die Spannung negativ angesetzt.

4.2 Normalspannung aus Längskraft

Normalspannung → Dehnung ε

Hookesches Gesetz:

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

E: Elastizitätsmodul

Längsdehnung:

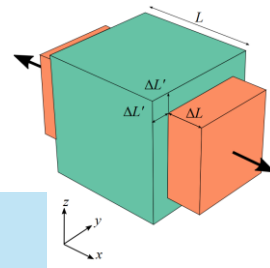
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\text{Verlängerung unter Last}}{\text{Länge im unbelasteten Zustand}} \quad (4.18)$$

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 (Poissonzahl) ist definiert durch:

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



Quelle:
Wikipedia

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 14

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Dehnung

Die Wirkung der Normalspannung aus einer Längskraft ist die Dehnung ε . Im elastischen Bereich gilt das Hookesche Gesetz, welches das Verhältnis der Spannung zum Elastizitätsmodul widerspiegelt. Das Elastizitätsmodul oder auch E-Modul ist eine Werkstoffkenngröße. Für zylindrische und prismatische Stäbe kann die Längsdehnung aus der Verlängerung unter Last und der ursprünglichen Länge (unbelasteter Zustand) bestimmt werden. Zudem kann auch die Einschnürung eines Stabes unter Last und dessen Querkontraktionszahl berechnet werden. Ändert sich das Volumen der gedehnten Probe nicht, bleibt das Volumen also konstant, beträgt die Querkontraktionszahl $\nu = 0,5$. Dies ist unter anderem bei Gummi der Fall. Bei einer Poissonzahl kleiner als 0,5 nimmt bei einer Zugbelastung das Volumen zu, bei Druckbelastung nimmt das Volumen ab.



4.2 Normalspannung aus Längskraft

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

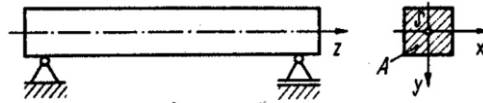
Knickfälle nach Euler

Die oben dargestellten vier Knickfälle dienen als Grundlage für die Bestimmung der Knickstabilität von Stäben. Die betrachteten Stäbe besitzen dabei alle dieselbe Biegesteifigkeit (EI). Wird ein Stab mit einer Druckkraft belastet, unterscheidet sich die auftretende Knicklast je nach Lagerung des Stabes, dessen Biegesteifigkeit und dessen Länge. Zudem bedingen die unterschiedlichen Lagerungsarten verschiedene Knickformen des Stabes.

4.3 Normalspannung durch Biegung

Biegebeanspruchung eines zweiseitig aufgelegten Trägers

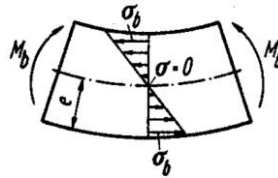
Unverformt:



Durchbiegung:



Spannungsverlauf:



Biegebeanspruchung eines zweiseitig aufgelegten Trägers

Wird ein zweiseitig aufgelegter Träger mit einer Querkraft belastet, biegt er sich durch. Auf der Druckseite des Trägers kommt es zu einer Stauchung durch Druckspannung, auf der Zugseite zu einer Dehnung durch Zugspannung. In der Mitte des Trägers befindet sich die sogenannte neutrale Faser, welche weder eine Stauchung noch eine Dehnung erfährt. Betrachtet man die auftretende Spannung über den Querschnitt, ist zu beobachten, dass der Betrag der Spannung mit zunehmendem Abstand zur neutralen Faser ebenfalls zunimmt.

4.3 Normalspannung durch Biegung

Allgemein gilt:

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

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

$$\begin{array}{l} \cancel{W_{z1} + W_{z2}} \\ \cancel{W_{z1} - W_{z2}} \end{array} \quad \text{☹️}$$

Normalspannung unter Biegung

Die maximal auftretende Biegespannung kann mit Gleichung (4.21) bestimmt werden. Das Widerstandsmoment gegen Biegung berechnet sich dabei aus dem Flächenträgheitsmoment I_z und dem maximalen Randabstand e . Das Flächenträgheitsmoment wird auch relatives Trägheitsmoment genannt. Wichtig zu wissen ist auch, dass Widerstandsmomente – im Gegensatz zu Flächenträgheitsmomenten – weder addiert noch subtrahiert werden können! Liegt ein unsymmetrischer Querschnitt vor, sind verschiedene Widerstandsmomente W_b für Zug bzw. Druck zu berechnen.

4.3 Normalspannung durch Biegung

Beanspruchungsgerechte Trägerquerschnitte unter Biegung

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

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

Wirtschaftlichkeit: Masse minimal halten



Beanspruchungsgerechte Trägerquerschnitte unter Biegung

Die Wirtschaftlichkeitsforderung verlangt, mit möglichst geringem Materialaufwand zu konstruieren. Bei Trägern bedeutet dies eine geschickte räumliche Anordnung des Werkstoffs. Darüber hinaus ist bei der Konstruktion von Trägern immer die maximal zulässige Spannung bzw. Verformung zu berücksichtigen. Zu Beachten ist bei den auf der Folie aufgeführten Beispielen von Trägerprofilen, dass beide Profile um die x-Achse gebogen werden und nicht um die z-Achse.

Aus den eben aufgeführten Anforderungen können konstruktive Forderungen abgeleitet werden. Zum einen sollten Profile verwendet werden, bei denen der Werkstoff in Durchbiegerichtung weit entfernt von der Stabachse angeordnet ist. Zum anderen wird, bei gleicher Belastung, die Spannung nur von der Trägerquerschnittsform bestimmt, die Verformung außerdem noch vom E-Modul. Generell ist zu Beachten, dass flache Profile biegeweich, hohe Profile biegesteif sind.

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

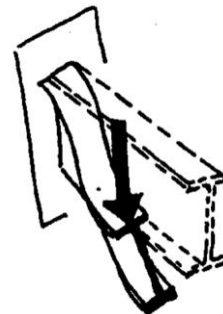
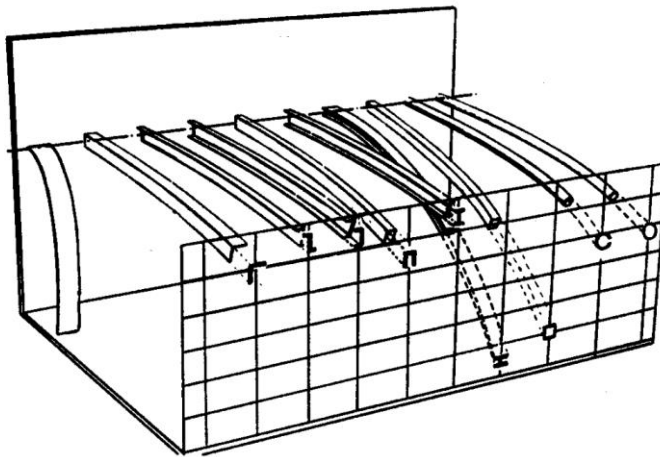
Quelle: H.K. Müller

Widerstandsmoment

Auf der Folie sind Trägerprofile dargestellt, die sich in ihrem Querschnitt und ihrer Masse deutlich unterscheiden. Dennoch besitzen sie alle dasselbe Widerstandsmoment, da mit zunehmendem Randabstand e auch das rel. Trägheitsmoment steigt.

4.3 Normalspannung durch Biegung

Biegesteifigkeit verschiedener Profilformen bei gleichen Querschnitten



Zu hohe Trägerprofile
neigen zum kippen

Quelle: H.K. Müller

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 20

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Biegesteifigkeit

Zuvor wurde erwähnt, dass es von Vorteil ist Profile zu verwenden, bei denen der Werkstoff in Durchbiegerichtung weit entfernt von der Stabachse angeordnet ist (bei gleicher Masse). Zu hohe Trägerprofile neigen jedoch auch zum kippen. Demnach gilt es einen guten Kompromiss zu finden.

4. Ermittlung der Spannungen

Kontrollfragen

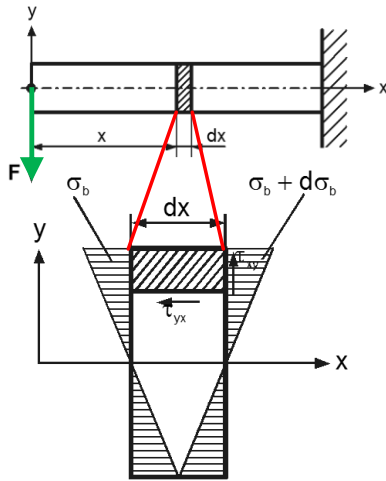
1. Nennen Sie ein Material, dessen Querkontraktionszahl ν den Wert 0,5 annimmt. Was ist die Bedeutung?
2. Können Widerstandsmomente oder Flächenträgheitsmomente, die sich auf dieselbe Achse beziehen addiert werden?
3. Wie müssen Sie als Konstrukteur ein Trägerprofil gestalten, welches später auf Biegung belastet wird?

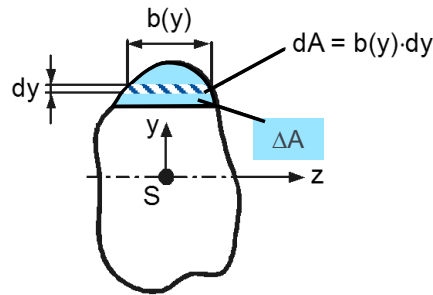
4.4 Schubspannung infolge Querkraft

Schubspannungen im Biegebalken



Extra Session!


 Querkraft: $F_Q = F$

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

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

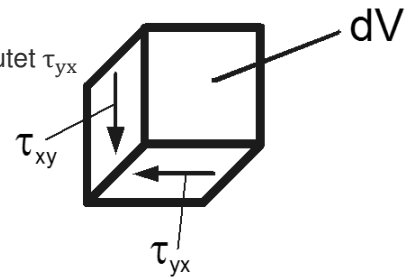
Folie 22

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Schubspannungen im Biegebalken

Im Folgenden wird das Balkenelement an der Stelle x betrachtet. Dabei bedeutet τ_{yx} Schubspannung in der Ebene senkrecht zur y -Achse und in x -Richtung.

Kräftegleichgewicht am abgetrennten Balkenelement:



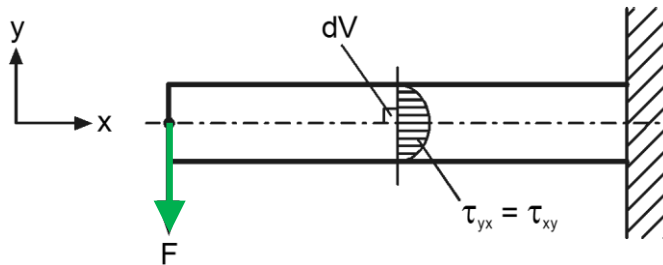
4.4 Schubspannung infolge Querkraft

- 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

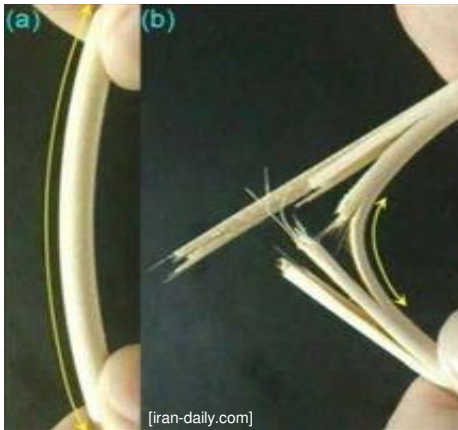


Schubspannung infolge Querkraft

Bei Balken mit einem rechteckigen Querschnitt ergibt sich eine parabolische Verteilung der Schubspannung über den Balkenquerschnitt. Dabei tritt außen keine Schubspannung auf. Die maximale Schubspannung ist auf der Mittellinie zu beobachten.

4.4 Schubspannung infolge Querkraft

...ein Beispiel aus der Natur



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 24

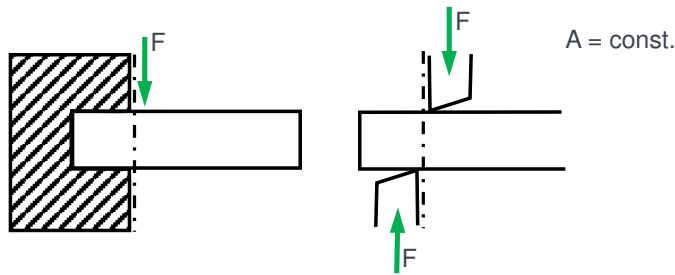
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schubspannung infolge Querkraft

Ein Beispiel, bei dem Schubspannung infolge von Querkraften auftritt sind Bambusstäbe. Aufgrund der Schubspannungen reißen die Bambusstäbe unter einer Querkraft längs.

4.4 Schubspannung infolge Querkraft

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



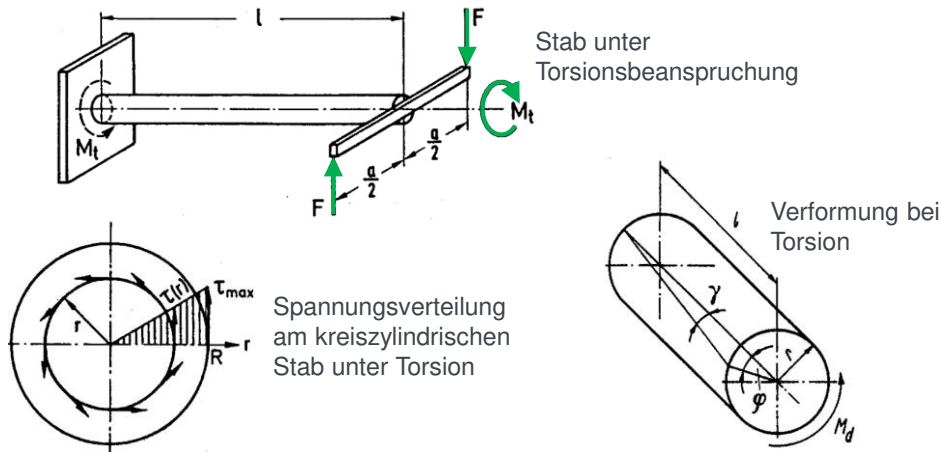
Allgemein gilt: $\tau = \frac{F}{A}$ (sog. Scherspannung) (4.37)

Schubspannung infolge Querkraft

Im Allgemeinen sind die Schubspannungen aus Querkraft klein im Vergleich zu den auftretenden Biegespannungen. Ausnahmen stellen sehr kurze Balken und Doppel-T-Träger mit sehr schlankem Steg dar, welche eine große Querkraft F_Q und ein kleines Biegemoment M_b aufweisen. Zum Nachvollziehen dieses Verhaltens siehe auch Gleichung (4.34). Auf der Folie ist der eben erwähnte Sonderfall eines Balkens mit der Länge ungefähr gleich Null dargestellt. Aufgrund der kleinen Länge geht der Betrag des Biegemoments gegen Null. Der Balken wird im Falle des Versagens also nicht „abgebrochen“, sondern „abgeschert“. Es herrscht im ganzen Querschnitt die gleiche Spannung.

4.5 Schubspannung infolge Torsion

Verformung und Spannungsverteilung bei Torsion



Quelle: H. Dietmann

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 26

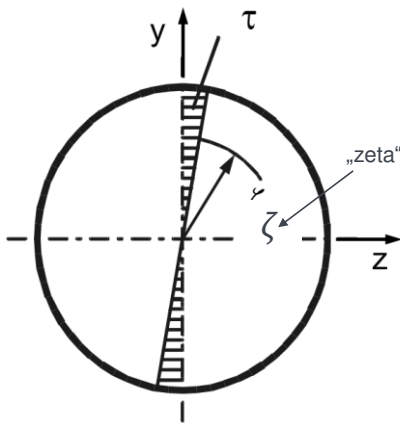
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schubspannung infolge Torsion

Bei einer reinen Torsion der Strukturen treten ausschließlich Schubspannungen auf. Wie die auftretende Schubspannung und der Verdrehwinkel bestimmt werden können wird auf den nachfolgenden Folien behandelt. Dabei wird zwischen kreisrunden-, dünnwandigen-, rechteckigen und beliebig zusammengesetztes Querschnitten unterschieden.

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:

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

Schubspannung infolge Torsion – kreisrunde Querschnitte

Die Herleitung der Schubspannung kann für kreisrunde Querschnitte, die mit einem Torsionsmoment beansprucht werden, äquivalent zur Biegespannung erfolgen.

Nach dem Satz des Pythagoras gilt $\zeta^2 = z^2 + y^2$. Demnach ergibt sich das polare Trägheitsmoment des Querschnitts zu:

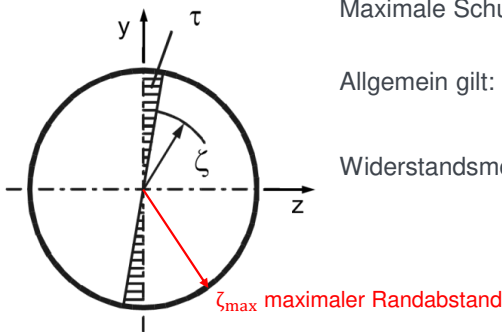
$$I_p = \int_A \zeta^2 \cdot dA = \int_A (z^2 + y^2) \cdot dA \quad (4.40).$$

Liegt ein rotationssymmetrischer Querschnitt vor, ist das polare Trägheitsmoment dieses Querschnittes gleich der Summe zweier Flächenträgheitsmomente (äquatorialer Trägheitsmomente), deren Bezugsachsen aufeinander senkrecht stehen ($I_p = I_z + I_y$).

Des Weiteren können polare Trägheitsmomente, die sich auf den gleichen Pol beziehen, addiert und subtrahiert werden.

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.1 Kreisrunde Querschnitte



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

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

$$\text{Widerstandsmoment gegen Torsion: } W_t = \frac{I_p}{\zeta_{\max}} = W_p \quad (4.43)$$

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 28

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

Kreisrunde Querschnitte – Beispiel Hohlbohren einer Welle

a) Welle mit Vollquerschnitt (VW)

(mit r , $d = 2r$, M_t)

$$I_p = \int_A \zeta^2 \cdot dA$$

$$[dA = 2\pi \cdot \zeta \cdot d\zeta]$$

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

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

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

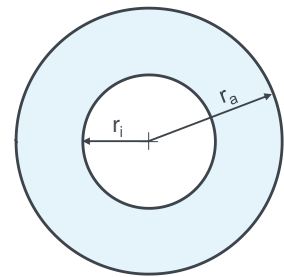
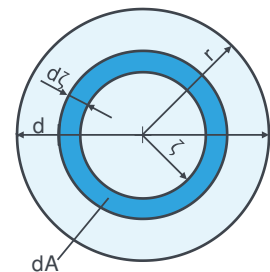
b) Welle mit Hohlquerschnitt (HW)

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

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

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

$$\tau_{tb}) = \frac{32}{15} \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot r^3} = 2,133 \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot r^3} = 17,064 \cdot \frac{M_t}{\pi \cdot d^3} \quad (4.47)$$



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

Die Spannungserhöhung durch Hohlbohrungen mit halben Durchmesser beträgt 6,7%. Soll $\tau_{ta}) = \tau_{tb})$ sein, muss r_a im Fall von 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%.

Gewichtersparnis:

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

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

Wird der Außendurchmesser der Hohlwelle angepasst ($r_a = 1,0217 \cdot r$) ergibt sich:

$$A_{(HW)} = \frac{3,132}{4} \cdot \pi \cdot r^2 \text{ und damit:}$$

$$A_{(VW)} - A_{(HW)} = 0,217 \cdot \pi \cdot r^2 \rightarrow \text{Gewichtersparnis von ca. 22\%}.$$

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.2 Dünnwandige Querschnitte

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

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

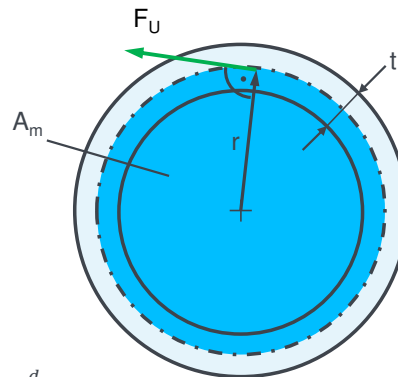
$$\text{Umfangskraft: } F_u = \frac{M_t}{r}$$

$$\text{Ringfläche: } A_R = 2\pi \cdot r \cdot t$$

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

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

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



Schubspannung infolge Torsion – Dünnwandige Querschnitte

Die Gleichung (4.49) gilt auch für Querschnitte mit veränderlicher Wandstärke t , wobei der Schubfluss $\tau \cdot t$ konstant ist.

An der Stelle, an der $t = t_{\min}$ ist, ergibt sich:

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

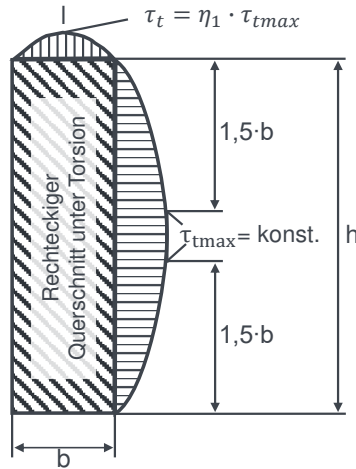
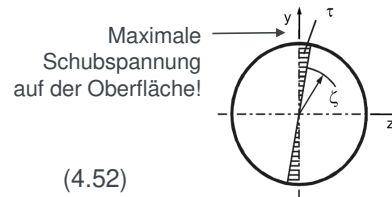
An einer beliebigen Stelle des Querschnitts gilt die 1. Bredtsche Formel:

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

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 $t = t_{\min}$
	$\frac{\pi d_m^3 t}{4}$	$\frac{\pi d_m^2 t}{2}$	

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.3 Rechteckige Querschnitte



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

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

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

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

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

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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

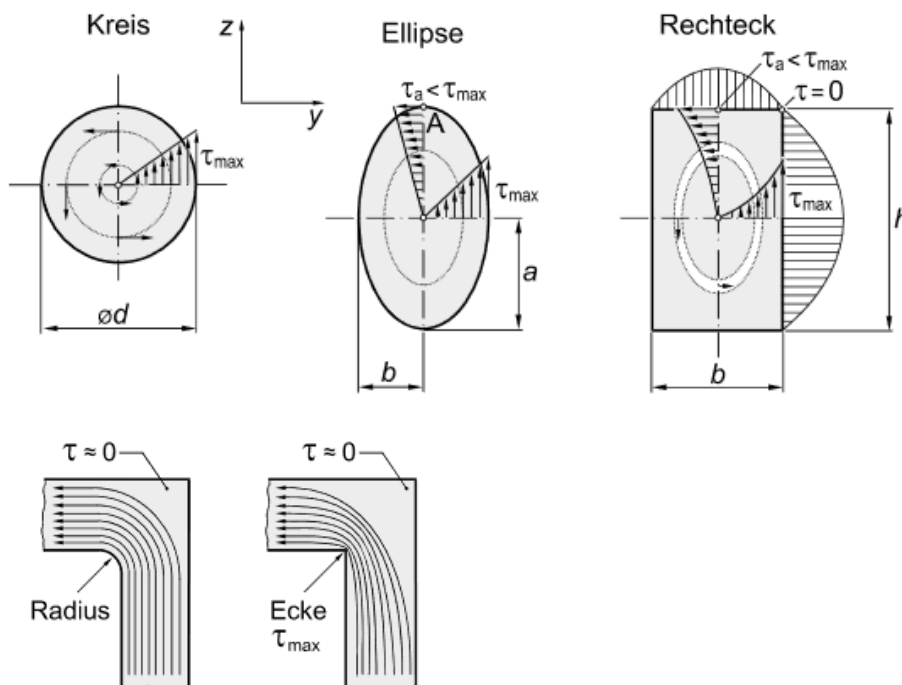
Folie 30

Institut für Medizingerätetechnik **INT**

Schubspannung infolge Torsion – Rechteckige Querschnitte

Strömungsanalogie von Thomson

Die Strömungsanalogie von Thomson betrachtet einen tordierten Stab, der von einer reibungsfreien, inkompressiblen Flüssigkeit mit konstanter Zirkulation durchströmt wird. Die Richtung der Stromlinien stimmt dann mit der resultierenden Schubspannung überein. Insbesondere nimmt bei einem kleiner werdenden Querschnitt die Strömungsgeschwindigkeit (Abstand der Stromlinien zueinander) zu, wodurch die Schubspannung proportional dazu ansteigt. Die maximale Schubspannung tritt immer am Querschnittsrand der engsten Stelle auf. An den Ecken eines tordierten Stabes (hier mit Rechteckprofil) ist die Schubspannung Null, da der Richtungswechsel der Strömung stetig erfolgen muss.



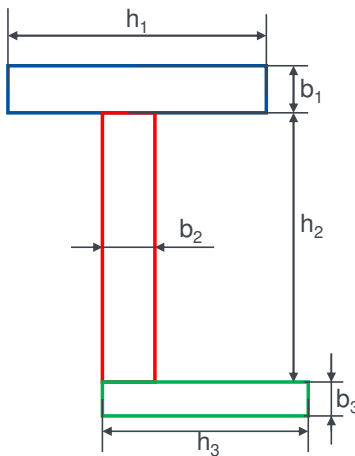
Quelle:
Läpple (Einführung in die Festigkeitslehre)

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.4 Zusammengesetzte Querschnitte

$$I_p = \eta_3 \cdot b^3 \cdot h$$

$$W_t = \eta_2 \cdot b^2 \cdot h$$



dünnwandige Profile $b \ll h$

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

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

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

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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 31

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Schubspannung infolge Torsion – Zusammengesetzte Querschnitte

Zusammengesetzte Querschnitte werden als aus Streifenquerschnitten zusammengesetzt behandelt. Das polare Trägheitsmoment des zusammengesetzten Querschnitts ergibt sich aus der Summe der Trägheitsmomente der Einzelquerschnitte. Das Widerstandsmoment gegen Torsion kann annähernd nach Gleichung (4.57) berechnet werden.

Ergänzungen – Verdrehen des Bauteils unter Torsion

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

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

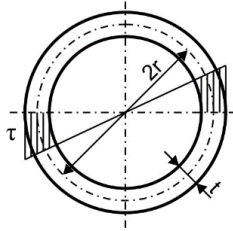
Wobei φ dem Verdrehwinkel (in Bogenmaß), l der Länge des verdrehten Stabes und G dem Schubmodul entspricht.

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.5 Vergleich offene/geschlossene Querschnitte

Beispiel: Dünnwandiger Kreisquerschnitt

Für $r = 10$, $t = 1$

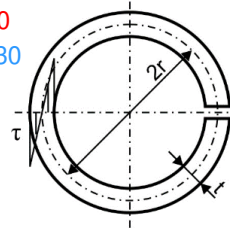


Geschlossen:

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

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

Verdrehung ca. **1:300**
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 $\frac{h}{b} \rightarrow \infty$

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

↳ Für $\frac{h}{b} \rightarrow \infty$

Vergleich zwischen offenen- und geschlossenen Querschnitten – dünnwandiger Kreisquerschnitt

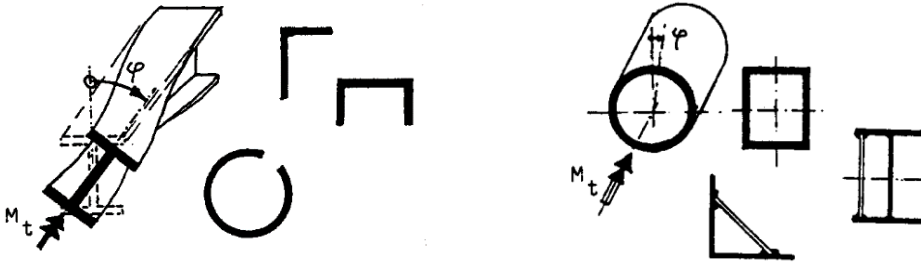
Erläuterungen zur Rechnung:

Aus Gleichung (4.58) ist zu erkennen, dass sich der Verdrehwinkel ϕ zum polaren Trägheitsmoment I_p umgekehrt proportional verhält. Das Verhältnis des Trägheitsmoment eines geschlossenen dünnwandigen Kreisquerschnitts zu einem offenen dünnwandigen Kreisquerschnitt beträgt 300:1. Demnach verhält sich der Verdrehwinkel der beiden betrachteten Querschnitte wie 1:300. Die Torsionsspannung τ_t ist proportional zum Torsionsmoment M_t und umgekehrt proportional zu dem Widerstandsmoment gegen Torsion W_t . Demnach ergibt sich das Verhältnis der Torsionsspannung zu 1:30.

4.5 Schubspannung infolge Torsion

4.5.5 Vergleich offene/ geschlossene Querschnitte

Beanspruchungsgerechte Trägerquerschnitte unter Torsion

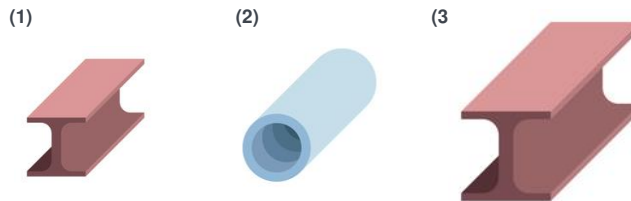


Beanspruchungsgerechte Trägerquerschnitte unter Torsion

Erfahrungsgemäß sind offene Profile eher torsionsweich, geschlossene Profile hingegen torsionssteif. Deshalb sollten bei Konstruktionen geschlossene Hohlprofile verwendet werden, 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. Ermittlung der Spannungen**Kontrollfragen**

1. Nennen Sie zwei Beispiele, bei denen die Schubspannungen aus einer Querkraft groß im Vergleich zu den auftretenden Biegespannungen sind.
2. Ordnen Sie die Profile nach ihrer Torsionssteifigkeit.



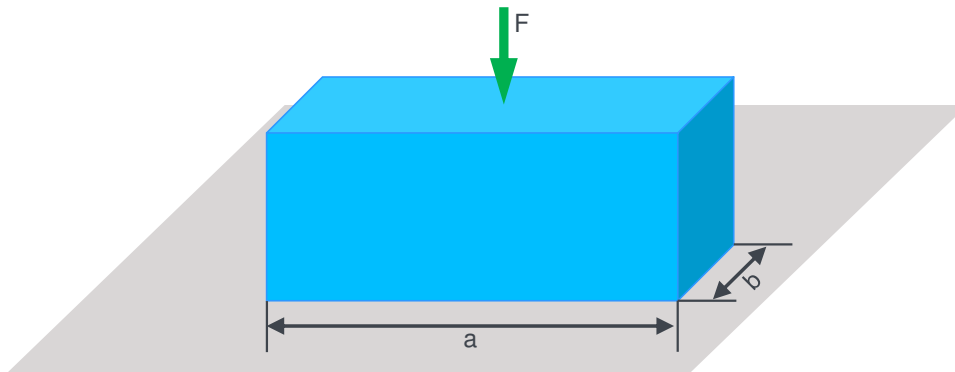
3. Wo tritt bei einer zylinderförmigen Probe, die auf Torsion belastet wird die maximale Spannung auf?

Schubspannung infolge Torsion**Flächenträgheits- und Widerstandsmomente (Auszug)**

Querschnitt	Äquatoriale Flächenträgheits- momente I_x, I_y	Widerstands- momente gegen Biegung W_{bx}, W_{by}	Polares Flächenträg- heitsmoment I_p bzw. Drillungswiderstand I_t	Widerstands- moment gegen Torsion W_t
	$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{4} r^4$ $\approx 0,05 d^4$	$W_{bx} = W_{by} = \frac{\pi}{32} d^3$ $= \frac{\pi}{4} r^3$ $\approx 0,1 d^3$	$I_t = I_p = \frac{\pi}{32} d^4$ $\approx 0,1 d^4$	$W_t = \frac{\pi}{16} d^3$
	$I_x = I_y$ $= \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$ $= \frac{\pi}{64} D^4 (1 - \varrho^4)$ $= \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4)$	$W_{bx} = W_{by}$ $= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$ $= \frac{\pi}{32} \cdot D^3 (1 - \varrho^4)$ $= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{R^4 - r^4}{R}$	$I_t = I_p$ $= \frac{\pi}{32} \cdot (D^4 - d^4)$ $= \frac{\pi}{32} \cdot D^4 (1 - \varrho^4)$ $= \frac{\pi}{2} \cdot (R^4 - r^4)$	$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$ $= \frac{\pi}{16} D^3 (1 - \varrho^4)$
	$I_x = \frac{1}{12} b h^3$ $I_y = \frac{1}{12} b^3 h$	$W_{bx} = \frac{1}{6} b h^2$ $W_{by} = \frac{1}{6} b^2 h$	$I_t = \eta_3 b^3 h$ 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

Kraft auf Fläche → Druckspannung



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

Flächenpressung

Neben den bisher behandelten Spannungen, die im Inneren eines Körpers entstehen, können auch Spannungen an der Oberfläche von Körpern auftreten. Flächenpressung tritt als Folge von Druckspannung an der Oberfläche zweier Körper auf, die sich in einer gemeinsamen Fläche berühren und Druckkräfte aufeinander ausüben. In der Regel handelt es sich um Druckspannungen, es sind jedoch auch Zugspannungen, z. B. bei Klebeverbindungen, denkbar.

Zur Vereinfachung wird angenommen:

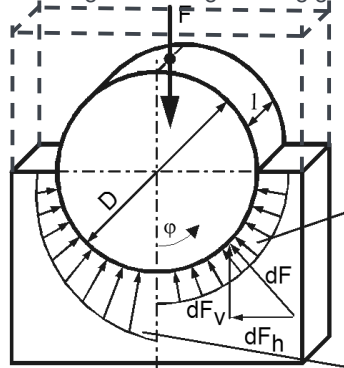
1. Die gemeinsame Fläche ist eben.
2. Die Körper sind im Bereich der Berührungsfläche starr.
3. Die Druckkraft verteilt sich gleichmäßig auf die Berührungsfläche.

4.6 Flächenpressung

Unterschiedliche Pressungsverteilungen bei runden Flächen

Besondere Form der Flächenpressung: **Lochleibung**

Belastungsverteilung abhängig von Passung



**Übergangspassung,
Presspassung**

→ Gleichmäßige Verteilung
der Flächenpressung

Spielpassung

→ Ungleichmäßige Verteilung
der Flächenpressung

Lochleibung:

$$p = \frac{F}{D \cdot l} = \frac{F}{A}$$

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 36

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Flächenpressung – Lochleibung

Eine besondere Form der Flächenpressung ist der Leibungsdruck, auch Lochleibung genannt. Es handelt sich dabei um die Beanspruchung, die z. B. zwischen Niet und Bohrloch oder Lagerzapfen und Lagerschale bei einer Querbelastung auftritt. Abhängig von der Passung, beispielsweise von Zapfen und Bohrung, sind verschiedene Formen der Belastungsverteilung möglich. Wirkt die Massenkraft vorwiegend nach unten (linker Teil der Abbildung), ist die Flächenpressung ungleichmäßig verteilt. Dies ist bei Spielpassungen der Fall. Eine gleichmäßige Verteilung der Flächenpressung liegt bei Übergangs- bzw. Presspassungen (rechter Teil der Abbildung) vor.

Flächenpressung – Lochleibung

Für die Spielpassung soll im Folgenden die mittlere Flächenpressung, unter Annahme einer konstanten Pressung, berechnet werden.

Für die lokale Kraft an einem kleinen Flächenstück der Kontaktfläche gilt:

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

$$\text{Wobei: } dA = r \cdot d\varphi \cdot l = \frac{D}{2} \cdot l \cdot d\varphi$$

Mit der vertikalen Komponente $dF_v = \cos(\varphi) \cdot dF$, einsetzen der Gleichung (4.60) und der Betrachtung einer Hälfte des Systems ergibt sich:

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

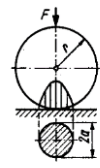
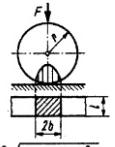
Damit berechnet sich der mittlere Druck zu:

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

Das bedeutet, man kann die mittlere Flächenpressung mit Hilfe der Projektionsfläche berechnen!

4.6 Flächenpressung

Berührungsverhältnisse und Berechnungsgleichungen bei Hertzscher Pressung

Berührungsverhältnisse	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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 37

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

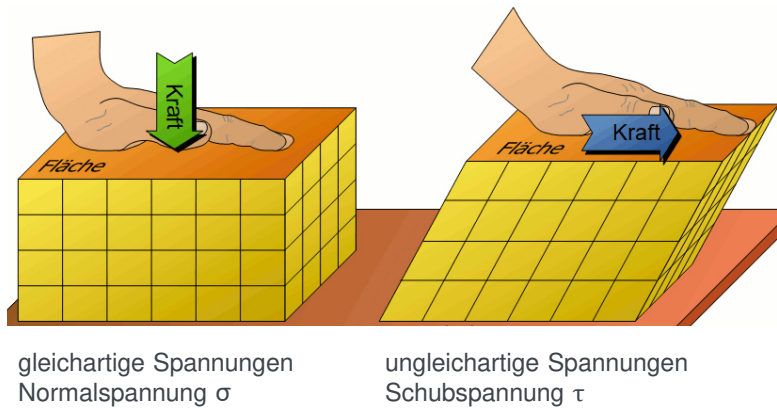
Hertzsche Pressung

Die Hertzsche Pressung tritt auf, wenn mindestens eines der beiden Bauteile, die aufeinander gepresst werden eine gekrümmte Oberfläche aufweist. Infolge des Aufeinanderpressens kommt es zu einer Abplattung der Bauteile. Die Berührungsfläche ist nun nicht mehr punktförmig, sondern kreis-, ellipsenförmig oder rechteckig. Bei kreis- und ellipsenförmigen Berührungsflächen (obere Abbildung) tritt die maximale Pressung in der Mitte auf und beträgt das 1,5-fache der mittleren Pressung. Bei rechteckigen Berührungsflächen (untere Abbildung) ist die Normalspannung über die Berührungsfläche elliptisch verteilt. Das Maximum der Pressung liegt ebenfalls in der Mitte.

Quelle:

Sauer (Grundlagen der Festigkeitsberechnung)

4.7 Zusammenfassung von Spannungen



Quelle:
www.tec-science.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 38

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

Zusammenfassen von Spannungen

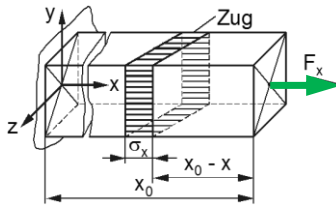
Bauteile unterliegen häufig gleichzeitig mehreren Beanspruchungen. Diese Beanspruchungen können gleichartige- oder ungleichartige Spannungen hervorrufen. Beispiele für gleichartige Spannungen sind Zug und Biegung. Ungleichartige Spannungen sind Biegung und Torsion.

Wie die Abbildung zeigt, wirken Normalspannungen senkrecht zum Querschnitt, Schubspannungen parallel zum Querschnitt. Um ein Kriterium für die Beanspruchung des Bauteils im Vergleich zur Festigkeit des Werkstoffes zu gewinnen, müssen auftretende Spannungen zusammengefasst werden.

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

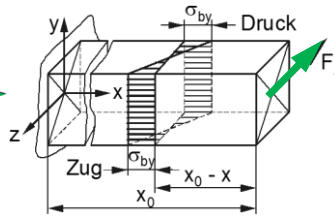
4.7.1 Gleichartige Spannungen

- Zug in x-Richtung:



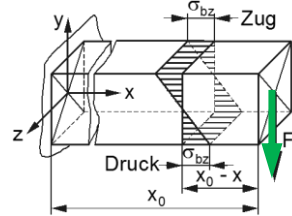
$$\sigma_x = \frac{F_x}{A} \quad (4.62)$$

- Biegung um die y-Achse:



$$\sigma_{by,max} = \frac{(x_0 - x) \cdot F_z}{W_{by}} = \frac{M_{by}}{W_{by}} \quad (4.63)$$

- Biegung um die z-Achse:



$$\sigma_{bz,max} = \frac{(x_0 - x) \cdot F_y}{W_{bz}} = \frac{M_{bz}}{W_{bz}} \quad (4.64)$$

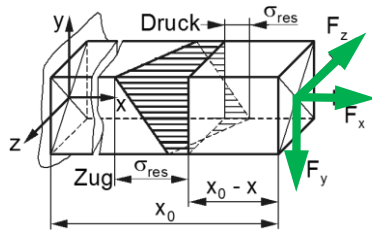
Zusammenfassen von Spannungen – Gleichartige Spannungen

Treten an einem Querschnitt mehrere gleichartige Spannungen aus verschiedenen Ursachen bzw. Beanspruchungen auf, so lassen sie sich algebraisch addieren, wenn sie in derselben Wirkungsline liegen. Das bedeutet, auch hier muss unbedingt auf die Richtung bzw. die Bezugsachse geachtet werden!

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

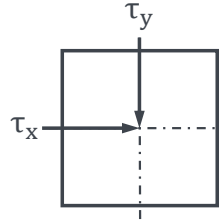
4.7.1 Gleichartige Spannungen

Gleichartige Spannungen
in derselben Wirkungslinie



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

Gleichartige Spannungen
in unterschiedlichen Wirkungslinien



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

Zusammenfassen von Spannungen – Gleichartige Spannungen

Im Fall der auf der vorherigen Folie gezeigten Spannungen, die alle in derselben Wirkungslinie liegen, überlagern sich alle drei Lastfälle wie in der linken Abbildung verdeutlicht.

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

4.7 Zusammenfassung von Spannungen

4.7.2 Ungleichartige Spannungen

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

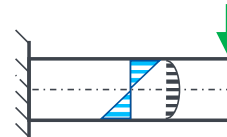
Keine einfache Zusammensetzung der Spannungen möglich

Normalspannungshypothese (NH)

Schubspannungshypothese (SH)

Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH)
→ für die Anwendung im Maschinenbau am besten geeignet

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



Zusammenfassen von Spannungen – Ungleichartige Spannungen

Erfährt ein Bauteil gleichzeitig eine Normal- und Schub-Beanspruchung, wie z.B. Biegung und Verdrehen, können die Spannungen nicht einfach zusammengefasst werden. Es wurden daher verschiedene Hypothesen aufgestellt, mit denen ein sogenannter mehrachsiger Spannungszustand auf einen einachsigen Spannungszustand zurückgeführt werden kann. Dafür wird eine Vergleichsspannung (ideelle Spannung) berechnet.

Gestaltänderungsenergiehypothese GEH:

Mit der Gestaltänderungsenergiehypothese lässt sich die an einer Stelle des Bauteils herrschende Normalspannung und Schubspannung nach Gleichung (4.67) zu einer Vergleichsspannung zusammenfassen. Die Vergleichsspannung ermöglicht eine Beurteilung der Beanspruchung des Bauteils. Dafür kann sie mit den aus einachsigen Versuchen ermittelten Werkstoff-Festigkeits- oder zulässigen Spannungen verglichen werden. Diese Werkstoffwerte sind dabei Normalspannungen. Ein Beispiel, bei dem ungleichartige Spannungen auftreten und es demnach sinnvoll ist, eine Vergleichsspannung zu berechnen, ist die Biegung eines einseitig eingespannten Balkens 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.

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 42

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMW**

Zusammenfassen von Spannungen – Praktisches Vorgehen

Auf der Folie wird das grundsätzliche Vorgehen bei der Ermittlung und dem Zusammenfassen von Bauteilbeanspruchungen beschrieben. Für viele Maschinenelemente wie z.B. Wellen bestehen genauere und auch davon abweichende Berechnungsvorschriften in Form von DIN-Normen und anderen Richtlinien. Diese werden in KMT 2 teilweise behandelt!

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

Vergleichsspannungen				
Festigkeits- hypothese	Spannungszustand			
	dreiaxig	zweiaxig		
	$\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3$	$\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3 = 0^{+)}$	$\sigma_x; \sigma_y; \tau_{xy}$	$\sigma_b; \tau_t$
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

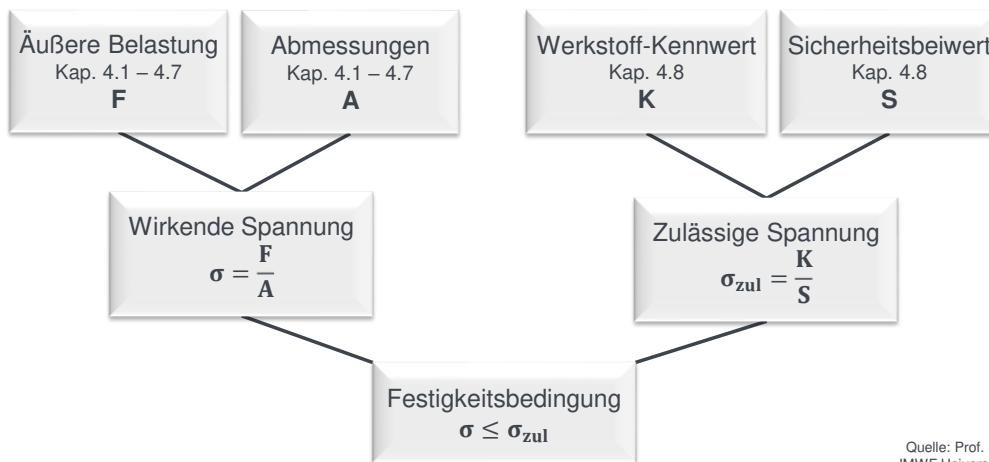
4. Ermittlung der Spannungen

Kontrollfragen

1. Was wird unter Lochleibung verstanden? Nennen Sie je ein Beispiel, bei dem eine gleichmäßige bzw. ungleichmäßige Verteilung der Flächenpressung auftritt.
2. Was sind gleichartige Spannungen?
3. Wie können gleichartige-, wie ungleichartige Spannungen zusammengefasst werden?

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Schema der Festigkeitsberechnung



Quelle: Prof. Schmauder,
IMWF Universität Stuttgart

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 44

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Festigkeitsberechnung

Die bisher behandelten Inhalte dieses Kapitels, repräsentiert durch den linken Zweig des Schemas, sind unabhängig vom vorliegenden Werkstoff (Elastomechanik, Technische Mechanik). Die im Folgenden behandelten Inhalte sind hingegen unabhängig von den Abmessungen und basieren auf der Werkstoffkunde bzw. der Materialprüfung. Grundlagen der Materialprüfung sind z.B. Zugversuche bei statischer Beanspruchung bzw. Dauerschwingversuche bei einer schwingenden Beanspruchung. Die Festigkeitslehre vereint die beiden Themenbereiche. Wichtige Faktoren sind dabei die Spannung und Formänderung, die Festigkeitshypothesen und die Kerbwirkung.

Übersicht über die 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		$p = \frac{F}{A} \leq p_{zul}$
Hertz'sche Pressung		--
Knickung		$\sigma_d = -\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_k}{S_k} \quad (\text{Knicksicherheit } S_k=3\dots6)$
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_F : 1,2 – 2 (gegen Fließen)

S_B : 2 – 3 (gegen Bruch)

S_K : 3 – 6 (gegen Knicken)

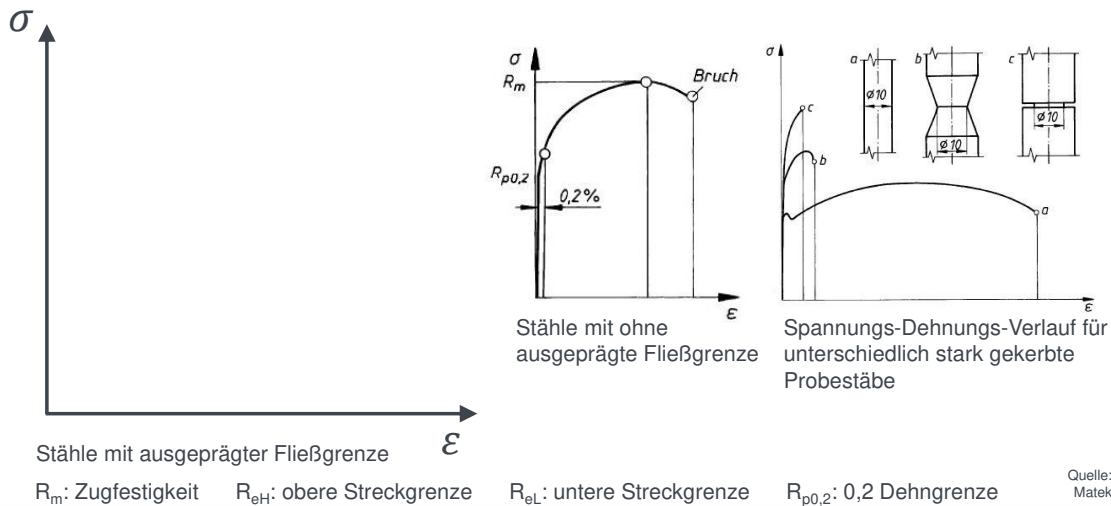
$S_{B,spröd}$: 4 – 9 (gegen Sprödbbruch)

Festigkeitsberechnung – Sicherheitsbeiwert

Der Sicherheitsbeiwert berücksichtigt Unsicherheiten und Versagensfolgen. Die Wahl des Sicherheitsfaktors ist abhängig von der Art der Lasteinleitung, dem Werkstoffkennwert, dem Anwendungsfall und Normen. Auf der Folie sind die gängigen Sicherheitsbeiwerte gegen Fließen, Bruch, Sprödbbruch und Knicken aufgelistet.

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Werkstoffkennwerte


 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 46

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

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

Zugversuch (Werkstoff mit ausgeprägter Fließgrenze):


<https://www.youtube.com/watch?v=fEbkcTBNiGg>

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Dynamische Belastung - Belastungsfälle



Fall 1: ruhend

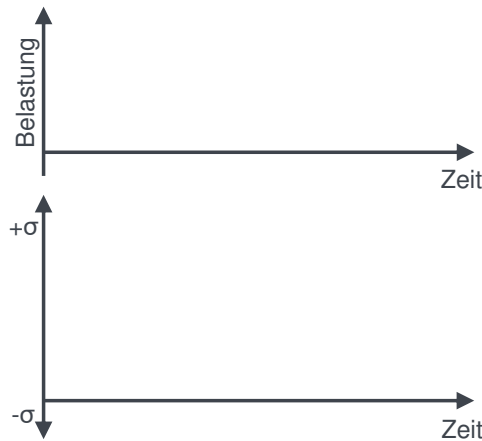
Fall 2: schwellend

Fall 3: wechselnd

σ_a : Spannungsamplitude

σ_o, σ_u : Ober-, Unterspannung

σ_m : Mittelspannung



Festigkeitsberechnung – Belastungsfälle der dynamischen Belastung

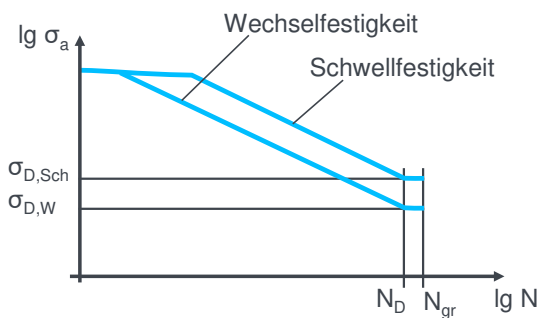
Es werden allgemein drei Belastungsfälle unterschieden. Beim ersten, ruhenden Fall sind die Kraft F bzw. das Moment M annähernd konstant. Im zweiten Fall ändern sich F bzw. M , deren Richtung ist jedoch gleichbleibend. Im dritten Fall ändern sich F bzw. M , wobei die Richtung wechselt.

Im unteren Diagramm ist der allgemeine Fall verdeutlicht, der durch die mittlere Belastung und die Ausschlagbelastung gekennzeichnet ist. Die daraus resultierende Beanspruchung ist für eine Normalspannung gezeigt, gilt aber analog für die Schubspannung τ .

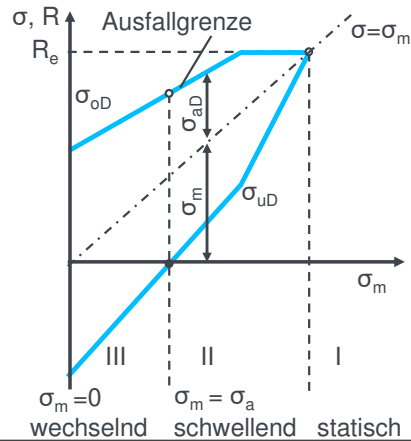
4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Dynamische Belastung - Zeit- und Dauerfestigkeit

Wöhlerkurve



Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 48

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**
Quelle: Matek

Festigkeitsberechnung – Zeit- und Dauerfestigkeit der dynamischen Belastung

Das Werkstoffverhalten bei dynamischen Beanspruchungen kann in Wöhlerkurven und dem Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith dargestellt werden.

Dabei sind folgende Größen zu beachten:

- σ_m = Mittelspannung
- σ_{oD} = Oberspannung bei Dauerfestigkeit
- σ_{uD} = Unterspannung bei Dauerfestigkeit
- σ_a = Ertragbare Spannungsamplitude
- σ_{AD} = Dauerfestigkeit bei N_0 bzw. Dauerschwingfestigkeit
- R_e = Streckgrenze
- N = Lastwechsel
- N_D = Schwingspielzahl am Knickpunkt
- N_{gr} = Grenzschningspielzahl

4.8 Grundregeln der Festigkeitsberechnung

Werkstoffkennwerte

Werkstoff	Kurzname	R_m in N/mm ²	$R_e / R_{p0,2}$ in N/mm ²	Anwendung
Stahl	S235	360	235	Baustahl (Träger, Profile)
	C45E	700	490	Vergütungsstahl (z.B. Wellen)
Aluminiumlegierung	AlCuMgPb	340	220	Fräs- und Drehteile
	AlZn4,5Mg1	350	280	
	AlZnMgCu1,5	540	480	
	AL99%	75	20	Strangpressteile
Edelstahl	X2CrNiMo17	500-700	200	„Chirurgenstahl“
	X8CrNiS18	500-750	190	Geräte, Töpfe, Amaturen, Rohre, („V2A“, „Nirosta“, „Chromagan“)
	CoCrMo	890	630	Hüftimplantate
Titan	Ti6Al7Nb	900	500	Implantate, Marknägels, Schrauben

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 49

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

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

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

4. Ermittlung der Spannungen

Kontrollfragen

1. Veranschaulichen Sie die drei Belastungsfälle einer dynamischen Belastung.
2. Zeichnen und erklären Sie das Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith.
3. Geben Sie die Grundbeanspruchungsarten mit den jeweiligen Formeln zur Spannungsberechnung an.

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



Universität Stuttgart

Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

5. Grundlagen der Gestaltung

WS 2020/21

Prof. Dr.
Peter P. Pott

5. Grundlagen der Gestaltung

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.2 Kraftfluss

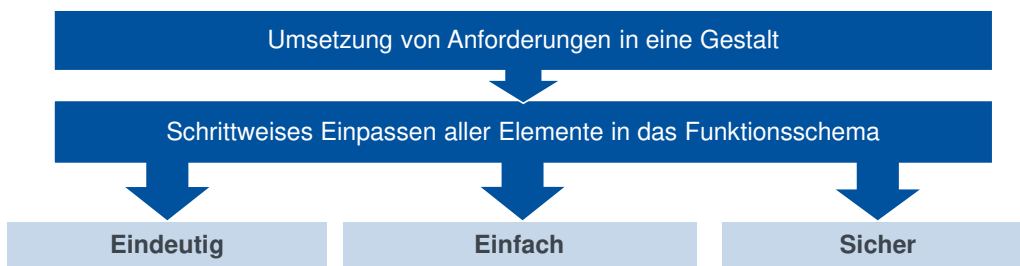
5.3 Urformen

5.4 Umformen und Trennen

5.5 Literaturverzeichnis

5. Grundlagen der Gestaltung

Definition „Gestalten“

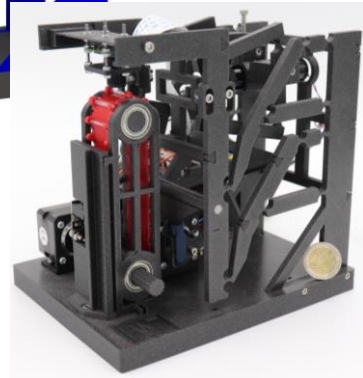
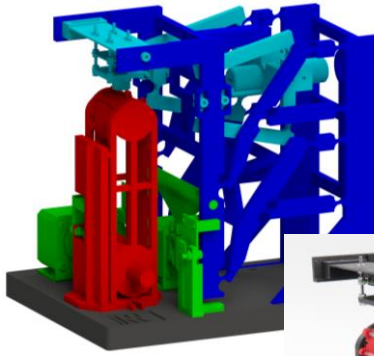
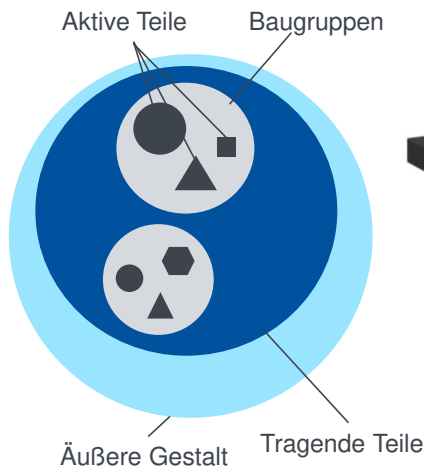


Gestaltung

Während des Gestaltungsprozesses müssen Anforderungen, wie die allgemeine Funktionserfüllung, die Wirtschaftlichkeit und die Sicherheit für den Anwender und die Anwendungsumgebung in eine Gestalt umgesetzt werden. Dabei sind drei Grundregeln (eindeutig, einfach und sicher) zu beachten. Eine **eindeutige** Wirkung muss erzielt werden, wobei das Verhalten klar und zuverlässig voraussagbar sein soll. Das bedeutet, dass die geforderte technische Funktion durch die Gestalt auch erfüllt werden soll. Darüber hinaus wird eine möglichst **einfache** Gestaltung durch wenige, ggf. zusammengesetzte, einfache Formen angestrebt. Der Fertigungsaufwand soll klein gehalten, eine wirtschaftliche Realisierung angestrebt werden. Die finale Gestaltung soll natürlich auch **sicher** sein. Sicher heißt in diesem Fall, dass schon während des Gestaltungsvorgangs Maßnahmen zur Prävention von Unfällen und auch zum Umweltschutz aufgesetzt werden. Außerdem ist eine angemessene Zuverlässigkeit und Haltbarkeit zu gewährleisten.

5. Grundlagen der Gestaltung

Prinzipielle Vorgehensweise



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 4

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Prinzipielle Vorgehensweise

- Von „innen“ nach „außen“ konstruieren
- Mit den aktiven inneren Teilen beginnen
- Bei den tragenden und umhüllenden Teilen enden
- Darüber hinaus sind eine Vielzahl sich teilweise widersprechender Gesichtspunkte zu berücksichtigen
→ Das Ergebnis ist in der Regel ein Kompromiss aus Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten.

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.1 Funktionsgerecht – Festigkeitsgerecht – Fertigungsgerecht

Funktionsgerecht	Festigkeitsgerecht Werkstoffgerecht	Fertigungsgerecht Kostengerecht Montagegerecht
Funktion auf möglichst einfache Weise realisieren. Unnötigen Werkstoffaufwand vermeiden. Unnötige Bearbeitung vermeiden.	Günstiger Werkstoff Günstiger Kraftfluss Wenig Kerbwirkung	Fertigung so einfach wie möglich Möglichst alles vereinheitlichen Montage möglichst ohne Spezialwerkzeug Einfache Demontage → Wartung und Reparatur

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 5

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Funktionsgerecht

Der oberste Gesichtspunkt bei der Gestaltung ist die Erfüllung der Funktion. Damit die Funktionserfüllung auch gewährleistet wird, sind vorab einige Fragen zu beantworten. Welche Gesichtspunkte sind maßgebend? Welches Material wird gewählt? Welches Herstellungsverfahren wird gewählt? Was für Erfahrungen mit dem Bauteil liegen vor? Gibt es ausgesprochene Mängel oder Vorteile? Sind sogenannte Vorläufer-Bauteile bekannt, so bieten diese manchmal einen guten Ansatzpunkt für die Gestaltung des neuen Bauteils. Zudem müssen das Gewicht, die Abmessungen, das Aussehen, die Kosten etc. festgelegt werden.

Festigkeitsgerecht – Werkstoffgerecht

Bauteile müssen funktionieren und eine angemessene Lebensdauer erreichen. Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen der festigkeitsgerechten- und werkstoffgerechten Gestaltung. Ist die Beanspruchung bekannt, kann ein geeigneter Werkstoff gewählt werden. Die Gestalt des Bauteils ist dann an die zu erwartende Belastung in den verschiedenen Querschnitten des Bauteils und an die Werkstoffeigenschaften anzupassen.

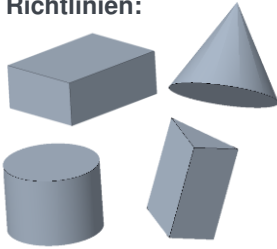
Fertigungsgerecht – Kostengerecht – Montagegerecht

Die Hauptkosten für ein Bauteil entstehen bereits in der Fertigung. Das heißt kostengerecht zu konstruieren heißt fertigungsgerecht zu konstruieren. Fertigungsgerecht konstruieren heißt weiter montagegerecht konstruieren. Diese Aufgabe liegt beim Konstrukteur. Die Gestaltung ist auch maßgeblich vom vorgesehenen Fertigungsverfahren abhängig. Beispiele für mögliche Fertigungsverfahren sind Gießen, Schmieden und Pressen, Extrudieren, Schweißen, Spanende Bearbeitung, Spritzguss, Additive Fertigung (Drucken), Blechteil oder eine Kombination unterschiedlicher Fertigungsverfahren.

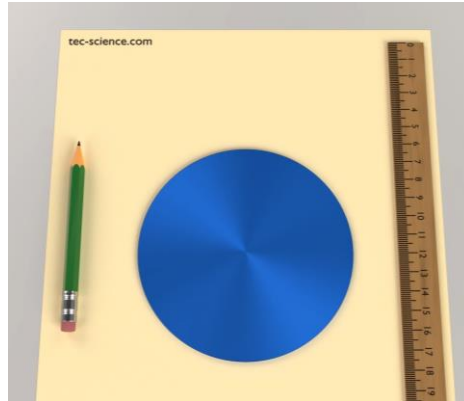
5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.2 Gestaltungs- oder Formelemente

Richtlinien:



einfache geometrische Formen



Bei Hauptabmessungen
Normzahlen bevorzugen.

Einfache Formen aus
Kostengründen bevorzugen.

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

Quelle:
tec-science.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 6

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Gestaltungs- oder Formelemente

Bauteile sollen nach Möglichkeit einfache geometrische Formen darstellen oder sich zumindest aus solchen zusammensetzen. Dazu zählen beispielsweise Quader, Zylinder, Prismen oder Kegel. Weitere Formen sind dann durch Kombination von Rotations- und Translationsbewegungen herstellbar. Beispiele hierfür sind Schraubenflächen, Evolventenflächen oder auch Zykloidenflächen. In dem Video auf der Folie (oben rechts) wird die Geometrie einer Evolventenverzahnung verdeutlicht. Der Grund für die genannte Richtlinie liegt in der Fertigung. Die gebräuchlichen Werkzeugmaschinen gestatten translatorische und rotatorische Relativbewegungen von Werkzeug und Werkstück (→ kürzere Fertigung). Für aufwendige Formen werden numerisch gesteuerte Maschinen benötigt. Diese Gestaltungsrichtlinien gelten nicht für Bauteile, die mittels additiver Fertigung gefertigt werden sollen.

<https://www.tec-science.com/de/getriebe-technik/evolventenverzahnung/evolventen-zahnrad-geometrie/#:~:text=Man%20kann%20die%20Evolvente%20auch,ebenfalls%20die%20Form%20der%20Kreisevolvente.&text=Eine%20Evolvente%20wird%20durch%20Abrollen%20einer%20Rollgeraden%20auf%20einem%20Grundkreis%20konstruiert%20bzw.>



5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.2 Gestaltungs- oder Formelemente

Exkurs „Normzahlen“:



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 7

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Normzahlen

Die Normzahlen sind ein allgemeingültiges Zahlensystem, das die erforderliche Zahlenmenge reduzieren soll. Die einzelnen Normreihen werden mit R_r bezeichnet, wobei r die Anzahl der Stufen angibt. Jede Reihe beginnt mit einer Eins oder dem 10-, 100-, ... -fachen oder dem 10., 100., ... Teil. Jede folgende Zahl entsteht durch Multiplikation mit einem bestimmten Stufensprung q_r . Bevorzugt sollten die Grundreihen R_5 ($q_r=1,6$), R_{10} ($q_r=1,25$), R_{20} ($q_r=1,12$) und R_{40} ($q_r=1,06$) verwendet werden.

5.1 Allgemeine Gestaltungsregeln - Vorgehen beim Konstruieren

5.1.3 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.

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 8

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

6. Skizze nach 2. unter Berücksichtigung von 5. überarbeiten

7. Fertigung abklären

8. Kritik: Funktionsgerecht? Festigkeitsgerecht?
Werkstoffgerecht? Fertigungsgerecht? Kostengerecht?
Montagegerecht? Recyclinggerecht?

Kritik Positiv:
Endgültige Zeichnung erstellen

Kritik Negativ:
wieder bei 2. beginnen

Praktisches Vorgehen

Die Arbeiten entsprechend den Punkten 1 bis 9 können in der Regel nicht in einem Zug für jedes Bauteil erledigt werden, da die verschiedenen Bauteile einer Maschine sich gegenseitig beeinflussen. Der Gesamtentwurf der Maschine wächst in dem Maße, in dem die einzelnen Bauteile während der Konstruktion immer konkretere Formen annehmen. Die Konstruktion wird von innen nach außen fortschreitend Zug um Zug aufgebaut.

5. Gestaltung

Kontrollfragen

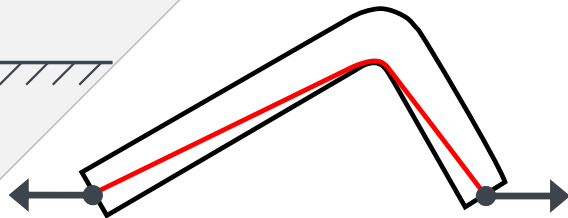
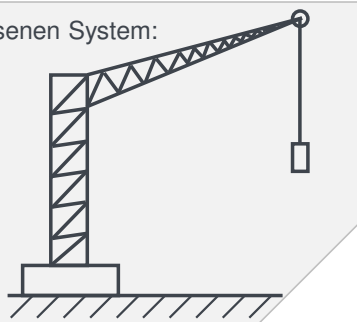
1. Was bedeutet funktionsgerechtes-, fertigungsgerechtes-, bzw. festigkeitsgerechtes Konstruieren?
2. Skizzieren Sie das praktische Vorgehen beim Konstruieren.
3. Gilt die Richtlinie möglichst einfache Formen zu wählen auch für die additive Fertigung?



5.2 Kraftfluss

5.2.1 Wesentliche Merkmale des Kraftflusses

Kraftfluss in einem geschlossenen System:



Quelle:
westmark.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 10

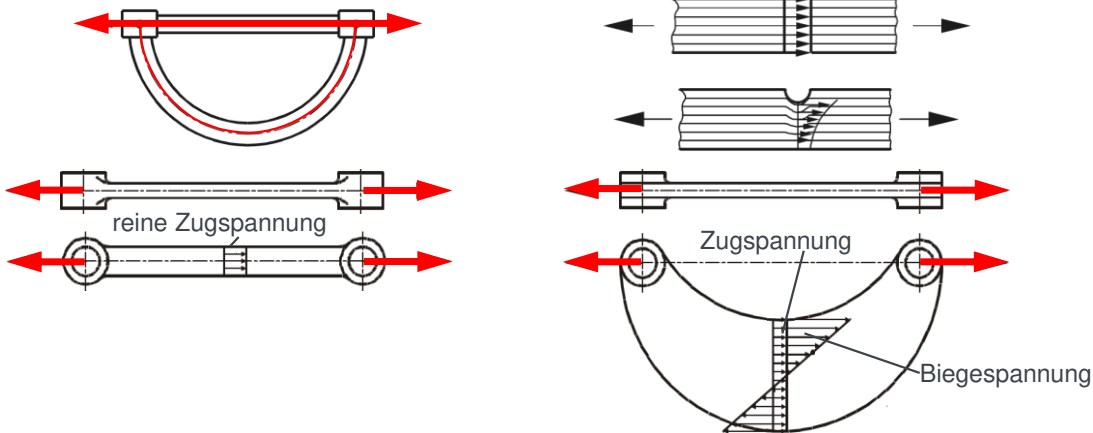
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Wesentliche Merkmale des Kraftflusses

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

5.2 Kraftfluss

5.2.1 Wesentliche Merkmale des Kraftflusses



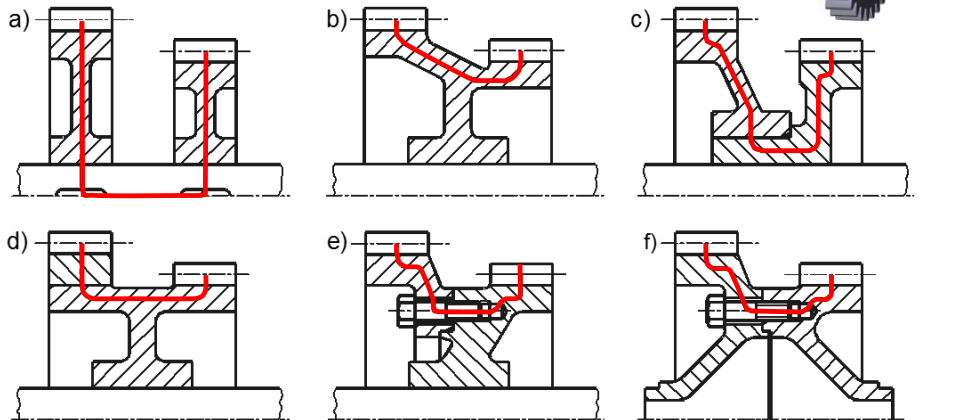
Wesentliche Merkmale des Kraftflusses

In der Abbildung links oben auf der Folie meidet der Kraftfluss den unteren Teil des Rahmens nicht völlig. Der Kraftfluss ist jedoch bei gleichen Querschnittsflächen im unteren Teil deutlich schwächer ausgeprägt, da der Kraftfluss den kürzesten Weg bevorzugt! Wie die Abbildung rechts oben zeigt, lässt sich der Kraftfluss außerdem nur widerwillig verdrängen. Das untere Beispiel auf der Folie verdeutlicht, dass eine Umleitung des Kraftflusses die Beanspruchung erhöht. Infolge des ungünstigeren Kraftflusses muss das Bauteil größer dimensioniert werden.

5.2 Kraftfluss

5.2.2 Gestaltungsregeln zum Kraftfluss

Für Kraftleitung kürzesten Weg bevorzugen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

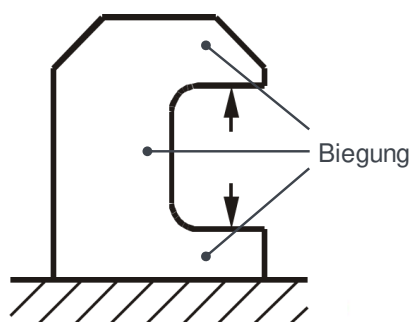
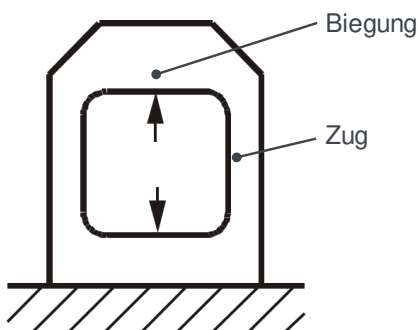
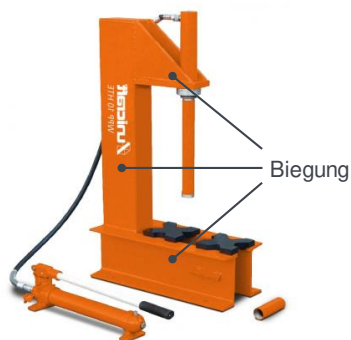
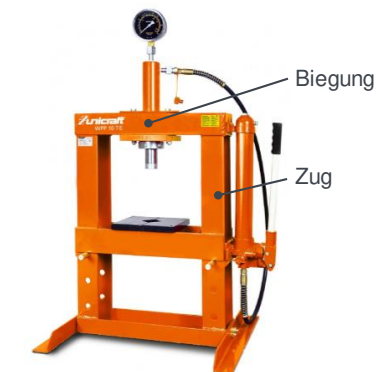
Folie 12

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Gestaltungsregeln zum Kraftfluss

Auf der Folie ist der Kraftfluss durch eine Welle mit zwei Zahnrädern dargestellt. Die Konstruktion in Abbildung a) ist nicht gut durchdacht, da der Kraftfluss auf einem Umweg durch die Welle geleitet wird. In Abbildung b) bis f) wird die Konstruktion hinsichtlich des Kraftflusses zunehmend verbessert. Jedoch ist zu beachten, dass die Kosten von b) nach f) zunehmen.

Symmetrische Formen sind im Allgemeinen unsymmetrischen Formen zu bevorzugen.



Quelle:
stama.ch

5.2 Kraftfluss

5.2.3 Kerbwirkung

Kerben:

Formmerkmale, die Kerbwirkung hervorrufen

Äußere Kerben

Innere Kerben

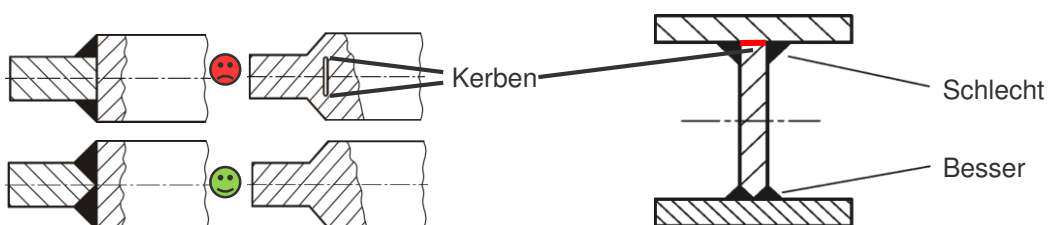
Bei **zähen Werkstoffen** und **statischer Beanspruchung**:
Spannungsspitzen können durch **örtlich begrenztes Fließen** abgebaut werden

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

Kerbwirkung

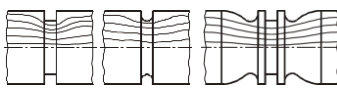
Die Spannungsverteilung in einem Bauteil wird neben äußeren Belastungen ebenfalls durch Querschnittsveränderungen des Bauteils beeinflusst. Denn wie bereits erwähnt, lässt sich der Kraftfluss nur widerwillig verdrängen. Bei Bauteilen mit konstantem Querschnitt kann eine gleichmäßig verteilte Spannung beobachtet werden. Äußere- und innere Kerben stören diesen gleichmäßigen Kraftfluss, wodurch es zu Spannungserhöhungen im Bereich um die Kerbe kommt, welche die Festigkeit des Bauteils mindern können.

Beispiel: Kerbe durch umlaufend geschweißte Naht, Abhilfe durch Nahtvorbereitung und Durchschweißen.



5.2 Kraftfluss

5.2.3.1 Äußere Kerben

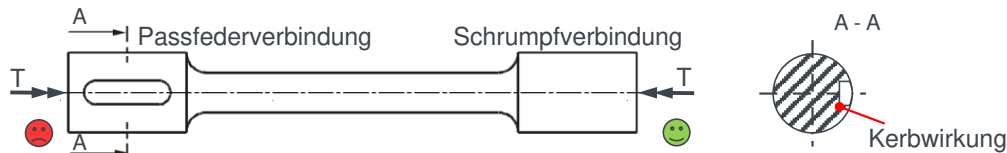


Ausrundung Entlastungskerben



Ausrundung Entlastungskerbe

Beispiel: Torsionswelle (Drehfeder)



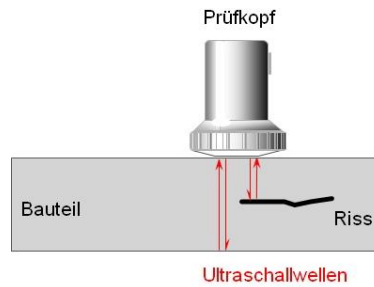
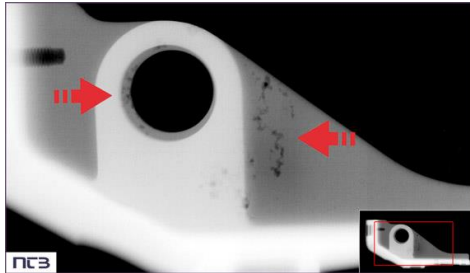
Kerbwirkung – Äußere Kerben

Äußere Kerben sind im Allgemeinen durch die funktionsbestimmte Gestaltung eines Bauteils bedingt und häufig unvermeidbar. Demnach ist die Wirkung der äußeren Kerbe durch Maßnahmen zu mindern, die die Stetigkeit des Kraftflusses fördern. Maßnahmen sind z.B. die Ausrundung mit einem größtmöglichen Radius, wobei dies nur eine begrenzte Besserung schafft, oder Entlastungskerben. Entlastungskerben verhindern eine schroffe Einschnürung des Kraftflusses, wenn sie dicht genug an der zu entlastenden Kerbe angeordnet sind. Entlastungskerben sind jedoch nicht immer umsetzbar und teuer.

Auch Oberflächenrauigkeiten, insbesondere Bearbeitungsriefen, wirken als Kerben. Bei dynamischer Beanspruchung können sie der Ausgangspunkt von Dauerbrüchen sein. Demnach sind bei einer dynamischen Beanspruchung glatte, einwandfreie Oberflächen, die unter Umständen poliert sind, erforderlich. Konstruktive Kerben sind generell zu vermeiden. Unvermeidbare Kerben sind in Gebiete geringerer Beanspruchung zu legen.

5.2 Kraftfluss

5.2.3.2 Innere Kerben



Quelle:
fischerundpartner.ch, ntbxray.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 15

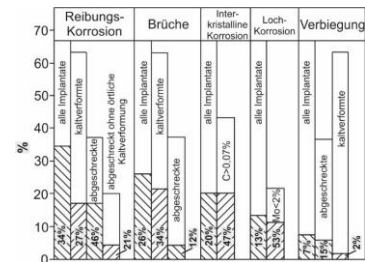
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Kerbwirkung – Innere Kerben

Innere Kerben sind von außen nicht sichtbar und bewirken Einschnürungen oder schroffe Umlenkungen des Kraftflusses. Sie können von Anfang an im Werkstoff vorhanden sein oder erst bei der Fertigung entstehen. Zu den inneren Kerben zählen beispielsweise Fehlstellen und Einschlüsse im Werkstoff. Bei dynamisch hochbeanspruchten Bauteilen muss sichergestellt werden, dass der Werkstoff frei von inneren Kerben ist. Hierzu sind unter Umständen zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen, wie die Röntgenprüfung, Ultraschallprüfung oder magnetische Prüfung notwendig. Die linke Abbildung zeigt ein Röntgenbild eines Lunkers in einem Aluminium-Gussteil. Rechts ist das Prinzip einer Ultraschallprüfung verdeutlicht.

5.2 Kraftfluss

5.2.3 Kerbwirkung – Beispiele aus der Medizintechnik



Fließen (Verformung)

Bruch (Kerben)

Häufigkeit der Schadensfälle

5. Gestaltung

Kontrollfragen

1. Was versteht man unter Kerbwirkung? Welche Folgen sind zu beobachten?
2. Wie kann die Kerbwirkung vermindert werden?
3. Wie verhält sich die Beanspruchung, wenn der Kraftfluss umgeleitet wird?

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

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 18

 Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren werden nach DIN 8580 in sechs Hauptgruppen eingeteilt. Ein Beispiel für Urformen, d.h. Zusammenhalt schaffen, ist Gießen, da dabei aus einem formlosen Material ein Produkt hergestellt wird. Beim Umformen wird der Zusammenhalt beibehalten, jedoch die Form bleibend verändert. Beim Trennen wird Zusammenhalt vermindert. Das zu bearbeitende Werkstück wird dabei z.B. durch Sägen geteilt. Vermehrt wird der Zusammenhalt beim Fügen und beim Beschichten. Wird ein Werkstoff beim Fertigen beispielsweise gehärtet, können seine Stoffeigenschaften verändert werden.

5.3 Urformen

Überblick Urformverfahren



Quellen:
galdabini.de, lkm-berlin.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 19

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Urformen

Als Urformen wird das Fertigen eines festen Körpers aus einem formlosem Stoff bezeichnet. Formlose Stoffe sind z.B. Gase, Flüssigkeiten, Pulver, Fasern oder Späne. Auf der Folie sind die wichtigsten Urformverfahren in der Medizintechnik aufgeführt. Darüber hinaus gibt es noch weitere Urformverfahren.

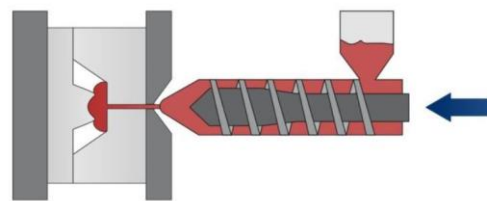
5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren



Metallgießen

Spritzgießen von Kunststoffen



Quelle:
instructables.com, Bonten

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 20

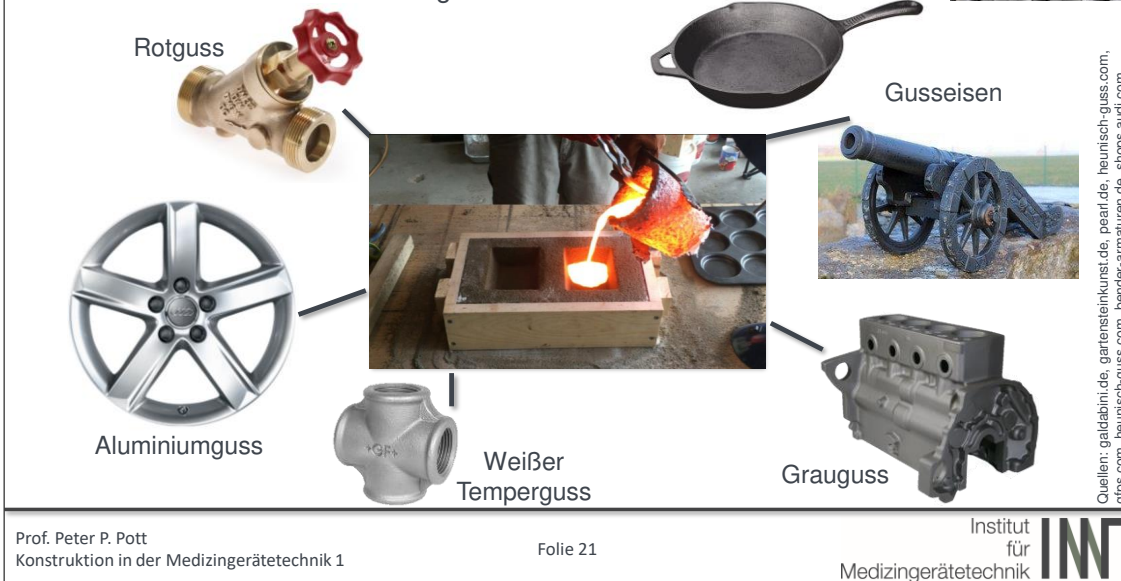
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Gießverfahren

Beim Gießverfahren wird ein schmelzflüssiger, breiiger oder pastöser Werkstoff in eine Form eingebracht, die ein negatives Abbild des herzustellenden Werkstückes darstellt. Der Werkstoff nimmt die Gestalt des Formhohlraumes an und erstarrt durch Abkühlung bei gleichzeitiger Schwindung. Schwindung ist eine Maß- und Formänderung eines Gussteils durch das Zusammenziehen des flüssigen Metalls beim Abkühlen. Neben dem sogenannten Metallgießen wird das Gießverfahren in Form des Spritzgießens auch mit Kunststoffen angewandt.

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



Gießverfahren – Metallguss

Das Gießen ist das einfachste Verfahren der Formgebung zur Herstellung von metallischen Bauteilen und gewährt gleichzeitig eine sehr große Freiheit bei der Formgestaltung. Nachteilig am Gießverfahren ist der verhältnismäßig große Aufwand für die Herstellung der Form. Demnach ist dieses Verfahren für die Herstellung von Einzelteilen, aufgrund der hohen anfallenden Kosten, eher nicht geeignet. Auf der Folie dargestellt sind eine gusseiserne Pfanne und Kanone, ein Motorblock aus GJL (Grauguss mit Lamellengraphit), ein Rohr-Fitting aus weißem Temperguss, ein Aluminium-Gussrad und ein Freistromventil aus Rotguss (Legierungen auf Kupferbasis).

5.3 Urformen

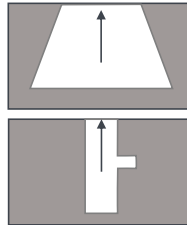
5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



1) Guss mit verlorenem Modell in verllorener Form

2) Guss mit wiederverwendbarem Modell in verllorener Form:

Beispiele
Hinterschneidungen:



Guss mit verlorenem Modell in verllorener Form

Der Guss mit verlorenem Modell in verllorener Form ist das älteste, aber auch vielseitigste Verfahren, welches eine hohe Genauigkeit aufweist, jedoch vergleichsweise teuer ist. Als Formmaterial wird meist Sand, Lehm oder Ton verwendet.

Guss mit wiederverwendbarem Modell in verllorener Form

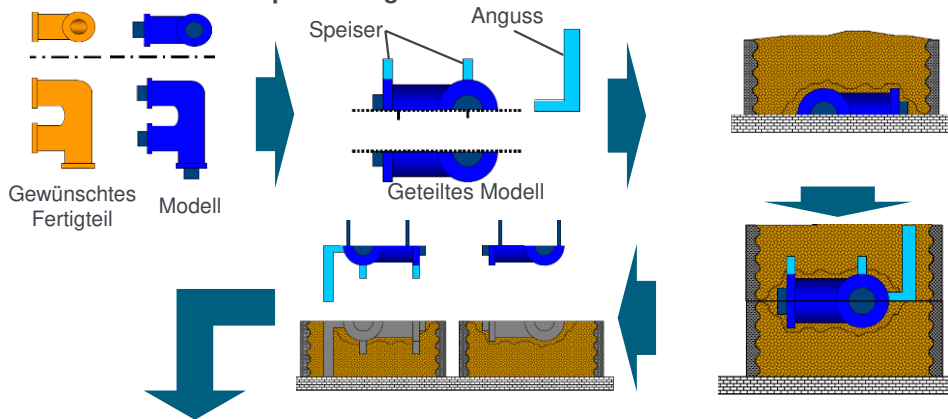
Der Guss mit wiederverwendbarem Modell in verllorener Form ist das wichtigste Verfahren und wird in der Regel eingesetzt. Zum einen ist es wirtschaftlich, zum anderen auch für Großteile geeignet. Darüber hinaus bietet dieses Verfahren die Möglichkeit von Hinterschneidungen (siehe Folie). Als Formmaterial wird meist Sand oder auch Lehm verwendet.

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



Gießverfahren – Beispiel Sandguss mit wiederverwendbarem Modell


 Quelle:
vdg.de

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 23

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

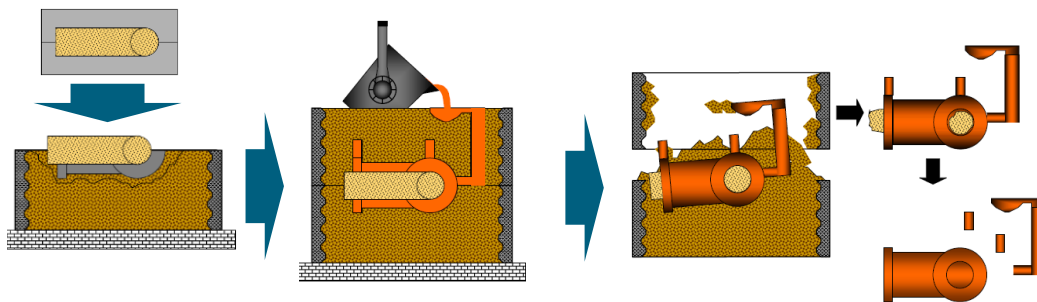
Gießverfahren – Beispiel Sandguss mit wiederverwendbarem Modell

Aus dem gewünschten Fertigteil wird ein geteiltes Modell erstellt. Die untere Hälfte des Modells wird im Formunterkasten mit Modellsand bedeckt. Anschließend wird der Formoberkasten inklusive der oberen Modellhälfte aufgesetzt und mit Sand gefüllt. Die Formkästen werden dann wieder getrennt und die Modelle entnommen.

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss

Gießverfahren – Beispiel Sandguss mit wiederverwendbarem Modell



Quelle:
vdg.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 24

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Gießverfahren – Beispiel Sandguss mit wiederverwendbarem Modell

Im Anschluss wird ein Kern hergestellt und in den Formunterkasten eingelegt. Nun kann der Formkasten wieder zusammengesetzt und über den Anguss mit Schmelze gefüllt werden. Ist das Gussteil vollständig erstarrt, kann die Form geöffnet und das Gussteil entnommen werden. Der Anguss und der Speiser werden später entfernt.

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



Alu-Sandguss



Eisen-Kokillenguss



Eisen-Feinguss in Sand

5.3 Urformen

Kokillenguss



Quelle:
Kaufland, Youtube

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 26

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**



<https://www.youtube.com/watch?v=2LrCXjRm3aM>

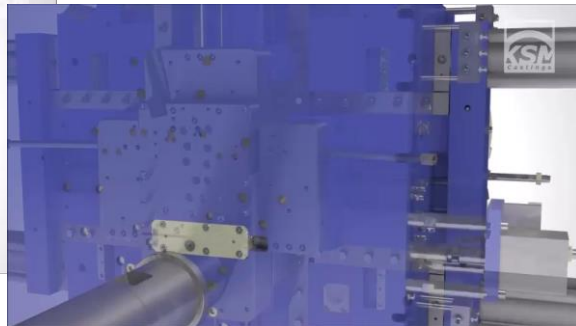
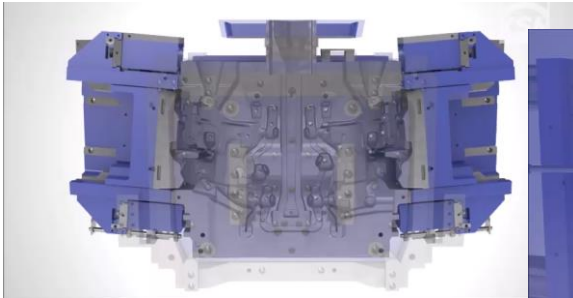
5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Metallguss



3) Guss in wiederverwendbarer Form, Kokille:

4) Druckguss in wiederverwendbarer Form



Quelle:
kmscastings.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 27

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Guss in wiederverwendbarer Form

Der Guss in wiederverwendbarer Form ist ein wichtiges Verfahren für Serienteile, Rohteile und Hartgussteile. Die wiederverwendbare Form, die auch in der Animation (auf der Folie unten links) zu sehen ist, wird Kokille genannt. Bei einfachen Teilen ist dieses Verfahren wirtschaftlich ab etwa 2000 Stück. Dennoch sind keine Hinterschneidungen möglich. Der Grauguss gehört zu dieser Kategorie.

Druckguss in wiederverwendbarer Form

Beim Druckguss in wiederverwendbarer Form ist der Aufwand für die Formherstellung groß, dafür ist die Genauigkeit verhältnismäßig groß und für die Serienherstellung ist dieses Verfahren sehr wirtschaftlich. Zu Beachten ist jedoch, dass nur Nichteisenmetalle verwendet werden können. Als Formmaterial wird meist Stahl verwendet.



[Matmach]

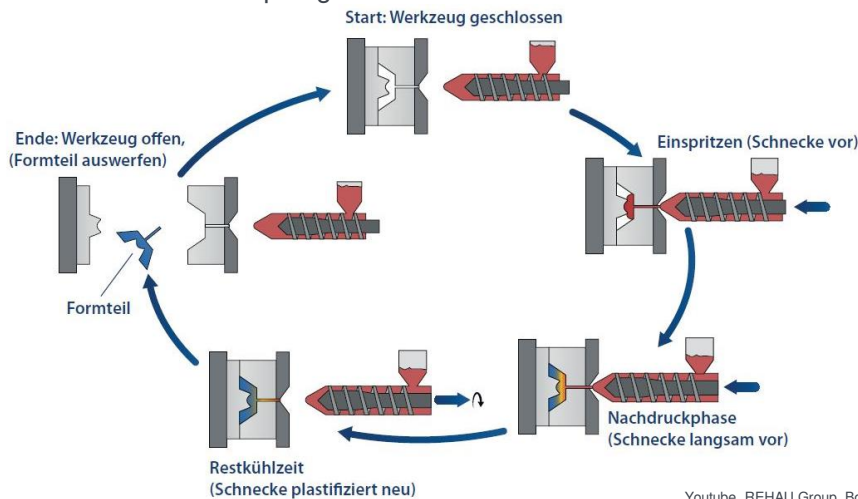
<https://www.youtube.com/watch?v=g5nSX8aHfbs>



https://www.youtube.com/watch?v=m_l4TBxGW-8

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Spritzgießen



Quelle:
Youtube, REHAU Group, Bonten - Kunststofftechnik

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 28

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Spritzgießen

Der zyklische Ablauf des Spritzgießprozesses startet damit, dass das Werkzeug sich schließt und das Aggregat vorfährt. Zum Einspritzen des Kunststoffs fährt die Schnecke vor. Es kommt während des Einspritzprozesses zu einer Volumenreduktion aufgrund der an der Werkzeugwand auftretenden Schwindung. Diese Reduktion im Volumen wird während der Nachdruckphase, wie der Name bereits verrät, durch das Nachdrücken zusätzlicher Schmelze ausgeglichen. Die Nachdruckphase endet dabei erst, wenn der Anguss erstarrt ist. Während das Formteil vollständig erstarrt fährt die Schnecke zurück und wird mit neuer Schmelze befüllt. Zum Schluss wird das Werkzeug geöffnet, das Formteil ausgeworfen und anschließend wird das Werkzeug wieder geschlossen.

Das Video zeigt den grundlegenden Ablauf des Spritzgießprozesses.



<https://www.youtube.com/watch?v=sil-cw0y048>

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Spritzgießen



*Einwegbecher
aus PS*



*Einmalspritze
Zylinder aus PP,
Kolben aus PE*



*Spreizdübel
aus PA 6*

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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 29

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

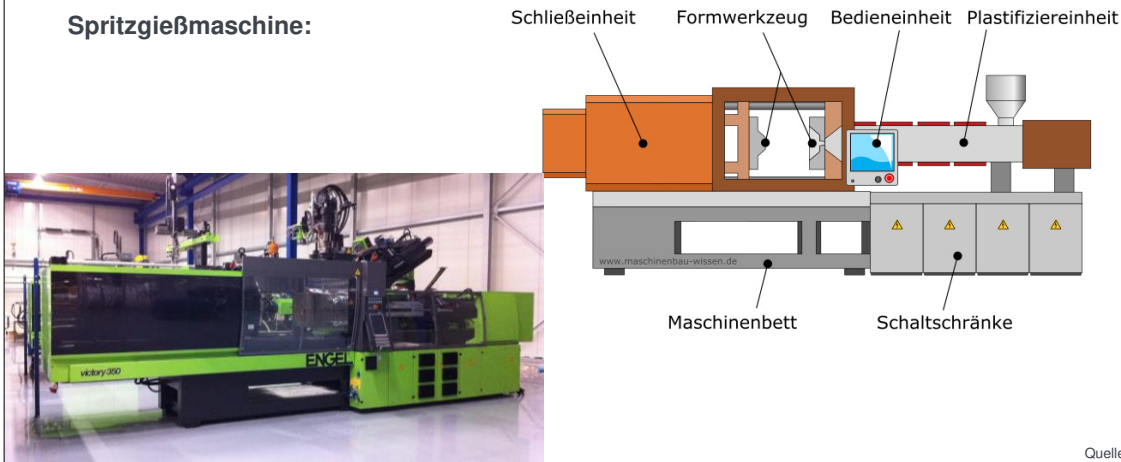
Spritzgießen

Für das Spritzgussverfahren eignen sich prinzipiell alle Kunststoffe, die durch Erwärmen in einen spritzfähigen Zustand gebracht werden können. Vorwiegend werden jedoch amorphe und teilkristalline Thermoplaste gespritzt. Zu den amorphen Thermoplaste zählen Polystyrol (**PS**), Polycarbonat (**PC**), Polyvinylchlorid (**PVC**) etc. zu den teilkristallinen Thermoplaste gehören Polyethylen (**PE**), Polypropylen (**PP**), Polyamid 6 (**PA 6**) etc.

5.3 Urformen

5.3.1.1 Gießverfahren - Spritzgießen

Spritzgießmaschine:



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 30

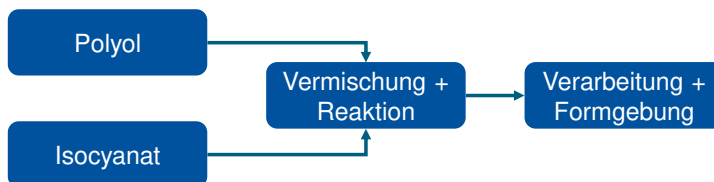
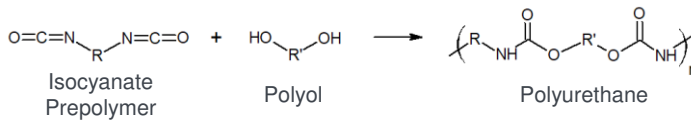
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Spritzgießmaschine

Die meisten Spritzgießmaschinen sind für die diskontinuierliche Herstellung von Formteilen vorgesehen. Hierfür werden in der Regel makromolekulare Formmassen (in der Kunststoff-Technik Thermoplaste) verwendet, die unter Druck und in der Regel hohen Temperaturen umgeformt werden. Den einzelnen Baugruppen einer Spritzgussmaschine kommt jeweils eine eigene Aufgabe zu. Die wichtigsten Funktionseinheiten sind auf der Folie dargestellt.

5.3 Urformen

5.3.1.2 Gießverfahren – Reaktionsspritzgießen: Polyurethan



Neuro-Patch®: Dura Mater Substitutions-Prothese

Quelle:
medicalexpode

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 31

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Reaktionsspritzgießen

Polyurethan (PUR) entsteht aus der Polyadditionsreaktion von Dialkoholen (Diolen) beziehungsweise Polyolen mit Polyisocyanaten. Ein Beispiel hierfür ist die Reaktion von Polyol mit Isocyanat zu Polyurethan. Polyurethane können je nach Wahl des Polyisocyanats und des Polyols unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Wird der Polyaddition eine kleine Menge Wasser beigelegt, so entsteht Kohlenstoffdioxid, welches zu einem Aufschäumen der Reaktionsmasse führt (→ „Bauschaum“).

Reaction Injection Moulding

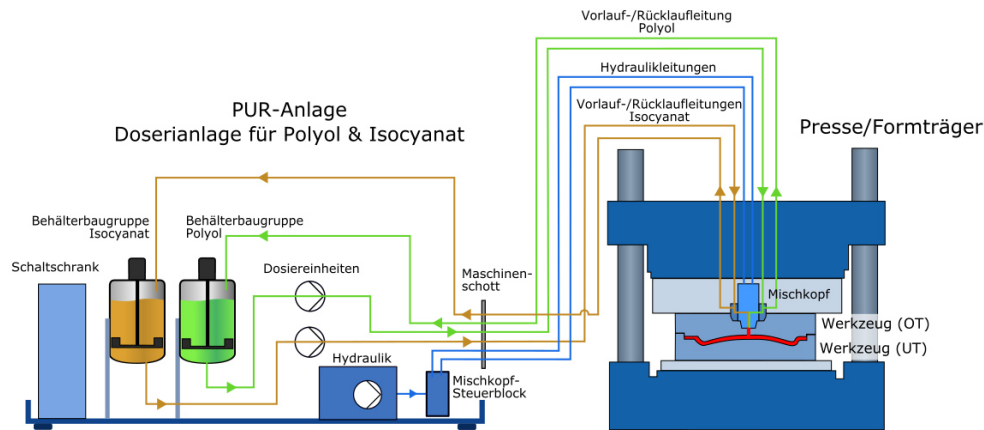
Reaction Injection Moulding (RIM) ist ein Urformverfahren zur Herstellung von Kunststoffformteilen aus Polyurethan. Dabei können starke, flexible oder auch leichte Teile (durch Beimischen von Additiven auch Formteile für den Leichtbau, also große, leichte Formteile mit hoher Stabilität) hergestellt werden.

Neuro-Patch®

Neuro-Patch® ist ein synthetischer, vernähbarer Duraersatz, der zur Behebung von Duradefekten in der Neurochirurgie bestimmt ist. Die Dura Mater ist die äußerste Hirnhaut, die das Zentralnervensystem umschließt. Sie grenzt an die benachbarten Knochen des Schädels bzw. der Wirbelsäule. Neuro-Patch® ist ein feinfibrilläres, mikroporöses Vlies, aus hochreinem Polyesterurethan. Die feinfibrilläre Mikrostruktur sorgt für eine schnelle Infiltration von Bindegewebezellen. Neuro-Patch® besitzt eine hohe Flüssigkeitsdichtigkeit und beugt damit CSF Leckagen (Cerebrospinalflüssigkeitsleck) vor. Zudem ist es gewebeverträglich und weist eine hohe Reißfestigkeit auf. Damit wird einem Ausreißen der Naht vorgebeugt. Darüber hinaus passt Neuro-Patch® sich gut den anatomischen Strukturen an.

5.3 Urformen

5.3.1.2 Gießverfahren – Reaktionsspritzgießen: Polyurethan



Quelle:
maschinenbau-wissen.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 32

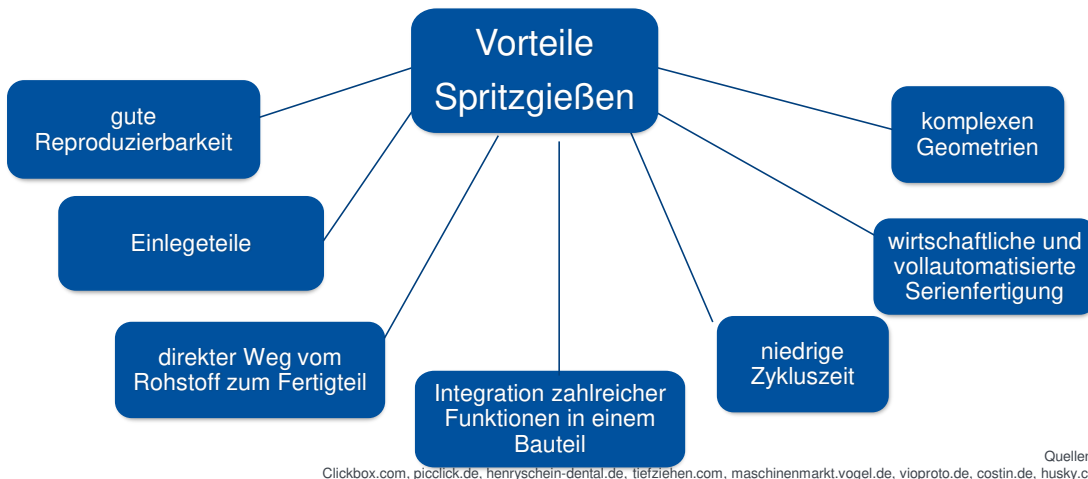
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Reaktionsspritzgießen

Der grundlegende Ablauf der Reaktionsspritzgießens ist auf der Folie dargestellt. Polyol (orange) und Isocyanat (grün) werden durch eine Dosiervorrichtung in einen Mischkopf gepumpt. Anschließend werden die beiden Komponenten und ggf. weitere Zusätze unter Hochdruck miteinander vermischt, wobei Polyurethan entsteht. Die Mischung wird abschließend unter niedrigem Druck in ein formgebendes Werkzeug eingespritzt. Die Form dehnt sich aus und härtet aus.

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.co

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 33

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Spritzgießen

Die Vorteile des Spritzgießverfahrens werden im Folgenden anhand der Nennung von Beispielen verdeutlicht. (1) Komplexe Geometrien: Verschiedene Erzeugnisse für medizinischen Gebrauch der Firma Husky. (2) Wirtschaftlich und vollautomatisch: 64-kavitäten Werkzeug für Spritzen, aus PP, Zykluszeit ca. 10s. (3) niedrige Zykluszeit: Zykluszeit vor allem von Kühlzeit bestimmt, von einigen Minuten bis zu einigen Sekunden. (4) Integration von Funktionen: Filmscharnier und Clip-Verschluss an Brotdose. (5) direkter Weg vom Rohstoff zum Fertigteil: Vom Granulat zum Produkt (Spritzenkonus zum Verschließen von Spritzen). (6) Einlegeteile: Umspritzter Gewindeeinsatz. (7) gute Reproduzierbarkeit: Verwendung von Werkzeugen, hier Werkzeug für Gehäuse eines Handys.



Reaktionsspritzgießen im Vergleich zum Spritzgießen

Beim Reaktionsspritzgießen sind die Materialeigenschaften in weiten Bereichen einstellbar. Zusatzmaterialien, wie z.B. Glasfasern, können beigemischt werden und ein Aufschäumen ist möglich. Darüber hinaus führt die niedrigere Viskosität zu einem besseren Fließverhalten, wodurch größere Fließwege bei gleicher Wanddicke erreicht werden können. Des Weiteren wird ein niedrigerer Formdruck benötigt. Weitere Vorteile des Reaktionsspritzgießens gegenüber dem Spritzgießen sind unter anderem, dass meist Formwerkzeuge aus Aluminium verwendet werden. Diese sind günstiger und schneller herstellbar. Der Reaktionsspritzguss ist auch für Kleinserien geeignet. Hier werden oft Formwerkzeuge aus Silikon verwendet. Auch für sehr große Bauteile ist das Reaktionsspritzgießen geeignet. Jedoch ist das benötigte Material deutlich teurer, Vor-Ort-Mischung ist aufwändig. Darüber hinaus sind die benötigten Zykluszeiten beim Reaktionsspritzgießen höher als beim Spritzgießen.

5. Gestaltung

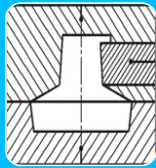
Kontrollfragen

1. Welche Urform-Prozesse gibt es? Nennen Sie drei Beispiele.
2. Welche Verfahren können beim Metallguss unterschieden werden? Erläutern Sie zwei davon genauer.
3. Erläutern Sie den Prozess des Spritzgießens.

5.3 Urformen

5.3.1 Gießen

Gestaltungsregeln für Gießen



Fertigungs- und Kostengerechtes Konstruieren



Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Konstruieren

Gestaltungsregeln für das Gießen

Bei den Gestaltungsregeln für das Gießen kann zwischen fertigungs- und kostengerechtem Konstruieren und festigkeits- und werkstoffgerechtem Konstruieren unterschieden werden. Fertigungs- und Kostengerechtes Konstruieren bedeutet allgemein materialsparend zu konstruieren und möglichst viele Formkosten einzusparen.

5.3 Urformen

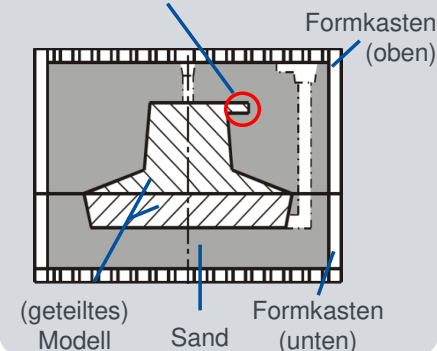
5.3.1.4 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Metall-Sandguss



Abhebbarkeit des Modells bei Metallsandguss

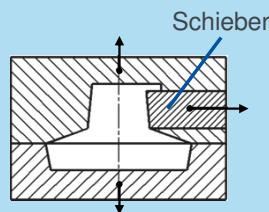
Problem:

Vorsprung ist nicht abhebbar!

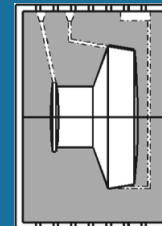


Abhilfen:

Losteil
(Riegel/ Schieber)
in der Form



Andere Einformung
verwenden



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 36

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen

Das Ziel des fertigungs- und kostengerechten Gießens sind zum einen günstige Formkosten, zum andere günstige Modellkosten. Günstige Formkosten werden durch ausgerundete Übergänge und Kanten, die Vermeidung von Hinterschneidungen, ausreichende Formschrägen, eine geringe Einformhöhe, wenig Formkästen und wenig Kerne erreicht. Günstige Modellkosten resultieren aus der Verwendung einfacher Grundformen, einer ungeteilten Ausführung der Form und wenigen, einfachen Kernen.

Besitzt das zu fertigende Bauteil einen Vorsprung, können sich Probleme bzgl. der Abhebbarkeit des Modells beim Metallsandguss ergeben. Eine mögliche Abhilfe stellt die Verwendung von Losteilen dar, wodurch jedoch die benötigten Kosten steigen. Darüber hinaus kann, je nach Form des Bauteils, das Problem ggf. durch eine andere Einformung gelöst werden. In dem Fall des auf der Folie dargestellten Bauteils sind nach anderer Einformung keine Losteile mehr nötig und anstatt des einzelnen Vorsprungs ist sogar ein umlaufender Kranz möglich (Abbildung rechts).

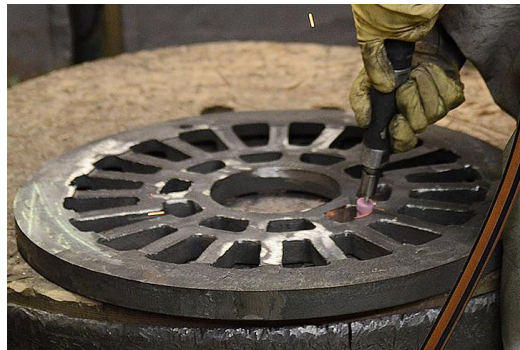
Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Gussstückbearbeitung

Erst das Zusammenwirken einer Reihe von Bauteilen ergibt eine funktionsfähige Maschine. Das bedeutet, dass sich die Bauteile mit einem Teil ihrer Oberfläche berühren. Bei den Berührflächen kann es sich um Passflächen (relativ zueinander in Ruhe) oder um Gleitflächen (relativ zueinander bewegt) handeln. Die Oberflächenstruktur (Rauheit) und Formgenauigkeit, die beim Gießen erreicht werden, reichen nicht aus, um die an Gleit- und Passflächen gestellten Forderungen zu erfüllen. Die meisten Gussstücke müssen daher an einem Teil ihrer Oberfläche (Bearbeitungsflächen) einer spanenden Bearbeitung unterzogen werden.

5.3 Urformen

5.3.1.4 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Metallguss

Gussstückbearbeitung



Quelle:
Laukoetter.com, Maschinenwerkzeug.de, esterer-giesserei.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

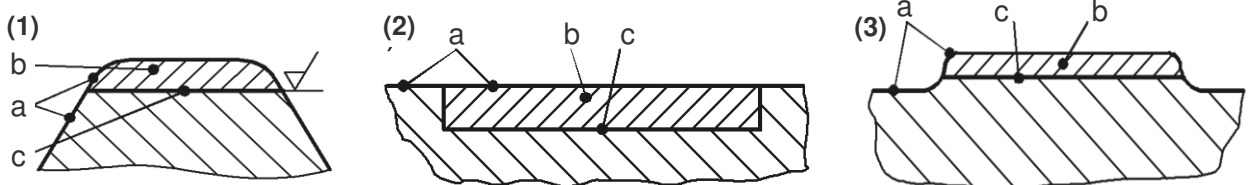
Folie 37

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Gussstückbearbeitung

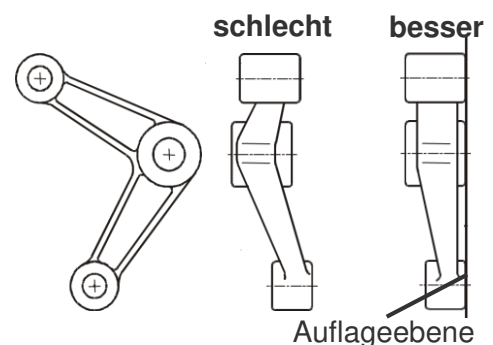
Die Hauptaufgaben der Nachbearbeitung sind das Entfernen von Überresten des Gießens (z.B. Anguss, Steiger), Oberflächenfehler entfernen und -struktur bearbeiten, eine Basis für die Montage und weitere Bearbeitung schaffen, Anschlussflächen fräsen, Passungen erzeugen und z.B. Gewinde schneiden.

Bei Einzelstücken, bei denen geringe Modellkosten angestrebt werden, sind das Abarbeiten von Kuppen (1) und Einarbeiten von bearbeiteten Flächen (2) nützlich. Für einfache, runde Bearbeitungsflächen (z. B. Schraubenauflagen) ist Methode (2) vorteilhaft. In allen übrigen Fällen ist das Abarbeiten eigens am Gussstück vorgesehener vorspringender Bearbeitungsflächen (3) zu bevorzugen.



a. ursprüngliche Gusskontur, b. durch Bearbeitung entferntes Material, c. bearbeitete Pass- oder Gleitfläche

Für die Bearbeitung müssen die gegossenen Bauteile eingespannt werden. Dafür sollen die Gussstücke mindestens an einer Seite so gestaltet sein, dass eine ebene Auflage möglich ist. Des Weiteren sollte die Auflageebene parallel oder senkrecht zu den Hauptbearbeitungsebenen liegen. Es ist darüber hinausvorteilhaft, wenn das Gussstück nur in drei oder vier Punkten aufliegt, da eine flächige Auflage wegen Gussunregelmäßigkeiten nicht möglich ist.



5.3 Urformen

5.3.1.4 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Metallguss

Gussstückbearbeitung



Quelle:
Laukoetter.com, Maschinenwerkzeug.de, esterer-giesserei.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 38

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Gussstückbearbeitung

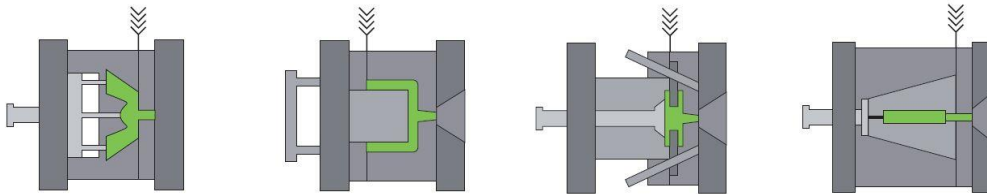
Darüber hinaus sind rohe Oberflächen senkrecht zur Bearbeitungsrichtung zu legen, insbesondere dann, wenn als erster Bearbeitungsgang Bohren vorgesehen ist. Denn auf schräger Oberfläche greifen Bohrer nur schlecht an, sie verlaufen oder brechen sogar ab.



<https://www.youtube.com/watch?v=k6VU7T4qY6s>

5.3 Urformen

5.3.1.4 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Spritzgießen



Quellen:
galdabini.de, Bonten, C.: Vorlesung zu „Grundlagen der Kunststofftechnik“

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 39

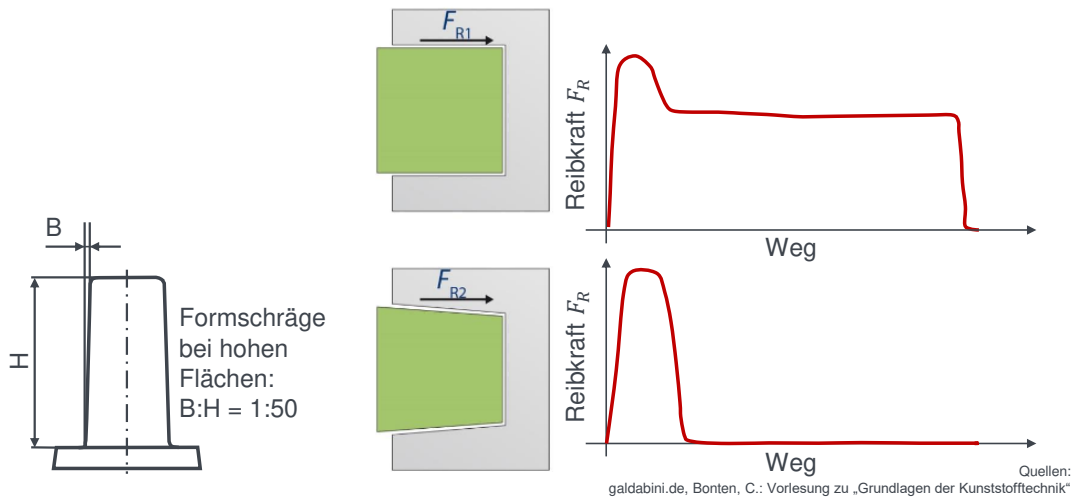
Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Spritzgießen

Beim Spritzguss sollten gleichlange Fließwege der Schmelze im Werkzeug angestrebt werden. Des Weiteren sind scharfe Kanten (schlechte Abformgenauigkeit) und Hinterschnitte (Schieber erhöhen Kosten) zu vermeiden.

5.3 Urformen

5.3.1.4 Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Spritzgießen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 40

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

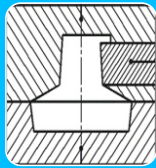
Fertigungs- und Kostengerechtes Gießen – Spritzgießen

Bei einem nicht konischen Bauteil steigt die Reibkraft zu Beginn der Auswurfphase stark an (oberes Diagramm). Anschließend bleibt die hohe Reibkraft relativ konstant bis zum Auswurf des Bauteils. Bei konischen Bauteilen hingegen ist die Reibkraft zu Beginn der Auswurfphase hoch, nimmt dann über den Weg jedoch deutlich ab (unteres Diagramm). Formschrägen erleichtern also den Auswurf des Bauteils. Die benötigten Entformungskräfte sind demnach geringer. Der Werkzeugverschleiß wird somit durch die geringere Reibfläche zwischen Bauteil und Werkzeug reduziert.

5.3 Urformen

5.3.1 Gießen

Gestaltungsregeln für Gießen



Fertigungs- und Kostengerechtes Konstruieren



Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Konstruieren

Gestaltungsregeln für das Gießen

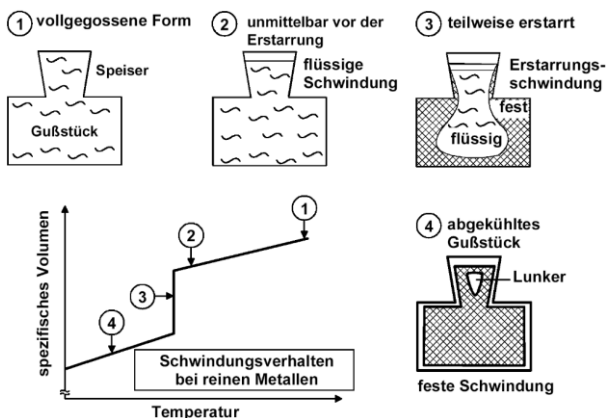
Bei den Gestaltungsregeln für das Gießen kann zwischen fertigungs- und kostengerechtem Konstruieren und festigkeits- und werkstoffgerechtem Konstruieren unterschieden werden. Festigkeits- und Werkstoffgerechtes Konstruieren bedeutet die Schwindung möglichst minimal zu halten und Lunkerbildung und intrinsische Spannungen zu vermeiden.

5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



Schwindung bei Metallen



Schwindung bei Kunststoffen



Quelle:

Skript Fertigungstechnik II, Prof. Klocke, RWTH-Aachen, galdabini.de, Bonten

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 42

 Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

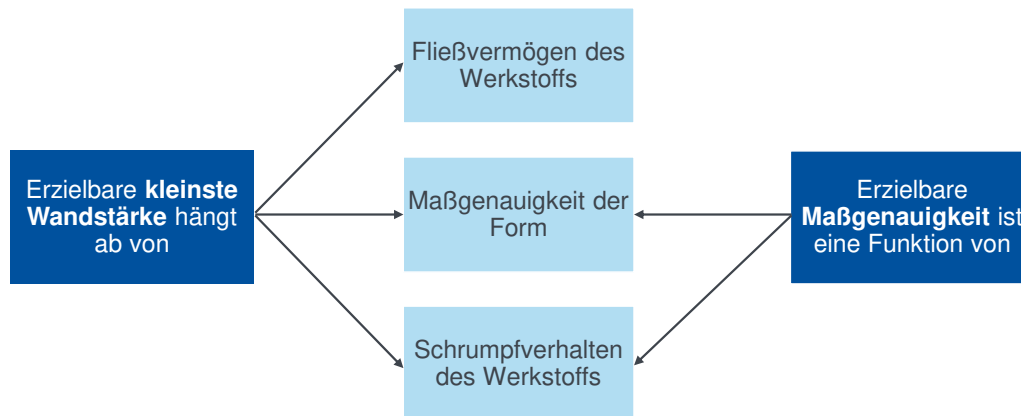
Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Schwindung bzw. Schrumpfung beschreibt eine Maß- und Formänderung eines Gussteiles durch das Zusammenziehen des flüssigen Metalls beim Abkühlen. Dabei kommt es bei Schrumpfung zu einer starken Volumenabnahme, bei Schwindung zu einer geringen Volumenabnahme.

Auch Spritzgussbauteile schwinden beim Abkühlen. Dabei kann es durch unterschiedlich orientierte Moleküle zu verschiedenen Schwindungsgraden kommen. Ein Verzug des Bauteils ist möglich.

5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 43

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Sowohl die erzielbare kleinste Wandstärke als auch die erzielbare Maßgenauigkeit ist von der Maßgenauigkeit der Form und dem Schrumpfverhalten des Werkstoffs abhängig. Darüber hinaus beeinflusst das Fließvermögen des Werkstoffs ebenfalls die minimal erzielbare Wandstärke.

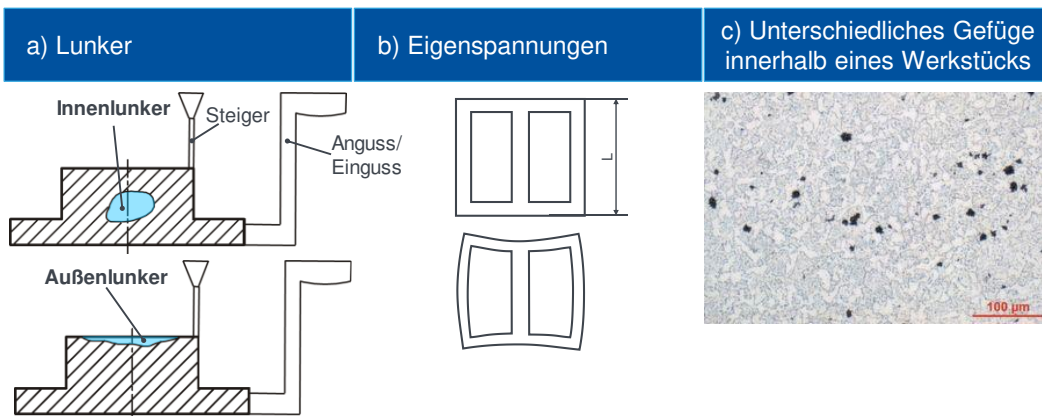
In der folgenden Tabelle sind die Wandstärken und Maßgenauigkeiten bzgl. verschiedenen Gussverfahren und die Schwindungs- und/oder Schrumpfungseigenschaften von Gusseisen, Stahlguss und Nichteisenmetallen aufgeführt.

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

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Folgen ungleichmäßiger Erstarrungsprozesse



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 44

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Während des Abkühlprozesses geht die Erstarrung des Gusses von den Formwänden aus. Größere Querschnitte erstarren später und kühlen auch nach der Erstarrung langsamer ab. Infolgedessen kann es zu Lunkerbildungen, Eigenspannungen oder auch unterschiedlichem Gefüge kommen.

Lunker

Wenn der Kern des Gussstücks erstarrt, ist der Rand ggf. bereits fest. Infolge dessen können sich Innenlunker oder Außenlunker ausbilden. Außenlunker entstehen dabei oft, wenn die Kruste nicht standhält und einfällt. Abhilfe gegen Lunkerbildung kann unter anderem geschaffen werden, indem starke Querschnittsveränderungen vermieden werden. Des Weiteren kann der Steiger (Metallguss) vergrößert werden, wodurch jedoch zusätzlicher Aufwand für das Abtrennen des Steigers entsteht. Das Anbringen von Schreckplatten (Metallguss) beugt ebenfalls der Bildung von Lunkern vor. Jedoch ist auch hier auf den Mehraufwand beim Formbau zu achten.

Eigenspannungen

Der mittlere Steg (Abbildung in der Mitte der Folie) kühlt am langsamsten ab und erstarrt damit zuletzt. Nach der Erstarrung ist der mittlere Steg wärmer als der Rest des Rahmens und erfährt damit eine größere feste Schwindung. Dies führt zu Eigenspannungen, Druck und Biegung in den schwachen Stegen, zu Zug im starken Steg und Biegung in den Querverbindungen. Der Verzug ist in der auf der Folie dargestellten Skizze übertrieben dargestellt.

Unterschiedliches Gefüge

Bei Eisen-Gusswerkstoffen begünstigt die langsamere Abkühlung der größeren Querschnitte die Graphitausscheidung. Dies resultiert in einer geringeren Festigkeit (negativer Effekt), einem geringeren Schwindmaß (positiver Effekt) und kann u.U. Eigenspannungen entgegenwirken.

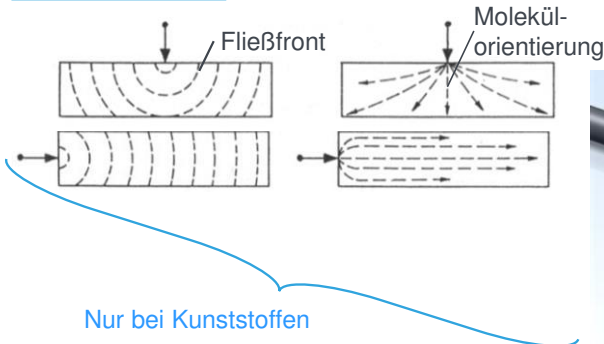
Folge der ungleichmäßig schnellen Abkühlung bei Kunststoffen kann eine Nachkristallisation im festen Zustand sein (negativer Effekt). Insbesondere bei den teilkristallinen Thermoplasten wirkt sich unterschiedliches Gefüge oft negativ aus. Das ungleichmäßige Abkühlen resultiert in Eigenspannungen, wodurch es zum Verzug des Materials kommt.

5.3 Urformen

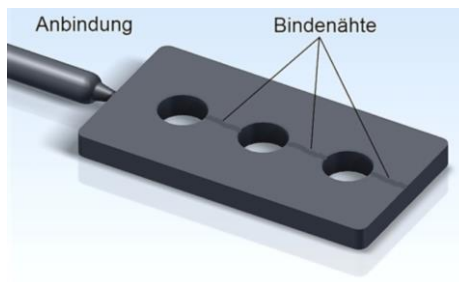
5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Folgen ungleichmäßiger Erstarrungsprozesse

d) Orientierung



e) Bindenähte



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 45

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Das Einfließen des Werkstoffs spielt ebenfalls eine wichtige Rolle.

Orientierung

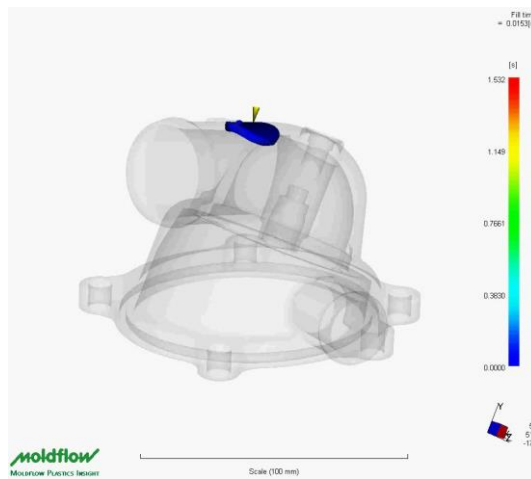
Bei Kunststoffen orientieren sich die Makromoleküle beim Spritzvorgang in Strömungsrichtung. Dadurch wird die Festigkeit in Strömungsrichtung erhöht. Die Strömungsrichtung des einfließenden Werkstoffs und der Kraftfluss sollten demnach in dieselbe Richtung verlaufen.

Bindenähte

Bei der Spritzgießverarbeitung ergeben sich im Werkzeug beim Zusammentreffen von Fließfronten oder nach Umströmen von Einsätzen sogenannte Bindenähte. Bindenähte haben eine Festigkeitsminderung zur Folge, da sich die beiden Fließfronten nicht richtig verbinden. Bei fasergefüllten Kunststoffschmelzen ist die Festigkeitsminderung stärker ausgeprägt.

5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



Quelle: fh-amberg-weiden.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 46

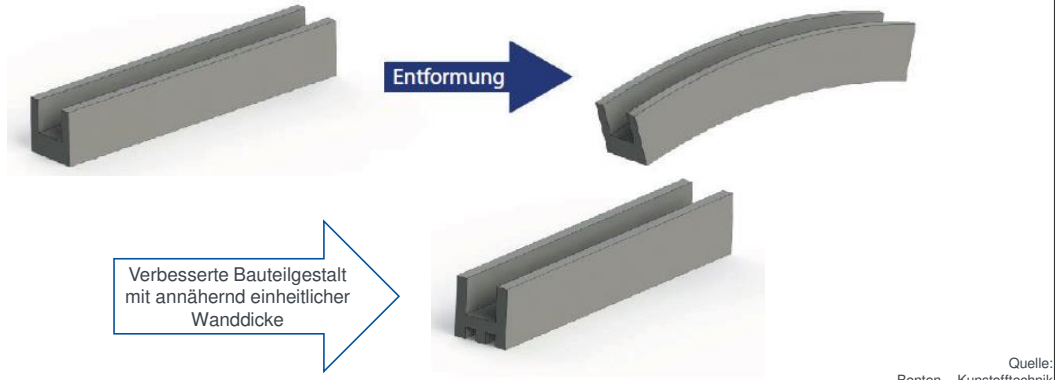
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Gussstück sollte nach Möglichkeit überall die gleiche Wandstärke haben

→ **Prinzip der konstanten Wandstärke**



Quelle:
Bonten – Kunststofftechnik
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

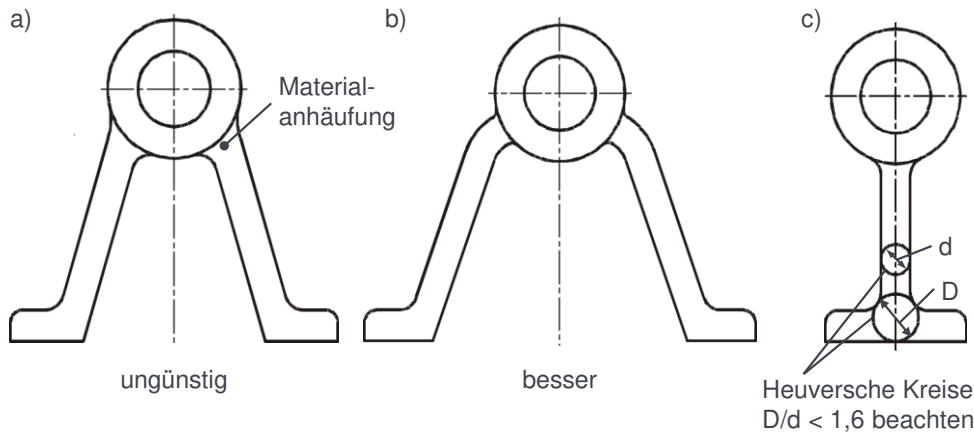
Folie 47

Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Das Gussstück sollte nach Möglichkeit überall dieselbe Wandstärke besitzen. Wird das Prinzip der konstanten Wandstärke eingehalten, können Lunker, Eigenspannungen und Gefügeunterschiede reduziert bzw. vermieden werden. Die Festigkeit des Bauteils ist somit konstant. Des Weiteren ist die Entscheidung über die Wandstärke nur einmal zu treffen und die technischen Zeichnungen sind einfach zu bemaßen. In der unteren Abbildung ist eine verbesserte Bauteilgestalt mit einer annähernd einheitlichen Wanddicke zu sehen.

5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

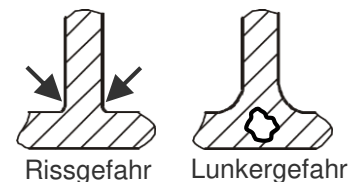
Folie 48

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

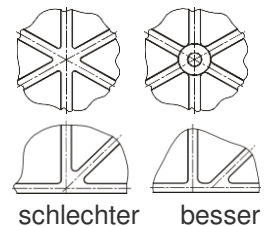
T-Stoß

Schon der einfache T-Stoß macht es schwierig, das Prinzip der konstanten Wandstärke exakt zu befolgen. Bei kleinen Radien besteht Rissgefahr, bei großen Radien Lunker Gefahr. Die Abrundungsradien müssen demnach richtig gewählt werden. Es sollten dabei genormte Radien nach DIN 250 bevorzugt werden. Darüber hinaus sind die Heuversche Kreise $D/d < 1,6$ zu beachten.



Wandversteifung durch Rippen

Rippen dienen der Versteifung von z.B. Gehäusen. Punkte, an denen sich Rippen auf einer Oberfläche treffen, werden Knotenpunkte genannt. Dort müssen Materialanhäufungen vermieden werden. Rippen- und Wandstärke sollten im Allgemeinen gleich groß gewählt werden. Wechselständige Rippen können gegenüber gegenständigen Rippen vorteilhaft sein, da dadurch eine symmetrische Aussteifung erreicht und gleichzeitig eine Materialanhäufung vermieden wird.



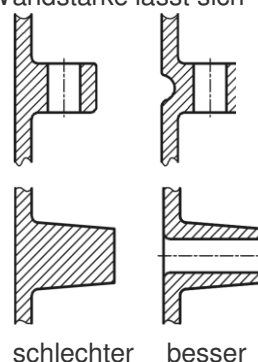
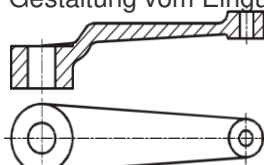
Materialanhäufung bei ungünstiger Knotenpunktgestaltung

Zusammenlaufende Rippen führen häufig zu einer starken Materialanhäufung. Abhilfe kann geschaffen werden, indem die Knotenpunkte aufgelöst werden.

Material, das an einer Seite der Wand zugegeben werden muss, sollte auf der anderen Seite möglichst eingespart werden. Eine konstante Wandstärke lässt sich häufig erhalten, indem Verstärkungen hohl gegossen werden.

Grenzen des Prinzips der konstanten Wandstärken

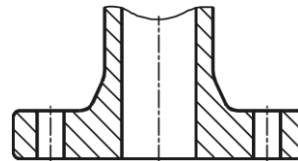
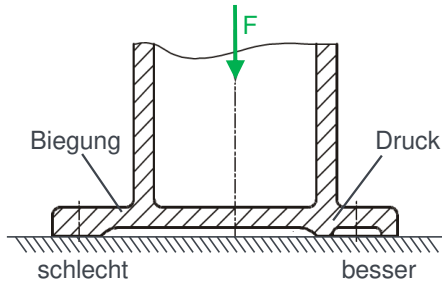
Querschnitte der Form nehmen für eine fließgerechte Gestaltung vom Einguss zum Ende des Gussstückes hin ab.



5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Gestaltungsregeln bzgl. Werkstoff und Beanspruchung



Quelle:
directindustry.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 49

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen – Gestaltungsregeln

Die zu beachtenden Gestaltungsregeln werden anhand eines Maschinenfußes (linke Abbildung) und anhand eines Rohrflansches (rechte Abbildung) verdeutlicht.

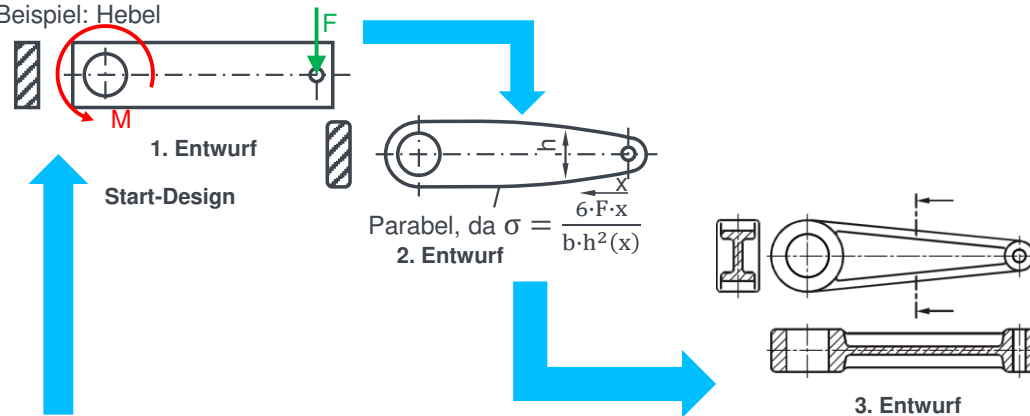
In der linken Abbildung sind zwei Gestaltungsvarianten eines Maschinenfußes in einer gemeinsamen Schnittdarstellung zu sehen. Im dargestellten Belastungsfall ist dabei die rechte Seite des Maschinenfußes besser gestaltet, da bei Grauguss die Druckfestigkeit erheblich größer als die Zugfestigkeit ist. Bei Werkstücken aus Grauguss sollte demnach Druckbeanspruchung bevorzugt werden. Beim Rohrflansch in der rechten Abbildung ist ein Wandstärkenübergang zu sehen. Als Gestaltungsregel gilt, dass Wandstärkensprünge durch Übergänge gemildert werden sollten um Spannungsspitzen im Werkstoff zu vermeiden.

5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Gestaltungsregeln bzgl. Werkstoff und Beanspruchung

Beispiel: Hebel



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 50

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

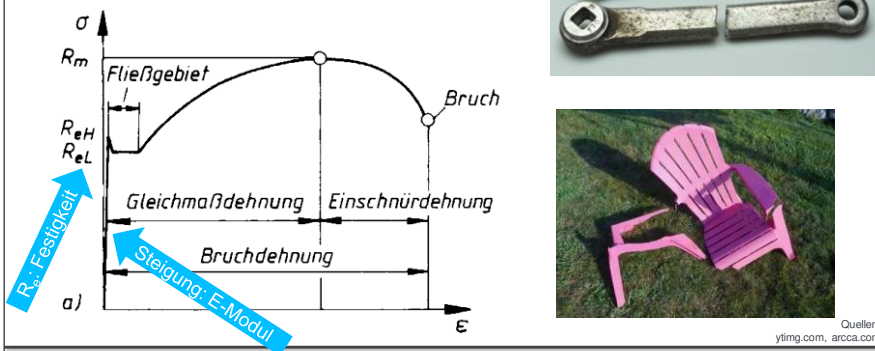
Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Die Gestaltungsregeln bezüglich des Werkstoffes und der Beanspruchung wird im Folgenden anhand der beanspruchungsgerechten Optimierung eines Hebels verdeutlicht. Der erste Entwurf (Start Design) ist rechteckig in seiner Form und daher zwar einfach zu fertigen, jedoch würde für diesen Entwurf zu viel Material verwendet werden. Darüber hinaus ist der erste Entwurf weder beanspruchungsgerecht noch gussgerecht. Der zweite Entwurf ist als Parabelquerschnitt gestaltet, da eine konstante Spannung und eine bestmögliche Materialausnutzung erzielt werden sollen. Der zweite Entwurf ist sowohl beanspruchungsgerecht als auch gussgerecht, besitzt jedoch keine einfache Grundform und eine immer noch ungenügende Werkstoffausnutzung. Der dritte und finale Entwurf weist Verrippungen und konstante Wandstärken auf. Er ist damit beanspruchungsgerecht und gussgerecht. Die Kräfteinleitungsstellen sind verstärkt. Die Werkstoffausnutzung ist gut genug und das Prinzip der konstanten Wandstärken ist berücksichtigt worden.

5.3 Urformen

5.3.1.5 Werkstoff- und Festigkeitsgerechtes Gießen

Festigkeit und E-Modul beachten



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 51

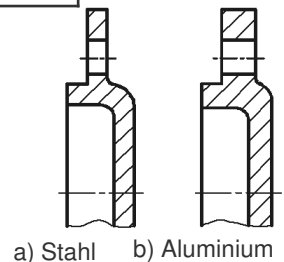
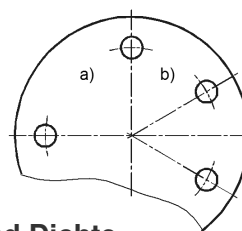
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Berücksichtigung der Festigkeit des Werkstoffs

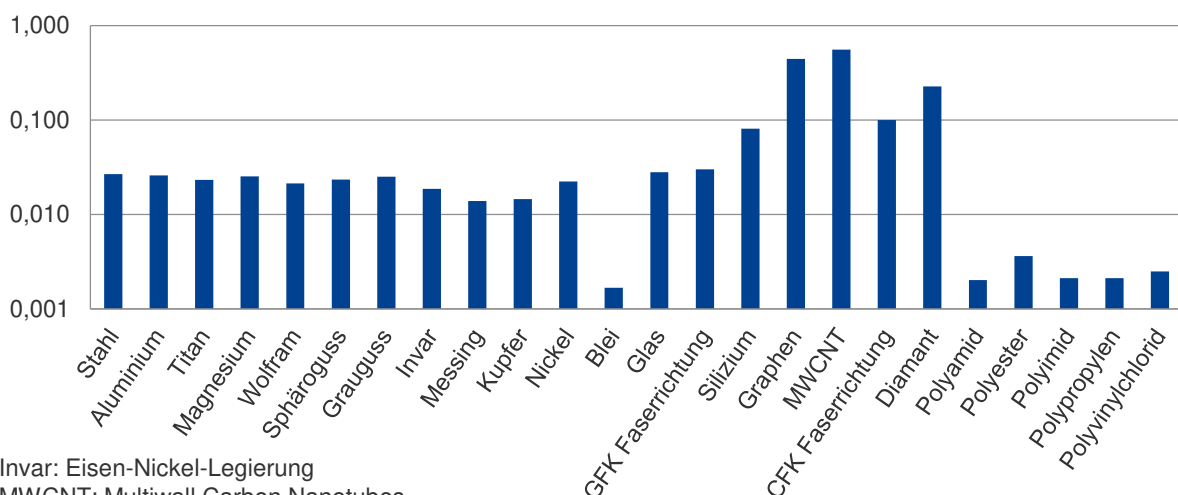
Bei der Berechnung von Durchbiegung (Steifigkeit) sowie bei der Gestaltung von z.B. Schraubverbindungen ist der E-Modul der verwendeten Werkstoffe zu beachten. Eisenguss-Werkstoffe haben durchgehend einen geringeren E-Modul als Walzstähle oder Schmiedestücke. Bei gleicher Elastizitätsgrenze („Festigkeit“) haben die Werkstoffe unterschiedliche Steifigkeiten. „Leichtbau“ ist nur bei Beachtung von E-Modul, Festigkeit und Flächenträgheits- und Widerstandsmomenten möglich. Da Kunststoffteile meist mittel Gießverfahren hergestellt werden, sind Unterschiede des E-Moduls zwischen Gieß- und Frästeilen hier nicht so eklatant. Bei Stahl sind weniger Bohrungen nötig als bei Aluminium, wenn z.B. dieser Deckel den gleichen Druckkräften und Biegemomenten standhalten soll!

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) 100.000 – 200.000 bei Druckbeanspruchung
Eisen Stahl	210.000
Kupfer	130.000
Messing	80.000 – 100.000
Beryllium	300.000
Iridium	520.000
Bronze	80.000

Kunststoff	E-Modul [N/mm ²]
Polyethylen PE-HD	700
Polypropylen	1.200
Polyvinylchlorid PVC	2.500
Polyamid PA	1.600
Polyamid 50% Glasfaseranteil	13.000



Quotient aus E-Modul und Dichte

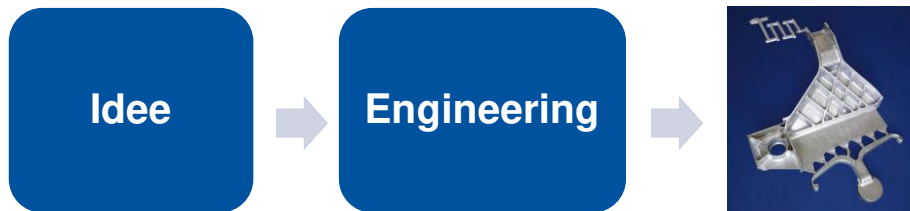


Invar: Eisen-Nickel-Legierung

MWCNT: Multiwall Carbon Nanotubes

5.3 Urformen

5.3.1.6 Praktisches Vorgehen beim Konstruieren von Gussteilen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 52

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

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. Gefährdete Querschnitte nachrechnen und dimensionieren.
6. Entwurf auf gussgerechte Gestaltung (Radien, Wandstärken usw.) überprüfen und ändern. Eventuell Rücksprache mit Gießereifachleute.
7. Anordnung, Form und Stärke der Bearbeitungsflächen und Zugaben endgültig festlegen.
8. Entwurf nochmals nach allen Gesichtspunkten überprüfen. Zeichnung erstellen.

5. Gestaltung

Kontrollfragen

1. Wovon ist die kleinste erzielbare Wandstärke abhängig?
2. Was sollte beim Spritzguss beachtet werden, wenn fertigungs- und kostengerecht gegossen werden soll?
3. Erläutern Sie drei Folgen ungleichmäßiger Erstarrungsprozesse.

5.3 Urformen

5.3.2 Additive Fertigung - Übersicht

Material	Technologien		
	Aufbau durch Polymerisation	Aufbau durch Verkleben	Aufbau durch Verschmelzen
Keramic		 BJ	 LM
Metal			 EBM
Sand			
Kunststoff	 SL  PJ		 FDM  LS
Wachs			 MJ *
	Tiefer Beständigkeit Höher Glatter Oberfläche Rauer Höher Detailgenauigkeit Tiefer Prototypen Indirekte Prozesse Anwendungsbereich Funktionale Teile		

Quellen: additively.com

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 54

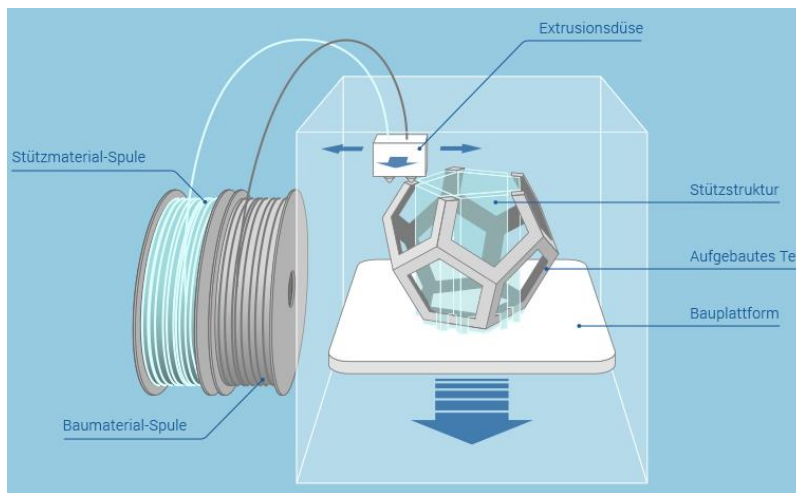
 Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Additive Fertigung

Im Bereich der additiven Fertigung können die verwendeten Technologien den Kategorien **Aufbau durch Polymerisation**, **Aufbau durch Verkleben** und **Aufbau durch Verschmelzen** zugeordnet werden. Auf der Polymerisation basierende Technologien sind beispielsweise die Stereolithographie (SL) und das Photopolymer Jetting (PJ). Das Binder Jetting (BJ) ist dem Aufbau durch Verkleben zuzuordnen. Sowohl das Laser Melting (LM), als auch das Electron Beam Melting (EBM), Fused Deposition Modeling (FDM), das (selektive) Lasersintern (LS) und das Material Jetting (MJ) basieren auf einem Aufbau des Bauteils durch Verschmelzen. Im Folgenden wird näher auf das FDM, das Lasersintern, die Stereolithographie, und das Material Jetting eingegangen.

5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck



Quelle:
additively.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 55

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Fused Deposition Modeling

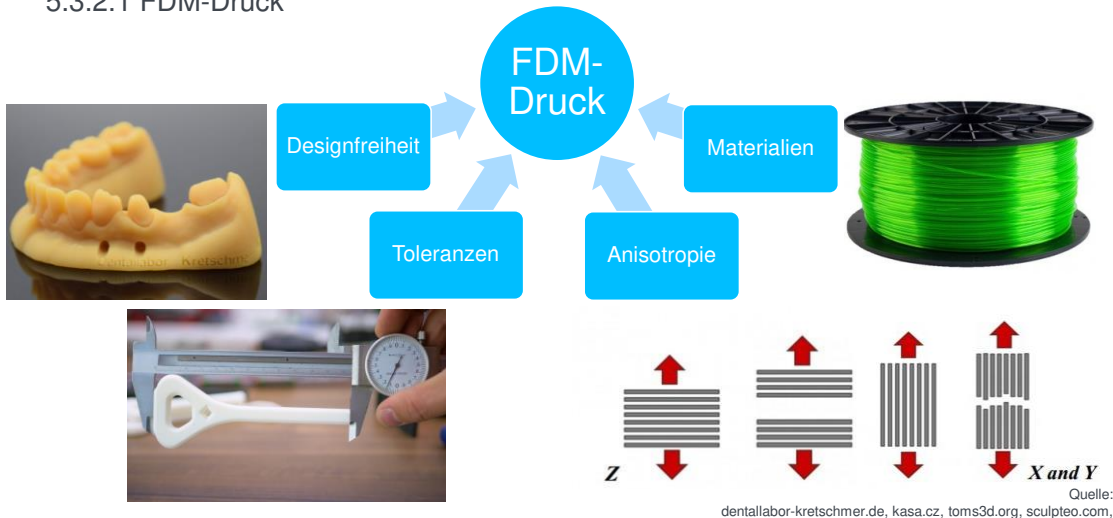
Das Fused Deposition Modeling (FDM) (deutsch: Schmelzschichtung) oder auch Fused Filament Fabrication (FFF) ist das bekannteste additive Fertigungsverfahren. Dabei werden Kunststoffäden, das sogenannte Filament, in einem kleinen Extruder verflüssigt. Der Extruder ist eine beheizte Düse. Entsprechend eines vorgegebenen CAD-Modells wird die Schmelze auf die Werkzeugebene aufgetragen. Die aufgetragene Schicht kühlt ab und wird hart. Auf die abgekühlte Schicht wird die nächste Schicht aufgetragen. So entsteht Schicht für Schicht, das reale Abbild des 3D-Modells. Zu Beachten ist, dass Volumenkörper oder überhängende Formen mit einer Füll-/Stützstruktur gedruckt werden, die anschließend entfernt werden muss. FDM arbeitet mit Standardkunststoffen, wie z.B. Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS) oder Polycarbonate (PC). Die gedruckten Teile haben gute mechanische Eigenschaften und sind zeitbeständig. Sie können wie traditionell hergestellte Kunststoffteile nachbearbeitet werden. Durch den schichtweisen Aufbau haben die gefertigten Bauteile jedoch eine Anisotropie in z-Richtung und eine Stufenstruktur auf ihrer Oberfläche. Zudem können feine Details nicht realisiert werden. Anwendung findet FDM vor allem im Aufbau von Prototypen. Die Prototypen werden dabei aus Standardmaterialien für Form- und Passtests sowie zu Funktionstests gefertigt. Darüber hinaus können Hilfsteile, wie z.B. Schablonen und Lehren, einfach und schnell hergestellt werden.



[Holiday Christmas Deer - Timelapse Tuesday #3DPrinting - YouTube](#)

5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 56

Institut für
Medizingerätetechnik **INM**

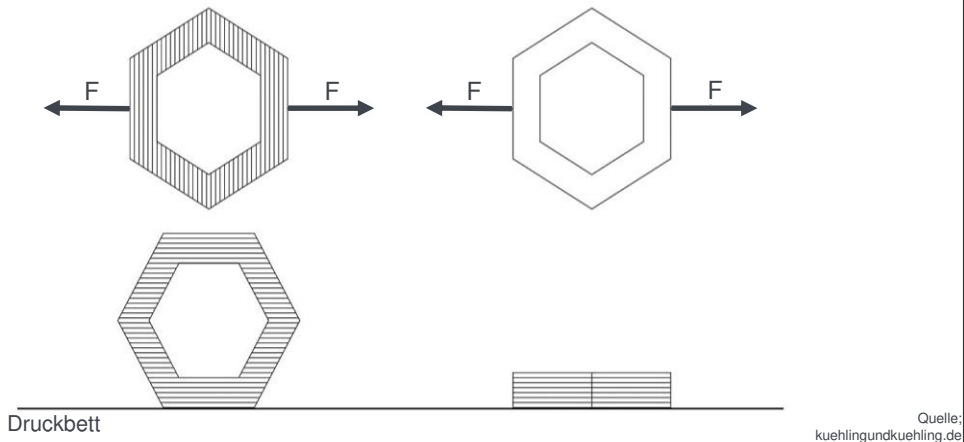
Fused Deposition Modeling

Mittels FDM kann nahezu jede vorstellbare Gestalt oder Geometrie eines Bauteils erzeugt werden (Designfreiheit). Es werden dafür keine Trennebenen benötigt. Das Bauteil kann an einem Stück und ohne Bindenähte hergestellt werden. Hinterschnidungen können leicht ausgeführt werden, ohne dabei die Herstellkosten zu erhöhen. Es werden keine Entformungsschragen benötigt. Details und schmale Schlitzte können kostensparend ohne Erodieren erzeugt werden. Es müssen keine Spritzgussimulationen vorgenommen werden, um den Herstellungsprozess und die Bauteilgeometrie zu optimieren. Im Gegenteil zum Spritzguss müssen zudem keine komplexen Kühlkanäle berücksichtigt werden. Bei den meisten FDM-Verfahren beträgt die Abweichungstoleranz mindestens 0,1 mm. Sie ist somit größer als bei anderen Verfahren wie z.B. beim Spritzguss oder bei spanenden Verfahren. Die Toleranz darf jedoch nicht mit der Auflösung des Druckers verwechselt werden! FDM fällt im Allgemeinen unter die Kategorie V (sehr grob) der DIN 16742. Ursachen der Fertigungsabweichungen sind unter anderem die Positioniergenauigkeit des Extruders durch die Linearachsen des 3D-Druckers, Schwankungen der Abmessungen der Materialschlangen, Materialschwankungen des Filaments, Verzug bzw. Spannungen beim Abkühlen des Werkstücks (Warping: bei PLA ca. 2 %) und nicht optimal eingestellte Druck-Parameter. Um ein genaues Druckergebnis zu erhalten, sollte schon beim Export in eine STL-Datei die technisch maximal mögliche Auflösung gewählt werden. Die Anisotropie ist technologisch durch die Schichtbauweise bedingt. Mechanischen Eigenschaften weichen daher innerhalb des Bauteils und in den verschiedenen Richtungen voneinander ab. Die Eigenschaften eines Bauteils in der Ebene parallel zur Bauplattform unterscheiden sich zu denen in senkrechter Richtung. Das Bauteil sollte bei Bedarf also entsprechend der Belastungsrichtung angeordnet werden, um eine Delamination von Schichten zu vermeiden. Die am häufigsten verwendeten Materialien sind ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) und PLA (PolyLactic Acid). PLA ist dabei einsteigerfreundlicher aufgrund einer geringeren Warping-Gefahr.

5.3 Urformen

5.3.2.1 FDM-Druck - Konstruktionsgrundsätze

- Schichtausrichtung



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 57

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

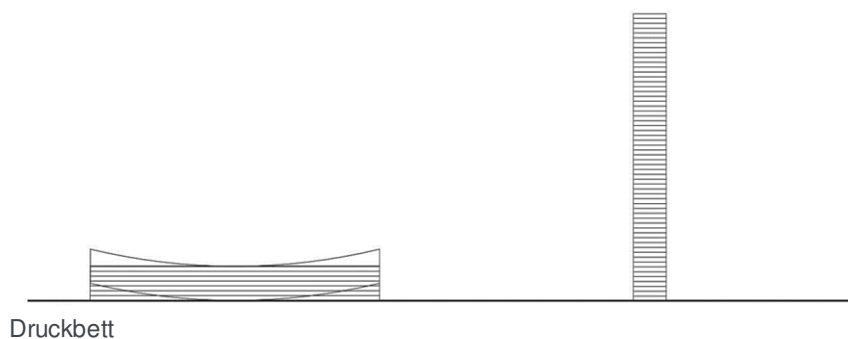
Fused Deposition Modeling – Konstruktionsgrundsätze

Schichtausrichtung

Die Ausrichtung der Schichten wirkt sich auf die Festigkeit im Einsatz aus. Durch eine funktionsorientierte Ausrichtung des 3D-Modells können nicht nur Bauteilausfälle vermieden, sondern auch höhere Belastbarkeiten erreicht werden.

Bauteilverzug

Trotz einer temperierten Druckumgebung verfestigen sich die Druckschichten im FFF/FDM-Verfahren nicht gleichzeitig. Dies kann zu Spannungen führen, wodurch es zum Verzug des Bauteils kommen könnte. Bei länglichen/flachen Bauteilen ist eine aufrechte Ausrichtung für den Druck oft die bessere Lösung.

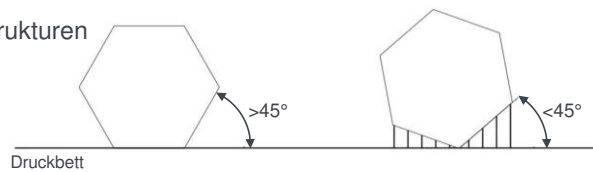


5.3 Urformen

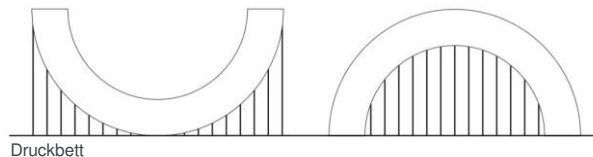
5.3.2.1 FDM-Druck - Konstruktionsgrundsätze

- Notwendigkeit von Stützstrukturen

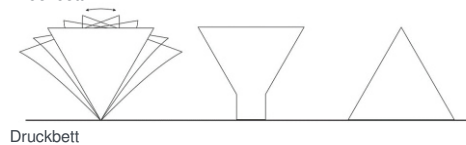
a)



b)



- Kontakt zum Druckbett



Quelle:

kuehlingundkuehling.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 58

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

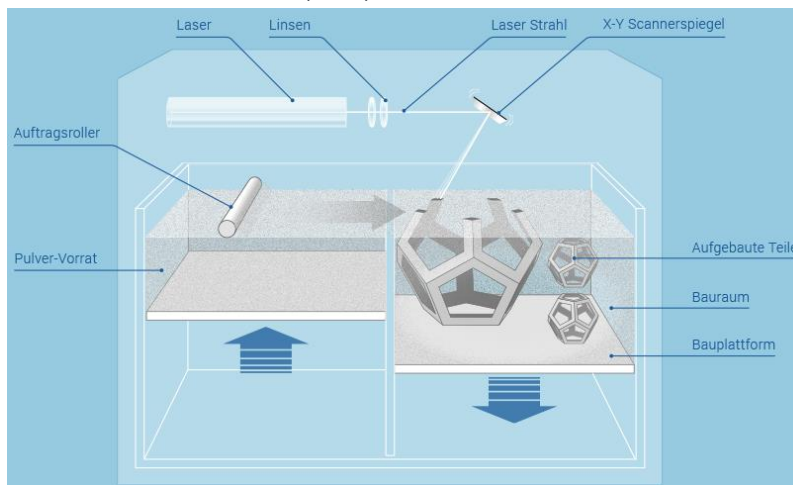
Fused Deposition Modeling – Konstruktionsgrundsätze

Stützstrukturbedarf

Freistehende Bereiche werden als sog. Überhänge bezeichnet. Wird ein Bauteil mit einem Winkel unter $\sim 45^\circ$ zum Druckbett ausgerichtet, muss der Überhang von Stützstrukturen getragen werden. Dies führt zu einer erhöhten Maschinen- und Nachbearbeitungszeit. Zusätzlich nimmt der Materialbedarf zu. Das bedeutet, dass die Modellausrichtung immer so erfolgen sollte, dass Seitenflächen und Schrägen mit einem Winkel von $< 45^\circ$ zum Druckbett stehen. Je nach Ausrichtung des 3D-Modells kann die Güte der Oberfläche durch Stützmaterial beeinflusst werden. Entfernte Stützstrukturen hinterlassen teilweise sichtbare Kontaktpunkte auf der Bauteiloberfläche. Aufgrund der späteren Sichtbarkeit einer Modellseite oder einer funktionsbedingt hohen Anforderung an die Oberflächengüte sollte die betreffende Modellseite mit einem Winkel größer als 45° ausgerichtet werden oder vom Druckbett abgewandt sein. Ist die Kontaktfläche des Modells zu gering, sinkt die Bauteilstabilität bei steigendem Druckfortschritt und Abstand des Druckkopfes zum Druckbett. Dies führt zu deutlich verminderter Druckqualität oder zum Abbruch des Prozesses.

5.3 Urformen

5.3.2.2. Selektives Lasersintern (SLS)



Quelle:
additively.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 59

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Selektives Lasersintern

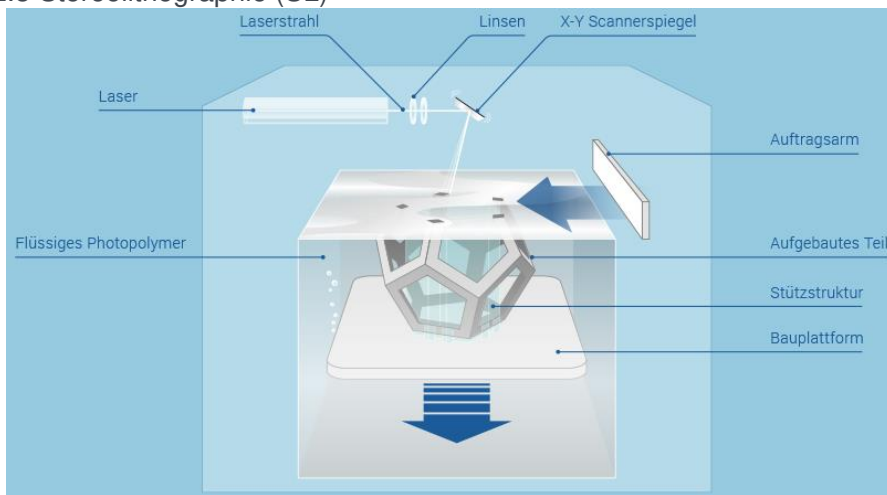
Beim selektiven Lasersintern wird Pulver (Kunststoff, Metall, Keramik) vollflächig auf eine Grundplatte aufgebracht. Der eingesetzte Laser sintert bzw. schmilzt das Pulver. Die Bauplattform wird abgesenkt und es wird eine neue Schicht Pulver aufgetragen. Für kleine Losgrößen ist Lasersintern sehr kompetitiv im Preis und oftmals die kostengünstigste Lösung. Lange Wände mit dünnen Wandstärken neigen dazu, sich zu verziehen (Warping). Demnach sollten Wandstärken langer Wände erhöht werden. Eine Kombination aus verschiedenen dicken Strukturen kann ebenfalls zu einem Verzug führen, da der Laserstrahl mehr Energie in dicke Strukturen einbringen muss, was wiederum zu einer ungleichmäßigen Wärmeverteilung beim Abkühlen führt. Ineinandergreifende- oder bewegliche Bauteile sollten einen Mindestabstand von 0,5 mm aufweisen. Restpulver im Spalt zwischen zwei Bauteilen sollte vermieden werden, da es schmelzen kann und die Beweglichkeit der Einzelteile dadurch verhindert. Entnahmelöcher sind bei ausgehöhlten Bauteilen empfohlen. Ein Mindestdurchmesser von 1 mm sollte bei Bohrungen berücksichtigt werden, da ansonsten Restpulver in den Löchern schmelzen kann. Durch Lasersintern werden Prototypen aus Standardmaterialien für Form- und Passtests, sowie zu Funktionstests gebaut. Darüber hinaus können Hilfsteile (Schablonen, Positioniere, Lehren) hergestellt werden.



<https://www.youtube.com/watch?v=-qbLxL3KBKE>

5.3 Urformen

5.3.2.3 Stereolithographie (SL)


 Quelle:
additively.com

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 60

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

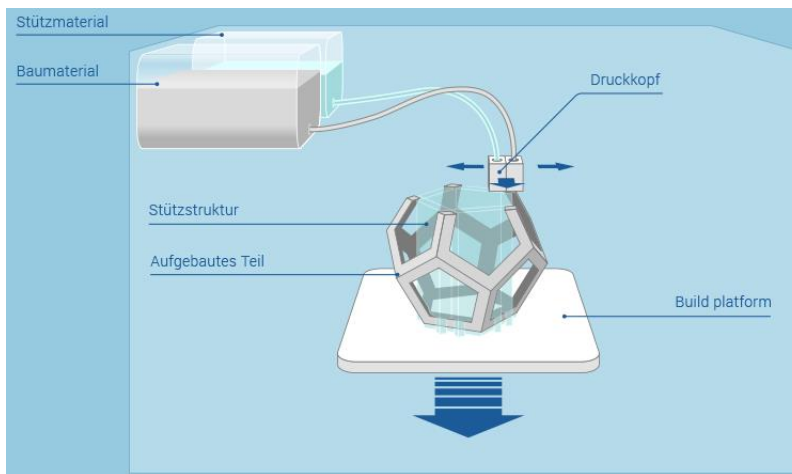
Stereolithographie

In einem Flüssigbad aus Photopolymer befindet sich eine höhenverstellbare Plattform, auf dem bei der Stereolithographie das dreidimensionale Bauteil aufgebaut wird. Die Plattform wird jeweils um eine Schichtdicke abgesenkt. Der UV-Laser wird über bewegliche Spiegel auf das Photopolymer geleitet. Dort, wo der UV-Laser auftrifft, wird der Kunststoff punktuell ausgehärtet. Durch Stereolithographie können Teile mit guter Oberflächengüte und feinen Details produziert werden. Maschinen mit großem Bauraum ermöglichen große Teile. Eine Vielzahl von unterschiedlichen Photopolymeren erlaubt es, Teile mit sehr spezifischen Eigenschaften zu produzieren. Stereolithographie funktioniert jedoch nur mit Photopolymeren und nicht mit Standardmaterialien. Photopolymere sind nicht beständig über die Zeit und können ihre mechanischen Eigenschaften und ihre Geometrie verlieren. Die Materialien sind zudem teuer und der Herstellungsprozess langsam. Stützstrukturen sind notwendig für Überhänge $<30^\circ$. Bauteile müssen darüber hinaus auf der Plattform befestigt werden, damit sie nicht davon schwimmen. Die Seite mit Stützstrukturen ist ohne Nachbearbeitung sehr rau. Bei ausgehöhlten Bauteilen sind Ablauflöcher notwendig, um überschüssiges Harz aus dem Inneren zu entfernen. In der Regel befinden sich diese an den tiefsten Punkten des Bauteils. Durch die Stereolithographie können Prototypen mit guter Oberfläche und feinen Details für visuelle Tests, Form- und Passtests sowie teilweise zu Funktionstests gebaut werden.


<https://www.youtube.com/watch?v=b-slcYo8isI>

5.3 Urformen

5.3.2.4 Inkjet-Verfahren (MJ)



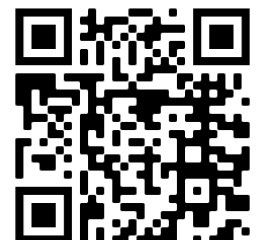
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 61

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Inkjet-Verfahren

Beim Inkjet-Verfahren wird das Photopolymer im Druckkopf auf Schmelztemperatur erhitzt und anschließend durch die Düsen auf die Bauplattform getropft. Zur Aushärtung wird es mit UV-Licht bestrahlt. Dieses Verfahren produziert Teile in hoher Genauigkeit und mit guten Oberflächen. Material Jetting funktioniert nur mit wachsähnlichen Materialien, weshalb die Teile fragil sind. Der Aufbauprozess ist eher langsam. Teile müssen an der Bauplattform befestigt werden. Überhänge müssen abgestützt werden und sind i. d. R. mit Wasserstrahl zu entfernen. Ineinandergreifende- oder bewegliche Bauteile sind ebenfalls druckbar. Die PolyJet-Technologie zählt zu den Verfahren mit der höchsten Bemaßungsgenauigkeit. Prototypen können aus Wachs aufgebaut werden. Gussmodelle für den Guss werden mit hoher Genauigkeit und guten Oberflächen in spezialisierten Guss-Wachsen produziert. Vor allem in der Medizin-, Dental- und Schmuckindustrie werden diese im Feinguss verwendet.



<https://www.youtube.com/watch?v=Som3CddHfZE>

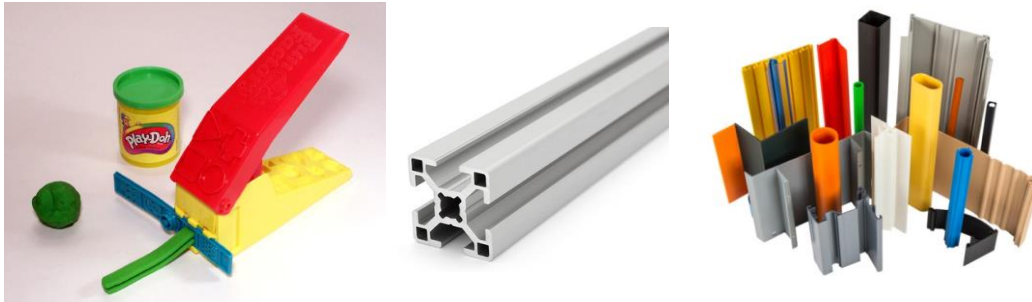
5. Gestaltung

Kontrollfragen

1. Welche Technologien gibt es im Bereich der additiven Fertigung? Welchen Kategorien können sie jeweils zugeordnet werden?
2. Erläutern Sie die Konstruktionsgrundsätze, die beim FDM-Druck beachtet werden sollten.
3. Wie wird mithilfe der Stereolithographie ein Bauteil erzeugt?

5.3 Urformen

5.3.3 Extrudieren



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 63

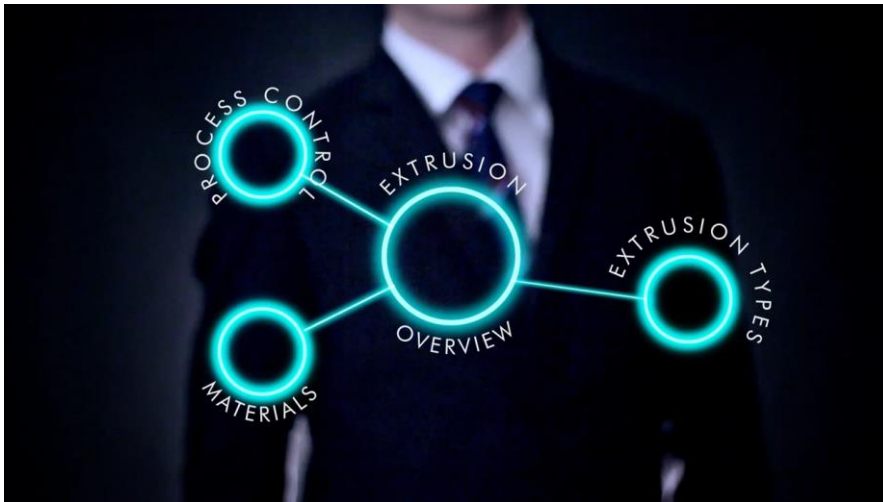
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Extrudieren

Beim Extrudieren werden feste bis dickflüssige und härtbare Massen kontinuierlich aus einer Druckkammer durch eine profilierte Öffnung (Düse, Matrize, Mundstück) gepresst, die die Form und Querschnitt bestimmt. In der linken Abbildung ist ein Spielzeug dargestellt, mit dem Knete durch einen Kolbenextruder gedrückt werden kann. Beim Extrudieren wird der verwendete Kunststoff kontinuierlich geschmolzen, über eine formgebende Düse ausgetragen und kühlt anschließend ab. Dadurch entstehen Halbzeuge, wie z.B. Profile, Platten oder Folien (Formteile mit 2D-Profil, die endlos in die Richtung der dritten Dimension extrudiert werden können). Sowohl spröde als auch weiche Materialien können verarbeitet werden. Zudem ist die Ausbeute bei geringem Zeitaufwand hoch. Darüber hinaus ist das Extrudieren relativ kostengünstig, jedoch wird eine lange Vorbereitungszeit mit menschlicher Kontrolle benötigt. Sobald der Prozess jedoch einmal gestartet wurde, läuft alles automatisch ab.

5.3 Urformen

5.3.3 Extrudieren



Quelle:
New Lego,
purecookshop,
vistamed.de Youtube

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 64

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**



<https://www.youtube.com/watch?v=GYmtCKIUUls>



<https://www.youtube.com/watch?v=0ZoTdjYN6IU>

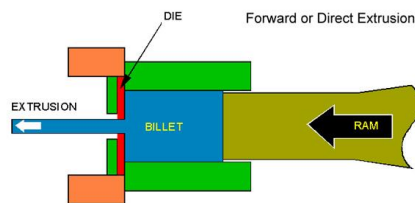


<https://www.youtube.com/watch?v=fd1u8r8l6cs>

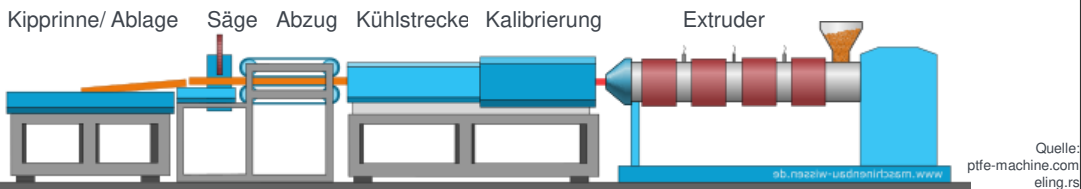
5.3 Urformen

5.3.3 Extrudieren - Funktionsarten

- Kolbenextrusion



- Schneckenextrusion



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 65

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Extrudieren – Funktionsarten

Kolbenextrusion

Bei der Kolbenextrusion (engl. „ram extrusion“) wird der für die Extrusion nötige Druck durch einen Kolben erzeugt. Sie wird besonders bei häufigen Materialwechseln oder wenn eine Verarbeitung mittels Schneckenextruder nicht möglich ist verwendet. Unter anderem ist die Kolbenextrusion auch häufig in der Lebensmittelindustrie zu finden (aufgrund von Hygienemaßnahmen). Die Länge des extrudierten Teils ist abhängig vom Volumen des Extruders. Das Verfahren läuft folgendermaßen ab. Pulver/Granulat wird in den zylindrischen Kanal eingefüllt. Der Werkstoff wird mit dem Stempel/Kolben stark verdichtet und anschließend gleichmäßig erhitzt und aufgeschmolzen. Nach einer definierten Verweilzeit wird das Material bei konstanter Stempelgeschwindigkeit (konstantem Materialvolumen) aus dem Kanal extrudiert. Ein Vorteil der Kolbenextrusion ist die einfache Reinigung, da nur wenig Kontakt zwischen Maschinenteilen und der zu extrudierenden Masse besteht und der Kolben zur Reinigung entnommen werden kann. Zudem kann das eingesetzte Material nahezu rückstandslos verwendet werden, da der Kolben bis vor die Düse gefahren werden kann. Somit kann auch eine kleinste Materialmenge verarbeitet werden. Das Beimischen von Zusatzstoffen hingegen muss bereits vor dem Einfüllen in den Extruder erfolgen.

Schneckenextrusion

Bei der Schneckenextrusion wird das Granulat durch den Trichter in den Zylinder eingefüllt. Das Material wird im beheizten Zylinder geschmolzen und homogenisiert und anschließend durch eine rotierende Schnecke zur Düse befördert. Dies ist ähnlich wie beim Spritzgießen, jedoch ohne die axiale Bewegung beim Einspritzvorgang. An der Düse tritt der Werkstoff kontinuierlich aus. Bei der Schneckenextrusion findet somit eine kontinuierliche Verarbeitung statt, die sobald sie einmal läuft voll automatisiert abläuft. Eine Mischung verschiedener Materialien (oder Beimischen von Zusatzstoffen) in der Schnecke ist problemlos möglich. Jedoch ist die Reinigung kompliziert, da die Anbauteile und die Schnecke vom Zylinder getrennt werden müssen.

5.3 Urformen

5.3.4 Blasformen



Quelle:
PharmastuIn.de, Babymarkt.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 66

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Blasformen

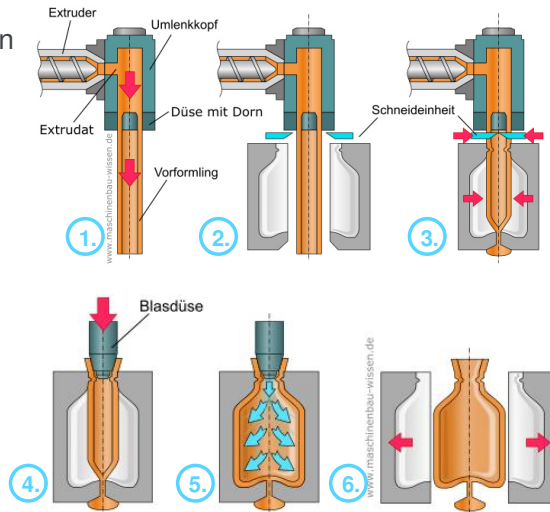
Blasformen ist ein Produktionsverfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus thermoplastischen Kunststoffen. Durch Innendruck wird dabei ein zuvor durch Spritzguss oder Extrusion hergestellter Vorformling an die Konturen des Werkzeugs gedrückt und erhält dadurch seine Form. Es sind dünne Wandstärken möglich, jedoch ist eine Naht sichtbar.

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



Extrusionsblasformen

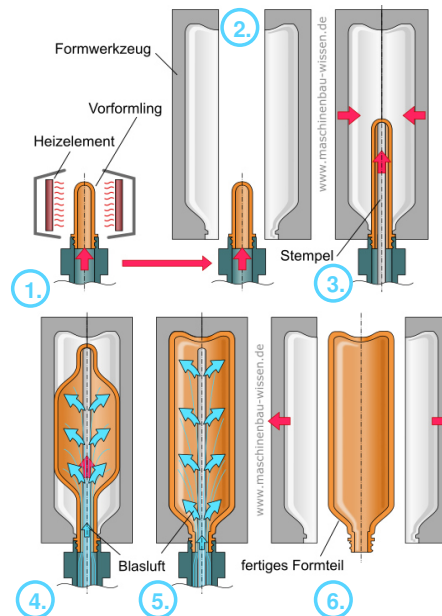
Das Extrusionsblasformen zählt zu den Direktverfahren, das bedeutet es findet eine direkte Verarbeitung nach der Extrusion statt. In diesem Verfahren werden beispielsweise Flaschen, Kanister, Fässer oder auch Kraftstoffbehälter hergestellt. Charakteristisch für blasgeformte Teile ist die Naht an der Stelle an der die beiden Werkstoffteile ineinander greifen. Zunächst findet dabei die Extrusion des Vorformlings wie zuvor beschrieben statt. Das Werkzeug mit ringförmig nach unten gerichtetem Austritt (→ Nutzen der Schwerkraft) wird dann positioniert. Im Anschluss schließen sich die gekühlten Werkzeughälften um den extrudierten Schlauch, sobald dieser eine bestimmte Länge erreicht hat, und trennen den Schlauch ab. Die Blasdüse bläst den Schmelzschlauch mit Druckluft auf (je nach Werkzeug kann sich die Öffnung für die Blasdüse oben oder unten befinden). Abschließend wird das fertige Werkstück entformt.

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



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 68

Institut für
Medizingerätetechnik **INM**

Streckblasverfahren

Das Verfahren nutzt, ähnlich wie bei Folien, den Effekt, dass beim Verstrecken nahe der Glas- bzw. Kristallschmelztemperatur hohe Orientierungen in das Material eingebracht werden können. Dadurch können die Werkstoffeigenschaften verbessert werden. Auch hier wird ein Vorformling benötigt, der durch Spritzgießen oder Extrusionsblasformen im Vorfeld hergestellt wird. Dieser Vorformling wird dann durch Infrarotstrahlung erhitzt. Eine Bestrahlung im Infrarot-Bereich lässt sich gut automatisieren und bringt die benötigte Leistungsfähigkeit mit. Anschließend wird der Vorformling in das Werkzeug gefahren, welches dann schließt. Es kommt zur Längsstreckung am Flaschenhals, wodurch der Vorformling axial gehalten wird und eine mediendichte Fixierung entsteht. Mithilfe eines Stempels, wird der Vorformling in Längsrichtung verstreckt. Zeitgleich erfolgt die Umfangsstreckung durch Blasluft. Dieser Prozess läuft bei recht niedrigen Temperaturen ab, wodurch starke Verformkräfte nötig werden. Der so erzeugte Hohlkörper kühlt nach dem Aufblasen im Werkzeug ab. Erst wenn er genügend Formfestigkeit besitzt wird er ausgeworfen.

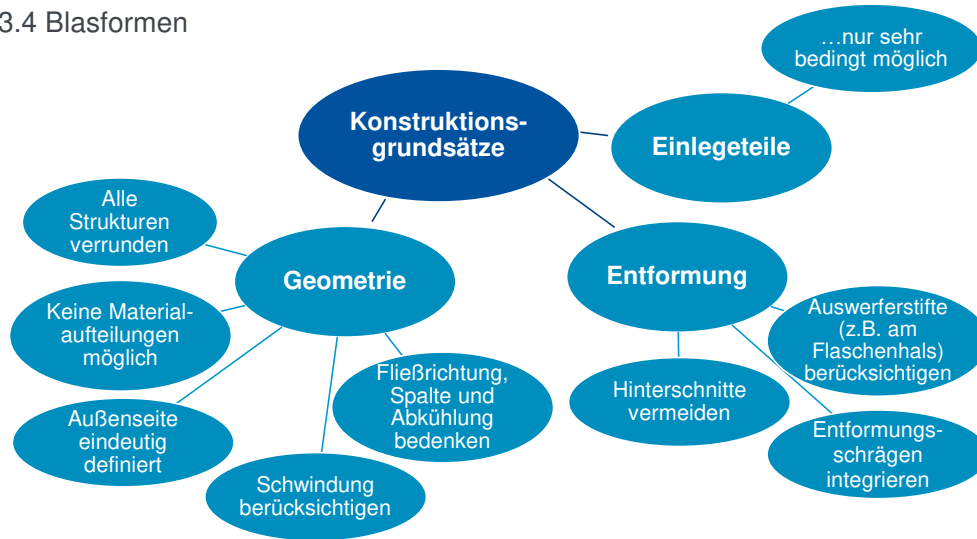


Quelle:

Joggen-online.de, dreamstime.com, shenzhoumac.org, vdi-wissensforum.de

5.3 Urformen

5.3.4 Blasformen



5. Gestaltung

Kontrollfragen

1. Welche Arten unterscheiden man beim Extrudieren? Erläutern Sie eine davon genauer.
2. Was wird unter Blasformen verstanden?
3. Welche Konstruktionsgrundsätze sind beim Blasformen zu beachten?

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

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 71

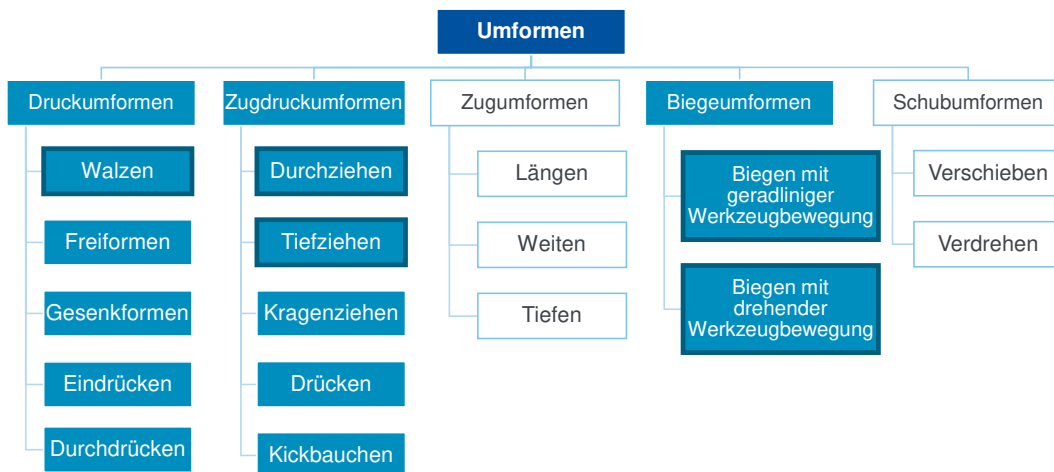
 Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Umformen und Trennen

Im Gegensatz zu den Verfahren der anderen Hauptgruppen, wird für das Umformen ein hoher Kraftaufwand benötigt. Meist das gesamte Werkstück wird in den Bearbeitungsprozess eingezogen und die Bearbeitungszeiten sind meist kurz mit einer hohen Mengenleistung.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1 Umformen von Blechen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 72

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

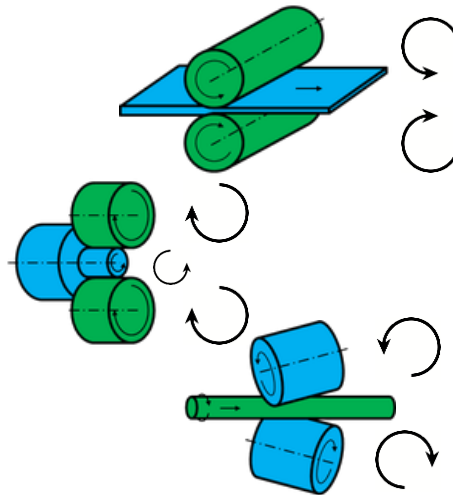
Umformen

Unter dem Begriff „Umformen“ wird eine gesteuerte, plastische Formänderung eines Werkstücks verstanden, wobei weder zusätzliches Material aufgetragen noch überschüssiges entfernt wird. Die Umformung ist daher ein volumenkonstanter Prozess. Beim Umformen werden die Stoffteilchen in eine andere Zwischen- oder Fertigteilform verschoben, ohne dass der Stoffzusammenhalt verloren geht. Umformen erfolgt oberhalb der Fließgrenze eines Werkstoffes, d. h. im plastischen Bereich. Es können daher nur solche Werkstoffe umgeformt werden, die ein ausgeprägtes plastisches Verhalten aufweisen. Metalle und thermoplastische Kunststoffe erfüllen diese Voraussetzung, mineralische Werkstoffe nicht oder nur in geringem Maße.

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

5.4.1.1 Druckumformen - Walzen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 73

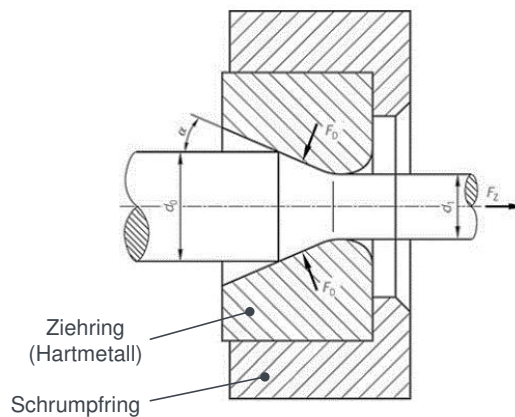
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Druckumformen – Walzen

Walzen ist ein stetiges oder schrittweises Druckumformen mit einem oder mehreren sich drehenden Werkzeugen (Walzen), ohne oder mit Zusatzwerkzeugen (z. B. Stopfen oder Dome, Stangen, Führungswerkzeuge). Das Werkstück wird dabei nicht in einem Schritt, sondern in zeitlicher Abfolge mit dem Abwälzen der Werkzeuge umgeformt. Es wird in Längs-, Quer- und Schrägwalzen unterteilt.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1.2 Zugdruckumformen - Durchziehen



Quelle:
german.inductionmeltingmachine.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 74

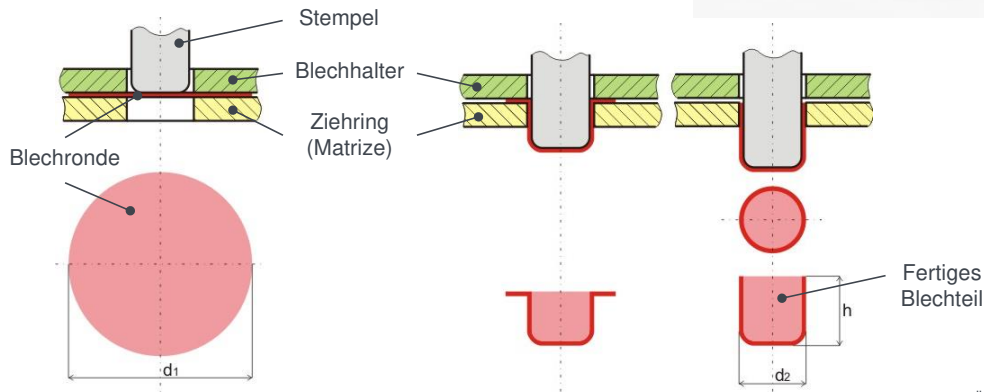
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Zugdruckformen – Durchziehen

Beim Durchziehen wird ein Werkstückes durch eine in Ziehrichtung verengte Werkzeugöffnung gezogen. Es wird in zwei Verfahren unterteilt. Das Gleitziehen wird überwiegend als Kaltumformverfahren zur Herstellung von Draht, Stäben, Rohren (meist mit Verwendung von Domen) und Profilen unterschiedlichster Art aus Eisen- und Nichteisen-Metallwerkstoffen angewendet. Das Ziehwerkzeug (Ziehstein, Ziehring) ist hohen Belastungen durch Druck- und Reibungskräfte und hohen Temperaturen ausgesetzt. Daher kommen hierfür nur hochfeste Werkstoffe (Hartmetall, Diamant und Keramik) in Frage. Zur Verringerung der Reibungskräfte zwischen Werkzeug und Werkstück werden Schmierstoffe eingesetzt, die meist auch eine Oberflächenverbesserung bewirken. Das Walzziehen bezeichnet das Durchziehen eines Werkstücks durch eine Öffnung, die von zwei oder mehreren Walzen gebildet wird. Es ist ein Sonderverfahren, das zum Einsatz kommt, wenn Gleitziehen die Verfahrensgrenzen erreicht.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1.2 Zugdruckumformen - Tiefziehen



Quelle:
wikipedia.de, aluinfo.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 75

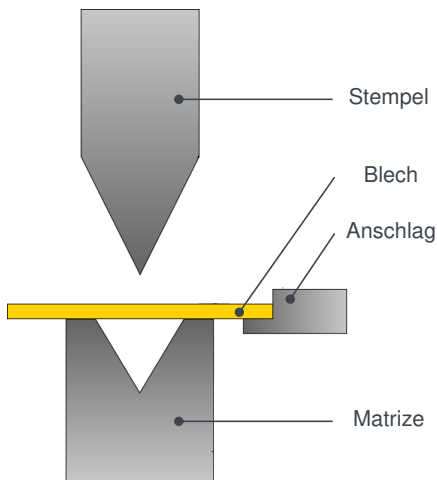
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Zugdruckformen – Tiefziehen

Auf der Folie ist die Herstellung eines Napfes durch Tiefziehen mit einem Formwerkzeug dargestellt. Die Ausgangsform für den Napf mit dem Durchmesser d_2 ist eine ebene Blechrunde mit dem Durchmesser d_1 . Über den Stempel, den Napfboden und den Zylindermantel (Zarge) wird die Ziehkraft in die eigentliche Umformzone zwischen Matrize und Blechhalter (der Blechhalter verhindert die Faltenbildung) eingeleitet. Die Umformung geschieht durch Stauchen des Werkstoffes in der Randzone (im Flansch des Napfes) und durch Strecken im zylindrischen Bereich. Zwischen Matrizenoberseite und Blechhalter wirken radiale Zug- und tangential Druckspannungen, zwischen Ziehkante und Napfboden axiale Zugspannungen.

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 1

Folie 76

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

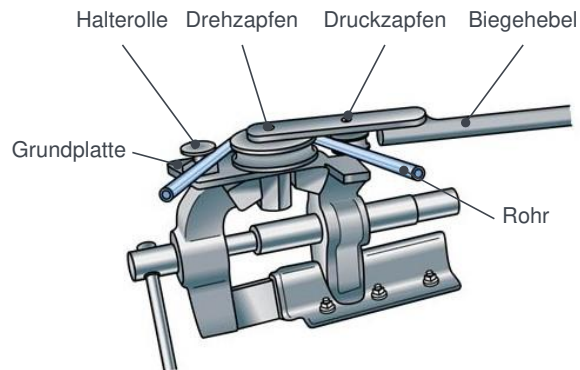
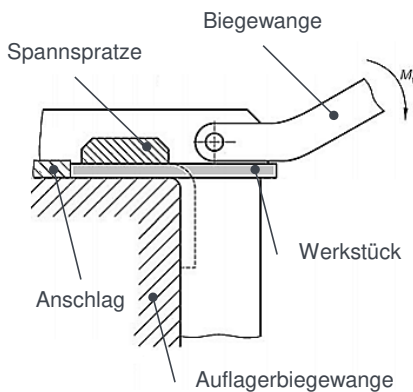
Biegeumformen – geradlinige Werkzeugbewegung

Biegeumformen ist nach DIN 8586 das Umformen eines festen Körpers, wobei man den plastischen Zustand (Fließen) im Wesentlichen durch eine Biegebeanspruchung herbeiführt. Dazu werden hauptsächlich metallische Werkstoffe (häufig bei Blechumformung) und ansonsten Rohre, Drähte und Stäbe verwendet. Im Allgemeinen findet ein Kaltumformen statt. Nur bei sehr großen Blechdicken oder sehr kleinen Biegeradien wird warm gebogen, um die notwendigen Kräfte klein zu halten und eine Kaltversprödung des Werkstoffes zu vermeiden. In der Abbildung links ist das Prinzip des Gesenkbiegens dargestellt. Das auf den Rändern des Gesenkes ruhende Werkstück wird durch die geradlinige Bewegung des Biegestempels in das V-Gesenk gedrückt. Der Stempel belastet das Blech mit einer Kraft. Dieses Verfahren wird auf der Abkantpresse durchgeführt. Der Krümmungsradius und der Winkel werden durch das Gesenk vorgegeben. Analog zu diesem Vorgang kann auch ein Biegen im U-förmigen Biegegesenk vorgenommen werden. Hierbei entsteht allerdings beim Biegen ohne Gegenhalter im Bodenteil eine elastische Durchbiegung, die erst im Gesenkgrund eben gedrückt wird.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.1.3 Biegeumformen – Biegen mit drehender Werkzeugbewegung

- Schwenkbiegen



Quelle:
europa-lehrmittel

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 77

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Biegeumformen – drehende Werkzeugbewegung

Beim Biegeumformen mit drehender Werkzeugbewegung wird eine schwenkbare Biegewange eingesetzt. Das mittels Spannpratze gehaltene Blech wird bis zur Anlage an die Auflagerwange gebogen (Schwenkbiegen). Ähnlich arbeitet das Rundbiegen. Hierbei spannt ein Klemmbolzen das zu biegende Blech auf die Biegerolle. Das freie Ende kann unbehindert an einer Blechführung nachrutschen. Lange Biegeformteile können statt auf einer Abkantbank auch durch Biegen mittels Profilwalzen hergestellt werden. Biegen wird auch vielfach angewendet, um ein Fügen durch Umformen zu erreichen. Dazu gehört das Hohlblechen als Biegen um gekrümmte Achsen, das Fügen durch umgebogene Blechlappen sowie das Fügen durch geschränkte oder einseitig oder zweiseitig umgebogene Lappen. Das Verbinden von Glasscheiben mit Blech oder das Schließen eines Dosendeckels erfolgt durch Umbördeln; diesen Prozess kann man als partielles Biegen längs einer Kreisbahn ansehen. Hohe Anforderungen werden an Falze gestellt. Ebene und zylindrische Bleche und Behälter werden durch Falze verbunden, die vor allem dicht sein sollen. Bei vielen Gebrauchsgegenständen müssen sie verhältnismäßig große Drücke aushalten, z. B. in Spraydosen.

5.4 Umformen und Trennen

Prägen



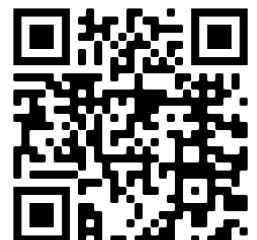
Quelle:
henje 12, Youtube

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 78

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

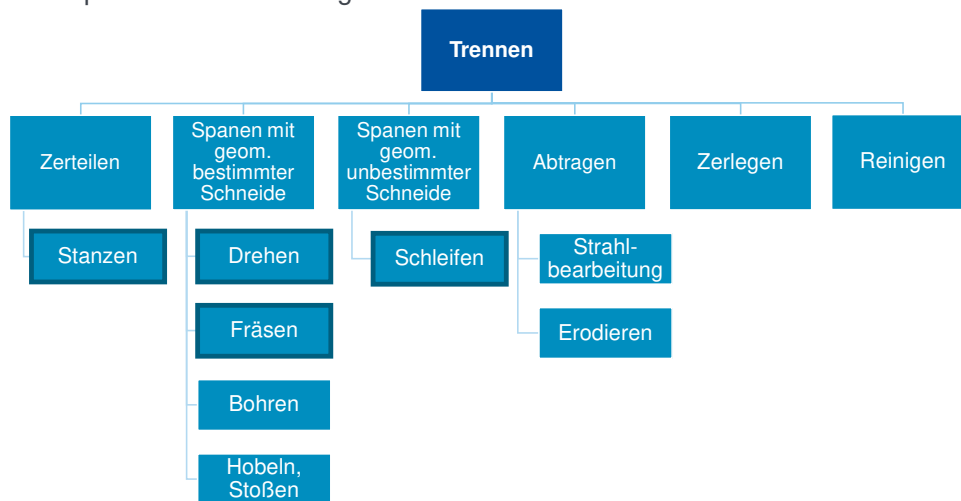
Das Prägen gehört zu der Gruppe der formgebenden Verfahren. Beim Einprägen wird durch ein Umformwerkzeug mit viel Druck auf eine Werkstückoberfläche eingewirkt. Durch den Druck entsteht eine Verformung, die zu einem Relief wird. Beim Prägen findet eine Kaltumformung statt, bei der die (kristalline) Struktur des Materials verschoben und nicht durchtrennt wird.



<https://www.youtube.com/watch?v=PI9SxiYe0BU>

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2 Spanende Bearbeitung



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 79

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Spanende Bearbeitung

Trennen beschreibt das Herstellen geometrisch bestimmter, fester Körper mittels Werkzeugen durch eine Änderung der Form und Minderung des Stoffzusammenhaltes. Geometrisch bestimmte, feste Körper sind Halbzeuge, montagefertige Einzelteile oder auch Werkzeuge.

Zerteilen

Zerteilen ist das mechanische Trennen von Werkstücken ohne Erzeugen eines formlosen Stoffes (Späne, Pulver oder Ähnliches). Das Scherschneiden (Stanzen) kann aufgrund der industriellen Anwendung hervorgehoben werden. Die Bedeutung anderer zerteilender Verfahren (z.B. Reißen und Brechen) ist demgegenüber gering.

Zerspanen

Beim Zerspanen entstehen formlose Stoffteile (Späne), die auf mechanischem Weg entfernt werden. Es wird zwischen Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide (DIN 8589-0), zu dem Fräsen, Drehen, Bohren etc. gehören, und Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide (DIN 8589-0), insbesondere Schleifen, unterschieden.

Abtragen

Das Abtragen basiert auf dem Entfernen von Teilchen auf nicht mechanischem Weg, etwa thermisch oder chemisch, mit gleichzeitiger Erzeugung von formlosem Stoff. Dazu zählen das Brennschneiden, das Plasma-Schmelzschnitten, das Funkenerodieren und weitere.

Zerlegen

Das Zerlegen von Teilen mit geometrisch definierter Form (DIN 8591). Dazu zählen z.B. Lösen von Klebverbindungen, Demontieren und das Lösen kraftschlüssiger Verbindungen.

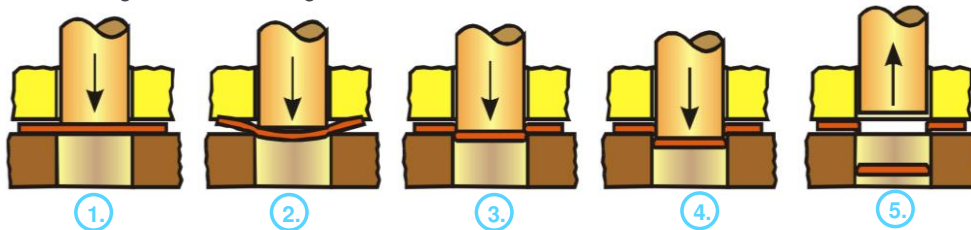
Reinigen

Beim Reinigen kommt es zum Trennen unerwünschter Schichten von der Oberfläche von Werkstücken (z.B. bei der industriellen Teilreinigung). Beispiele hierfür sind das Reinigungsstrahlen, das mechanische Reinigen, das strömungstechnische Reinigen, die Ultraschallreinigung, die Lösemittelreinigung, das chemische Reinigen und das thermische Reinigen.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.1 Stanzen

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


 Quelle:
TUM

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 80

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Stanzen

Das Stanzen ist ein Verfahren zum Zerteilen von Werkstoffen wie Stahl, Pappe, Papier, Leder oder Aluminium. Technisch gesehen wird das heute verwendete Verfahren Scherschneiden genannt. Die Trennung des Materials erfolgt hierbei durch zwei Schneiden, die sich aneinander vorbeibewegen (ähnlich dem Vorgang, wenn mit einer Schere etwas durchtrennt wird). Den geschichtlichen Vorläufer findet das technische Verfahren des Stanzens vermutlich in der Verwendung von Locheisen, die schon sehr früh in der menschlichen Entwicklung verwendet wurden und etwa dem Anfertigen von Ösen dienten. In der industriellen Revolution wurde das maschinelle Stanzen schnell zu einem der wichtigsten Verfahren in der Serien- oder Massenproduktion. Das Stanzen erfolgt mittels zweier Werkzeuge, dem Stempel und der Matrize. Bei flachen Bauteilen kann die Matrize auch durch einen glatten und entsprechend harten Untergrund ersetzt werden, da hier ein Gegenstück nicht notwendig ist. Mit dem Stempelwerkzeug, das in die Stanzmaschine eingebaut ist, wird eine mit hohem Druck erzeugte Bewegung meist von oben nach unten ausgeführt. Der Stempel presst sich dabei als Innenform in die Matrize ein und schert an den Schnittkanten das Material ab. Damit das ausgestanzte Werkstück die gewünschte Form erhält, sind Stempel und Matrize als Positiv- und Negativform ausgebildet.

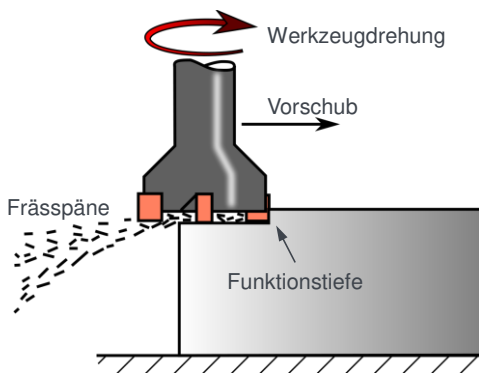
Formstanzen

Ein praktisches Beispiel für das Formstanzen ist etwa die Fertigung von Löffeln, die in einem Arbeitsgang gestanzt, beziehungsweise aus einem Blech geschnitten und gleichzeitig geformt werden. Diesem Vorgang folgt das Entgraten und Schleifen sowie Polieren des Löffels bis zum fertigen Endprodukt.


<https://www.youtube.com/watch?v=TLzy9wK7fNQ>

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.2 Fräsen



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 81

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Fräsen

Fräsen zählt zur Untergruppe Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden. Das Werkzeug wird dabei auf automatisierten Fräsmaschinen aufgesetzt. Die Werkzeuge verfügen über eine oder mehrere Schneiden. Sie tragen mittels rotierender Bewegung Material von der Oberfläche ab. Die Bearbeitung von Holz und fast allen Metallen ist möglich. Mit feinen Werkzeugen kann z.B. auch Glas graviert werden. Kennzeichnend ist die kreisförmige Spanabnahme mit meist mehrzahnigen Werkzeugen und den immer wiederkehrenden Spanunterbrechungen. Auf jede Umdrehung des Fräasers erfolgt auf den Eingriff der Schneiden der Austritt aus dem Werkstück. Daher sind Temperatur- und Schnittkraftschwankungen ein weiteres bestimmendes Merkmal der Fräsbearbeitung. Der Einsatz von Maschinen und Schneidstoffen ist erforderlich, welche speziell auf die dynamischen Belastungen beim Fräsen ausgelegt sind, um eine Formgebung mit optimalen Genauigkeiten zu erhalten. Nur wenn die im Folgenden aufgeführten Parameter beim Fräsen passend gewählt werden, kann ein wirtschaftliches und genaues Fräsen garantiert werden. Die Schnittbreite bestimmt wie breit das Werkzeug in das Werkstück eingreift. Die Schnittgeschwindigkeit ist vom Material und Schneidstoff abhängig. Die Schnitttiefe bezeichnet die radiale Einstellung des Werkzeuges. Die Vorschubbewegung beeinflusst die erreichbare Oberflächengüte und die Schneidbelastung. Mit zunehmendem Vorschub nehmen auch die Spannungsdicke und die Schnittkraft zu. Der Eingriffswinkel ist der Winkel zwischen Ein- und Austritt und bestimmt die Anzahl der gleichzeitig im Eingriff befindlichen Schneiden. Dabei gilt: Je mehr Schneiden im Einsatz sind, desto ruhiger ist der Fräsverlauf. Das Zeitspanungsvolumen ist das abgetragene Volumen des Werkstückes pro Minute.



<https://www.youtube.com/watch?v=FwFRpjr6wb0>

https://www.youtube.com/watch?v=xnr6LY_JxlQ

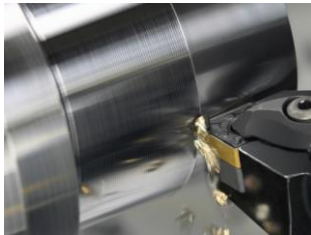
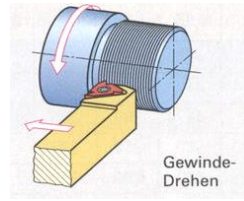
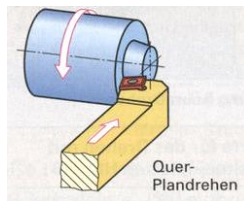
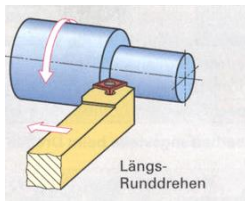
5. Gestaltung

Kontrollfragen

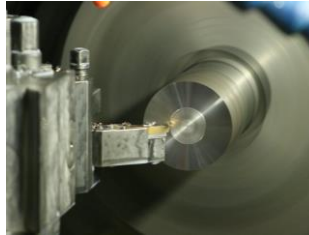
1. Welche Umformprozesse gibt es? Erläutern Sie einen genauer.
2. Durch welche Faktoren wird die Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit des Fräsens beeinflusst?

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.3 Drehen



Runddrehen



Plandrehen



Schraubdrehen

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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 83

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

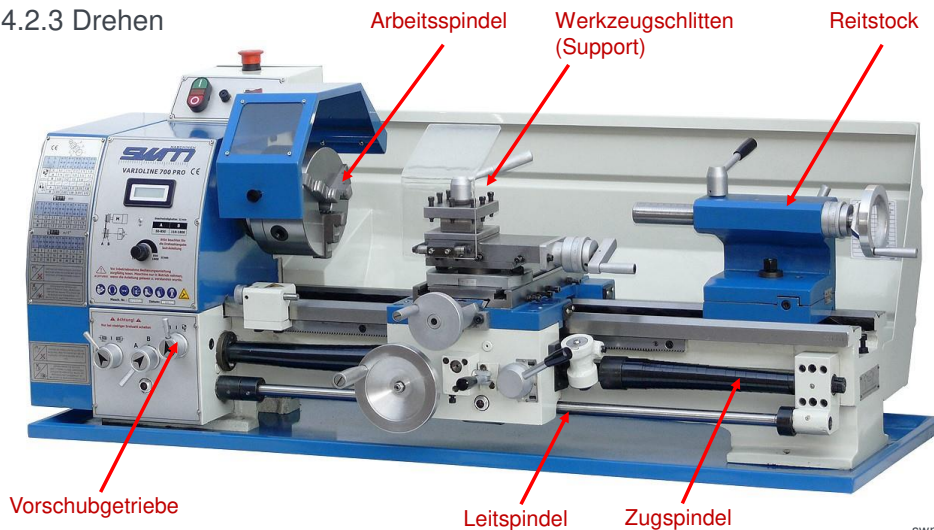
Drehen

Drehen ist ein spanender Prozess mit einer geschlossenen, kreisförmigen Schnittbewegung und einer beliebigen, senkrecht zur Schnittrichtung liegenden Vorschubbewegung des Werkzeuges. Als Werkzeug wird ein einschnittiger Drehmeißel, der ständig im Eingriff ist, benutzt. Die Einteilung der Drehverfahren erfolgt vorwiegend nach der Wirkrichtung des Werkzeugs - längs oder quer zum sich drehenden Werkstück. Weitere Unterscheidungsmerkmale liefert die erzeugte Geometrie (DIN 8589):

- Runddrehen: Herstellung kreisrunder Formen
- Plandrehen: Herstellung ebener Flächen
- Schraubdrehen: Herstellung von Gewinden → feste Kopplung von Vorschub und Umdrehung
- Profildrehen: Herstellung beliebiger Formen mit Profilwerkzeugen
- Formdrehen: Herstellung beliebiger Formen durch gesteuerte Werkzeugbewegung
- Wälzdrehen: Herstellung von Wälzflächen (Verzahnungen)

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.3 Drehen



Quelle:
swm-maschinen.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 84

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Drehmaschine

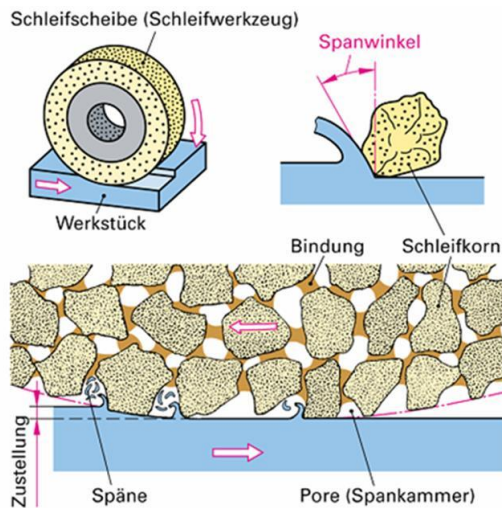
Das Drehen findet im Normalfall an einer Drehmaschine, auch Drehbank genannt, statt. An einer Drehmaschine können auch Bohrungen realisiert werden, sofern die Achse der Bohrung mit der Drehachse zusammenfällt. Auf dem Werkzeugschlitten befindet sich der Werkzeugträger mit dem Werkzeughalter. Bei einigen Drehmaschinen kann zusätzlich auch ein Werkzeugrevolver angebracht sein. In diesem können mehrere Werkzeuge verfügbar sein. Der Werkzeugschlitten kann parallel zur Drehachse verschoben werden. Bei langen Drehteilen, dient der Reitstock zur Abstützung des Drehteils. Lange, dünne Drehteile (Verhältnis Durchmesser zur Länge über 1:6) können durch eine Lünette weiter abgestützt werden, um Durchbiegen oder Schwingen während der Bearbeitung zu verhindern.



<https://www.youtube.com/watch?v=zjk7yxzr738>

5.4 Umformen und Trennen

5.4.2.4 Schleifen



Quelle:
frank-präzisionsteile.de, fachlexika.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 85

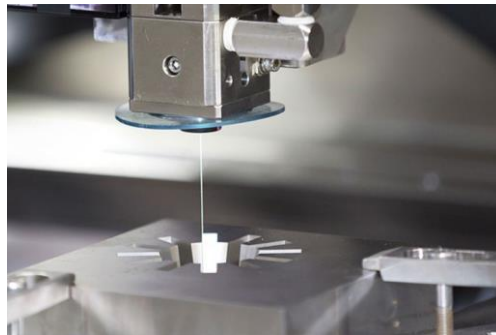
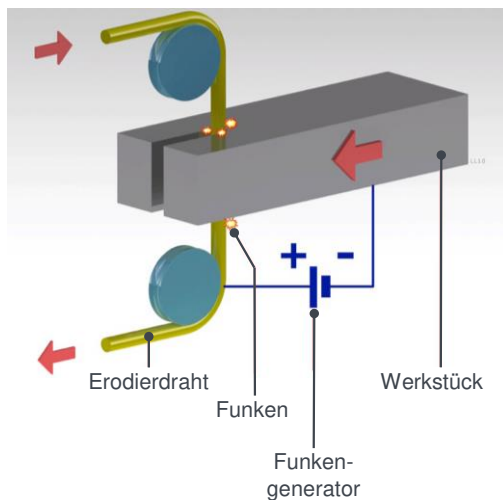
Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

Schleifen

Schleifen ist nach DIN 8559 „ein spanendes Fertigungsverfahren mit vielschneidigen Werkzeugen“, deren geometrisch unbestimmte Schneiden von einer Vielzahl gebundener Schleifkörner gebildet werden. Einsatzgebiete sind das Werkzeugschleifen, also das Schärfen von spanenden Werkzeugen oder Klingen (Messer/Scheren), die Feinbearbeitung von Werkstücken, das heißt das Herausarbeiten der gewünschten Form und Oberfläche (z.B. bei Gewinden, Lagerringen, Kugellageraufläufen, Getriebewellen) oder auch die Grobbearbeitung durch Putzen, Säubern und Trennschleifen. Das Werkzeug besitzt dabei eine Vielzahl gebundener Schleifkörner, welche mit hoher Geschwindigkeit (bis zu 200 m/s) den Werkstoff abtrennen. Die Schneiden dringen im Verhältnis zur Schneidkorngröße nur geringfügig in die Werkstoffoberfläche ein. Vorteile sind unter anderem die hohe Werkstückqualität durch die präzise Genauigkeit in Rauheit, Maß und Form, sowie der Beschaffenheit der Oberflächenrandzone. Darüber hinaus ist ebenfalls die Bearbeitung härterer Materialien, wie Hartmetall oder Keramik, mit hoher Genauigkeit möglich. Nachteilig ist der deutlich höhere Energiebedarf im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren mit bestimmten Schneiden, sowie der hohe Verschleiß der Schleifscheiben und die oftmals notwendige Kühlung. Je nach Anforderungen können unterschiedliche Schleifkörper zum Einsatz kommen. Der Werkstoff des Schleifwerkzeugs besteht aus Schleif- und Bindemittel und wird zusätzlich durch Körnung und Gefüge bestimmt. Das Schleifmittel, auch Schleifkorn genannt, muss eine ausreichende Härte und Schneidfähigkeit besitzen, um Späne aus dem Werkstück herauslösen zu können. Des Weiteren muss es thermisch und chemisch widerstandsfähig sein. Am häufigsten Verwendung finden Schleifkörper aus Normalkorund, Edelkorund, Siliciumcarbid, Bornitrid und Diamant. Als Körnung wird die Größe der einzelnen Schleifkörner bezeichnet. Die angegebene Größe entspricht der Maschenzahl des zur Gewinnung verwendeten Siebes auf der Länge von 1 Zoll. Die Bindung durch das Bindemittel zwischen den Schleifkörnern soll die einzelnen Schleifkörner so lange festzuhalten, bis sie stumpf geworden sind. Die Poren bilden Spangkammern und fördern die Kühlung beim Schleifen. Das Gefüge wird mit den Kennziffern 0 – 14 bezeichnet. Je höher die Kennziffer, desto offener ist das Gefüge, d. h. desto poröser ist der Schleifkörper.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.4 Erodieren



Quelle:
wikipedia.de, datacad.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 86

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Erodieren

Das Elektrodenwerkzeug wird auf einen Abstand von ca. 0,5 mm an das Werkstück herangefahren. Eine Folge von elektrischen Spannungspulsen erzeugt Funken. Pro Sekunde schlagen so mindestens 100.000 Funken über und schmelzen das Werkstück an der gewünschten Stelle auf. Anhand der Intensität, Frequenz, Dauer, Länge und Polung der Entladungen werden verschiedene Abtragergebnisse und Oberflächen erreicht.

Drahterodieren

Das Drahterodieren zählt zu den elektrothermischen Trennverfahren und ist für elektrisch leitende Materialien geeignet. Das Verfahren beruht auf elektrischen Entladevorgängen (Funken) zwischen einer Elektrode (Werkzeug) und einem leitenden Werkstück. Die Bearbeitung findet in einer nichtleitenden Flüssigkeit (Dielektrikum) statt (meist deionisiertes Wasser oder Öl). Das Drahterodieren wird besonders bei schwer zerspanbaren Werkstoffen angewendet.

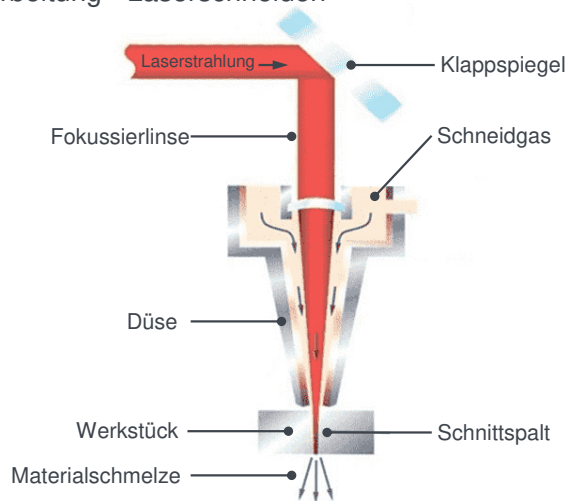
So können auch komplexe Geometrien mit kleinsten Eckenradien und einer sehr guten Oberflächenqualität (mittlere Rauheit R_a ab $0,1 \mu\text{m}$; Rautiefe R_z zwischen $2\text{-}4 \mu\text{m}$) erreicht werden. Zudem können alle leitenden Materialien, unabhängig ihrer Härte und Festigkeit verarbeitet werden. Auch bei großer Materialdicke sind geringe Schnittbreiten möglich. Dennoch sind die langen Bearbeitungszeiten und hohen Kosten (durch die lange Bearbeitungszeit und hohe Anlagenkosten) zu berücksichtigen. Die Randschichten werden durch die hohen Temperaturen oftmals thermisch beeinflusst.



<https://www.youtube.com/watch?v=cK4tOWE9C5A>

5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Laserschneiden



Quelle:
blechbearbeitung-online.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 87

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

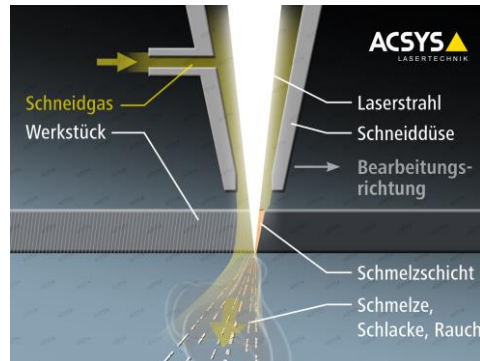
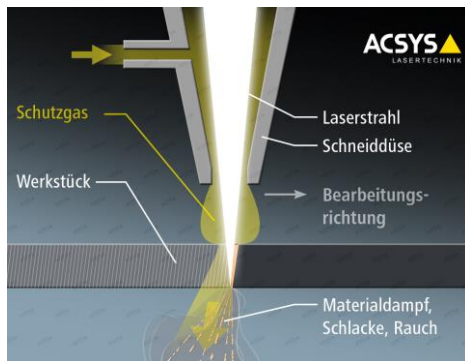
Laserschneiden

Das Laserschneiden gehört zu der Gruppe der Trennverfahren (Abtragen). Es ermöglicht eine berührungslose Bearbeitung fast aller Werkstoffgruppen und ist für die Bearbeitung von Platten, Rohren und anderen dreidimensionalen Geometrien geeignet. Typische Anwendungsbeispiele sind dabei die Fertigung technischer Laserzuschnitte, Abdeckungen, Ronden oder die Bearbeitung von Rohren. Dabei dient der gebündelte Laserstrahl als Schneidwerkzeug. Dieser wird mittels Gas (Gaslaser) oder Kristall (Festkörperlaser) erzeugt. Die Modulierung des Strahls erfolgt durch Linsen und Spiegel und resultiert in einer punktgenauen Fokussierung auf eine sehr kleine Fläche (ab $\varnothing 5 \mu\text{m}$) des Werkstücks. Die hat eine hohe Energiedichte (z.B. 125000 W/mm^2 bei 1000 W und einem Brennfleck mit $\varnothing 100 \mu\text{m}$) zur Folge. Vorteile gegenüber herkömmlichen Schneidverfahren sind zum einen die hohen Schnittgeschwindigkeiten, zum anderen ist meist keine Nachbearbeitung nötig. Darüber hinaus ist eine flexible und kurzfristige Anpassung der Bauteile möglich. Es wird ein höchstes Qualitätsniveau und eine präzise Genauigkeit erreicht, wodurch mikrometergenaues Schneiden in Metall, Kunststoff, Papier, Glas oder Gestein gelingt. Die Datenübernahme erfolgt dabei direkt über CAD.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Laserschneiden

- Laserschmelzschneiden
- Laserbrennschneiden



Quelle:
acsys.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 88

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Laserschmelzschneiden

Beim Schmelzschneiden kommt Stickstoff oder Argon als Schneidgas zum Einsatz. Dieses wird mit einem Druck zwischen 2 und 20 bar durch die Schnittfuge getrieben und reagiert im Gegensatz zum Brennschneiden nicht mit der Metalloberfläche im Schnittspalt. Vorteilig ist, dass Schnittkanten grat- und oxidfrei bleiben und kaum Nacharbeit entsteht.

Laserbrennschneiden

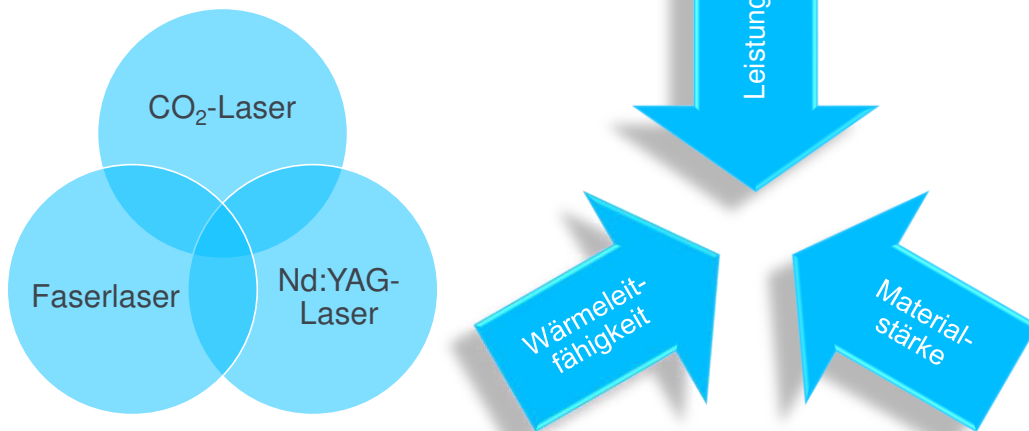
Zum Brennschneiden wird Sauerstoff als Schneidgas eingesetzt, der mit einem Druck von bis zu 6 bar in den Schnittspalt geblasen wird. Er verbrennt und oxidiert dort die Metallschmelze. Die durch diese chemische Reaktion freigesetzte Energie unterstützt den Laserstrahl. Brennschneiden ermöglicht sehr hohe Schneidgeschwindigkeiten und das Bearbeiten dicker Bleche und Baustahl.

Lasersublimationsschneiden

Sublimierschneiden kommt vor allem für feine Schneidaufgaben zum Einsatz, die sehr hochwertige Schnittkanten erfordern. Bei diesem Verfahren verdampft der Laser das Material möglichst schmelzarm. Der Materialdampf erzeugt in der Schnittfuge einen hohen Druck, der die Schmelze nach oben und unten ausschleudert. Das Prozessgas - Stickstoff, Argon oder Helium - schirmt die Schnittflächen von der Umgebung ab und sorgt dafür, dass die Schnittkanten oxidfrei bleiben.

5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Laserschneiden



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 89

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Laserarten

Der CO₂-Laser ist ein Gaslaser mit einer Wellenlänge von 10,6 µm. Mit ihm können Werkstoffe wie Holz, Acryl, Glas, Kunststoffe, Leder, Papier und Textilien bearbeitet werden. Der Nd:YAG-Laser (Festkörperlaser) besitzt eine Wellenlänge von 1,064 µm und ist für Werkstoffe wie Metalle, beschichtete Metalle, Kunststoffe und teilweise Keramik geeignet. Der Faserlaser (Festkörperlaser) weist ebenfalls eine Wellenlänge von 1,064 µm auf und kann bei denselben Werkstoffen wie der Nd:YAG-Laser angewendet werden. Die Schnittgeschwindigkeit und Laserleistung müssen beim Laserschneiden an den Werkstoff und an die Materialstärke angepasst sein. Ansonsten kann es zur Gratbildung oder Einbränden an der Schnittkante kommen. Bei Acryl und einem CO₂-Laser gilt: 10 Watt Laserleistung pro 1 mm Plattenstärke für eine hohe Schnittqualität (bis zu einer Dicke von 20-25 mm).



<https://www.youtube.com/watch?v=6MuVO7ZI5zA>

5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.1 Strahlbearbeitung - Lasergravur



Quelle:
Epiloglaser

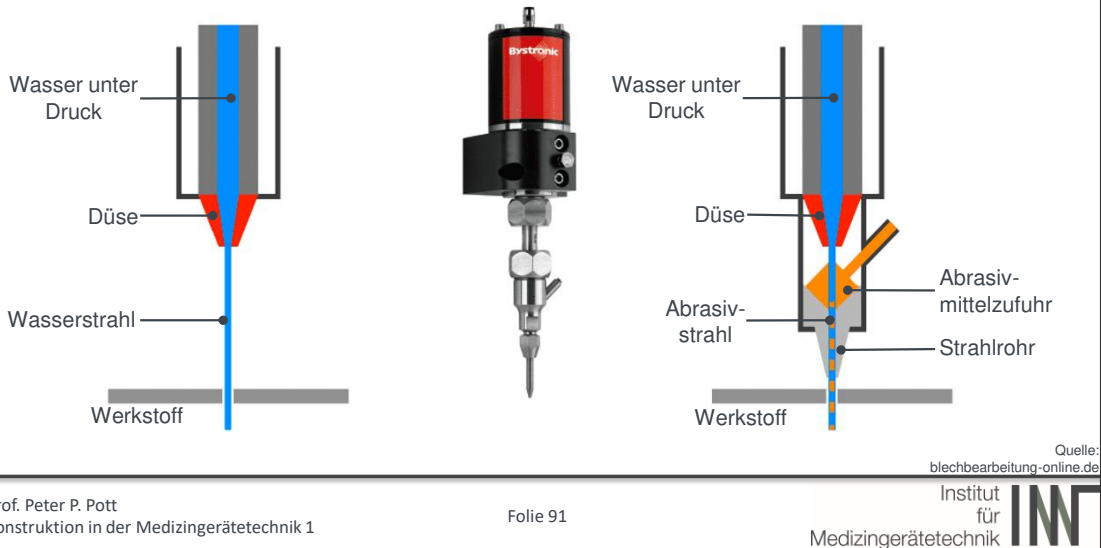
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 90

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

5.4 Umformen und Trennen

5.4.3.2 Strahlbearbeitung - Wasserstrahlschneiden



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 91

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Wasserstrahlschneiden

Rein-Wasserstrahlschneiden

Beim Rein-Wasserstrahlschneiden wird nur gefiltertes Wasser verwendet. Das reine Wasser stellt das Werkzeug dar. Es ist besonders zum Schneiden weicher Materialien (z.B. Kunststoffe, Schaumstoffe, Textilien) geeignet. Wasserstrahlen von $<0,1$ mm sind möglich (sehr präzise).

Abrasiv-Wasserstrahlschneiden

Beim Abrasiv-Wasserstrahlschneiden wird ein Schneidmittel (Abrasiv, z.B. Granatsand) beigemischt. Es ist für härtere Materialien (Aluminium, Stahl, Titan, Keramik) geeignet. Die Wasserstrahlanlage verfügt über einen Schneidkopf, der aus drei Komponenten besteht: Reinwasser-Fokussierdüse, Abrasiv-Mischkammer und Abrasivfokussierdüse. Das Wasser wird unter hohem Druck durch die Reinwasserdüse zu einem Strahl geformt. Der Strahl durchfließt die Mischkammer mit einer Geschwindigkeit von ca. 1000 m/s. Im Schneidkopf entsteht Unterdruck. Dadurch wird Schneidmittel in die Mischkammer gesaugt. Die Vermischung des Wassers und Schneidmittels findet in der Mischkammer statt. Das Wasser-Abrasiv-Gemisch wird dann in der Abrasivdüse fokussiert und tritt zum Schneiden aus. Der Abstand zwischen Werkstück und Schneiddüse ist wesentlich für die Qualität des Schnittes, weshalb meistens eine Abstandssensorik verbaut ist.



<https://www.youtube.com/watch?v=daa5IITcKis>

5. Gestaltung

Kontrollfragen

1. Wie können Drehverfahren eingeteilt werden?
2. Erläutern Sie die Funktionsweise des Laserschneidens.
3. Wodurch unterscheidet sich das Abrasiv-Wasserschneiden vom Rein-Wasserschneiden?



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-Kompendium, 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



Universität Stuttgart

Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

6. Antriebstechnik

WS 2020/21

Prof. Dr.
Peter P. Pott



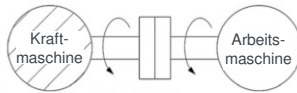
6. Antriebstechnik

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
- 6.8 Literatur

6.1 Grundlagen

Rotation



Drehmoment **M**

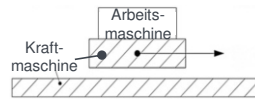
Winkelgeschwindigkeit **ω**

Drehzahl **n**

Trägheitsmoment **J**

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

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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 3

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Antriebstechnik

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

Kraftmaschinen

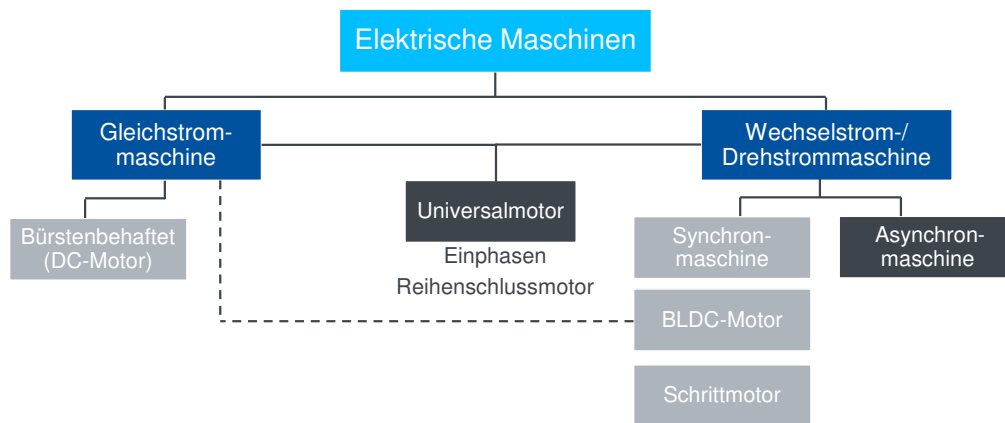
Kraftmaschinen sind Maschinen, die eine Energieform (thermisch, chemisch, elektrisch) in mechanische Energie bzw. Arbeit umwandeln. Sie werden vor allem zum Antrieb von Arbeitsmaschinen verwendet. Beispiele sind Elektro-, Verbrennungsmotoren etc.

Arbeitsmaschinen

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 zum Transport eines Stoffes. Beispiele sind Pumpen, Verdichter, elektrische Generatoren etc.

6.1 Grundlagen

Einteilung elektrischer Maschinen

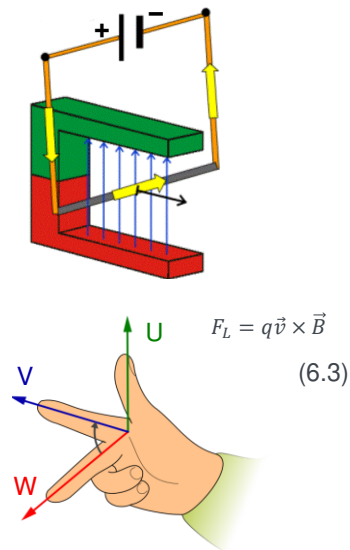
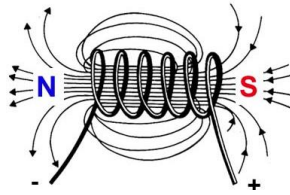
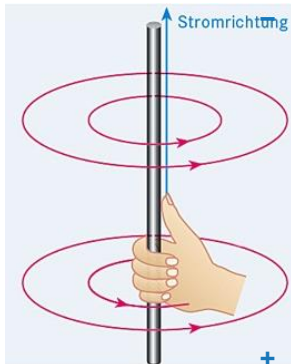


Einteilung elektrischer Maschinen

Bei elektrischen Maschinen wird allgemein zwischen Gleichstrommaschinen und Wechselstrom- bzw. Drehstrommaschinen unterschieden. Außerdem können die sogenannten Universalmotoren abgegrenzt werden. In diesem Kapitel wird auf den bürstenbehafteten Gleichstrommotor, den bürstenlosen Gleichstrommotor, den Schrittmotor und die Asynchronmaschine näher eingegangen.

6.1 Grundlagen

Elektrodynamik und Lorentzkraft



Quellen:
wintipper.de, wikipedia.org, goruma.de, lernattack.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 5

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Elektrodynamik

Ein stromdurchflossener Leiter wird von einem ringförmigen Magnetfeld umgeben. Die Richtung des Magnetfeldes kann mithilfe der **Faust-Regel** bestimmt werden. Dabei zeigt der Daumen der rechten Hand in die Stromrichtung, die gekrümmten Finger zeigen den Umlaufsinn der magnetischen Feldlinien an. Die **rechte Hand** wird verwendet, wenn die technische Stromrichtung (von + nach -) berücksichtigt wird. Wird die **linke Hand** benutzt, wird von der physikalischen Stromrichtung (von - nach +) ausgegangen.

Eine stromdurchflossene Spule erzeugt ein (weitgehend) homogenes Magnetfeld im Inneren der Spule. Der Nordpol ist dort, wo die die Feldlinien austreten. Innerhalb der Spule verlaufen die Feldlinien vom Süd- zum Nordpol, außerhalb der Spule vom Nord- zum Südpol.

Lorentzkraft

Ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld erfährt eine Kraft (Lorentzkraft).

- q : Elektrische Ladung
- $\vec{v}$: Geschwindigkeit der geladenen Teilchen
- $\vec{B}$: Magnetische Flussdichte

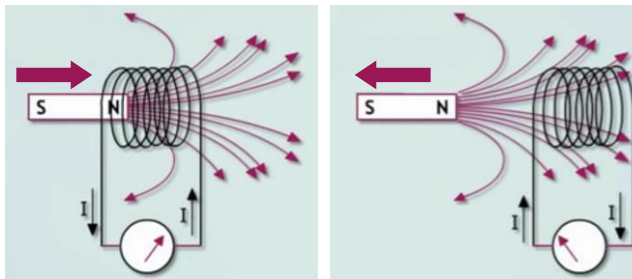
Die Richtung der Kraft kann über die Hand-Regel/ UVW-Regel bestimmt werden. Die **Ursache**, der Stromfluss wird durch den Daumen repräsentiert, die **Vermittlung**, das Magnetfeld von N nach S wird durch den Zeigefinger angezeigt und die **Wirkung**, die resultierende Lorentzkraft wird durch den Mittelfinger dargestellt. Wird die **Rechte-Hand-Regel** angewandt, wird von der technischen Stromrichtung ausgegangen, die Linke-Hand-Regel berücksichtigt die physikalische Stromrichtung.

Anmerkung: die Gleichung für die Lorentzkraft gilt in dieser Form nur, wenn die Bewegung der geladenen Teilchen senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes verläuft.

Allgemein gilt $F_L = q\vec{v} \times \vec{B}$

6.1 Grundlagen

Elektromagnetische Induktion



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

Quelle:
youtube- Iken Edu (Electromagnetic Induction)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 6

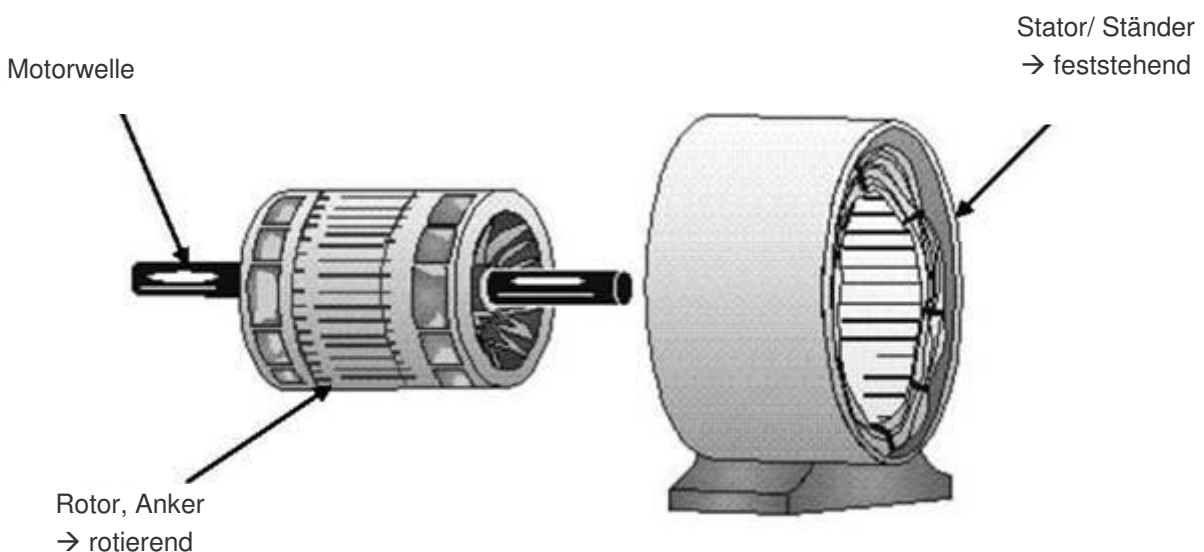
Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Elektromagnetische Induktion

Ändert sich der magnetische Fluss durch eine Spule wird in der Spule eine Spannung induziert. Der magnetische Fluss kann sich dabei durch die Bewegung der Spule im Magnetfeld oder durch ein veränderliches Magnetfeld ändern. Dieses Phänomen wird elektromagnetische Induktion nach Faraday genannt. In Gleichung (6.4) beschreibt U_{ind} die induzierte Spannung, N die Windungszahl der Spule und

$\frac{d\Phi}{dt}$ die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses.

Allgemeiner Aufbau eines Elektromotors

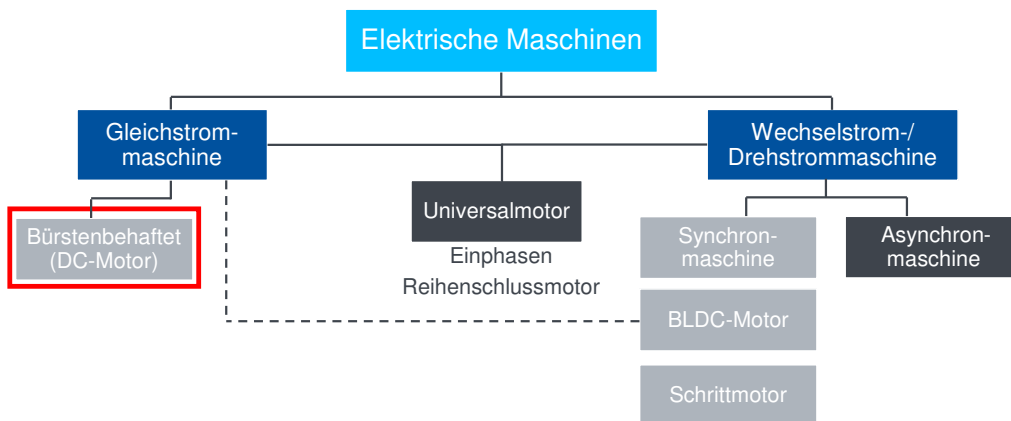


Stator/ Ständer
→ feststehend

Rotor, Anker
→ rotierend

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Einteilung elektrischer Maschinen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

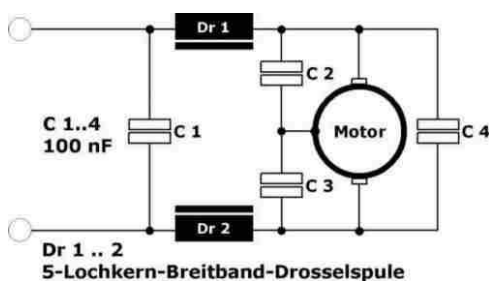
Folie 7

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

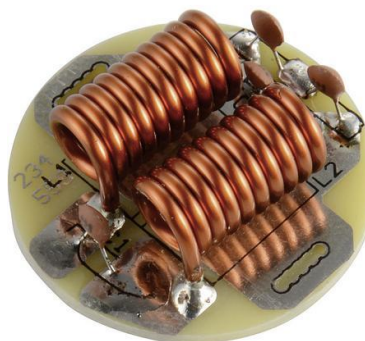
Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Vorteile	Nachteile
Einfache Ansteuerung (weil keine elektronische Kommutierung erforderlich) durch Stromquelle	Gefahr von Bürstenfeuer → Verursacht elektro-magnetische Störungen
Preisgünstig	Lebensdauer begrenzt durch Bürsten
	Relativ viel Reibung
	Entstörung notwendig, um elektromagnetische Verträglichkeit zu erreichen

Ein Beispiel für die Entstörung eines kleinen DC-Motors für untergeordnete Zwecke:



https://www.ccw-ka.eu/site/3model/motor_entstoeung.html

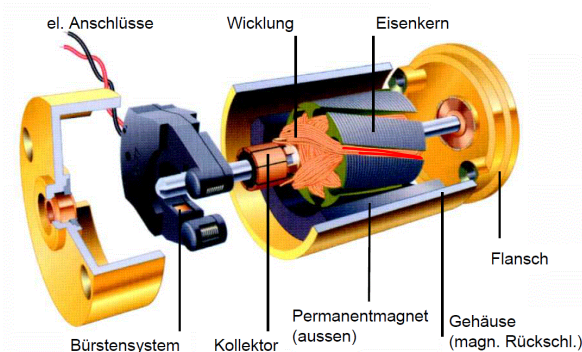


<https://www.voelkner.de>

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Aufbau

konventioneller DC-Motor



Glockenankermotor



Quelle:
maxonmotor.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 8

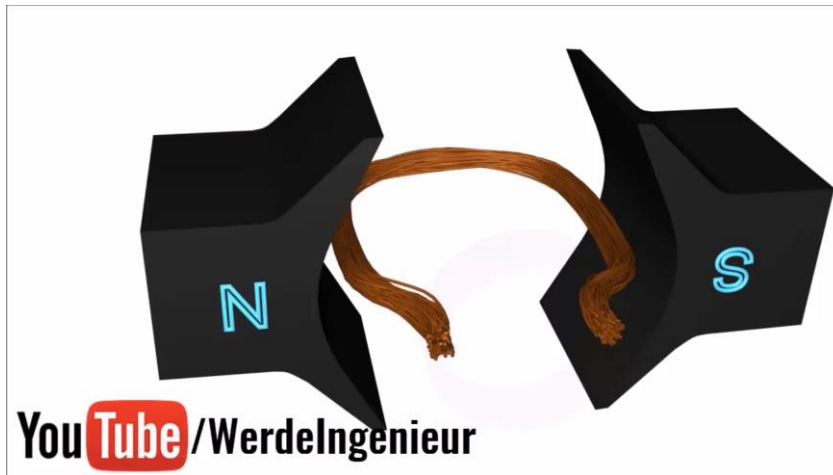
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Bürstenbehafteter Gleichstrommotor – Aufbau

Die wesentlichen Komponenten eines DC-Motors stellen der Rotor und der Stator dar. Der Stator besteht hier aus einem Permanentmagneten (Abbildung links), häufig werden aber auch Elektromagneten verwendet. Im Inneren des Stators befindet sich der Rotor, welcher meist aus einem Elektromagneten besteht. Die Wicklungen des Rotors werden über einen Kommutator mit bürstenartigen Schleifkontakten an die Stromquelle angeschlossen. Der Glockenankermotor besitzt gegenüber einem konventionellen DC-Motor den Vorteil einer geringeren rotierenden Masse durch eine selbsttragende bzw. eisenlose Spule.

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

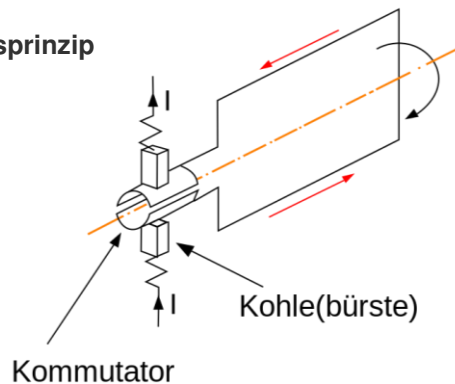
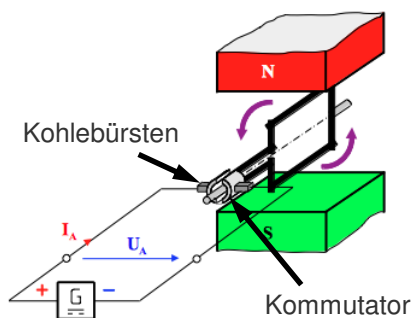


Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 9

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

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 und eine Drehbewegung entsteht. Die Ankerspule ist mithilfe von Kohlebürsten über einen geteilten Schleifring (Kommutator) mit der Gleichstromquelle verbunden. Der Kommutator dreht sich mit der Ankerspule mit. Die einzelnen Abschnitte des Kommutators werden abwechselnd von den Bürsten kontaktiert. Somit wird der Strom durch die Spule jeweils nach 180° umgepolt. Damit die Drehbewegung gleichmäßig ist, werden meist mehrere Leiterschleifen verwendet.



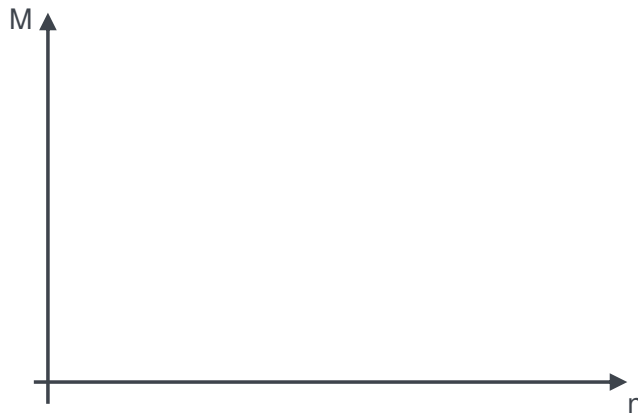
<https://www.youtube.com/watch?v=U6bHUksqnMg>

Quelle:
wikipedia.org, elektronik-kurs.net

6.2 Bürstenbehäfteter Gleichstrommotor

Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie

fremderregte Gleichstrommaschine



M_A	Anzugsmoment
M_N	Nennmoment
n_0	Leerlaufdrehzahl
n_N	Nenndrehzahl



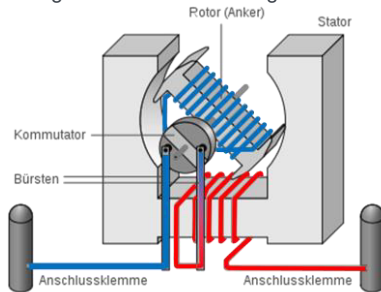
Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie – fremderregte Gleichstrommaschine

Auf der Folie ist die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie einer fremderregten Gleichstrommaschine dargestellt. Dabei ist U_1 die momentane Spannung und U_2 die Nennspannung. Ist die momentane Spannung größer als die Nennspannung befindet sich der Motor im Generatorbetrieb. Da wir hier jedoch den Motorbetrieb betrachten, muss die Nennspannung immer größer sein als die momentan anliegende Spannung.

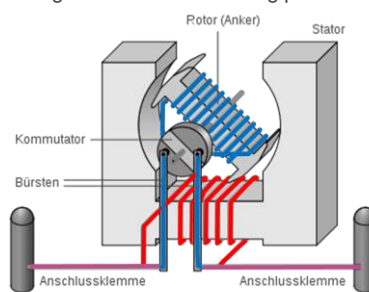
6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Elektrisch erregter Gleichstrommotor

Reihenschluss:
Erreger- und Ankerwicklung in Reihe



Nebenschluss:
Erreger- und Ankerwicklung parallel



Quelle:
wikipedia.org

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 11

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Elektrisch erregter Gleichstrommotor

Das Magnetfeld des Stators kann durch einen Permanent- oder Elektromagneten erzeugt werden. Ist ein Elektromagnet verbaut, spricht man von einem elektrisch erregten Gleichstrommotor. Damit der Elektromagnet funktionsfähig ist, wird ein Stromfluss durch die Erregerwicklung benötigt. Ist die Erregerwicklung vom Ankerstrom unabhängig spricht man von einer Fremderregung. Sind Erregerwicklung und Ankerstrom verbunden, unterscheidet man zwei Fälle, die in den beiden Abbildungen auf obiger Folie dargestellt sind.

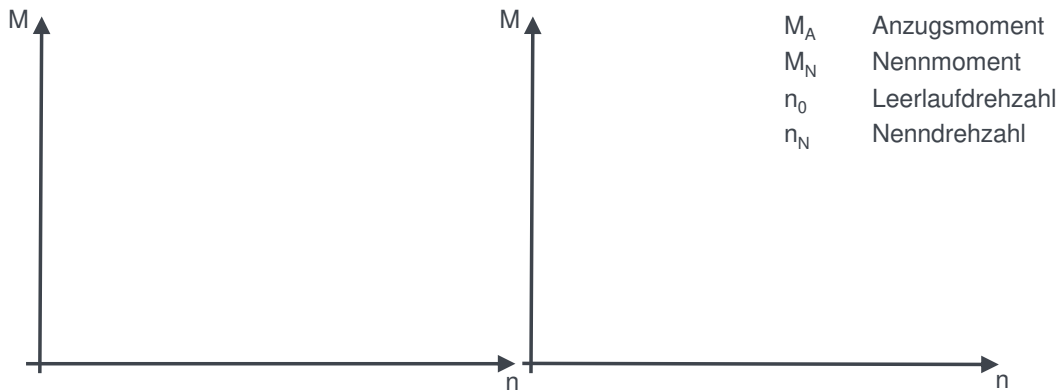
6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie



Reihenschlussmotor

Nebenschlussmotor



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 12

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie – Reihenschluss-/Nebenschlussmotor

Auf der Folie ist die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie eines Reihenschlussmotors (links) und eines Nebenschlussmotors (rechts) dargestellt.

Beim **Reihenschlussmotor** entspricht der Anker- dem Erregerstrom. Der magnetische Fluss wird also auch vom Ankerstrom definiert und ist somit abhängig von der Motorbelastung. Bei Zunahme der Belastung steigt der Ankerstrom und dadurch der magnetische Fluss. Die Drehzahl nimmt mit steigender Belastung deutlich ab. Bei Entlastung sinken der Anker- und damit Erregerstrom, der magnetische Fluss sinkt. Folglich wird das Erregerfeld schwächer und damit die Gegeninduktion → die Drehzahl steigt. Es ergibt sich eine abnehmende Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie. Bei völliger Entlastung würde die Drehzahl sehr stark ansteigen (und nur durch Reibung und Gegeninduktion begrenzt), weshalb ein (großer) Reihenschlussmotor nicht ohne Last betrieben werden sollte. Reihenschlussmotoren werden eingesetzt, wenn ein einfacher Motor an Wechselstrom eingesetzt werden soll (Handwerkzeuge, Küchengeräte, Staubsauger...).

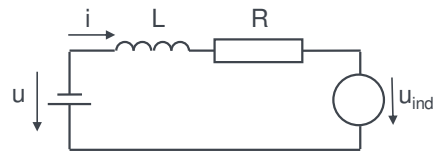
Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie des **Nebenschlussmotors** ähnelt stark der Kennlinie eines fremderregten Gleichstrommotors, da der magnetische Fluss (nahezu) unabhängig vom Ankerstrom ist. Die Kennlinie hat im Falle des Nebenschlussmotors eine höhere Steigung, d.h. der Motor reagiert mit weniger Drehzahlreduktion auf eine Erhöhung der Drehmomentanforderung. Der Nebenschlussmotor erlaubt eine Reduktion des Erregerstroms, was eine geringere Gegeninduktion zur Folge hat. Damit kann der Nebenschlussmotor über einen breiteren Drehzahlbereich genutzt werden, was besonders bei großen Fahrantrieben vorteilhaft ist. Nebenschlussmotoren werden somit dort eingesetzt, wo ein hohes Anfahrmoment benötigt wird, das Nennmoment aber eher gering ist (z.B. Straßenbahn).

6.2 Bürstenbehaffeter Gleichstrommotor

Modellierung von DC-Motoren

Drehzahlkonstante k_N
Drehmomentkonstante k_M

- Im Leerlauf gilt $u_{\text{ind}} \cong u \rightarrow n_0 = k_N \cdot u$ (6.5)
- Es gilt: $k_N \cdot k_M = 1$



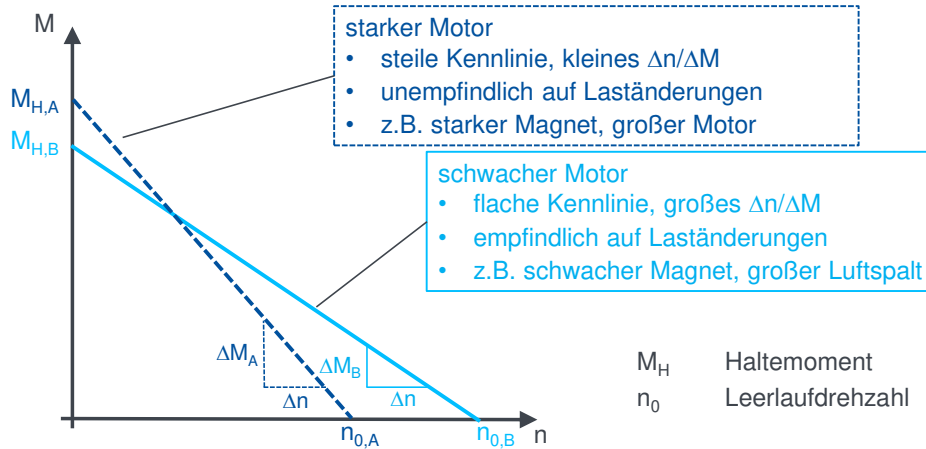
$$\frac{n}{k_N} = U - R \frac{M}{k_M} \rightarrow n = k_N U - \frac{k_N}{k_M} M = k_N U - \underbrace{\left(\frac{\Delta n}{\Delta M} \right)}_{\text{Motorkonstante}} M \quad (6.6)$$

Bürstenbehaffeter Gleichstrommotor – Modellierung

Der bürstenbehaffete Gleichstrommotor besitzt einen bewegten Leiter im Magnetfeld, wodurch eine Gegeninduktionsspannung auftritt. Mit der Drehzahlkonstanten k_N gilt für die Drehzahl im Leerlauf das in Gleichung (6.5) definierte Verhältnis. Das Drehmoment des Motors ist vom Strom und vom Magnetfeld abhängig. Das Produkt aus der Drehzahlkonstanten k_N und der Drehmomentkonstanten k_M ist immer 1.

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Modellierung von DC-Motoren



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 14

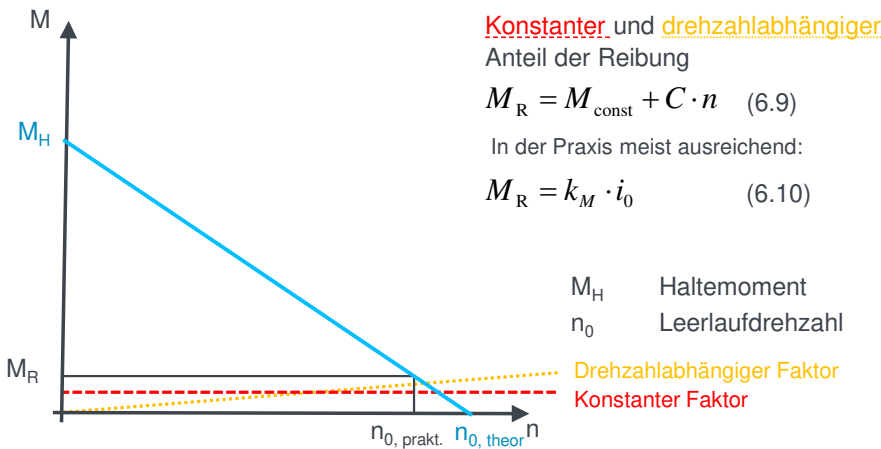
Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Bürstenbehafteter Gleichstrommotor – Modellierung

Im Diagramm ist die Beziehung zwischen der Drehzahl und dem Drehmoment dargestellt. Nimmt das Drehmoment den Wert 0 an, ist die Drehzahl maximal (Leerlaufdrehzahl). Wird das Lastmoment erhöht, kann eine lineare Abnahme der Drehzahl beobachtet werden. Ist die Drehzahl null, d.h. der Motor steht, ist das sogenannte Anhaltmoment erreicht. Die Steigung der Kennlinie gibt an, um wieviel die Drehzahl abnimmt bei steigender Belastung. Sie kann daher als Maß für die Motorstärke herangezogen werden. Dabei ist ein starker Motor durch eine steile Kennlinie, ein schwacher Motor durch eine flache Kennlinie gekennzeichnet.

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Modellierung von DC-Motoren



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 15

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Bürstenbehafteter Gleichstrommotor – Modellierung

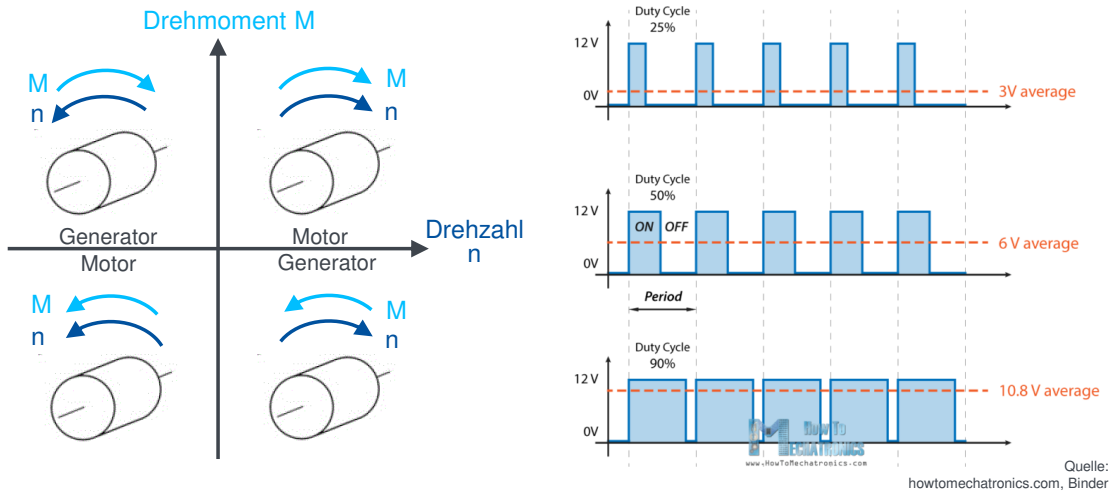
Reibung spielt bei DC-Motoren eine kleine, aber nicht zu vernachlässigbare Rolle. Theoretisch wäre der Strom im Leerlauf (bei $n_{0, \text{theor}}$) Null, die Reibung sorgt hier jedoch für eine Reduktion auf die praktische Leerlaufdrehzahl ($n_{0, \text{prakt.}}$).

Die Reibung setzt sich aus einem Drehzahlunabhängigen (konstanten) Faktor M_{const} (gestrichelte rote Linie), sowie einem Drehzahlabhängigen Faktor C (gepunktete orange Linie) zusammen, der mit steigender Drehzahl wächst. In der Praxis lässt sich das Reibmoment mithilfe der Drehmomentkonstante k_M und dem Leerlaufstrom i_0 abschätzen.

Das Schaubild zeigt in blau die Kennlinie des Motors mit den charakteristischen Punkte *Anhaltemoment* M_H und *Leerlaufdrehzahl* n_0 .

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Ansteuerung



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 16

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Bürstenbehafteter Gleichstrommotor – Ansteuerung

Ein bürstenbehafteter Gleichstrommotor kann auf verschiedene Arten angesteuert werden:

- 1-Quadrantenbetrieb: Betreiben des Motors in eine Richtung: Drehzahl und Drehmoment in die selbe Richtung: Q1 oder Q3
- 2-Quadrantenbetrieb: Betreiben des Motors (Drehzahl und Drehmoment gleichsinnig) aber in zwei Richtungen. Dazu ist eine Umkehr der Klemmenspannung („umpolen“) nötig: Q1 und Q3
- 4-Quadrantenbetrieb: Betreiben und Bremsen des Motors in beide Richtungen. Der Motor kann Antreiben (Drehzahl und Drehmoment gleichsinnig) oder Bremsen (Drehmoment und Drehzahl gegensinnig) und dies in beiden Richtungen: Q1, Q2, Q3 und Q4

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 ein- und ausgeschaltet. Durch das Verhältnis zwischen Einschaltzeit und Ausschaltzeit wird die mittlere Spannung variiert.

Die hier aufgeführten Überlegungen gelten übrigens auch für bürstenlosen Gleichstrommotoren (BLDC), nur dass hier anstelle einer Umpolung der Klemmenspannung die Phase gedreht (uvw → uvw) wird.

6.2 Bürstenbehafteter Gleichstrommotor

Anwendungsfelder



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 17

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Bürstenbehafteter Gleichstrommotor – Anwendungsfelder

Bürstenbehaftete DC-Motoren sind z.B. in Spielzeugen, Kleinpumpen, Akkuschaubern, Stellantrieben etc. verbaut. Ein Beispiel für den Einsatz eines bürstenbehafteten DC-Motor aus der Medizintechnik ist die myoelektrische Handprothese (Abbildung links). Jeder Finger kann hierbei über einen eigenen DC-Motor bewegt werden, wodurch vierzehn verschiedene Griffmuster ausgeführt werden können. Die Anforderungen an eine solche myoelektrische Handprothese sind eine leichte und kompakte Bauweise, eine zuverlässige und präzise Leistung und ein hohes Haltemoment. Ein weiteres Beispiel ist das Endodontie System, welches bei einer Wurzelbehandlung eingesetzt wird (Abbildung rechts mittig). Die Antriebseinheit besteht aus einem DC-Kleinstmotor und einem Stirnradgetriebe. Dabei wird genauer ein Glockenankermotor mit geringen Abmessungen verwendet. Die lineare Charakteristik ermöglicht eine einfache Regelung. Anforderungen an ein solches System sind beispielsweise Eigenschaften wie kompakt, leicht, vibrationsarm und leise.

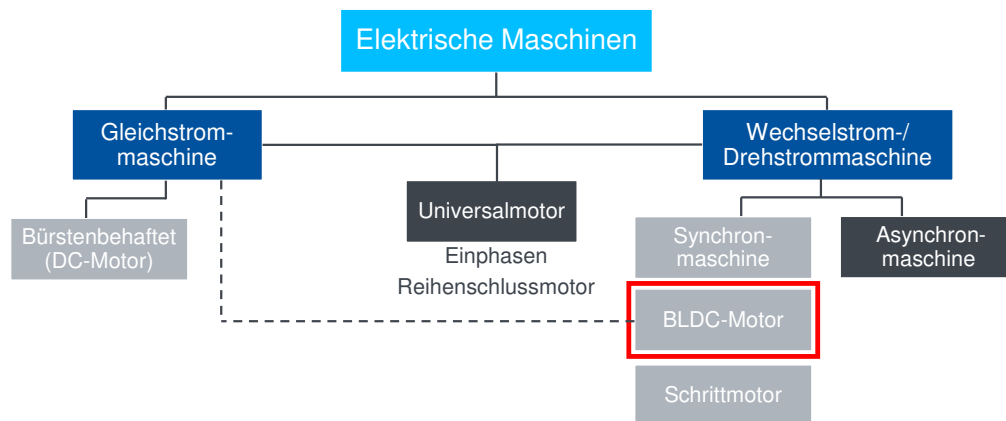
6. Antriebstechnik

Kontrollfragen

1. Was wird unter elektromagnetischer Induktion verstanden?
2. Beschreiben Sie den Aufbau und das Funktionsprinzip eines bürstenbehafteten Gleichstrommotors.
3. Zeichnen Sie die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie eines Reihenschlussmotors. Was ist der Unterschied zwischen Reihen- und Nebenschluss?
4. Was bedeutet eine Ansteuerung im 2-Quadrantenbetrieb?

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Einteilung elektrischer Maschinen



Bürstenloser Gleichstrommotor

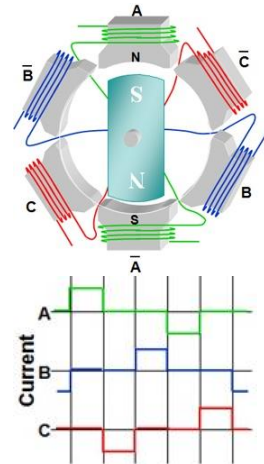
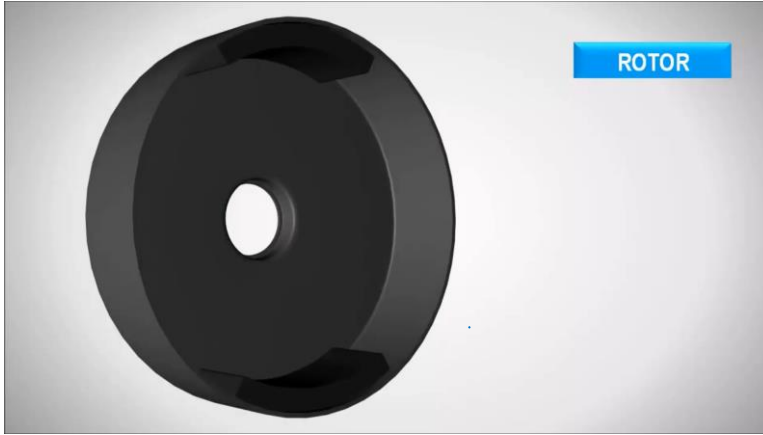
Vorteile	Nachteile
Keine Bürsten → weniger Reibmoment → besser regelbar	Relativ teurer, da eine elektronische Kommutierung benötigt wird
Keine Bürsten → kein Bürstenfeuer → bessere EMV	

Der BLDC-Motor entspricht im weitesten Sinne dem permanent erregten synchronen Drehstrommotor. Diese werden heute jedoch nur noch in Ausnahmefällen und für sehr große Antriebe im MW-Bereich eingesetzt.

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Funktionsprinzip

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



Quelle:
youtube, Electricaltechnology.org

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 20

Bürstenloser Gleichstrommotor – Funktionsprinzip

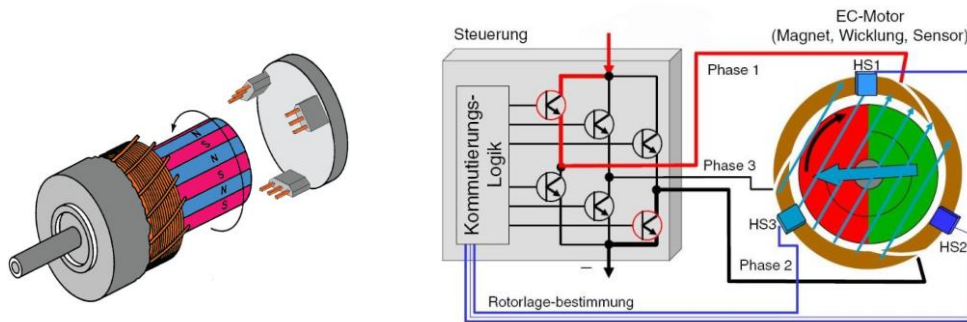
Bürstenlose Gleichstrommotoren (BLDC-Motoren) bestehen aus einem magnetischen Rotor und mehreren Statorspulen (Abbildung rechts oben). Die Spulen werden so angesteuert, dass ein rotierendes Magnetfeld entsteht. Der Rotor folgt diesem Magnetfeld und beginnt zu rotieren. Anders als der DC-Motor muss der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



<https://www.youtube.com/watch?v=bCEiOnuODac>

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Ansteuerung



Quellen:
maxonmotor.de, motioncontroltips.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 21

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Bürstenloser Gleichstrommotor – Ansteuerung

Um die richtige Spule zum richtigen Zeitpunkt zu bestromen, muss die Lage des Rotors erfasst werden. Dazu werden häufig Hall-Sensoren verwendet. Das Prinzip der Hall-Sensoren, der Hall-Effekt, wird auf der nächsten Folie näher erläutert.

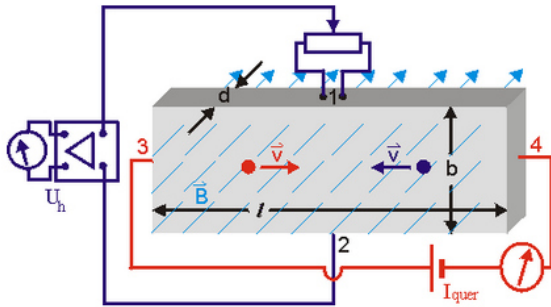
Die Hall-Sensoren sind 120° versetzt am Umfang angeordnet und erzeugen ein Rechtecksignal, aus dem sich die Rotorlage erfassen lässt. Die Rotorlage lässt sich auch über einen zusätzlichen Encoder erfassen. Dies ist genauer, jedoch weitaus aufwändiger, lässt aber eine sog. „Sinuskommutierung“ zu, die einen besonders sanften Rundlauf ermöglicht, weniger hörbare Geräusche verursacht und weniger störende HF-Emission erzeugt.

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Exkurs: Hall-Sensor

Annahmen:

- Nur eine Sorte beweglicher Ladungsträger.
- Alle Ladungsträger besitzen dieselbe Geschwindigkeit.



$$U_H = b \cdot v \cdot B$$

$$F_{el} = q \cdot \frac{U_H}{b}$$

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$

 Quelle:
leifphysik.de

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 22

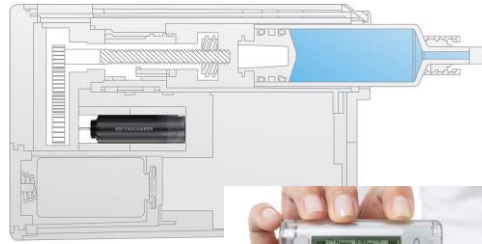
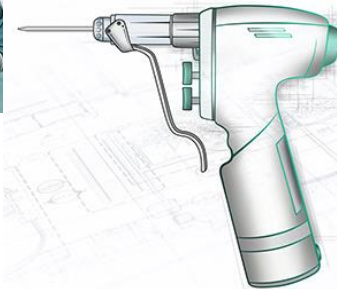
 Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Bürstenloser Gleichstrommotor – Hall-Sensor

Die Funktionsweise der Hall-Sensoren beruht auf dem Hall-Effekt. Der Hall-Effekt beschreibt die Verschiebung der Elektronen in einer stromführenden Metallplatte, wenn diese in ein Magnetfeld eingebracht wird. Dabei werden zwei Annahmen getroffen. Zum einen, dass es nur eine Sorte an beweglichen Ladungsträgern, beispielsweise Elektronen, gibt, die zum Stromfluss beitragen und zum anderen, dass alle eben dieser Ladungsträger das Band mit derselben Geschwindigkeit durchlaufen. Das Magnetfeld bewirkt eine Lorentzkraft auf die Ladungsträger, welche infolgedessen in Richtung des Anschlusses 1 (siehe Abbildung) verschoben werden. Durch die Ladungsverschiebung baut sich ein elektrisches Feld auf, das eine elektrische Kraft hervorruft. Die elektrische Kraft ist der Lorentzkraft entgegengesetzt gerichtet und betraglich gleich groß. Die durch die Elektronenverschiebung induzierte Spannung wird Hall-Spannung genannt. Sie kann gemessen werden und steigt linear mit dem Magnetfeld an.

6.3 Bürstenloser Gleichstrommotor

Anwendungsfelder Medizintechnik



Quelle:
maxonmotor.de, fotolia.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 23

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Bürstenloser Gleichstrommotor – Anwendungsfelder in der Medizintechnik

Bürstenlose Gleichstrommotoren sind unter anderem in Knochenbohrern (Abbildung links) verbaut. Anforderungen für diese Anwendung sind hohe Drehzahlen, eine geringe Wärmeentwicklung, vibrationsarm, sterilisierbar und korrosionsbeständig. Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von bürstenlosen Gleichstrommotoren ist die Insulinpumpe (Abbildung rechts oben). Dabei sollte eine leichte und kompakte Bauweise und eine zuverlässige und präzise Leistung bei regelmäßigem Start-Stopp-Betrieb gewährleistet sein. Rechts unten ist ein vierpoliger BLDC-Motor mit Hall-Sensoren, der als elektrischer Antrieb in einem Rollstuhl dient, abgebildet. Der Motor sollte in diesem Fall leise, effizient (für eine hohe Reichweite) und möglichst leicht sein.

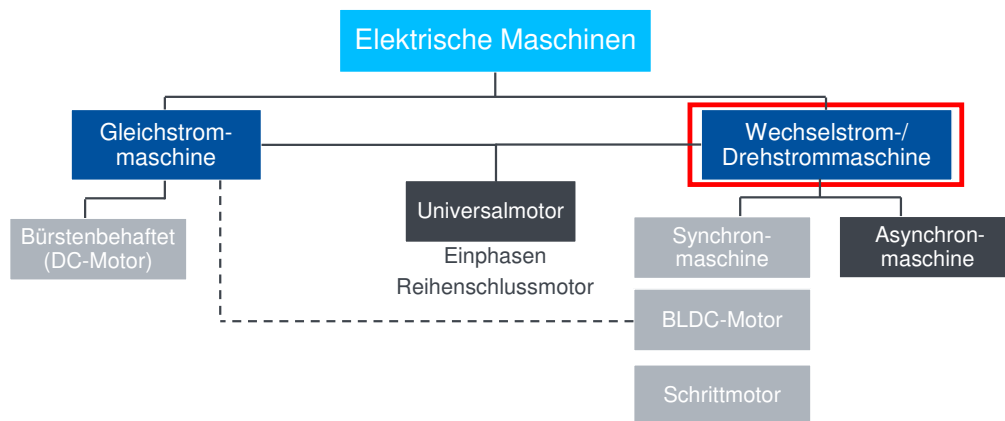
Vergleich eines DC- und BLDC-Motors ähnlicher Leistung

	Bürstenbehafteter DC-Motor	Bürstenloser DC-Motor
	3272G024CR (Faulhaber)	2264W024BP4 (Faulhaber)
Nenndrehzahl	5150 min ⁻¹ (< 10000 min ⁻¹)	20490 min ⁻¹ (< 120000 min ⁻¹)
Nennmoment	119 mNm	59 mNm
Max. Wirkungsgrad	87%	91%
Durchmesser	32 mm	22 mm
Leistung	160 W	150 W



6.4 Drehstrom

Einteilung elektrischer Maschinen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

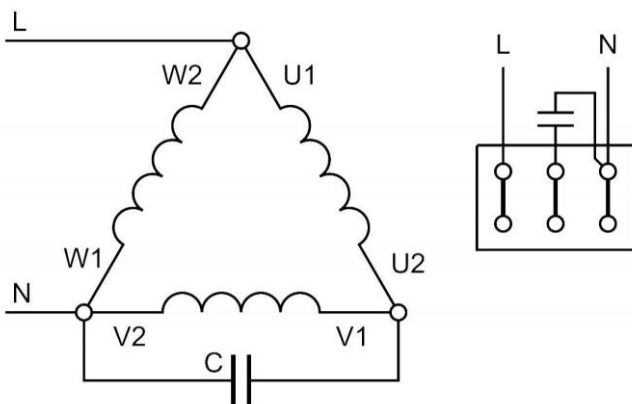
Folie 24

Institut für Medizingerätetechnik **IMT**

Drehstrom

Die relevantesten Vertreter der Drehstrommaschinen sind die Drehstrom-Asynchronmaschine und die Drehstrom-Synchronmaschine. Beide Maschinen können entweder als Motor oder als Generator eingesetzt werden. Dabei wird die Synchronmaschine hauptsächlich als Generator, die Asynchronmaschine fast ausschließlich als Motor betrieben. Bei der Asynchronmaschine liegen die Leistungsbereiche zwischen 500 W und 2 MW.

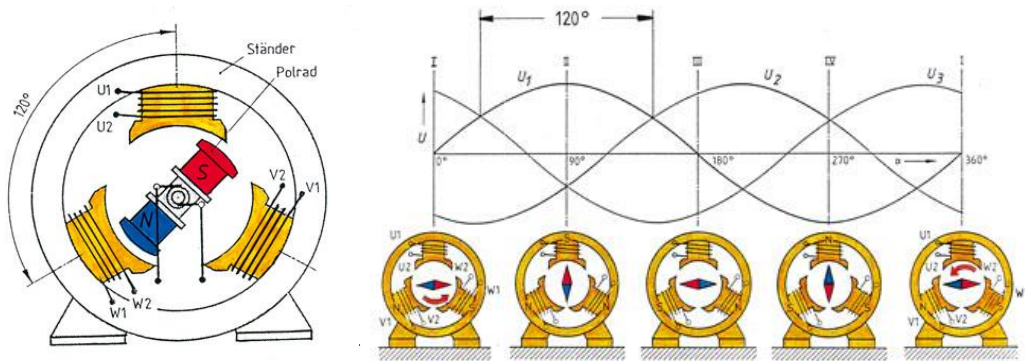
Drehstrommotoren benötigen Drehstrom aus dem Netz. Dieser besteht aus drei separaten Phasen, deren Spannung um 120° versetzt sinusförmig zwischen plus und minus dem Scheitelwert $\hat{u} = \sqrt{2} \cdot u_{eff} = \sqrt{2} \cdot 240 \text{ V} = 340 \text{ V}$ verläuft. Für die drei Phasen ergibt sich eine gemeinsame Effektivspannung von 400 V. Steht kein Drehstrom zur Verfügung können kleine ($< 2 \text{ kW}$) Asynchronmaschinen auch mit einem Anlaufkondensator betrieben werden.



<https://elektropraxis.at/a/welche-kapazitaet-braucht-mein-kondensator>

6.4 Drehstrom

Entstehung und Eigenschaften



Quelle:
sbz-monteur.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

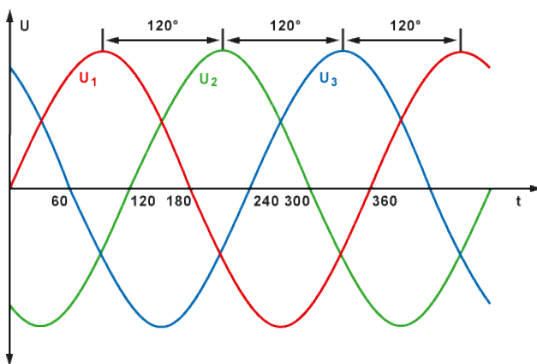
Folie 25

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Drehstrom

Drehstrom entsteht, indem ein rotierender Magnet in drei Spulen Wechselspannungen erzeugt. Die Wechselspannungen sind dabei jeweils um 120° versetzt. Der Drehstrom ist also ein Wechselstrom mit drei Phasen. Er ermöglicht einen schnellen und verlustarmen Energietransport und besitzt keine zeitlich pulsierende Leistung. Drehstrom entsteht automatisch im entsprechenden Generator. Insgesamt besitzt ein Drehstromantriebssystem einen besseren Wirkungsgrad als ein Wechselstromsystem, da auf Anlaufkondensatoren verzichtet werden kann und Universalmotoren einen relativ schlechten Wirkungsgrad besitzen.

Des Weiteren weist der Drehstrom einen besserer Wirkungsgrad auf, als ein Einphasensystem (Wechselstrom).

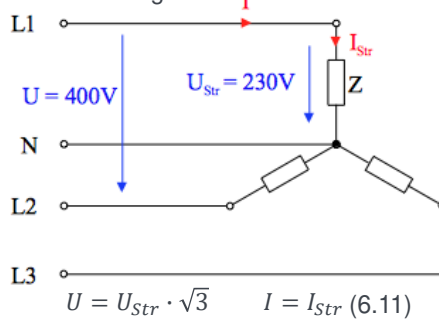


<https://de.wikipedia.org/wiki/Dreiphasenwechselstrom>

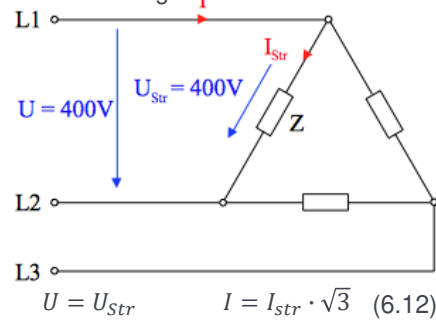
6.4 Drehstrom

Schaltungen

- Sternschaltung



- Dreieckschaltung



Stern-Dreieck-Anlaufschaltung bei Drehstrommotoren

Quelle:
Elektronik-kurs.net

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 26

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Drehstrom – Schaltungen

Bei der Sternschaltung (Abbildung links) sind drei Widerstände an einem gemeinsamen Punkt, dem Sternpunkt, sternförmig zusammengeschlossen. Bei der Dreieckschaltung (Abbildung rechts) sind drei Widerstände ringförmig, in Form eines Dreiecks, zusammengeschlossen. Bei einer Stern-Dreieck-Anlaufschaltung läuft der Motor über eine Sternschaltung an, um hohe Anlaufströme zu vermeiden ($i_{\text{Stern}} = \frac{1}{3} \cdot i_{\Delta}$). Im Nennbetrieb wird dann auf die Dreieckschaltung umgeschaltet, womit $P_{\Delta} = 3 \cdot P_{\text{Stern}}$, also drei Mal mehr Leistung zur Verfügung steht.

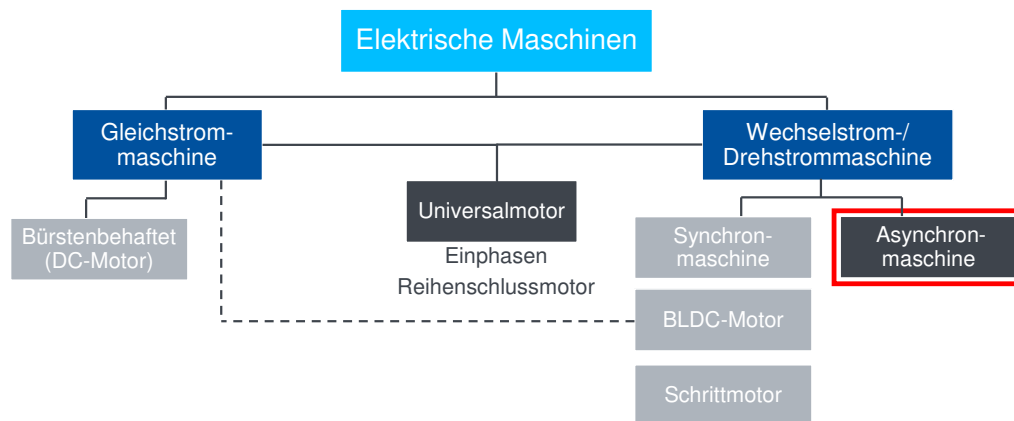
6. Antriebstechnik

Kontrollfragen

1. Beschreiben Sie den Aufbau und das Funktionsprinzip eines bürstenlosen Gleichstrommotors.
2. Auf welchem Effekt beruhen die Hall-Sensoren? Beschreiben Sie diesen.
3. Wie wird Drehstrom erzeugt und welche Eigenschaften weist er auf?

6.5 Asynchronmotor

Einteilung elektrischer Maschinen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 28

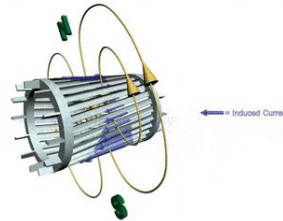
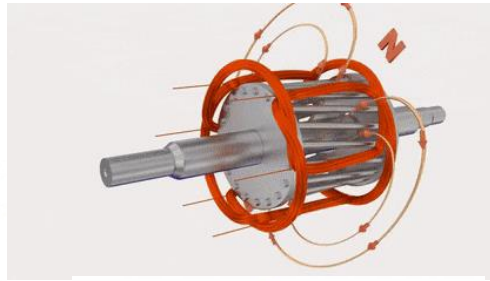
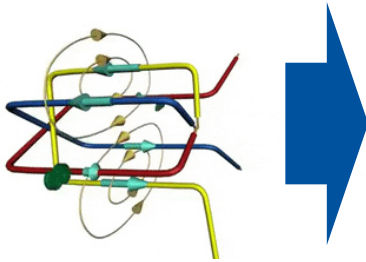
Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Asynchronmotor

Vorteile	Nachteile
Keine Schleifkontakte (nur bei Käfigläufer)	Eher groß
Sehr robust	Nicht-lineares Verhalten
Nahezu wartungsfrei	Geräuschentwicklung
Betriebssicher	
Preiswert	

6.5 Asynchronmotor

Funktionsprinzip



© youtube learn-engineering

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 29

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Asynchronmotor – Funktionsprinzip

Der Stator besteht aus drei Wicklungssträngen, die räumlich gegeneinander versetzt angeordnet sind (Animation links). Die Stränge werden an ein Drehstromnetz angeschlossen und erzeugen ein rotierendes Magnetfeld. Die Animationen rechts zeigen den Rotor im Inneren. Der Rotor ist dabei ein System aus kurzgeschlossenen Leitern. Durch das rotierende Magnetfeld wird im Rotor eine elektrische Spannung induziert, welche einen Stromfluss hervorruft. Auf den stromdurchflossenen Leiter im Rotor wirkt die Lorentzkraft, welche den Rotor in eine Drehbewegung versetzt. Die Rotorgeschwindigkeit ist im Motorbetrieb immer kleiner als die Drehgeschwindigkeit des Magnetfeldes ($\rightarrow$ asynchroner Lauf). Der Unterschied zwischen der Rotation des Stators und der Rotation des Rotors wird Schlupf genannt.

Asynchronmotoren werden mit $p = 2, 4, 6$ oder 8 Polpaaren gebaut. Die theoretische Leerlaufdrehzahl ist entsprechend $n = f/p$ dann $3000, 1500, 1000$ oder 750 min^{-1} .

<https://www.youtube.com/watch?v=LtJoJBUSE28>

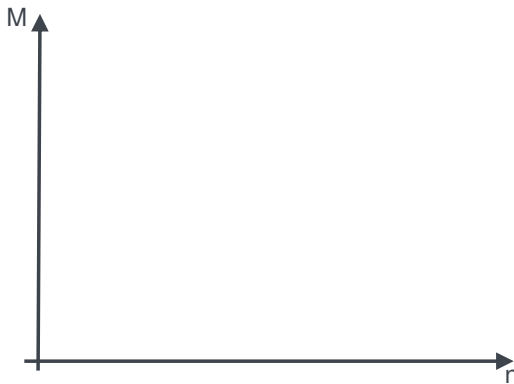


https://www.youtube.com/watch?v=AQqyGNOP_3o



6.5 Asynchronmotor

Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie



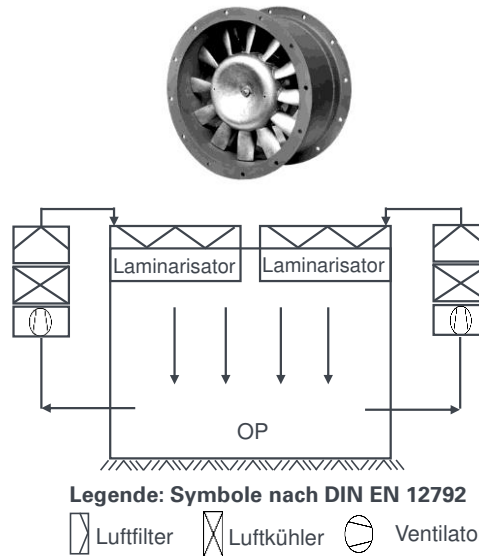
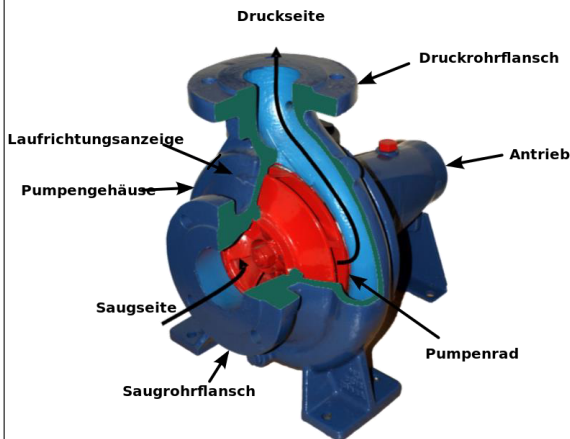
M_k	Kippmoment
M_A	Anzugsmoment
M_N	Nennmoment
n_k	Kippdrehzahl
n_N	Nenndrehzahl
n_s	Synchrondrehzahl

Asynchronmotor – Hochlauf und Verluste

Beim Anlaufen des Asynchronmotors muss der Rotor das Lastdrehmoment der Arbeitsmaschine überwinden und ein Beschleunigungsmoment entwickeln. Nach dem Anfahren nimmt der Schlupf ab und das Drehmoment steigt. Beim sogenannten Kippschlupf ist das maximale Drehmoment erreicht. Während der Anlaufphase bis zum Kipppunkt besitzt der Motor einen schlechten Wirkungsgrad und erwärmt sich stark. → Mehr für Dauerbetrieb geeignet, als für Servoantrieb.

6.5 Asynchronmotor

Anwendungsbeispiel - Belüftungssystem



Quellen:
Wikipedia.org, ebmpapst.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 31

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Asynchronmotor – Anwendungsbeispiel Belüftungssystem

Operationssäle sind oftmals mit speziellen Belüftungssystemen ausgestattet, die beispielsweise bei Implantationen von künstlichen Hüftgelenken die kontaminierte Luft aus dem Schutzbereich verdrängen. Dies erfolgt kontinuierlich mittels einer turbulenzarmen Verdrängungsströmung. Die Abbildung rechts zeigt die im Rahmen einer studentischen Arbeit am IMT entwickelte Operationsumgebung inklusive dem System zur Erzeugung einer solchen turbulenzarmen Verdrängungsströmung. Eine Regelung des Volumenstroms pro Fläche ist gewährleistet.

6.5 Asynchronmotor

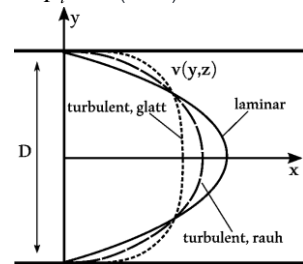
Anwendungsbeispiel - Belüftungssystem

- 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: $P_{\text{Hyd}} = \Delta p_t \cdot \dot{V} \quad (6.15)$

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



Quelle:
wikipedia

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 32

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Asynchronmotor – Anwendungsbeispiel Belüftungssystem

Die Form des ausgebildeten Strömungsprofils in Rohren ist sowohl von der Reynoldszahl als auch von der Rauheit der Rohrwand abhängig. Eine turbulente Strömung liegt vor, wenn die Reynoldszahl größer als 10.000 ist. Dann kann das Strömungsprofil durch folgendes Gesetz beschrieben werden.

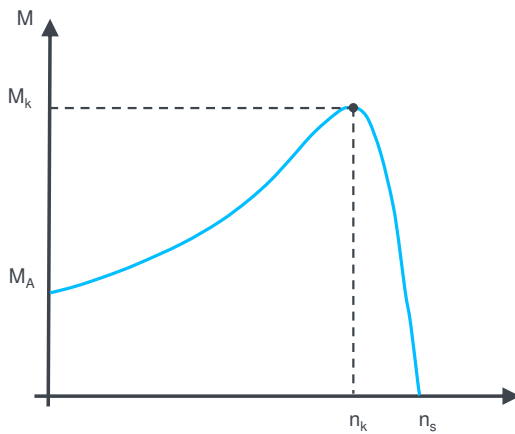
$$v(r) = v_{\text{max}} \cdot \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Δp_t (Gleichung 6.15) ist die totale Druckerhöhung, die größer sein muss als der Druckverlust. ρ ist die Dichte des Mediums. Die Widerstandszahl ζ ist stark von der Geometrie, sowie von der Strömungsgeschwindigkeit und damit vom Volumenstrom $\dot{V}$ abhängig. Sie weist ein stark nichtlineares Verhalten auf.



6.5 Asynchronmotor

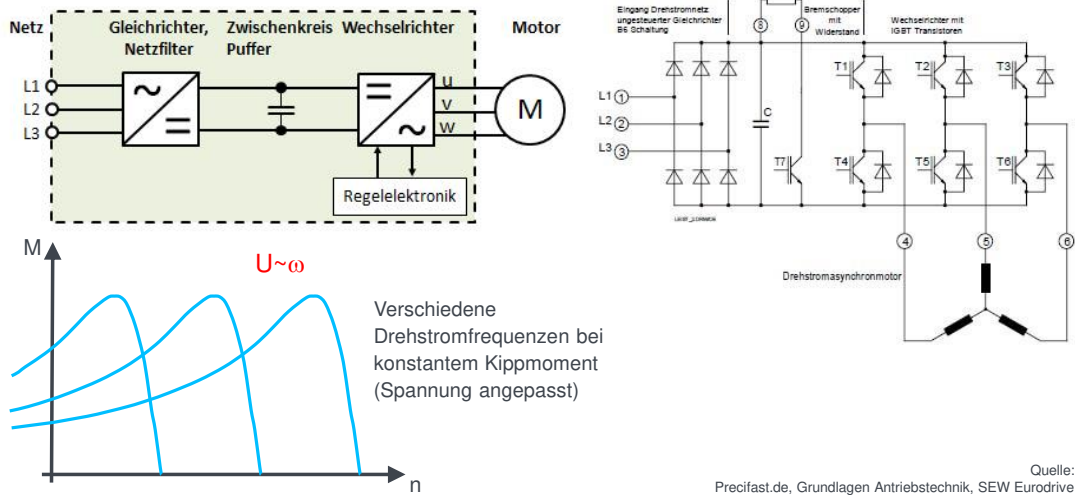
Anwendungsbeispiel - Belüftungssystem



$$\frac{P_{el}}{\omega} = \zeta_n \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{1}{A^2} \cdot \dot{V}^3$$

6.5 Asynchronmotor

Ansteuerung und Regelung



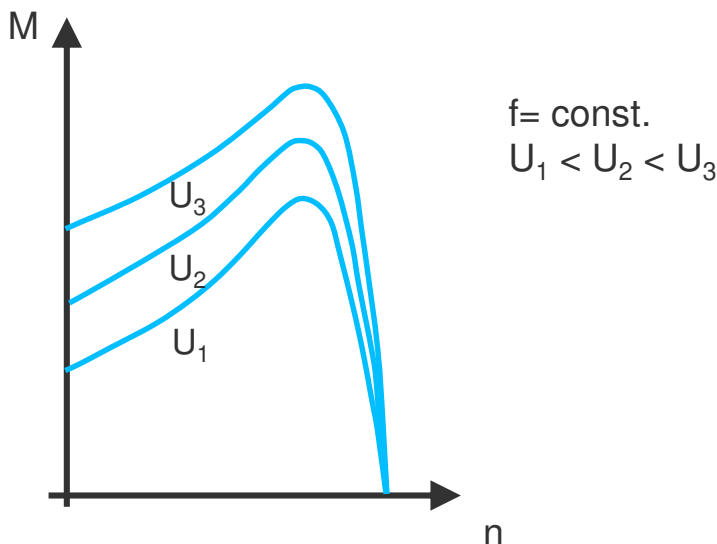
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 34

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

Asynchronmotor – Ansteuerung und Regelung

Die Frequenz bzw. Drehzahl der Asynchronmaschine ist abhängig von der Frequenz des Drehstroms. Der Betrieb am Drehstromnetz lässt nur bestimmte Drehzahlen zu. Mithilfe eines Frequenzumrichters kann die Frequenz und Amplitude des Wechselstroms variiert werden. Bei Bremsvorgängen wird Energie in den Zwischenkreis zurückgespeist, was zu Überspannungen führen kann. Um Schäden zu vermeiden gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zum einen die Rückspeisung der überschüssigen Energie ins Netz und zum anderen die Verwendung eines Brems-Choppers, der bei Bedarf die überschüssige Energie über einen Bremswiderstand in Wärme umwandelt. Während des Anlaufprozesses nimmt der Asynchronmotor hohe Ströme auf, was das Stromnetz belastet. Aufgrund dessen wird bei größeren Leistungen zum Anlaufen eine niedrigere Spannung angelegt. Anschließend wird die Spannung beispielsweise mithilfe eines Sanftanlaufgerätes erhöht. Das Sanftanlaufgerät wird dann nach dem Hochfahren überbrückt.



6.5 Asynchronmotor

Anwendungsfelder



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 35

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Asynchronmotor – Anwendungsfelder

Asynchronmotoren werden beispielsweise in Kompressoren eingesetzt, die Druckluft oder sonstige Gase auch für medizinische Anwendungen bereitstellen. Zudem finden sich Asynchronmotoren ebenfalls in Pumpen für Wasser und Abwasser und in Belüftungs- bzw. Absauganlagen.

Gründe hierfür sind:

- Preisgünstig und recht effizient
- Robust und langlebig – einzig die Lager verschleiß

6.5 Asynchronmotor

Asynchronmotoren Bauformen - IEC-Niederspannungs-Asynchronmotoren

- Definierte Wirkungsgradwerte
 - IEC1: Standard Efficiency (alte EFF2-Klasse)
 - IEC2: High Efficiency (alte EFF1-Klasse)
 - IEC3: Premium Efficiency
 - IEC4: Super Premium Efficiency



Quelle:
Abb.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 36

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Asynchronmotor – Bauformen

In der IEC (International Electrotechnical Commission) Norm 60034-1 werden Motoren mit 2, 4, 6 und 8 Polen berücksichtigt. Sie definiert vier Wirkungsgradklassen (IEC1-4) bei 50 Hz und 60 Hz für ein- bzw. dreiphasige Motoren. Hier gilt in der Klasse IEC3 für z.B. einen 1,5 kW Motor mit zwei Polen ein Mindest-Wirkungsgrad von 84,2 %.

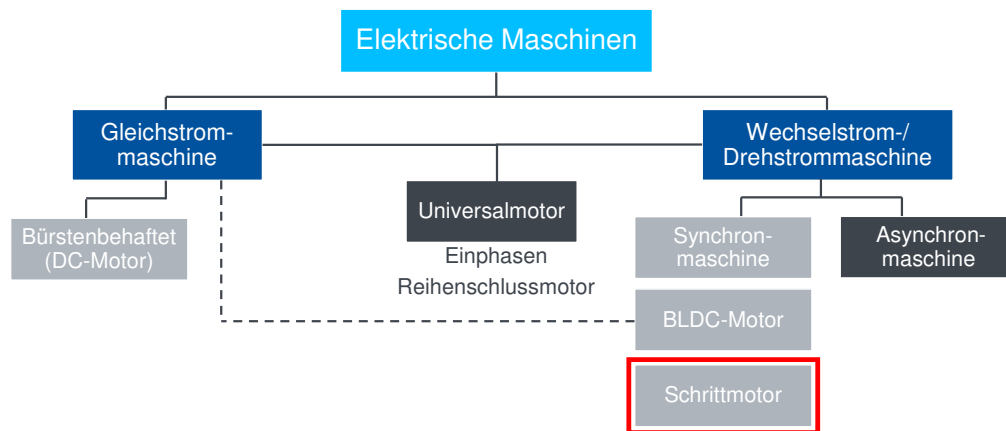
6. Antriebstechnik

Kontrollfragen

1. Beschreiben Sie das Funktionsprinzip eines Asynchronmotors.
2. Geben Sie die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie wieder.
3. Vervollständigen Sie. Je höher der Betrag der anliegenden Spannung, desto _____ ist das Kippmoment.

6.6 Schrittmotor

Einteilung elektrischer Maschinen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 38

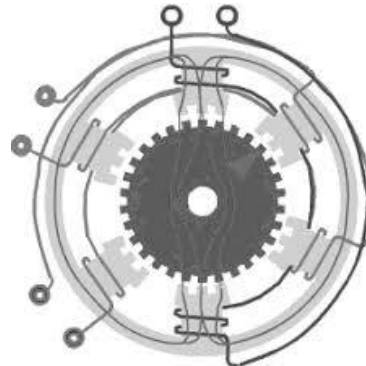
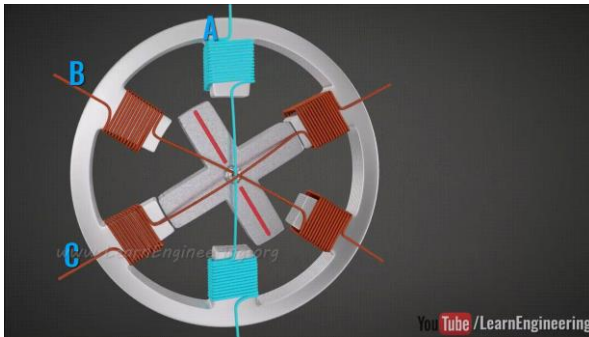
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schrittmotor

Vorteile	Nachteile
Preiswert	Lautstärke
Zuverlässig, da keine Kontaktbürsten	Kein Feedback über fehlende Schritte
Breiter Drehzahlbereich möglich	Wärmeentwicklung
Hohe Wiederholgenauigkeit	Ansteuerungselektronik notwendig
Einfach regelbar	
Kein Magnetmaterial verbaut	

6.6 Schrittmotor

Funktionsprinzip



Quelle:
youtube – learn engineering, hubertklinkner.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 39

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schrittmotor – Funktionsprinzip

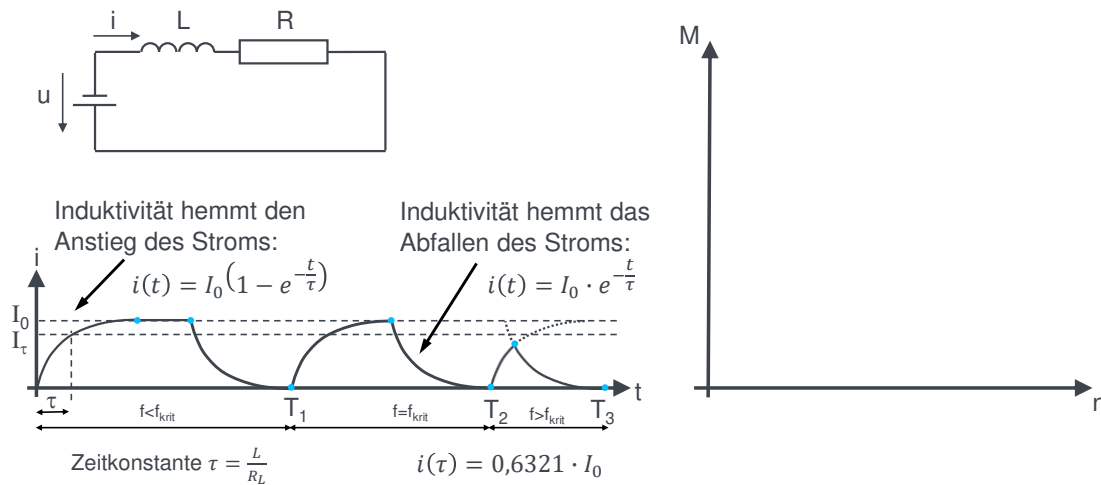
Bestromte Statorspulen erzeugen ein Magnetfeld durch die Statorzähne, den Rotor sowie das Rückschlusspaket. Der Rotor dreht sich so, dass die Energie im Luftspalt zwischen Stator und Rotor möglichst klein ist – dies lässt sich als magnetische Anziehungskraft spüren und der Rotor folgt dem Feld und dreht sich. Schrittmotoren setzen die elektrischen Impulse direkt in mechanische Schritte um. Dadurch ist eine genaue Positionierung ohne Sensoren möglich. Eine kleinere Schrittweite kann z.B. durch eine zusätzliche Zahnteilung an den Polen erreicht werden (Abbildung rechts).



<https://www.youtube.com/watch?v=eyqwLiowZiU>

6.6 Schrittmotor

Kennlinie



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 40

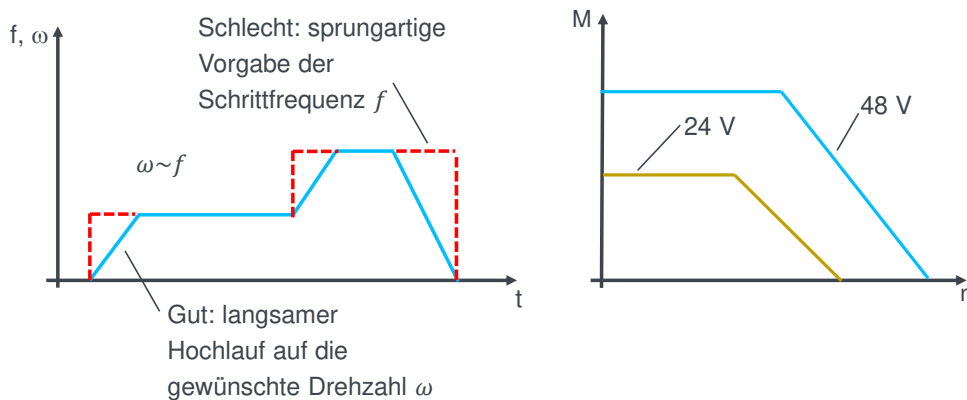
Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Schrittmotor – Kennlinie

Die Kennlinie verdeutlicht, dass das Drehmoment des Schrittmotors mit steigender Drehzahl abnimmt. Dies kann dazu führen, dass Schritte verloren gehen oder der Motor überhaupt nicht mehr anläuft. Durch das ständige Umpolen während des Betriebs wird, bedingt durch die Induktivität, ein Gegenstrom erzeugt. Bei höheren Frequenzen steigt auch diese Gegeninduktion an und muss überwunden werden. Die Grenzfrequenz ist dabei lastabhängig. Das heißt in Abhängigkeit der zu bewegenden Masse bzw. des Trägheitsmomentes, sowie des äußeren Lastdrehmoments ergibt sich eine Frequenzgrenze für den Motor. Je größer die Lastträgheitsmomente sind, desto niedriger fallen diese Grenzfrequenzen aus.

6.6 Schrittmotor

Hochlauf und Bremsen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 41

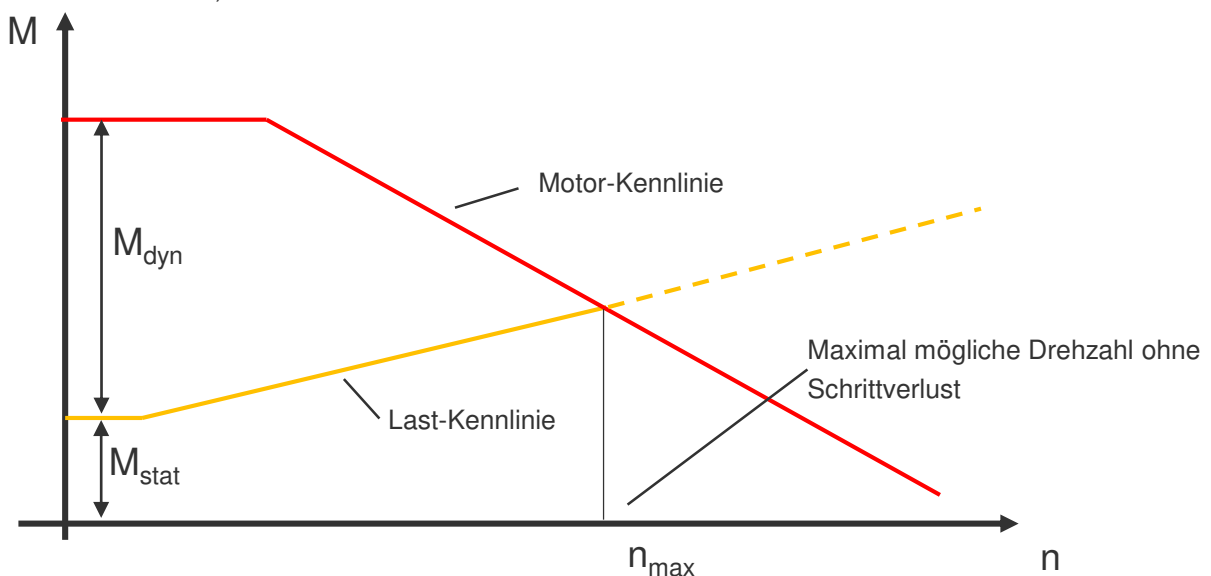
Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Schrittmotor – Hochlaufen und Bremsen

Das Drehmoment des Schrittmotors ist im Stand maximal und sinkt bei höheren Drehzahlen ab (rechtes Schaubild). Wird der Motor mit einer höheren Spannung betrieben, kann auch ein höherer Strom fließen, was zu einer größeren magnetischen Feldstärke und somit zu mehr Drehmoment führt.

Der Frequenzsprung beim Beschleunigen von oder auf Stillstand darf nicht zu groß sein, da der Motor sonst nicht mehr folgen kann und Schritte verliert (linkes Schaubild). Diese Start-Stopp-Frequenzgrenze ist auch abhängig vom äußeren Lastdrehmoment und insbesondere dem Trägheitsmoment der bewegten Masse. 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 (Rampenform).

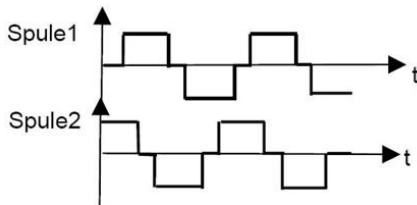
Im unteren Schaubild ist M_{dyn} das Moment, das zur Beschleunigung einer Last zur Verfügung steht. M_{stat} ist das Moment, das aufgebracht werden muss, um den Motor zu bewegen (aufgrund Reibung oder Trägheit). Dieses steigt an, da die Reibung mit der Drehzahl ansteigt („viskoser“ Reibungsanteil durch Luftwiderstand etc.).



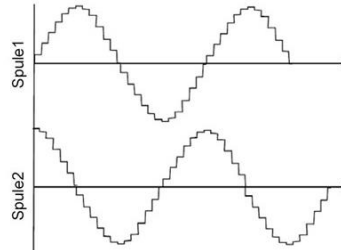
6.6 Schrittmotor

Ansteuerung

Halbschrittbetrieb



Mikroschrittbetrieb



Quelle:
youtube – learn engineering

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

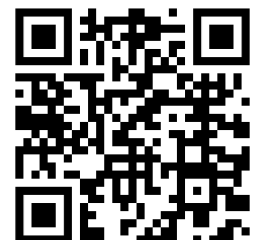
Folie 42

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Schrittmotor – Ansteuerung

Die Schrittweite des Schrittmotors ist zwar durch den Motoraufbau vorgegeben, kann aber durch die Bestromung des Stators elektronisch verfeinert werden. Im Halbschrittbetrieb findet eine wechselnde Bestromung von einer und anschließend zwei benachbarten Phasen statt. Im Mikroschrittbetrieb werden zwei oder mehr Phasen gleichzeitig angesteuert. Die Amplitude steigt dabei in Stufen an.

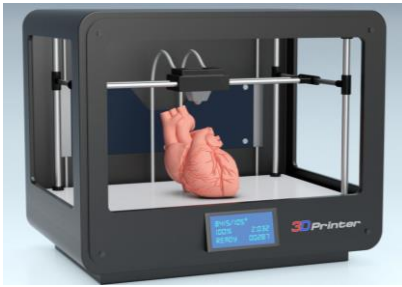
Animation der Ansteuerung eines Schrittmotors im Halbschrittbetrieb:



<https://youtu.be/eyqwLiowZiU>

6.6 Schrittmotor

Anwendungsfelder



Quellen:
printer4you.com, gonline.at, cnc-step.de, faulhaber.de

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

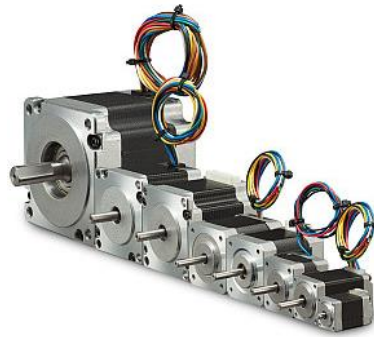
Folie 43

Schrittmotor – Anwendungsfelder

Schrittmotoren kommen unter anderem bei exakten Positionierungsaufgaben, die eine hohe Wiederholgenauigkeit erfordern zum Einsatz. So sind Schrittmotoren beispielsweise in einfachen, computergesteuerten Werkzeugmaschinen, wie z.B. CNC Fräsmaschinen (Abbildung rechts unten), in Druckern (auch 3D Drucker, Abbildung links oben) zur Positionierung des Druckkopfes und in Zeigerinstrumenten (z.B. im Auto, Abbildung links unten) verbaut. Im Bereich der Medizintechnik werden Schrittmotoren z.B. zur Laborautomatisierung (Abbildung rechts oben), in der Mikroskopie und in Druckern von EKG- und Ultraschallgeräten verwendet.

6.6 Schrittmotor

Bauformen



	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:

Wikiwand.de; Bobry.ch

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

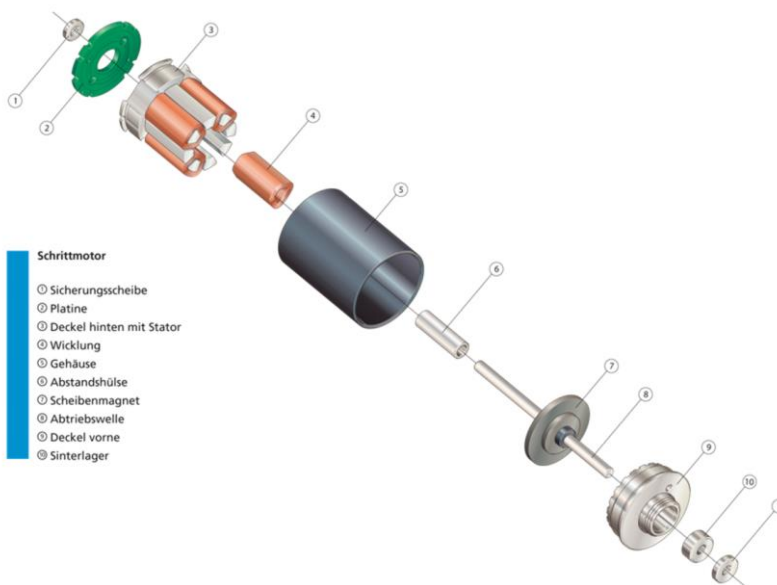
Folie 44

 Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Schrittmotor – Bauformen

Die NEMA Schrittmotoren sind eine genormte Reihe von Schrittmotoren. Dabei steht NEMA für “National Electrical Manufacturers Association”, eine amerikanische Normungsorganisation. Sie werden in Baugrößen mit einem äußeren Kantenmaß (Flanschmaß) zwischen 20 mm und 110 mm gefertigt. Das Flanschmaß in 1/10“ ist dabei jeweils der Name der Baugröße. Die wichtigsten Baugrößen sind Nema 17, Nema 23 und Nema 34. Nema 17 bedeutet also 1,7“ und entsprechen 43,18 mm (tatsächliches Flanschmaß: 42,0 mm).

Für besondere Anwendungen gibt es auch verschiedene weitere Funktionsprinzipien und Bauformen.



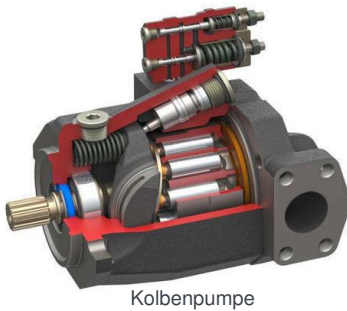
Axialfeld-Schrittmotor mit permanenter Erregung [Faulhaber]

6. Antriebstechnik

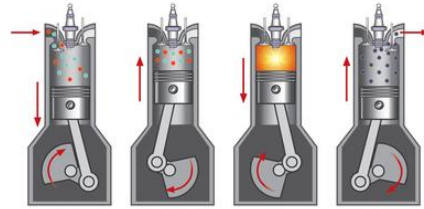
Kontrollfragen

1. Erläutern Sie Vor- und Nachteile eines Schrittmotors.
2. Beschreiben Sie das Funktionsprinzip eines Schrittmotors.
3. Zeichnen Sie die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie. Wie verhält sich das Moment bei steigender Drehzahl?
4. Wo werden Schrittmotoren eingesetzt?

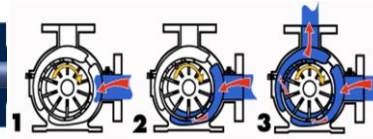
6.7 Weitere Antriebsformen



Kolbenpumpe



Viertaktmotor



Flügelzellenpumpe

Quelle:

zoombd24.com, autolexikon.net, indiamart.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 46

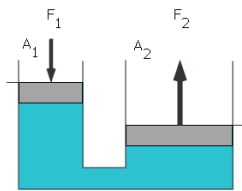
Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Weitere Antriebsformen

Neben elektrischen Antrieben gibt es weitere Antriebsformen. Dazu zählen z.B. der Verbrennungsmotor, der Hydraulikantrieb und der Pneumatikantrieb. Im Folgenden wird näher auf den Hydraulikantrieb, den Pneumatikantrieb und die Piezoaktuatorik eingegangen.

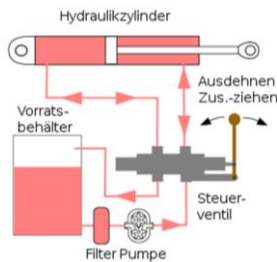
6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.1 Hydraulikantrieb



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

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



Quellen:
rauh-hydraulik.de, wikipedia.org

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 47

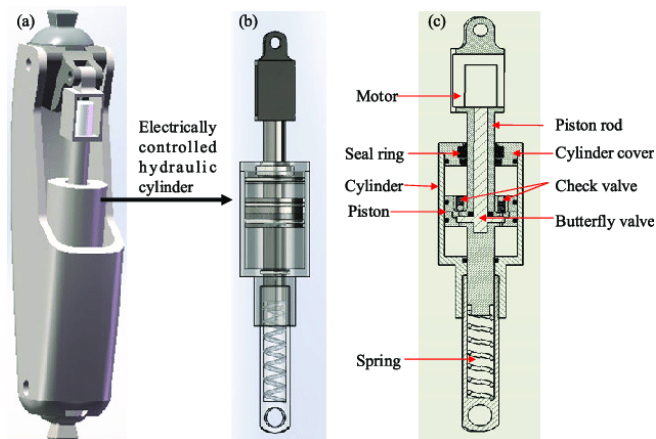
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

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

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.1 Hydraulikantrieb


 Quellen:
ottobock.com

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 48

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Weitere Antriebsformen – Hydraulikantrieb

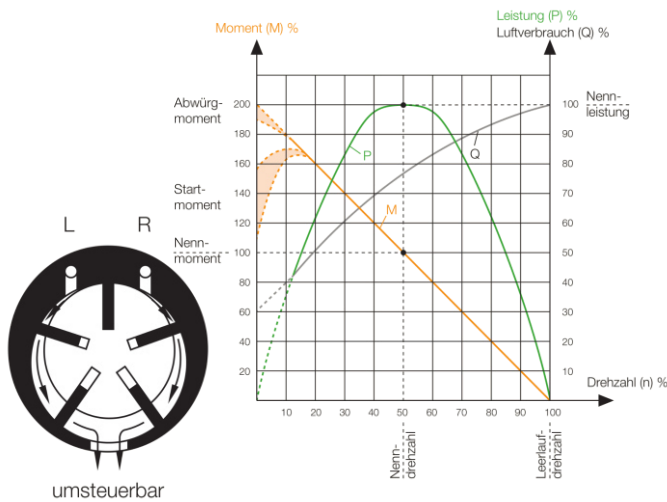
Die Abbildung rechts zeigt ein polyzentrisches Kniegelenk der Firma Otto Bock. Ein verbautes intelligentes Hydrauliksystem in Miniaturgröße steuert die Bewegung der unteren Extremität während der Schwingphase. Genauer sorgt die Hydraulik für einen Widerstand in der Bewegung, welcher die Flexion bzw. Extension des Kniegelenks dämpft. In der Abbildung links ist eine neuartige, Mikroprozessor-gesteuerte Knieprothese zu sehen. Ein hydraulischer Zylinder beeinflusst hier ebenfalls durch seine Dämpfungseigenschaften die Knieflexion bzw. -extension. Das hydraulische System wird dabei elektronisch durch einen Motor kontrolliert.

Quelle:

Wujing et. al (Design and Evaluation of a Novel Microprocessor-Controlled Prosthetic Knee)

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.2 Pneumatikantrieb



Quelle:
Deprag, Wikipedia, Axnum, kavo.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 49

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Weitere Antriebsformen – Pneumatikantrieb

Beim Pneumatikantrieb werden Luft oder andere Gase als Druckmedium zum Erzeugen einer Bewegung eingesetzt. Turbinen können ebenfalls durch einen Pneumatikantrieb betrieben werden. Eine Anwendung in der Medizintechnik ist beispielsweise die Zahnarzt turbine (Abbildung rechts). Ein weiteres Beispiel sind Druckluftlamellenmotoren (Abbildung links).

Zahnradmotoren

- Drehzahl bis ca. 100.000 1/min
- ölfrei
- keine Verschleißteile
- niedriger Geräuschpegel
- dauerlaufgeeignet



Turbinen

- Drehzahl bis ca. 120.000 1/min
- ölfrei
- keine Verschleißteile
- optimales Leistungsgewicht
- geringer Luftverbrauch



Druckluftlamellenmotoren

- Drehzahl bis ca. 60.000 1/min
- kompakt & leicht
- ATEX-konform
- überlastsicher
- robust & leistungsstark



6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.2 Pneumatikantrieb



Quelle:
protedglobal.com, orliman.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 50

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Weitere Antriebsformen – Pneumatikantrieb

In dem Kniegelenk (Abbildung links) ist ein pneumatisches Dämpfungssystem für eine kontrollierte Bewegung des Kniegelenks verbaut. Das System adaptiert dabei seine Eigenschaften je nach Bewegungsgeschwindigkeit.

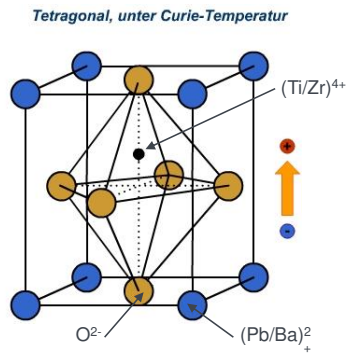
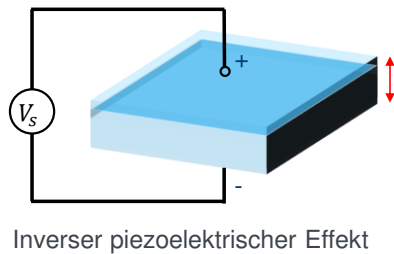
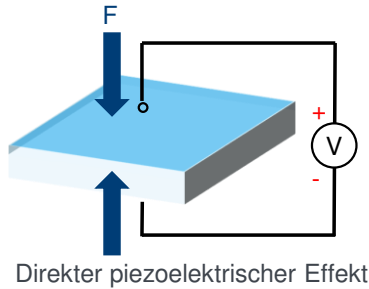
Vergleich Hydraulik- und Pneumatikantrieb

	Hydraulikantrieb	Pneumatikantrieb
Energiedichte (Leistungsgewicht)	Sehr hoch	Hoch
Energiespeicherung (Gefahrenpotenzial)	Keine	Ausgeprägt, da Medium kompressibel (in Tank und Leitung)
Rückleitung	Notwendig	Nicht notwendig
Leckage-Dichtungen	Sehr wichtig (Verschmutzung)	Nur wegen Geräusch und Energieverlust
Preis der Aktoren	Relativ hoch	Günstig
Preis der Ventile	Sehr hoch	Mittel
Sterilisierbarkeit	Machbar	Problemlos
Einfluss von Reibung	Gering	hoch
Regelbarkeit der Position	Einfach möglich	Nahezu unmöglich
Regelbarkeit der Geschwindigkeit	Einfach möglich	Unmöglich
Erzielbare Geschwindigkeit	Gering bis mittel (abh. von der Leistungsfähigkeit der Pumpe)	Hoch (aber nicht regelbar)
Erzielbare Frequenzen	Begrenzt durch die Massenträgheit der Ventile und des Fluids in der Leitung	Begrenzt durch die Schallgeschwindigkeit in der Leitung

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 $E =$ mehrere 10 kV/mm



Quelle:
Wikipedia

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

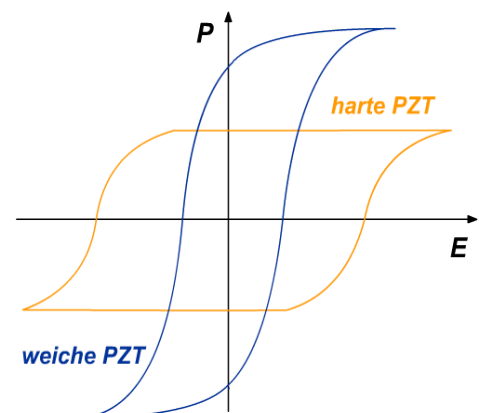
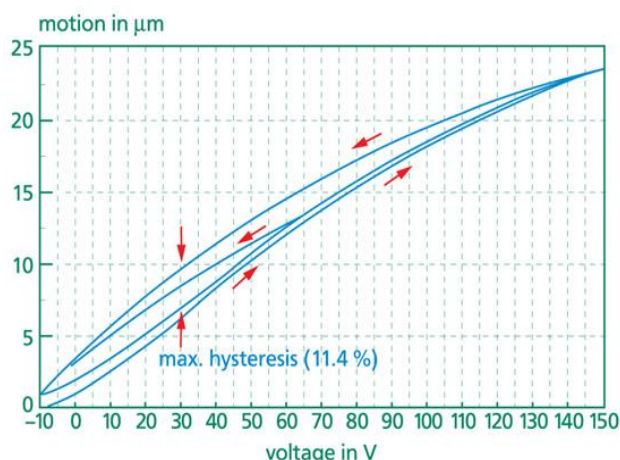
Folie 51

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

Weitere Antriebsformen – Piezoaktorik

Es wird zwischen dem direkten - und dem inversen piezoelektrischen Effekt unterschieden. Beim direkten piezoelektrischen Effekt führt eine mechanische Spannung zu einer Ladungstrennung. Er findet häufig in der Sensorik Anwendung. Wenn ein elektrisches Feld zu einer mechanischen Spannung führt, wird vom inversen piezoelektrischen Effekt gesprochen. Auf diesen wird in der Aktorik zurückgegriffen.

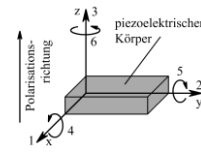
Vorteile	Nachteile
Kein Magnetfeld	Sehr teuer
Nahezu metallfrei	Schlechter Wirkungsgrad → Erwärmung
Hohe Leistungsdichte	Mechanisch empfindlich
Geräuschfrei realisierbar	Feuchtigkeits- und Temperaturempfindlich
Sehr klein herstellbar	



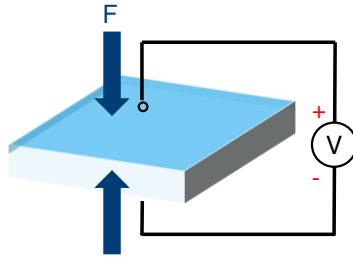
Tatsächliche Kurve eines Multilayer Stacks

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Funktion 1



Direkter Piezoelektrischer Effekt

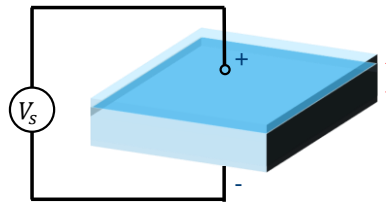


Polarisation $P_{pz} = e \cdot T$

Piezoelektrischer

Spannungskoeffizient $e_{ij,k} = \frac{\partial T_{ij}}{\partial E_k}$

Inverser Piezoelektrischer Effekt



Verformung $S_{pz} = d \cdot E$

Piezoelektrischer

Verzerrungskoeffizient $d_{ij,k} = \frac{\partial s_{ij}}{\partial E_k}$

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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 52

Institut für Medizingerätetechnik **IMT**

Weitere Antriebsformen – Piezoaktorik

Die Reaktion der mechanischen Spannung auf das elektrische Feld wird in dem piezoelektrischen Spannungskoeffizienten ausgedrückt. Die Reaktion der Verformung auf das elektrische Feld wird durch den piezoelektrischen Verzerrungskoeffizienten beschrieben.

d: piezoelektrischer Verzerrungs-Koeffizient [m/V]

e: piezoelektrischer Spannungs-Koeffizient [Nm/V]

T: die mechanische Spannung [N/m²]

E: die elektrische Feldstärke [V/m]

S: Dehnung $\Delta l/l$ [dimensionslos]

D: dielektrische Verschiebung statt Polarisation [As/m²]

s_T : Elastizitätskonstante bei konstanter elektrischer Feldstärke [m²/N]; inverser E-Modul

ϵ_T : Permittivität bei konstanter mechanischer Spannung („dielektrische Leitfähigkeit“) [As/Vm]

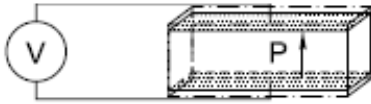
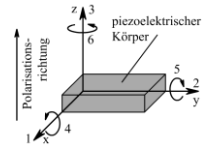
6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Funktion 2

Allgemeine Beschreibung über gekoppelte Gleichungen:

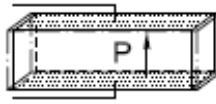
$$D = d \cdot T + \varepsilon^T \cdot E$$

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



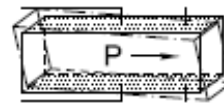
Längseffekt (Longitudinaleffekt)

- Index „33“
- 250..550 pm/V



Quereffekt (Transversaleffekt)

- Index „31“
- -180..-250 pm/V



Schereffekt

- Index „15“
- ~300 ... 1100 pm/V

Quelle:
Schönecker 2009, Wikipedia

Weitere Antriebsformen – Piezoaktorik

Beim inversen piezoelektrischen Effekt werden drei Haupteffekte unterschieden. Beim Längs- bzw. Longitudinaleffekt erzeugt die mechanische Kraft eine Polarisation in Kraftrichtung. Beim Quer- bzw. Transversaleffekt ist die Polarisationsrichtung senkrecht zur mechanischen Kraft, die Spannungsrichtung ist demnach orthogonal zur Kraftrichtung. Beim Schereffekt entsteht eine Spannung diagonal zu den gesicherten Ebenen.

6.7 Weitere Antriebsformen

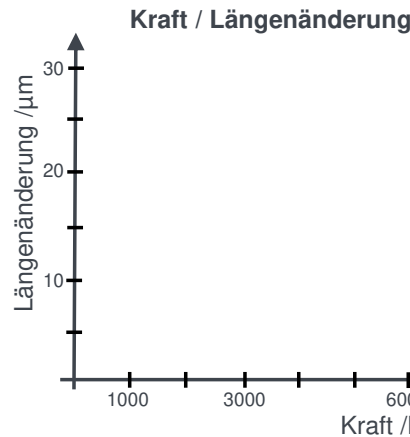
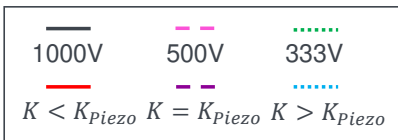
6.7.4 Piezoaktorik – Der piezoelektrische Effekt: Leistung



- Piezo(-Stack) besitzt Steifigkeit K_{Piezo}
 - Blockierkraft, Leerhub
- Mechanisches System besitzt die Steifigkeit K
 - Vorspannung, Arbeitshub

Je steifer das mechanische System,
desto größer die Kraft

Je weicher das mechanische System,
desto größer der Hub



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 54

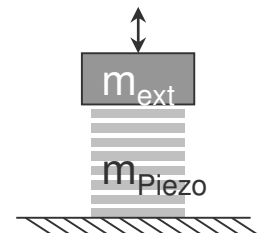
Institut für
Medizingerätetechnik **INM**

Weitere Antriebsformen – Piezoaktorik

Sowohl der Piezo als auch das mechanische System besitzen eine Steifigkeit. Die maximale mechanische Arbeit wird erreicht, wenn beide Steifigkeiten identisch sind.

Die Resonanzfrequenz eines einfachen Stacks mit der externen Masse m_{ext} ist:

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



Die maximale Betriebsfrequenz erfährt eine thermische Limitierung und eine Limitierung durch die Leistungselektronik:

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

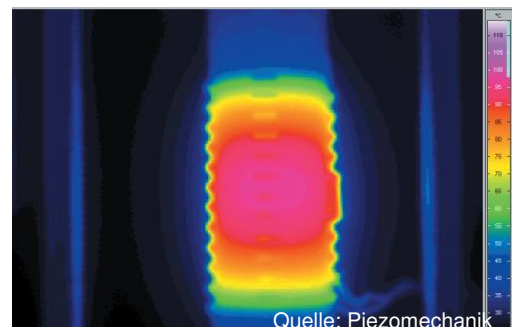
Die dynamische Kraft ergibt sich zu:

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

Die minimale Anstiegszeit beträgt:

$$T_{rise} \approx \frac{1}{3f_0} = \frac{1}{3 \cdot 43,3 \text{ kHz}} = 7,7 \mu\text{s}$$

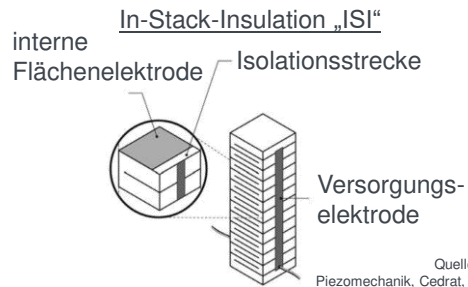
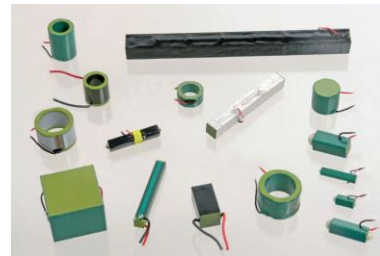
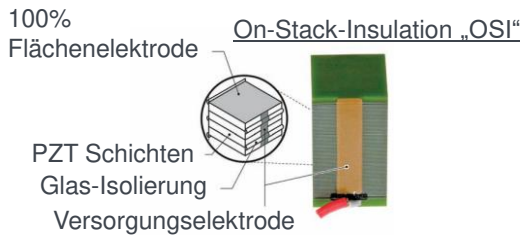
C ist stark Frequenz- und Amplitudenabhängig.



Quelle: Piezomechanik

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Stacks: Aufbau



Quelle:
Piezomechanik, Cedrat, P

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 55

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Weitere Antriebsformen – Piezoaktorik

Die Stacks können säulenförmig oder röhrenförmig aufgebaut sein. Der Hub (Dehnung) beträgt etwa 0,1 %. Eine Vergrößerung des Hubs ist mittels einer Hebelkinematik möglich (Übersetzung i):

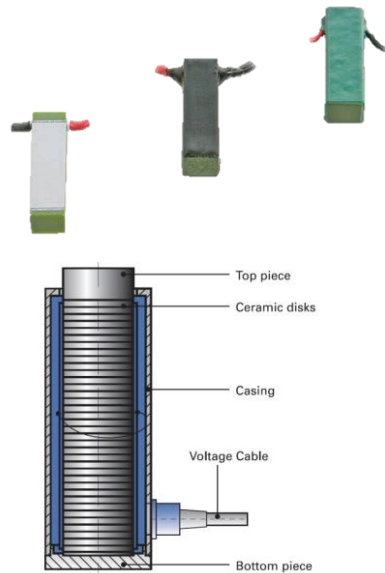
- Verringerung der Resonanzfrequenz mit $1/i$
- Verringerung der Steifigkeit mit $1/i^2$

On-Stack-Insulation „OSI“ kennzeichnet sich durch eine homogene Spannungsverteilung und ist feuchtigkeitsempfindlich. In-Stack-Insulation „ISI“ wird auch als „buried-in electrode“ bezeichnet. Die In-Stack-Insulation ist zwar feuchtigkeitsunempfindlich, aber mechanisch empfindlicher.

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Stacks: Leistung

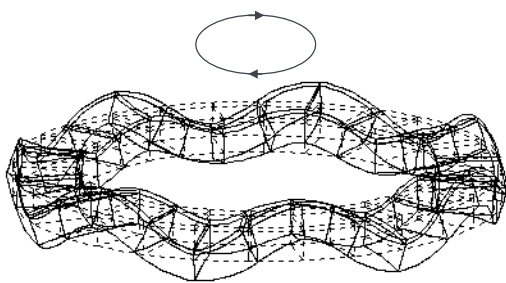
- Feldstärke: $-0,3 \dots 2 \text{ kV/mm}$
- Aspektverhältnis: max. 12 : 1
- Leistungsdaten [Fa. Piezomechanik, Type Pst150 10x10x7]
 - Länge x Breite x Dicke: $10 \times 10 \times 7 \text{ mm}^3$
 - Hub: $+9 / -4 \text{ }\mu\text{m}$
 - Max. Kraft: 7000 N
 - Resonanzfrequenz: 100 kHz
 - Max. Spannung: $-30 / +150 \text{ V}$
- Leistungsdaten [Fa. Physikinstrumente, Type PI P-010.00]
 - Größe: $\varnothing 10 \times 8 \text{ mm}$
 - Hub: $5 \text{ }\mu\text{m}$
 - Max. Kraft: 1400 N
 - Resonanzfrequenz: 126 kHz
 - Max. Spannung: $0 / 1000 \text{ V}$



Quellen:
Piezomechanik, P

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Ultraschallantriebe: Wanderwellenantriebe



Quelle:
jaewoo.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 57

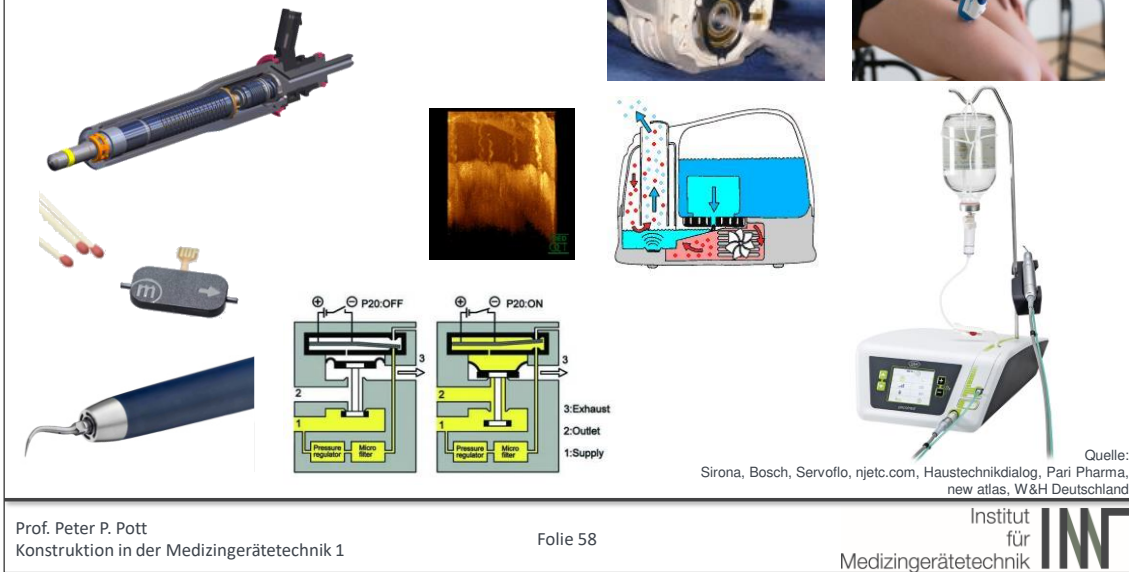
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Weitere Antriebsformen – Piezoaktorik

Auf der Folie ist ein Wanderwellenantrieb als Beispiel eines Ultraschallantriebs dargestellt. Dabei wird die Wanderwelle (Biegewelle) in einem (ringförmigen) Stator angeregt. Der Rotor „surft“ auf der Welle und besitzt einen elliptischen Reibkontakt. Das Ansteuersignal ist 2-phasig, die Regelung findet über den Phasenwinkel und die Amplituden statt. Wanderwellenantriebe sind weit verbreitet. Sie bieten hohe Drehmomente, ohne dass ein Getriebe benötigt wird und sind sehr leise – wenngleich recht teuer.

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik - Anwendungsbeispiele



Quelle:
Sirona, Bosch, Servoflo, njetc.com, Haustechnikdialog, Pari Pharma,
new atlas, W&H Deutschland

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 58

Institut für
Medizingerätetechnik **INT**

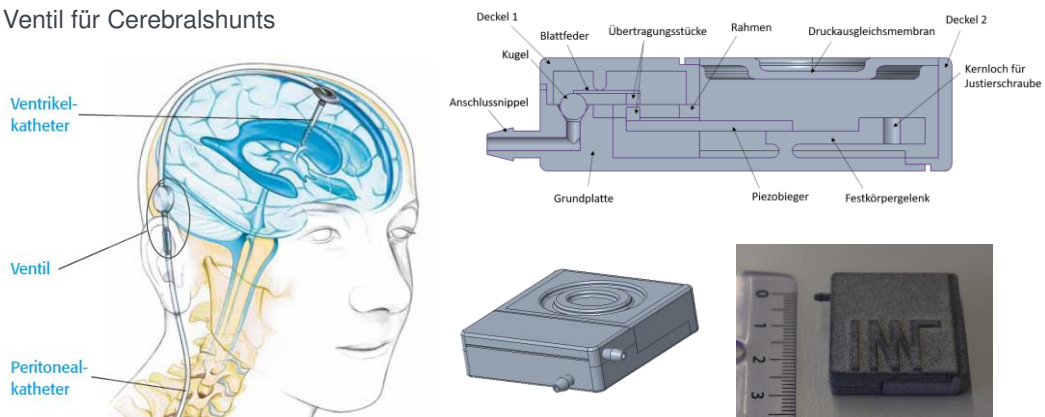
Weitere Antriebsformen – Piezoaktorik

Piezoaktoren werden im Bereich der Optik z.B. in Autofokus-Antrieben oder auch in der Optical Coherence Tomography (OCT) eingesetzt. Im Anwendungsfeld des Fluid Treatments sind piezobasierte Aktoren beispielsweise in Zerstäubern, Einspritzdüsen, Ventilen, Pumpen und needle-free injection devices zu finden. Auf der Folie sind darüber hinaus noch weitere Anwendungsfälle dargestellt.

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Anwendungsbeispiel aus der Forschung

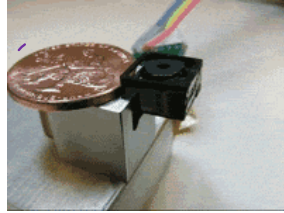
- Ventil für Cerebralshunts



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

6.7 Weitere Antriebsformen

6.7.4 Piezoaktorik – Zusammenfassung



Quelle:
Pentaxforums, New Scale Technology, Canon

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 60

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Vorteile	Nachteile
Sehr klein herstellbar	Sehr teuer
Hohe Geschwindigkeit	Niedriger Wirkungsgrad
Kann hohe Kräfte bereitstellen	Feuchtigkeits- und wärmeempfindlich

6. Antriebstechnik

Kontrollfragen

1. Welche weiteren Antriebsformen gibt es? Vergleichen Sie zwei miteinander.
2. Grenzen Sie den direkten- vom inversen piezoelektrischen Effekt ab.
3. Beschreiben Sie den groben Aufbau eines hydraulischen Antriebs.

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)



Universität Stuttgart

Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

7. Umwandlung von Bewegungsformen

WS 2020/21

Prof. Dr.
Peter P. Pott

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
- 7.6 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

Arbeit und mechanische Leistung

Die mechanische Leistung P gibt an, in welcher Zeit Δt eine bestimmte Arbeit W verrichtet wird. Die Arbeit W ist dabei das Produkt aus der Kraft F und der Strecke Δs .

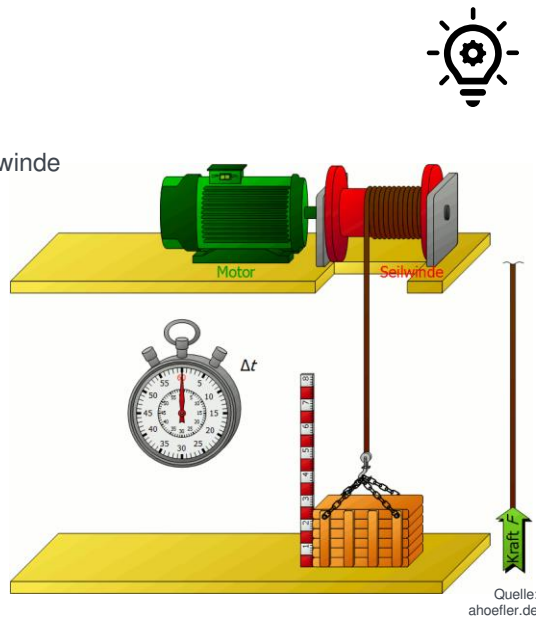
7.1 Grundlagen

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



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 4

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Grundlagen – Beispiel

Beim Anheben einer Kiste mithilfe einer Seilwinde können verschiedene Bewegungsformen beobachtet werden. Die Welle des Motors und die Seilwinde führen eine rotatorische Bewegung aus. Das Anheben der Kiste stellt eine Linearbewegung dar. Zunächst wird die Leistung der linearen Bewegung betrachtet, bevor auf der nächsten Folie die Rotationsbewegung untersucht wird.

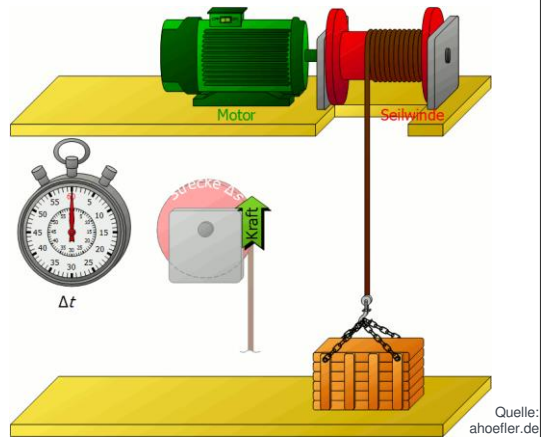
7.1 Grundlagen

Rotatorische Bewegung

Beispiel: Anheben einer Kiste mithilfe einer Seilwinde

- $\Delta s =$
- Damit ergibt sich:

$$P =$$



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 5

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Grundlagen – Beispiel

Die Seilwinde zieht während des Aufwickelns das Seil mit der Kraft F entlang der Kreisstrecke Δs . Die für eine Umdrehung benötigte Zeit Δt entspricht der Periodendauer T (Zeitdauer pro Umdrehung).

7.1 Grundlagen

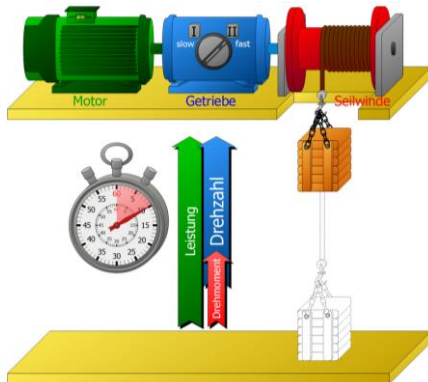
Notwendigkeit von Getrieben

$$P = F \cdot v$$

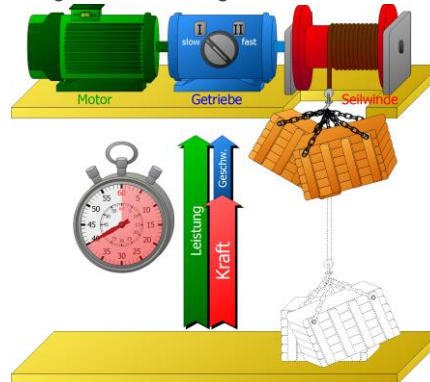
$$P = 2\pi \cdot n \cdot M$$

Kraft / Drehmoment $\uparrow$ $\rightarrow$ Geschwindigkeit/ Drehzahl $\downarrow$
 Geschwindigkeit / Drehzahl $\uparrow$ $\rightarrow$ Kraft/ Drehmoment $\downarrow$

- Hohe Geschwindigkeit, geringe Kraft



- Geringe Geschwindigkeit, hohe Kraft



Quelle:
ahoefler.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 6

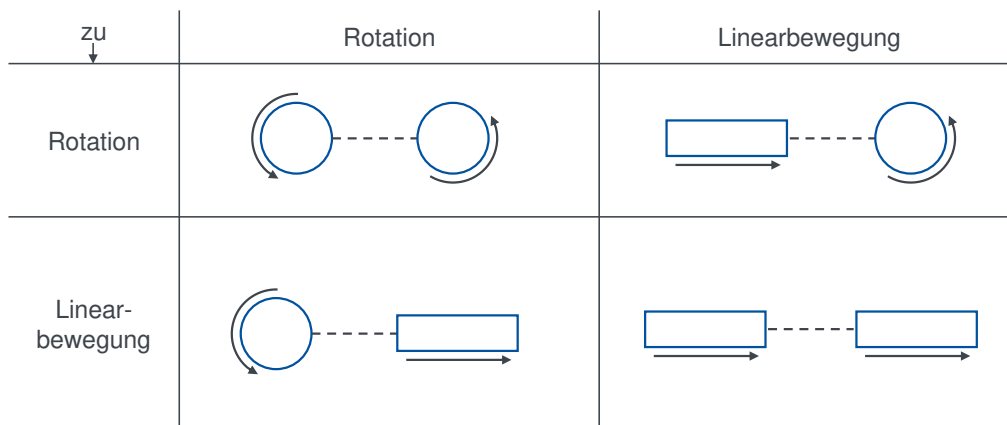
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Notwendigkeit von Getrieben

In der realen Anwendung ist die Leistung meist begrenzt, wie z.B. durch eine bestimmte Motorleistung. Aus $P = 2\pi \cdot n \cdot M$ und $P = F \cdot v$ ergibt sich folgendes Verhalten. Steigen Kraft und Drehmoment betragsmäßig, so verringert sich die Geschwindigkeit und die Drehzahl – und umgekehrt. Um die Kraft bzw. das Drehmoment und die Geschwindigkeit bzw. die Drehzahl zu variieren, werden Getriebe benötigt.

7.1 Grundlagen

Umwandlung von Bewegungsformen

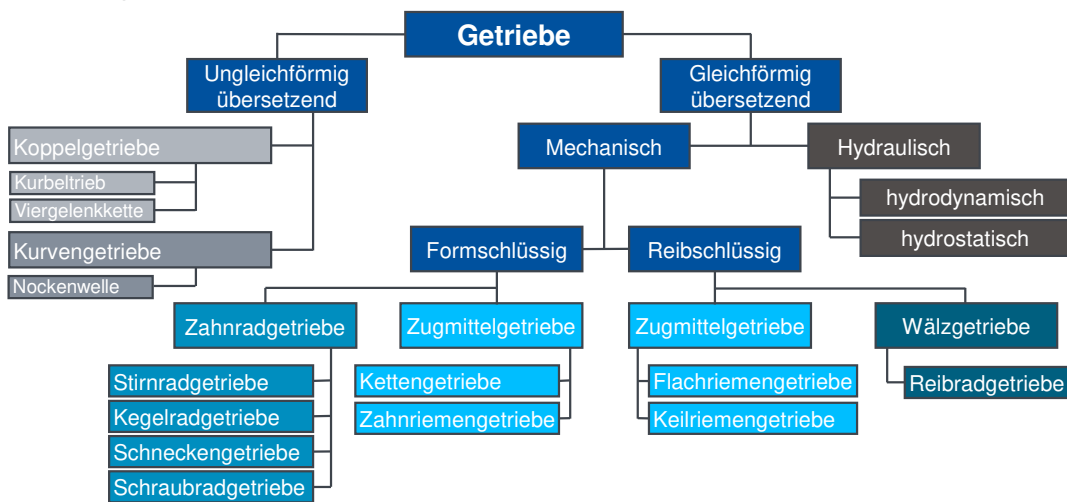


Umwandlung von Bewegungsformen

Eine Umwandlung der Bewegung wird nötig, wenn sich die gewünschte von der gegebenen Bewegung unterscheidet. In den meisten Getrieben findet eine Umwandlung einer Rotationsbewegung in wiederum eine Rotationsbewegung statt (Abbildung oben links). Dies betrifft beispielsweise Zahnradgetriebe oder auch Zugmittelgetriebe. Hubgetriebe, wie Spindelgetriebe etc., Nockenwelle und Kurbeltrieb sind Beispiele, bei denen eine rotatorische Bewegung in eine Linearbewegung umgewandelt wird (Abbildung unten links). Beim Kurbeltrieb kann dabei ebenfalls eine Linearbewegung in eine Rotation umgewandelt werden (Abbildung oben rechts). Eine Umwandlung einer Linearbewegung in eine wiederum lineare Bewegung findet zum Beispiel in hydraulischen Systemen statt.

7.1 Grundlagen

Einteilung



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 8

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Getriebe

In der Getriebetechnik wird grundsätzlich zwischen gleichförmig- oder ungleichmäßig übersetzenden Getrieben unterschieden. Getriebe wandeln eine gegebene Bewegung in eine gewünschte um und übertragen Kräfte und Drehmomente. Die Getriebetechnik umfasst viele Bereiche des Maschinenbaus wie beispielsweise die Feingerätetechnik, Fahrzeugtechnik oder auch Textiltechnik.

7. Umwandlung von Bewegungsformen

Kontrollfragen

1. Nennen Sie vier mögliche Umwandlungen von Bewegungsformen mit einem jeweiligen Beispiel.
2. Wie werden Getriebe eingeteilt?
3. Wozu werden Getriebe benötigt?

7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Kurvengetriebe



Quelle:
wikipedia.org

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 10

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Ungleichförmig übersetzende Getriebe – Kurvengetriebe

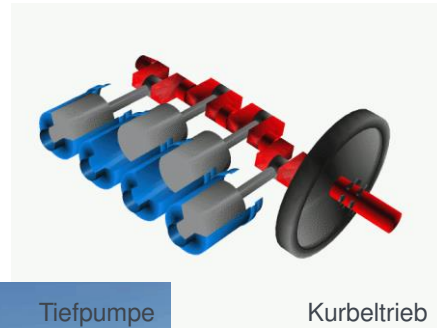
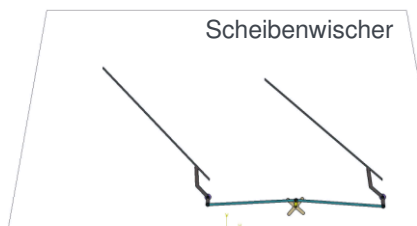
Bei einem Kurvengetriebe gleitet eine rotierende Kurvenscheibe auf ein Eingriffsglied ab. Dabei wird eine ungleichmäßige Abtriebsbewegung erzeugt. Abtriebsbewegungen können dabei beispielsweise eine ungleichmäßige Rotation, Schwingbewegung, Schrittbewegung etc. sein. Ein Beispiel für ein Kurvengetriebe ist die Nockenwelle.



<https://de.wikipedia.org/wiki/Kurvengetriebe>

7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe



Quelle:
wikipedia.org

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 11

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Ungleichförmig übersetzende Getriebe – Koppelgetriebe

Koppelgetriebe bestehen aus Gliedern, die kinematisch miteinander verbunden sind. Häufig findet eine Umwandlung einer Rotationsbewegung in eine Schwingbewegung statt, wie dies beim Scheibenwischer (Animation links) der Fall ist. Darüber hinaus ist aber auch eine Umwandlung einer Linearbewegung in eine Rotationsbewegung und umgekehrt möglich. Dieser Fall ist in der Animation eines Kurbeltriebs (rechts) verdeutlicht.

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Windscreen_Wiper.gif

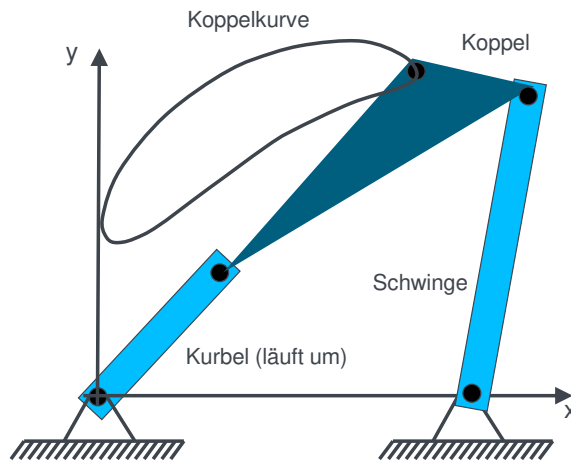
<https://www.asianoilfield.com/images/services/enhanced-oil-recovery.gif>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kurbelwelle>



7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 12

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Ungleichförmig übersetzende Getriebe – Koppelgetriebe

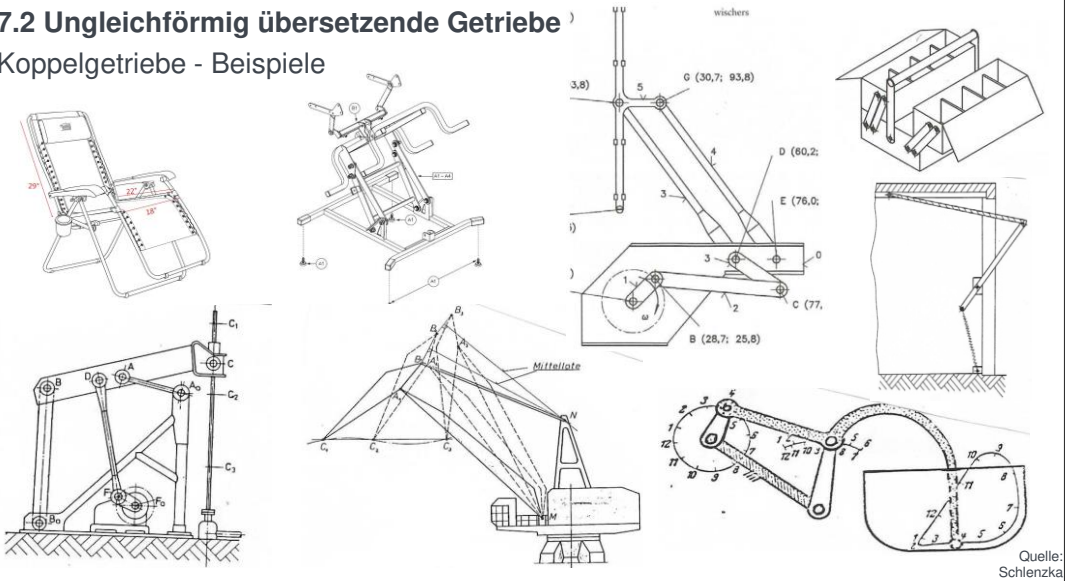
Koppelgetriebe sind meist eben und mit vier einfachen Rotationsgelenken ausgeführt. Es sind aber auch räumliche Getriebe möglich. Beispiele für Koppelgetriebe sind Kurbelschwinge mit umlaufendem Glied (Kurbel), Doppel-Schwinge und Doppel-Kurbeln oder auch die Schubkurbel mit drei Rotations- und einem Schubgelenk. Prinzipiell gibt es unendlich viele Möglichkeiten und Anwendungen.

<http://www.3d-meier.de/tut16/Peaucellier/Seite1.html>



7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe - Beispiele



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

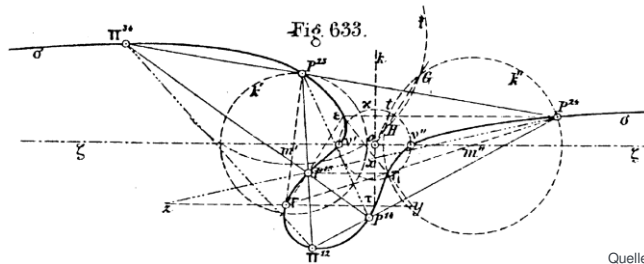
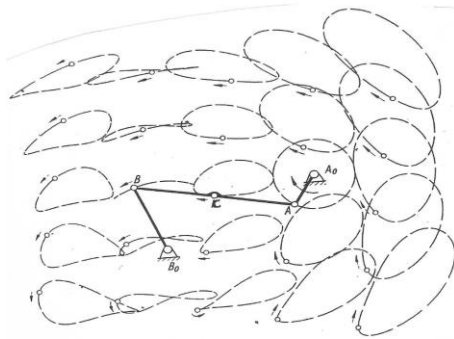
Folie 13

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**



7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe



Quelle:
Schlenzka

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 14

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

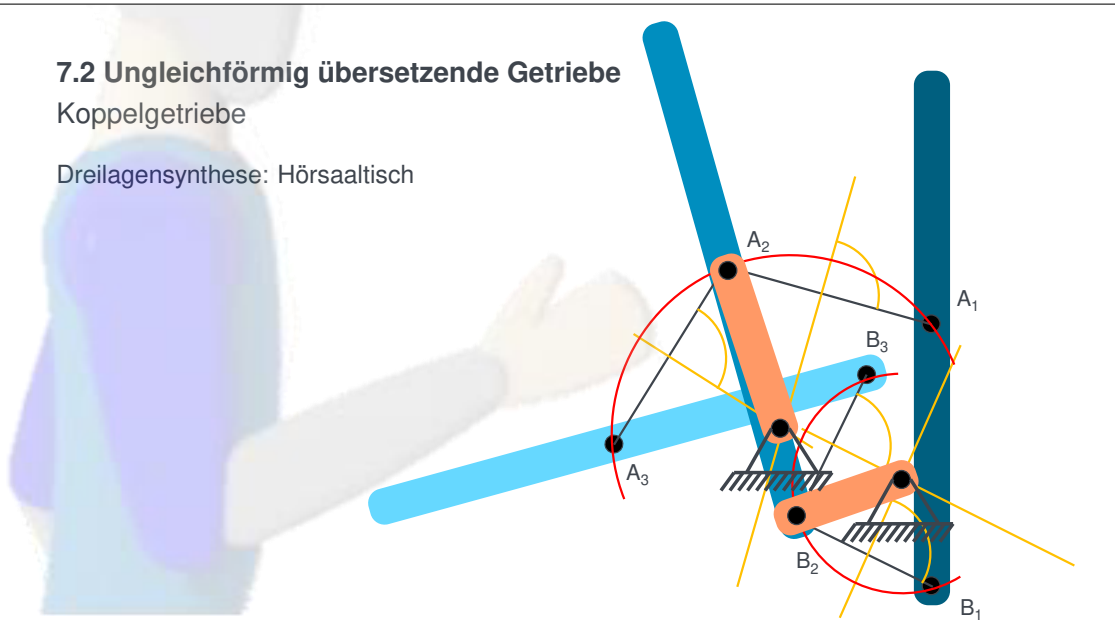
Ungleichförmig übersetzende Getriebe – Koppelgetriebe

Die Synthese eines Koppelgetriebes kann nach der Genauagensynthese nach Burmester (Abbildung rechts) oder auch nach der Dreilagensynthese (Abbildung links) erfolgen.

7.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Koppelgetriebe

Dreilagensynthese: Hörsaaltisch



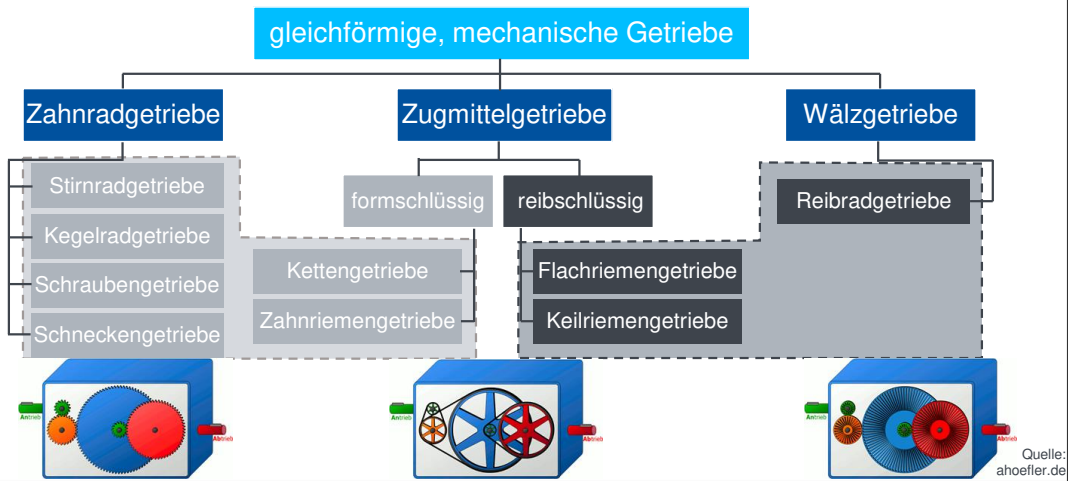
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 15

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Einteilung

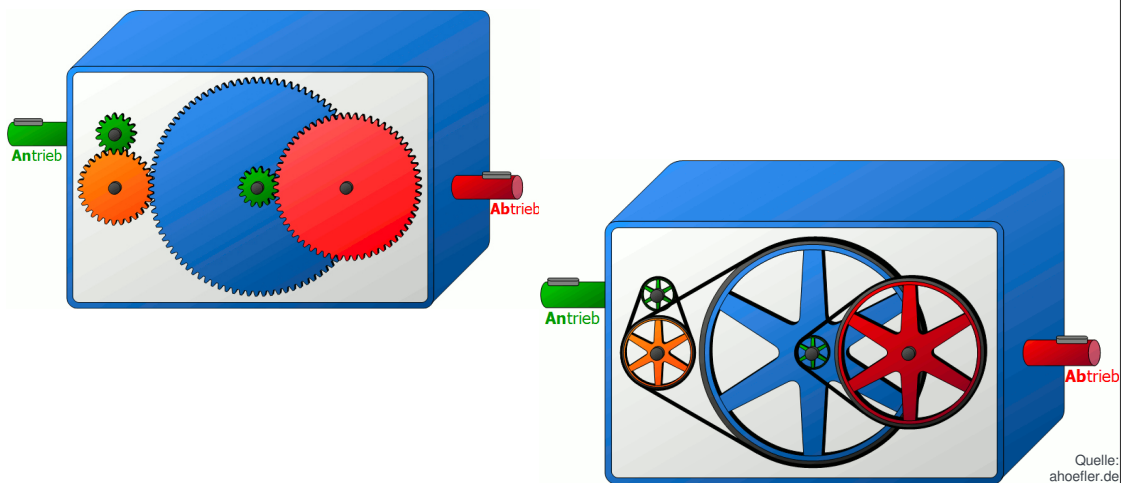


Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 16

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**
Quelle: ahoefler.de

7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 17

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Zahnradgetriebe (Animation links) zählen zu den gleichförmig übersetzenden Getrieben. Dabei findet ein Richtungswechsel zwischen zwei Zahnrädern statt. Ebenso gehören Zugmittelgetriebe (Animation rechts) zu dieser Kategorie. Im Gegensatz zu den Zahnradgetrieben findet hier jedoch kein Richtungswechsel zwischen zwei Rädern statt.



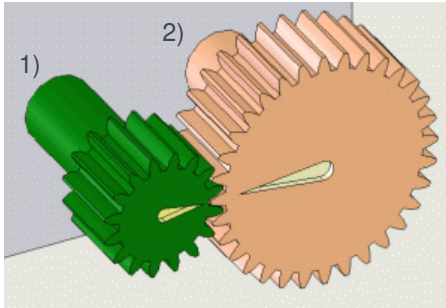
<https://www.tec-science.com/de/getriebe-technik/grundlagen/funktionsweise/>



7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Übersetzungsverhältnis

$$i = \frac{\omega_{an}}{\omega_{ab}} = \frac{n_{an}}{n_{ab}} = \frac{d_{ab}}{d_{an}} = \frac{z_{ab}}{z_{an}} = \frac{M_{ab}}{M_{an}}$$



Übersetzung „ins Schnelle“: $i < 1$

Übersetzung „ins Langsame“: $i > 1$

Quelle:
lyceecolbert-tg.org

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 18

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe – Übersetzungsverhältnis

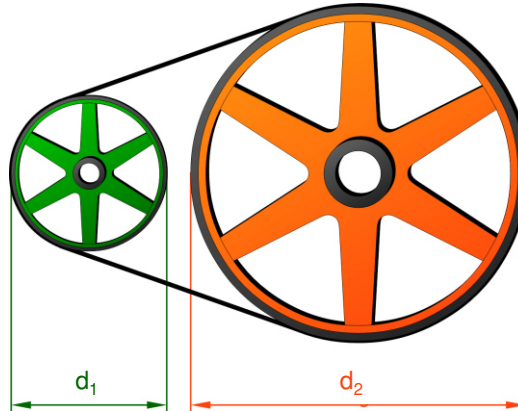
Die Drehzahländerung bzw. Drehmomentänderung eines gleichförmigen, mechanischen Getriebes wird durch das Übersetzungsverhältnis i beschrieben. Dabei ist n_{an} die Drehzahl des Antriebs, n_{ab} die Drehzahl des Abtriebs, M_{an} bzw. M_{ab} äquivalent das Drehmoment des An- bzw. Abtriebs und z_{an} und z_{ab} gibt die Zähnezahl des Antrieb- bzw. Abtrieb-Zahnrad an.

Übersetzungsverhältnis des abgebildeten Getriebes

7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Übersetzungsverhältnis

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



Quelle:
ahoefler.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 19

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

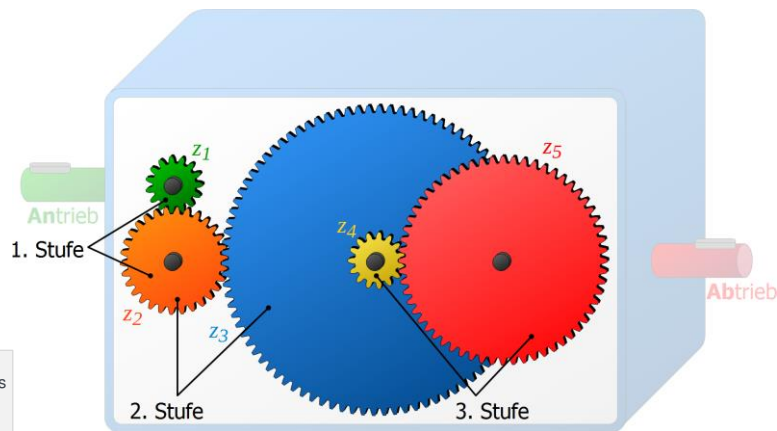
Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe – Übersetzungsverhältnis

Bei Reibrad- und Zugmittelgetrieben ergibt sich das Übersetzungsverhältnis aus dem Durchmesser des Abtrieb-Rads d_{ab} und dem Durchmesser des Antrieb-Rads d_{an} . Auf das Zugmittelgetriebe wird später noch genauer eingegangen.

7.3 Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe

Getriebestufen

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



Quelle:
ahoefer.de

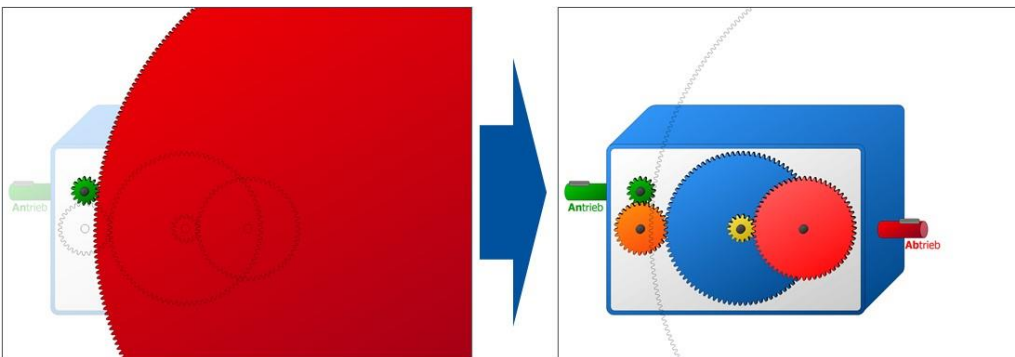
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 20

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe – Getriebestufen

Meist finden sich in Getrieben nicht nur zwei sondern mehrere Räderpaare. Eine Stufe stellt dabei eine Radpaarung zwischen einem treibenden und einem getriebenen Rad dar. Das Gesamtverhältnis des Getriebes wird als i_{ges} bezeichnet.



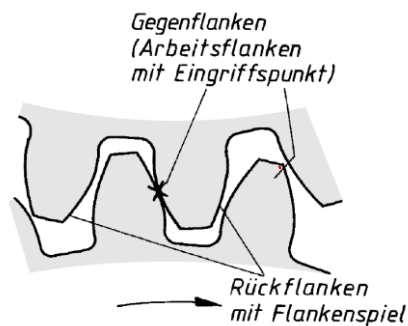
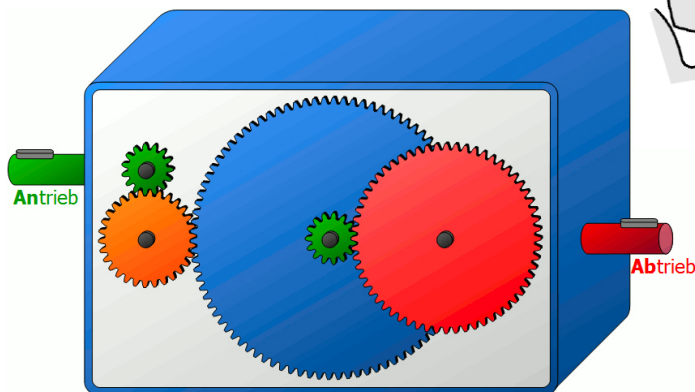
Das gewünschte Übersetzungsverhältnis kann auf mehrere kleine Räder verteilt werden. Beide Getriebe, sowohl das einstufige- (links) als auch das mehrstufige Getriebe (rechts), besitzen dasselbe Übersetzungsverhältnis!

7. Umwandlung von Bewegungsformen

Kontrollfragen

1. Zu welcher Getriebeart zählt die Nockenwelle?
2. Was charakterisiert ein Koppelgetriebe? Nennen Sie Beispiele.
3. Nennen Sie zwei Beispiele für gleichförmig übersetzende mechanische Getriebe und deren jeweiliges Übersetzungsverhältnis.

7.4 Zahnradgetriebe


 Quelle:
ahoefler.de, Matek

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 22

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Zahnradgetriebe

Zahnradgetriebe bestehen aus einem oder mehreren Zahnradpaaren. 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.

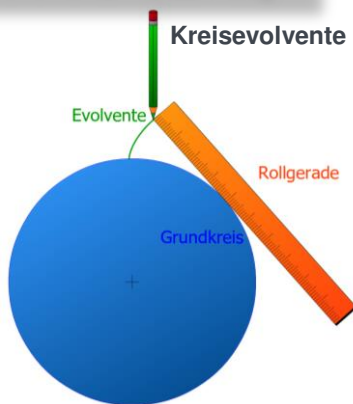
Vorteile	Nachteile
Schlupffreie Leistungsübertragung → konstante Übersetzung	Starre Kraftübertragung
Änderung der Drehrichtung möglich	Unerwünschte Schwingungen bei hohen Drehzahlen
Kompakte Bauweise	Schmierung notwendig
Hoher Wirkungsgrad	Geräuschentwicklung


<https://www.tec-science.com/de/getriebe-technik/grundlagen/>

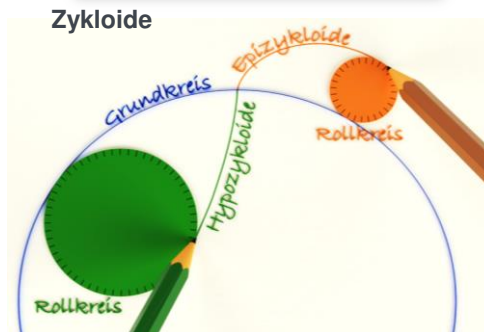
7.4 Zahnradgetriebe

Flankenprofile

Evolventenverzahnung



Zykloidenverzahnung



Quellen:
ahoetler.de, tec-science.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 23

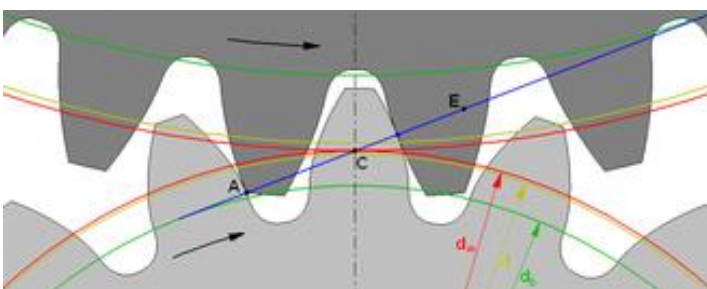
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

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, die Evolventenverzahnung und die Zykloidenverzahnung. Zur Konstruktion einer Kreisevolvente (Abbildung links) wird eine Rollgerade auf einem Grundkreis abgerollt. Wird ein Rollkreis wiederum auf einem Grundkreis abgerollt erhält man eine Zykloide.

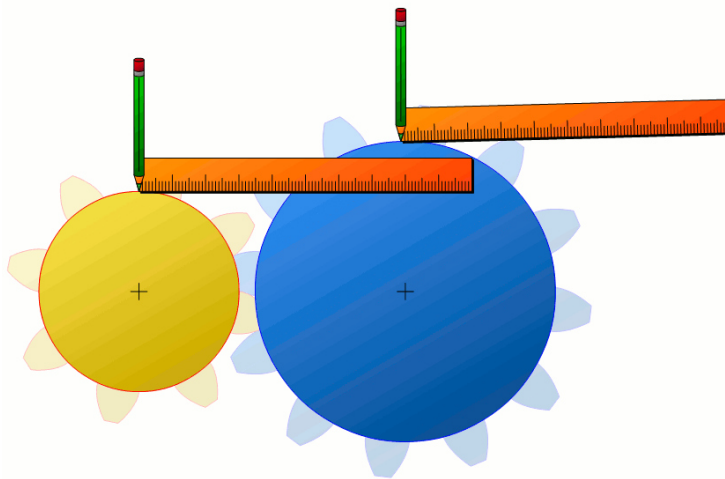
Verzahnungsgesetz

Das Verzahnungsgesetz befasst sich mit der Zahnform ineinandergreifender Zahnräder. Dabei soll eine möglichst hohe Wirkung erzielt werden. Ein Aufeinandergleiten der Zähne bewirkt Abrieb und eine Wärmeentwicklung und soll damit möglichst unterbunden werden. Stattdessen wird eine reine Abrollbewegung an den Zahnflanken angestrebt. Dafür muss nach dem Verzahnungsgesetz die Normale der beiden Berührungsflächen stets durch den Wälzpunkt C gehen. Dann kann eine Winkelgeschwindigkeit mit gleichförmiger Übersetzung von einer auf die andere Welle übertragen werden.



7.4 Zahnradgetriebe

Evolvertenverzahnung



Quelle:
ahoefer.de (2020)

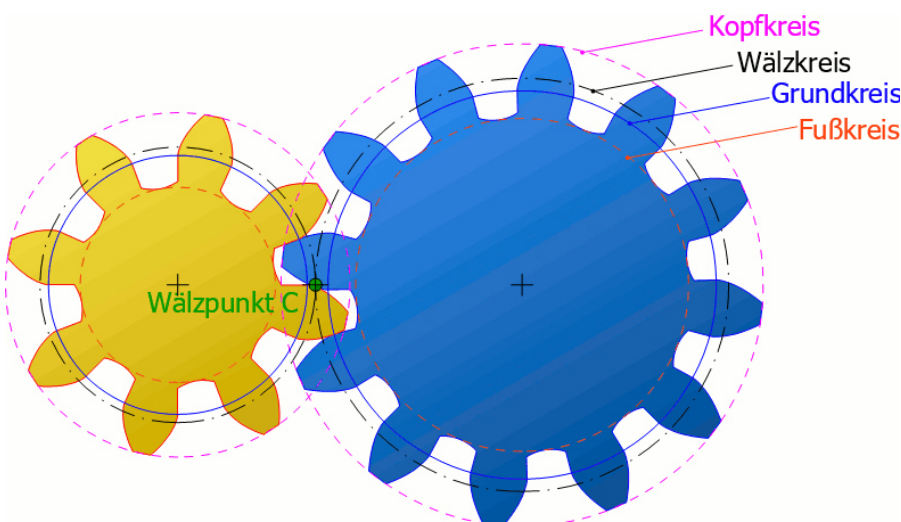
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 24

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

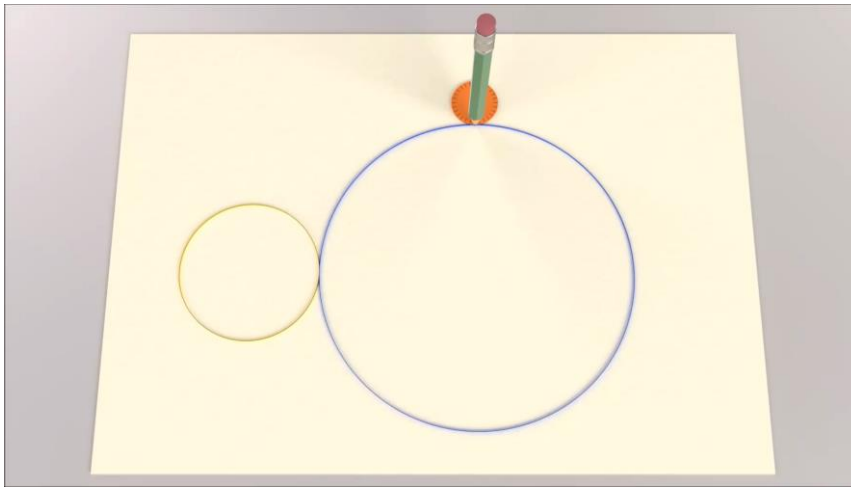
Evolvertenverzahnung

Die Evolvertenverzahnung ist relativ einfach und bietet daher eine kostengünstige Herstellung. Zudem ist diese Art der Verzahnung relativ tolerant gegenüber kleinen Achsabstandsfehlern. Unter anderem deswegen, ist die Evolvertenverzahnung das am häufigsten verwendete Flankenprofil. Damit die Zähne beim Eingriff nicht an den Grundkreis des anderen Zahnrads stoßen, wird der Zahngrund ausgerundet. Bei der Evolvertenverzahnung wird zwischen Kopfkreis, Wälzkreis, Grundkreis und Fußkreis unterschieden. Im Wälzpunkt C tritt kein Gleiten sondern reines Wälzen auf → Verzahnungsgesetz erfüllt.



7.4 Zahnradgetriebe

Zykloidenverzahnung



Quelle:
tec-science.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 25

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Zykloidenverzahnung

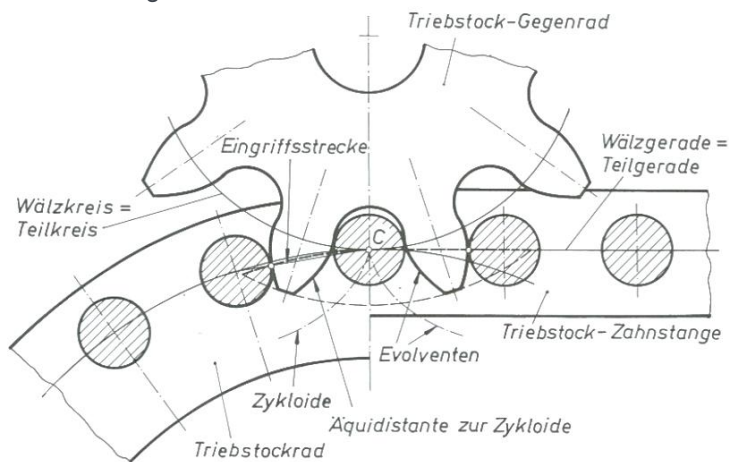
Die Zykloidenverzahnung weist geringe Reibungsverluste auf. Zudem sind auch kleine Zähnezahlen (mindestens drei Zähne) möglich. Jedoch ist sie aufwändiger und teurer in der Herstellung. Darüber hinaus ist die Zykloidenverzahnung empfindlich gegenüber einem ungenau eingestellten Achsabstand und wird daher nur in speziellen Fällen, wie z.B. in der Feinwerktechnik, verwendet.

<https://www.tec-science.com/de/getriebe-technik/zykloidenverzahnung/geometrie-von-zykloiden-zahnraeder/>



7.4 Zahnradgetriebe

Triebstockverzahnung



Quelle:
ethz.ch (IWF, Dimensionierung II)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 26

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

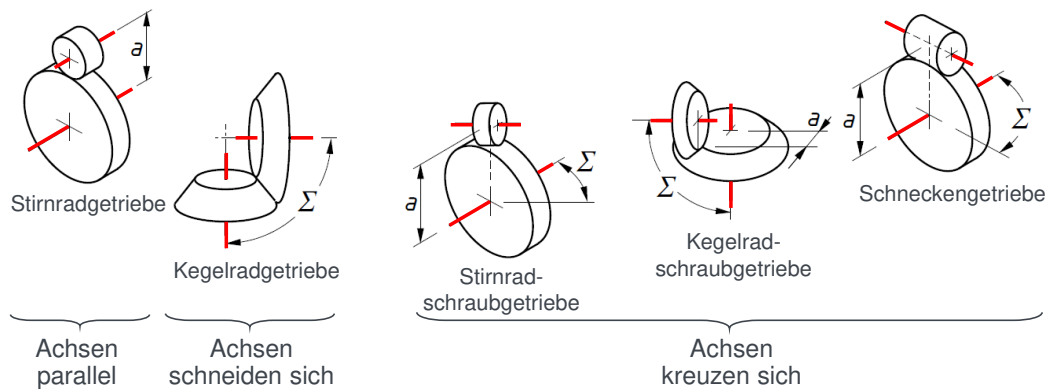
Triebstockverzahnung

Die Triebstockverzahnung ist ein Spezialfall, der bei einer Punktverzahnung auftritt. Dieser Punkt wird durch einen Triebstock (Bolzen) erweitert. Die Triebstockverzahnung besitzt ein schlechtes Abnutzungsverhalten. Sie wird nur bei großen Übersetzungen eingesetzt. Das Triebstockrad weist eine Zykloidenverzahnung auf, die Triebstock-Zahnstange eine Evolventenverzahnung.



7.4 Zahnradgetriebe

Bauarten


 Quelle:
Matek

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 27

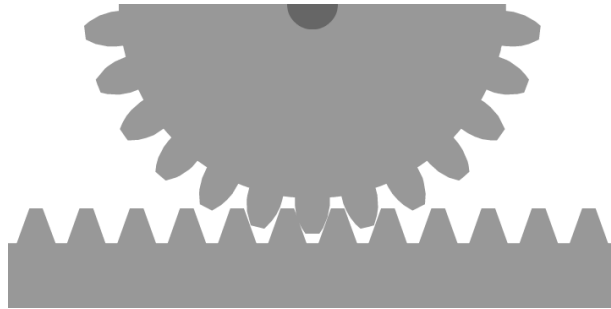
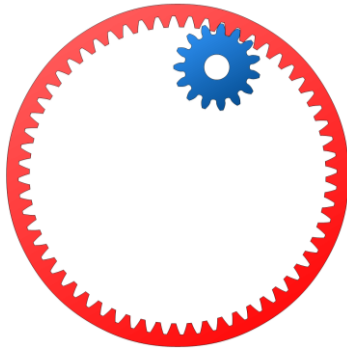
 Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Zahnradgetriebe – Bauarten

Zahnradgetriebe bestehen aus einem oder mehreren Zahnradpaaren. Sie können in verschiedene Getriebebauarten eingeteilt werden. Dazu gehören Stirnrad-, Kegelrad-, Stirnrad-schraub-, Kegelrad-schraub- und Schneckengetriebe. Bei Stirnradgetrieben sind die Achsen der Zahnräder parallel zueinander, wohingegen sie sich bei Kegelradgetrieben schneiden. Kreuzende Achsen weisen die Stirnrad-schraub-, Kegelrad-schraub- und Schneckengetriebe auf.

7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Sonderfälle



Quelle:
ahoefler.de, gg-antriebstechnik.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 28

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Stirnradgetriebe – Sonderfälle

Innenverzahnung

Die Innenverzahnung (Abbildung links) besitzt eine breitere Kontaktfläche der Zahnflanken, wodurch eine größere Drehmomentübertragung ermöglicht wird. Es ist darüber hinaus ein geringerer Achsenabstand bei gleichem Übersetzungsverhältnis im Vergleich zu einer Außenverzahnung möglich. Jedoch ist die Herstellung relativ aufwändig.

Zahnstange

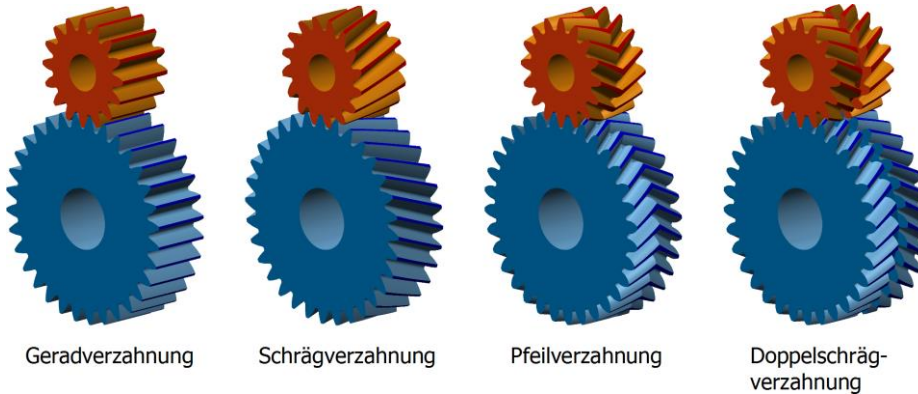
Zahnstangen können als Stirnräder mit unendlich großem Umfang betrachtet werden. Dabei sind sie immer mit einem außenverzahnten Zahnrad gepaart und erzeugen eine lineare Bewegung.

https://www.gg-antriebstechnik.de/fileadmin/redakteure/animation/gg_zahnrad_4.gif



7.4 Zahnradgetriebe

Stirnradgetriebe - Verzahnungsarten



Quelle:
ahoefer.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 29

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Stirnradgetriebe – Verzahnungsarten

Stirnräder lassen sich auch bezüglich ihrer Verzahnungsart unterscheiden.

Geradverzahnung

Zahnräder mit Geradverzahnung können kostengünstig hergestellt werden. Allerdings greifen die Flanken jeweils komplett und gleichzeitig auf der vollen Breite der Zähne ineinander. Die Kraftübertragung setzt abrupt ein bzw. hört abrupt auf. Dies führt zu einer relativ starken Geräuschentwicklung. Zahnräder mit Geradverzahnung sind daher eher für geringe Umfangsgeschwindigkeiten geeignet.

Schrägverzahnung

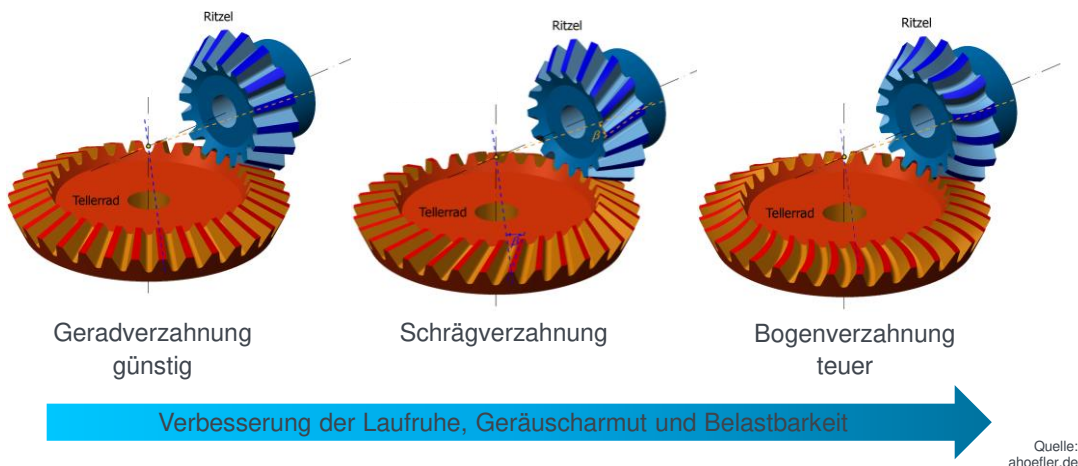
Bei Zahnradern mit Schrägverzahnung steigt und sinkt die Kraftübertragung allmählich. Die Geräuschentwicklung wird reduziert und die Übertragung eines höheren Drehmoments (im Vergleich zu einem geradverzahnten Zahnrad gleicher Abmessung) wird ermöglicht. Allerdings wirken Axialkräfte auf die Getriebewelle und es kommt zu einem höheren Lagerverschleiß.

Pfeilverzahnung und Doppelschrägverzahnung

Pfeilverzahnung und Doppelschrägverzahnung verbinden die Vorteile der Gerad- und Schrägverzahnung. So weisen sie eine höhere Beanspruchbarkeit, eine geringere Geräuschentwicklung, keine Axialkräfte und einen geringeren Verschleiß auf. Allerdings ist die Fertigung aufwändiger und wird daher eher selten genutzt.

7.4 Zahnradgetriebe

Kegelradgetriebe



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 30

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

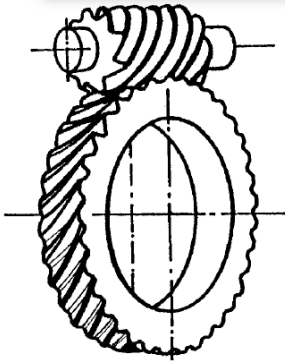
Kegelradgetriebe

Bei Kegelradgetrieben stehen die Achsen nicht parallel sondern in einem Winkel (meist 90°) zueinander. Sie ermöglichen somit die Übertragung einer Drehbewegung und eines Drehmoments mit sich schneidenden Achsen. Bei der Fertigung, beim Einbau und bei der Lagerung ist eine hohe Sorgfalt notwendig, da die Laufruhe und die Lebensdauer hiervon abhängig sind. Auch Kegelräder können verschiedene Verzahnungen aufweisen. Die Bogenverzahnung hat unter anderem eine höhere Einbautoleranz und wird bevorzugt verwendet.

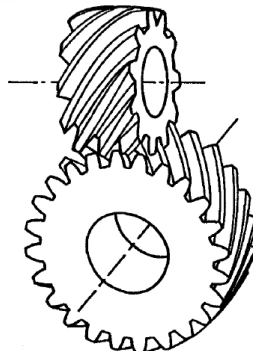
7.4 Zahnradgetriebe

Schraubgetriebe

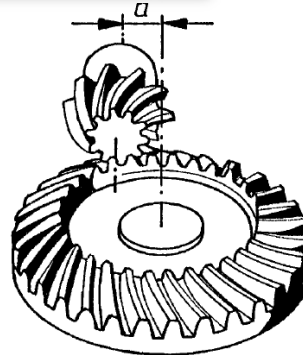
Schneckengetriebe



Schraubradgetriebe



Stirnrad



Kegelrad

Quelle:
ahoefer.de (2020), Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 31

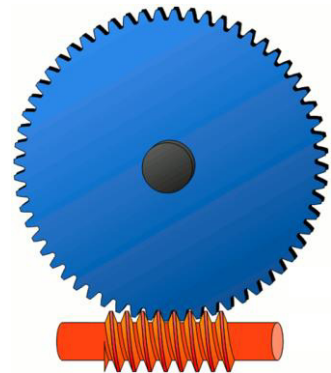
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Schraubgetriebe

Schraubgetriebe besitzen ebenfalls sich kreuzende Achsen (meist 90°). Zu den Schraubgetrieben zählen zum einen die Schraubradgetriebe und zum anderen die Schneckengetriebe. Schraubradgetriebe gibt es in Ausführungen mit Stirn- oder Kegelrädern.

Schneckengetriebe

Schneckengetriebe bestehen immer aus einer Schnecke und einem Schneckenrad. Es findet eine Übertragung von großen Drehmomenten statt, da meist mehrere Zähne im Eingriff sind. Zwischen Schnecke und Schneckenrad kommt es zu einer Linienberührung. Im Vergleich zu anderen Zahnradgetrieben sind sie geräuschärmer und kleiner und leichter (bei gleichem Übersetzungsverhältnis). Nachteile sind unter anderem, dass die Flanken aneinander vorbei gleiten, was zu einem hohen Verschleiß führt, hohe Axialkräfte und dass sie empfindlich gegen Veränderung des Achsabstandes sind.

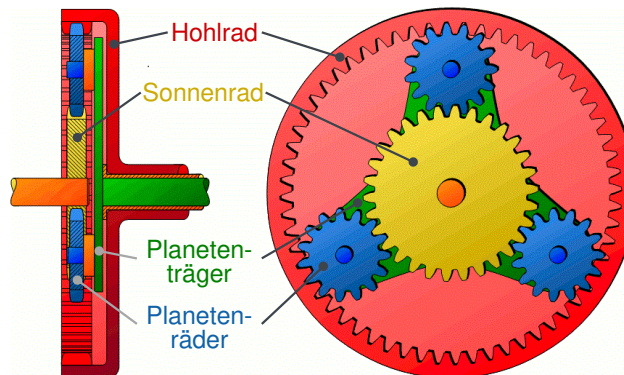


Schraubradgetriebe

Die Schraubräder können axial verschoben werden, ohne dabei den Eingriff zu gefährden (→ einfacher Einbau). Allerdings haben sie einige Nachteile, wie eine geringere Tragfähigkeit, ein höherer Verschleiß und ein wesentlich kleinerer Wirkungsgrad als andere Zahnradgetriebe.

7.4 Zahnradgetriebe

Planetengetriebe



Quelle:
ahoefer.de (2020)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 32

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Planetengetriebe

Bei Planetengetrieben liegen die An- und Abtriebswelle koaxial, das heißt auf einer gemeinsamen Achse. Ein Planetengetriebe besteht aus einem Hohlrad, einem Planetenträger mit Planetenrädern und einem Sonnenrad. Die Antriebs- und Abtriebswelle eines Planetengetriebes kann frei gewählt werden.

Variante 1:

- Antrieb: Sonnenrad
- Abtrieb: Planetenträger

Variante 2:

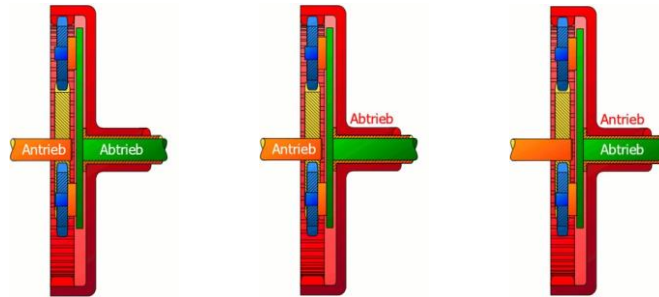
- Antrieb: Sonnenrad
- Abtrieb: Hohlrad

Variante 3:

- Antrieb: Hohlrad
- Abtrieb: Planetenträger

7.4 Zahnradgetriebe

Planetengetriebe



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

Planetengetriebe

Je nachdem an welchen Wellen der An- und Abtrieb erfolgt können verschiedene Übersetzungsverhältnisse realisiert werden. In der Tabelle sind die Übersetzungsverhältnisse der auf vorheriger Folie eingeführten drei Varianten dargestellt. Ein negatives Vorzeichen bedeutet dabei, dass sich der Drehsinn ändert. In Schaltgetrieben kann zwischen verschiedenen Übersetzungsverhältnissen gewechselt werden.

7. Umwandlung von Bewegungsformen

Kontrollfragen

1. Was besagt das Verzahnungsgesetz?
2. Vergleichen Sie die Evolventen- mit der Zykloidenverzahnung. Gehen Sie dabei auch auf Vor- und Nachteile ein.
3. Welche Bauarten unterscheidet man bei Zahnradgetrieben? Wie verhalten sich jeweils die Achsen der Zahnräder?
4. Welche Varianten gibt es bei Planetengetrieben bezüglich der Wahl der Antriebs- und Abtriebswelle?

7.5 Zugmittelgetriebe


 Quelle:
ahoefler.de

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 35

 Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Zugmittelgetriebe

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

Riemengetriebe

Vorteile	Nachteile
Elastische Kraftübertragung	Größere Wellenbelastung
Geräuscharmer stoß- und schwingungsdämpfender Lauf	Umwelteinflüsse (Staub, Öl, Feuchtigkeit,...) haben Einfluss auf Reibungsverhalten
Große Übersetzung in einer Stufe realisierbar	Schlupf lässt keine konstante Übersetzung zu
Geringer Wartungsaufwand	
Größere Wellenabstände überbrückbar	
Winkelversatz der Wellen möglich	

Kettengetriebe

Vorteile	Nachteile
Schlupffreie Leistungsübertragung → konstante Übersetzung	Unelastische, starre Kraftübertragung
Unempfindlich gegen Umwelteinflüsse (Schmutz, Feuchtigkeit, Temperatur,...)	Schwingen durch ungleichförmige Kettengeschwindigkeit
Geringere Lagerbelastung als Riemengetriebe	Kein Kreuzen der Wellen möglich
	Teurer als vergleichbare Riemengetriebe


<https://www.tec-science.com/de/getriebe-technik/grundlagen/funktionsweise/>

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe



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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 36

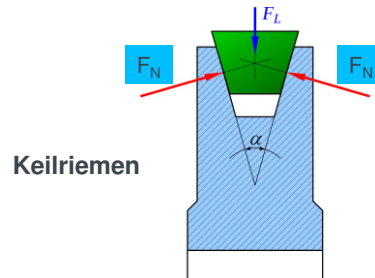
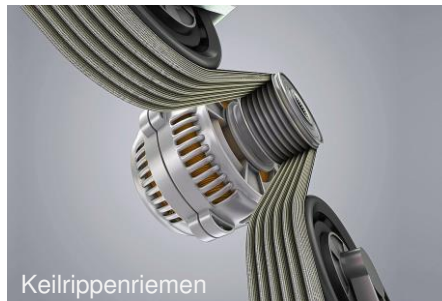
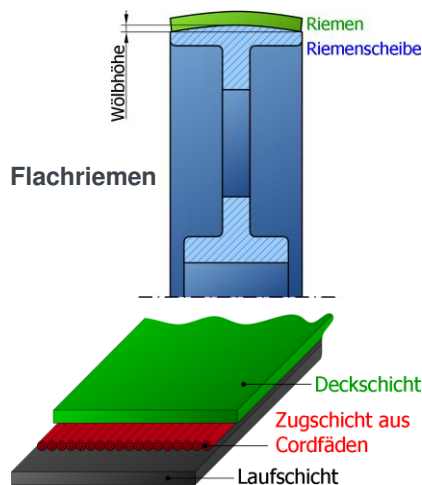
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Riemengetriebe

Bei Riemengetrieben erfolgt die Kraftübertragung entweder nur reibschlüssig oder mit zusätzlichem Formschluss. Beispiele, bei denen eine reibschlüssige Kraftübertragung stattfindet sind Flach- und Keilriemen, bei Zahnriemen (auch Synchronriemen genannt) kommt ein zusätzlicher Formschluss zum Einsatz.

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe



Quelle:
autobild.de, ahoefler.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 37

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Flachriemen

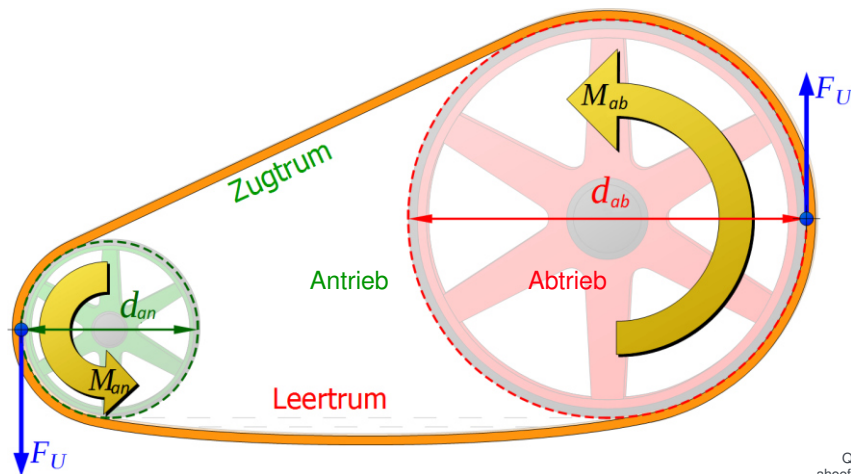
Flachriemen sind die einfachste Riemenart. Das Material der Laufschiicht muss hohe Reibfähigkeit und Verschleißfestigkeit besitzen. Die Laufschiicht ist die Schicht, mit der der Riemen über die Scheibe läuft. Die Lauffläche ist leicht gewölbt, damit der Riemen nicht von der Riemenscheibe springt.

Keilriemen

Keilriemen besitzen einen trapezförmigen Querschnitt. Bei Belastung zieht sich der Keilriemen in die trapezförmige Rille der Scheibe und erzeugt damit eine wesentlich höhere Anpresskraft als ein Flachriemen. Es sind verschiedene Ausführungsarten möglich. Dazu zählen unter anderem Schmalkeilriemen, Doppelkeilriemen oder Keilrippenriemen.

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Kräfte



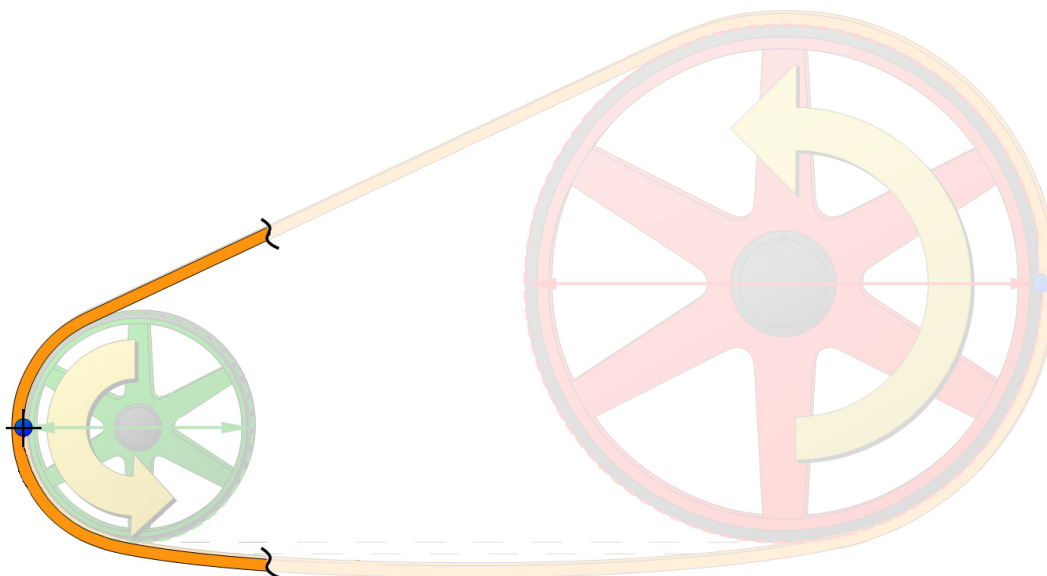
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 38

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

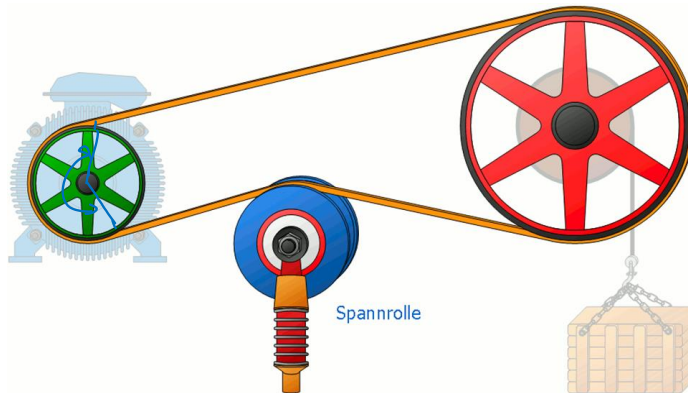
Riemengetriebe – Kräfte

Die freien Riemenabschnitte werden als Trume bezeichnet. Man unterscheidet dabei das ziehende „Zugtrum“ und das gezogene „Leertrum“. Die zwischen den Scheiben übertragene Kraft ist die Umfangskraft F_U . Die Übertragung von F_U zwischen dem Riemen und der Scheibe erfolgt durch Reibung. Durch F_U stellen sich an den Trumen unterschiedliche Kräfte ein. Die sog. Trumkräfte werden durch die Vorspannung der Riemen beeinflusst.



7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe – Vorspannmöglichkeiten



Quelle:
ahoefler.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 39

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Riemengetriebe – Vorspannmöglichkeiten

Bei Riemengetrieben ist eine Vorspannung des Riemens nötig, damit die Kraftübertragung erfolgen kann. Damit der Riemen, z.B. bei Wartungsarbeiten, im entspannten Zustand entnommen werden kann, ist eine einstellbare Vorspannung wichtig. Auf der Folie ist die Spannrolle als Beispiel aufgeführt. Bei der Spannrolle wird die Rolle über eine Gewichts- oder Federbelastung auf das Leertrum gedrückt.

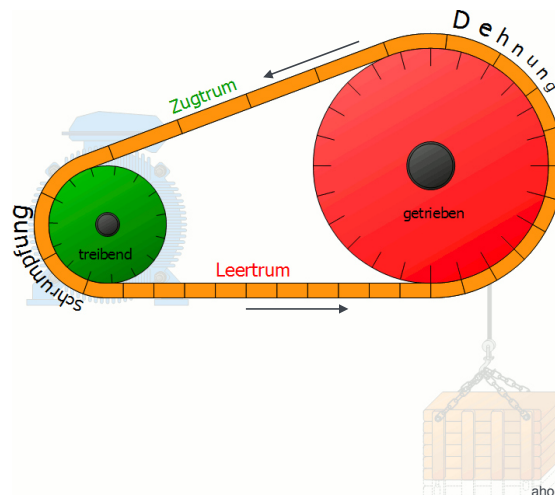
7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Schlupf

Schlupf

Gleitschlupf

Dehnschlupf



Quelle:
ahoefer.de (2020)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 40

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Riemengetriebe – Schlupf

Der Begriff Schlupf beschreibt eine Geschwindigkeits- bzw. Drehzahldifferenz zweier Maschinenelemente bei der Bewegungsübertragung, welche zu einem nicht konstanten Übersetzungsverhältnis führt.

Gleitschlupf

Wird die Umfangskraft größer als die Reibkraft gleitet der Riemen auf der Scheibe. Wie bereits zuvor erwähnt, folgt daraus ein hoher Verschleiß, der nur kurzzeitig geduldet werden darf. Dies kann durch konstruktive Maßnahmen vermieden werden (höhere Vorspannkraft, Vergrößerter Umschlingungswinkel, Vergrößerung der Reibungszahl).

Dehnschlupf

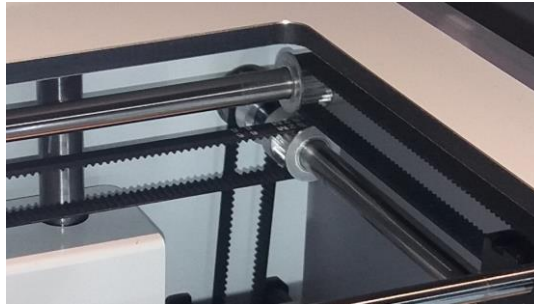
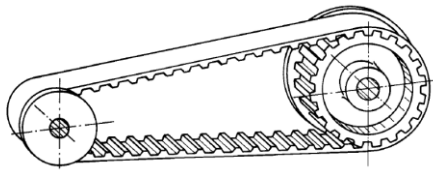
Die unterschiedlichen Trumkräfte rufen unterschiedliche Dehnungen des Riemens hervor (Abbildung rechts). An der getriebenen Scheibe wird der Riemen aufgedehnt. An der treibende Scheibe zieht sich der Riemen zusammen. Der Dehnungsausgleich verursacht eine relative Bewegung des Riemens auf der Scheibe.



<https://www.ahoefer.de/maschinenbau/getriebetechnik/getriebearten/riementrieb/144-umschlingung.html>

7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Zahnriemen



Zahnriemen in einem 3D-Drucker

Quelle:
ahoefler.de, Matek

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 41

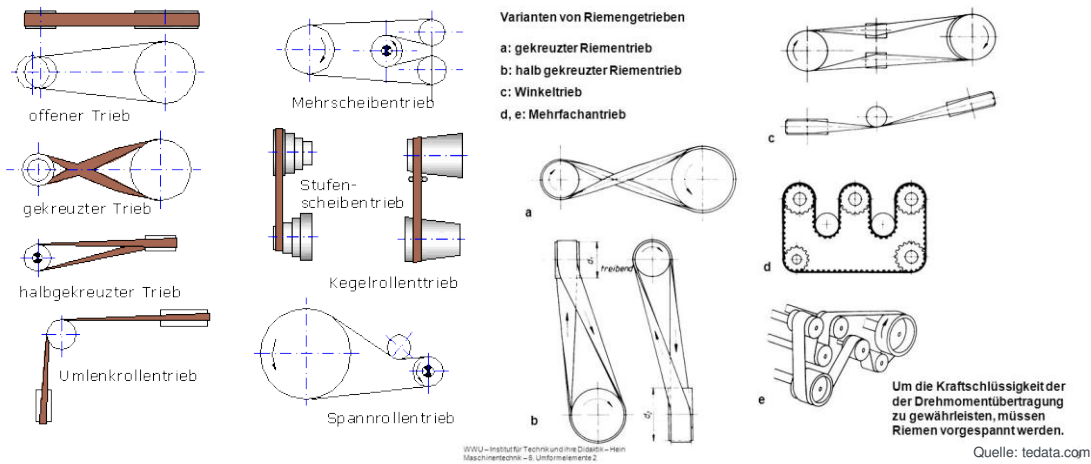
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Riemengetriebe – Zahnriemen

Um Schlupf zu vermeiden, können Zahnriemen verwendet werden. Durch die formschlüssige Kraftübertragung der Zahnriemen laufen die Scheiben und der Riemen immer synchron. Deshalb wird oft auch von einem Synchronriemen gesprochen. Nachteile sind jedoch die hohe Fertigungskosten und die hohe Empfindlichkeit.

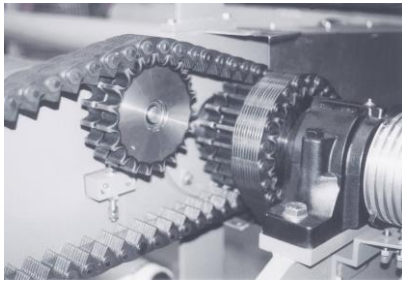
7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.1 Riemengetriebe - Ausführungen



7.5 Zugmittelgetriebe

7.5.2 Kettengertriebe



Quelle:
[irayrolamentos.com.br, zahnkette.com](http://irayrolamentos.com.br/zahnkette.com)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 43

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Kettengertriebe

Kettengertriebe werden aufgrund ihrer Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit häufig im Maschinenbau eingesetzt. Sonderformen von Kettengertrieben sind beispielsweise Zahnketten, bei denen die Drehmoment- und Bewegungsübertragung über Zahnlaschen erfolgt.

7. Umwandlung von Bewegungsformen

Kontrollfragen

1. Setzen Sie Riemen- und Kettengetriebe in den Vergleich.
2. Was wird bei Riemengetrieben unter Schlupf verstanden? Welche Arten gibt es und wo treten diese auf?
3. Erklären Sie die Wirkweise eines Keilriemens anhand einer Skizze. Tragen Sie dazu auch die wirkenden Kräfte in die Skizze ein.

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



Universität Stuttgart



Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

8. Produktentwicklung

WS 2020/21

Prof. Dr.
Peter P. Pott

Einführung

In diesem Kapitel wird der in Kapitel 1 kurz vorgestellte Konstruktionsprozess detailliert beschrieben. In den einzelnen Phasen des Konstruktionsprozesses kann eine Vielzahl von Methoden zweckmäßig eingesetzt werden, weshalb oft von "Methodischem Konstruieren" gesprochen wird. Die Relevanz der Produktentwicklung hinsichtlich wirtschaftlichen Aspekten zeigt sich beim Betrachten der Kostenberechnung in verschiedenen Unternehmensbereichen. Denn 70% der Kostenfestlegung erfolgt bereits in der Entwicklung bzw. Konstruktion an den Herstellkosten eines Produkts! Zum Vergleich: 40% Kostenentstehung erfolgen in den Bereichen Einkauf und Materialwirtschaft.

8. Produktentwicklung

Inhalt

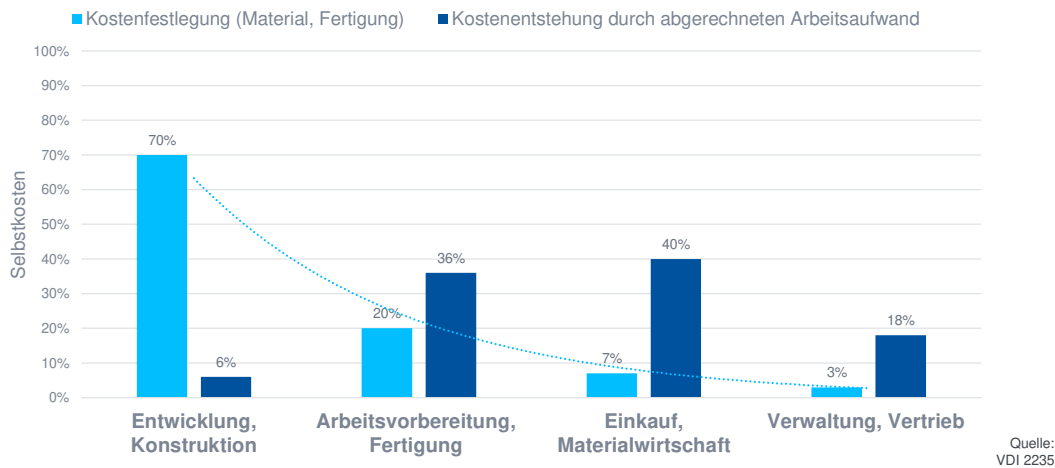
8.1 Einführung

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.3 Literatur

8.1 Einführung

Kostenfestlegung und Kostenberechnung in verschiedenen Unternehmensbereichen



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 3

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Kostenfestlegung

Die Selbstkosten eines Produkts werden durch Aufwände bestimmt: Hierzu zählen

- Material / Rohstoffe und Materialwirtschaft
- Fertigung Produktionsmittel
- Arbeitsvorbereitung
- Verwaltung, Vertrieb, Marketing
- Entwicklung und Konstruktion (Hardware, Elektronik, Software etc.)

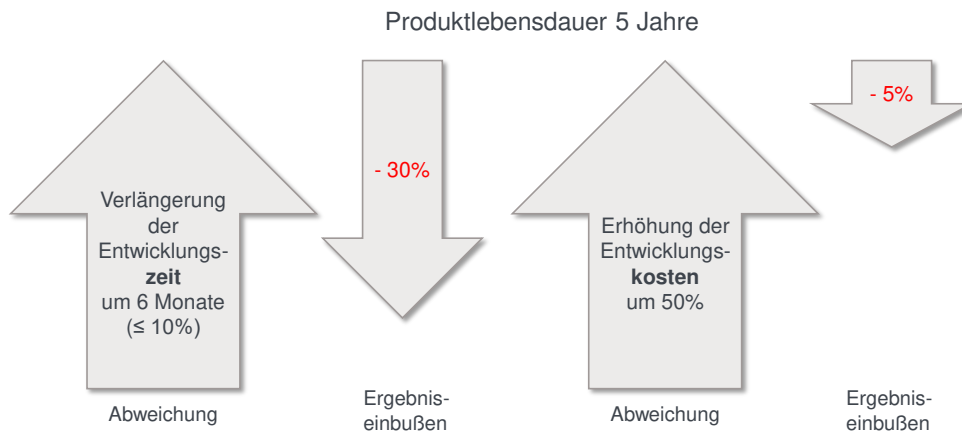
In jedem Arbeitsschritt beginnend aber der Entwicklung, über die Arbeitsvorbereitung („industrial engineering“), den Einkauf bis hin zum Vertrieb entstehen darüber hinaus Kosten für Personal (Arbeitsaufwand).

Die Grafik oben zeigt nun, dass im Schritt „Entwicklung, Konstruktion“ etwa 70 % der Selbstkosten des späteren Produkts definiert werden (z.B. Materialwahl, Herstellungsaufwand, Größe/Gewicht etc.), aber nur etwa 6 % der Personalkosten für das Produkt entstehen. Umgekehrt hat der Einkauf (Schritt 3) nur zu 7 % Einfluss auf die Selbstkosten des Produkts, trägt aber zu 40 % zu den Personalkosten bei.

Es ist daher sinnvoll, ganz besonders bei der Entwicklung eines Produkts sorgfältig und mit Blick auf die Kosten zu arbeiten, da die weiteren Schritte bis zum fertigen Produkt nur noch sehr begrenzt Einfluss auf die Selbstkosten haben. Jeder Euro, der in die Entwicklung investiert wird kann später Kosten einsparen!

8.1 Einführung

Wirkung von Entwicklungszeiten auf das Ergebnis



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 4

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Zusammenhang von Entwicklungszeit und Betriebsergebnis

Wie auf der Folie zuvor beschrieben: Jeder Euro in der Entwicklung ist gut angelegt.

Wird eine Produktlebensdauer von fünf Jahren zugrunde gelegt, führt eine Verlängerung der Entwicklungszeit um sechs Monate (=10 %) zu 30 % Ergebniseinbußen (Reduktion der Zeit, die zum Verkaufen bleibt, weniger Vorsprung vor Mitbewerbern am Markt etc.). Wird die Entwicklungszeit eingehalten (in dem z.B. mehr Personal eingesetzt wird oder externe Dienstleister beauftragt werden) und dafür z.B. 50 % mehr Geld ausgegeben, reduziert dies das Gesamtergebnis um nur 5 %.

Es gilt also weiterhin: Jeder Euro in der Entwicklung ist gut angelegt.

8.1 Einführung

Magisches Dreieck: Qualität – Kosten – Zeit



Quelle:
<https://www.youtube.com/watch?v=dJa1tyC2pa8>

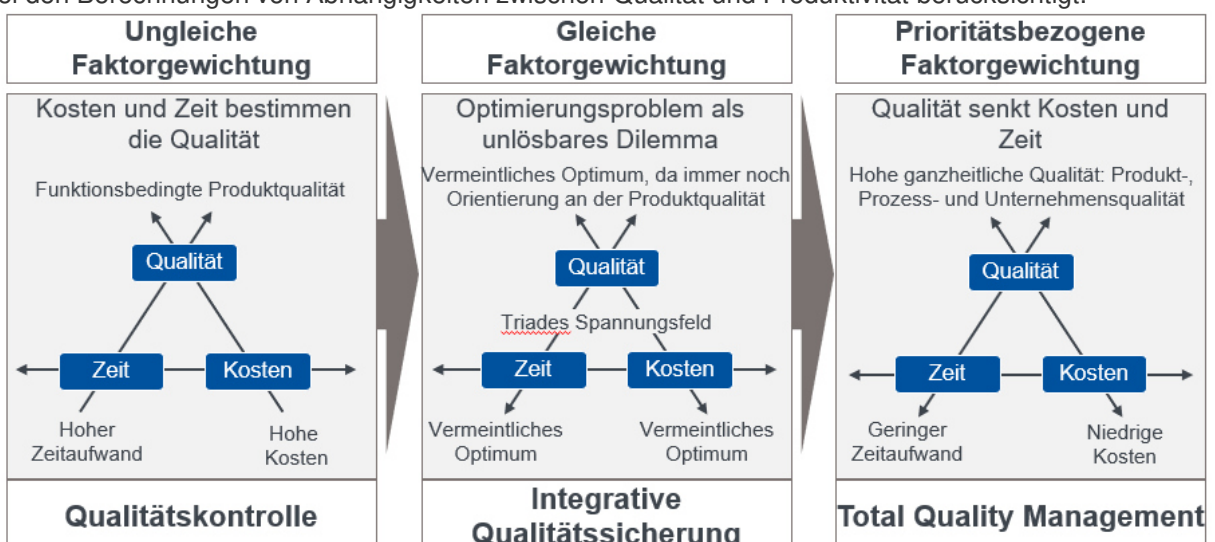
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 5

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Magisches Dreieck

Die Konzentration auf die beiden Faktoren Qualität und Kosten wurde und wird immer wieder im Zusammenhang mit dem Faktor Zeit betrachtet. Die Optimierung dieses Spannungsfelds ist durch mehrere Entwicklungsstufen gekennzeichnet. Nachdem sich die Produktqualität zunächst aus der Optimierung der Faktoren Kosten und Zeit ergeben hatte, ist der Stand der aktuellen Diskussion nun eine gleichberechtigte Berücksichtigung der Faktoren Qualität, Kosten und Zeit. Auch diese Sichtweise wird jedoch zunehmend kritisch beurteilt. Im Rahmen des Total Quality Managements soll nun durch die Konzentration auf den Faktor Qualität eine gleichzeitige Optimierung der Faktoren Kosten und Zeit bewirkt werden. Obwohl die Orientierung auf den Mitarbeiter wesentlicher Bestandteil von Konzepten für ein »Umfassendes Qualitätsmanagement« ist, werden entsprechenden Bestandteilen bei der Konzentration auf die drei Faktoren Qualität, Kosten und Zeit nur unzureichend Rechnung getragen. Die Einbeziehung von schwer oder überhaupt nicht messbaren Faktoren wird aber trotz der Problematik ihrer Erfassung zunehmend wichtiger beurteilt. Schon in den siebziger Jahren wurde im Rahmen der PIMS-Studien (Profit Impact of Market Strategy) die Bedeutung solcher schwer messbaren Faktoren unterstrichen und teilweise bei den Berechnungen von Abhängigkeiten zwischen Qualität und Produktivität berücksichtigt.



8.1 Einführung

Wissensbereiche mit Einfluss auf Entwicklung und Konstruktion


 Quelle:
Pahl/Beitz

 Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 6

 Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Wissensbereiche mit Einfluss auf Entwicklung und Konstruktion

Für die Entwicklung und Konstruktion (also die Umsetzung aller erdachten Bauteile, Baugruppen und Systeme in eine produktgerechte Form (inkl. Elektronik)) bedarf es verschiedener Ressourcen und Erfahrungen. Dies führt in einem Unternehmen immer zur interdisziplinären Zusammenarbeit verschiedener Abteilungen oder Mitarbeitern aus unterschiedlichen Abteilungen.

Interdisziplinäre Projektteams besteht dabei aus einem Kernteam (Konstrukteur, Einkäufer, AV-Mitarbeiter, Produktmanager, etc.) und einem erweiterten Team (Fertigungsplan, Montage, Vertrieb, etc.).

8.1 Einführung

Notwendige Kompetenzen der Projektleitung

Quelle:
Pahl/BeitzProf. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 7

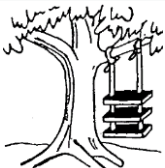
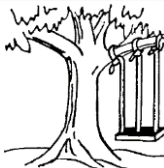
Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Notwendige Kompetenzen der Projektleitung

Ein interdisziplinäres Projektteam hat eine Projektleiterin bzw. einen Projektleiter (bei kleinen Teams). Bei größeren Teams, wird dies auch als Projektmanagement bezeichnet. Die Teamgröße ist abhängig vom vorliegenden Projektumfang, d.h. abhängig davon ob eine Neukonstruktion, Variantenkonstruktion oder Anpassungskonstruktion erforderlich ist. Sowohl Projektleiter*innen als auch Projektmanager*innen müssen ein großes Erfahrungspotential besitzen und die Firma kennen, aber nicht unbedingt ein*e Konstrukteur*in oder Entwickler*in sein.

8.1 Einführung

Folgen einer mangelhaften Kommunikation bei der Entwicklung

		
Wie es das Marketing verlangt	Wie es der Verkauf bestellt	Wie es die Entwicklung konstruiert
		
Wie es die Fertigung herstellt	Wie es der Kundendienst installiert	Wie es der Kunde wollte

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

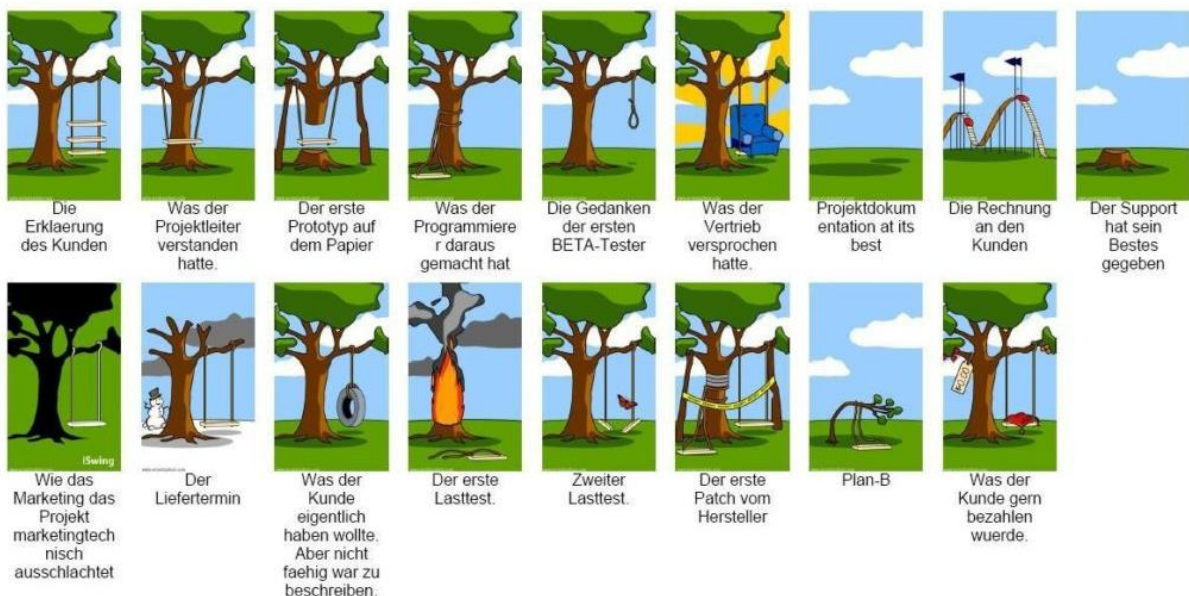
Folie 8

Institut für Medizingerätetechnik **IMT**

Diskrepanz zwischen dem Wunsch und der DER Wirklichkeit

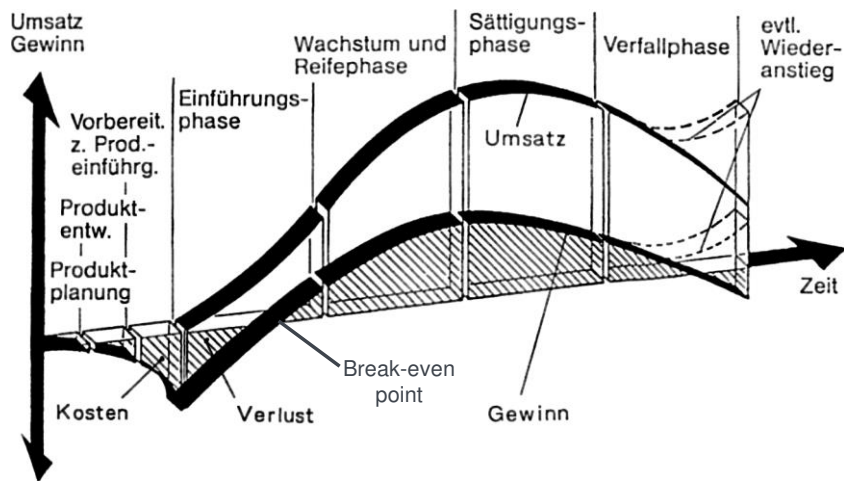
Arbeiten die verschiedenen Abteilungen eines Projektteams nicht koordiniert zusammen, gibt es in der Realität mangelhafte Entwicklungen wie oben verdeutlicht. Demzufolge ist das Projekt- und Spezifikationsmanagement wichtig für einen erfolgreichen Entwicklungsprozess.

Es geht noch weiter ☺ ...



8.1 Einführung

Lebenszyklus eines Produkts



Quelle:
Pahl/Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 9

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

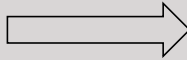
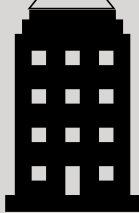
Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus verdeutlicht den prognostizierten Umsatz- und Gewinnverlauf des Produkts. Ein Wiederanstieg des Umsatzes ist evtl. durch Facelift-Maßnahmen bzw. Redesign bedingt. Die Dauer eines Zyklus unterscheidet sich häufig sehr stark. Longlife-Produkte weisen einen sehr langen Lebenszyklus auf, während „Mode-Produkte“ durch einen kurzen Lebenszyklus gekennzeichnet sind. Die Tendenz zeigt eine Verkürzung des Produktlebenszyklus bei einigen Produkten (Unterhaltungselektronik, Computer-Hardware, Kommunikationsgeräte etc.).

8.1 Einführung

Leitbeispiel Rollstuhl

Hyperglobalmed
GmbH



Konstruktion einer preiswerten, alltags- und reisetauglichen Mobilitätshilfe

Quelle:
pixabay.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 10

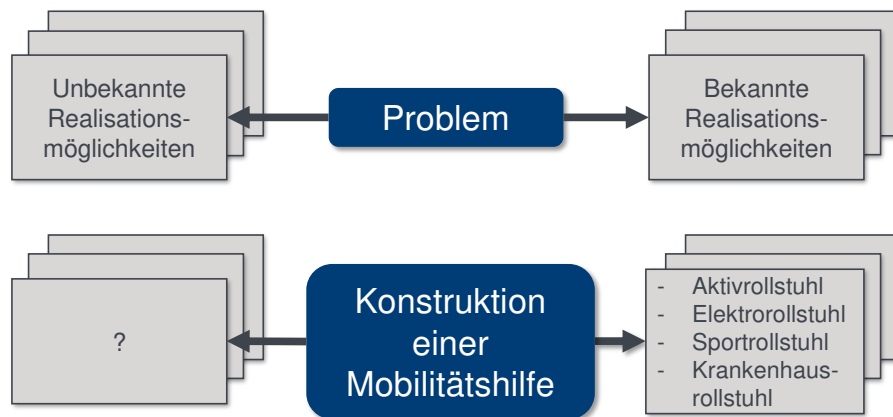
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Leitbeispiel Rollstuhl

Die in diesem Kapitel behandelten theoretischen Grundlagen werden anhand des Leitbeispiels Rollstuhl nähergebracht. Dazu wird zunächst eine lösungsneutrale Aufgabenstellung definiert.

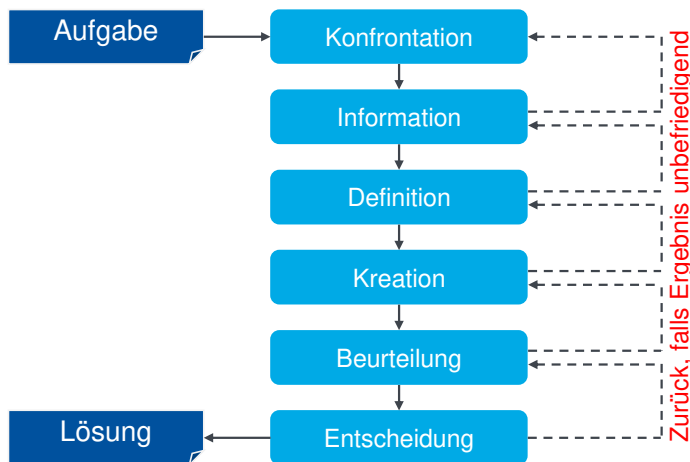
8.1 Einführung

Allgemeiner Lösungsprozess: Konfrontation



8.1 Einführung

Allgemeiner Lösungsprozess



Allgemeiner Lösungsprozess

Während des gesamten Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses wird ein allgemeiner Lösungsprozess durchlaufen. Dabei steht zu Beginn jeder Aufgabenstellung eine Konfrontation mit einem Problem, dessen Lösungsmöglichkeiten noch nicht bekannt sind. Der erste Schritt zur Realisierung der Aufgabenstellung stellt die Informationsbeschaffung dar. Informationen über die Aufgabenstellung an sich, allgemeine Anforderungen oder bereits bekannte Lösungen reduzieren das Ausmaß der Konfrontation. Liegen alle relevanten Informationen vor, wird das Problem definiert. Die Definition beschreibt das Problem auf einer abstrakten Ebene, beschränkt sich demnach auf die wesentlichen Probleme der Aufgabenstellung, und dient damit als Grundlage für die Zielsetzung. Ist das zu lösende Problem klar definiert, werden in der Phase der Kreation verschiedene Lösungsvarianten methodisch entwickelt. Jede der Lösungsvarianten unterläuft einer Beurteilung nach zuvor definierten Kriterien, die als Grundlage für die Entscheidung dient.

8.1 Einführung

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

Warum
„Methodisches Konstruieren“?

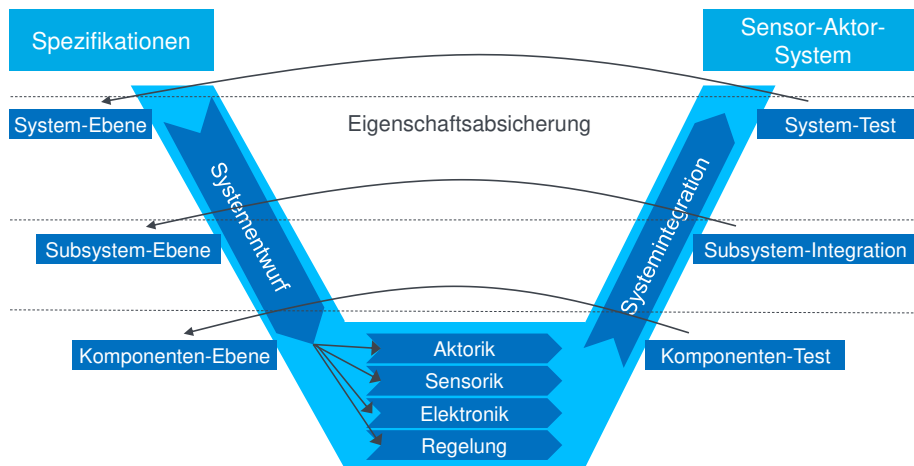
- bei jeder konstruktiven Tätigkeit
branchenunabhängig anwendbar
- erleichtert Finden optimaler Lösungen
- Lösungen nicht zufallsbedingt erzeugen
- hilft Fehlentscheidungen zu vermeiden
- erleichtert die Arbeit
- ermöglicht Berufsanfänger*innen ohne Erfahrung,
zu guten konstruktiven Lösungen zu gelangen
- macht Konstruieren „lernbar“

Methodisches Konstruieren

Erfahrene Konstrukteur*innen können zwar auch ohne bewusstes methodisches Vorgehen zu einer guten Lösung gelangen, doch ist diese dann stark abhängig von den persönlichen Erfahrungen, der Kreativität oder gar Genialität. Für das Unternehmen ist dies oft der unsicherere, wenig planbare Weg, der im Endeffekt mehr Zeit kostet.

8.1 Einführung

Entwurfsprozess VDI 2206



→ Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme

Quelle:
VDI 2206

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 14

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Entwurfsprozess nach VDI 2206

Das V-Modell hat seinen Ursprung in der Softwareentwicklung und wurde wie hier dargestellt unter anderem auf die Anwendung bei der Entwicklung mechatronischer Systeme übertragen. Alle Abwandlungen folgen demselben Grundgedanken: der Einteilung in einen Systementwurf, Komponentenentwurf und eine abschließende Systemintegration. Zu Beginn der Entwicklungsphase werden die aus der Aufgabenstellung abgeleiteten Anforderung in Form von Spezifikationen definiert. Bei der Ausarbeitung des Systementwurfs wird das zu entwickelnde Produkt zunächst als ein einzelnes System betrachtet, für das es ein übergreifendes Lösungskonzept zu finden gilt (absteigender Ast). Dazu werden Teilfunktionen definiert, für die geeignete Wirkprinzipien erarbeitet werden. Im Anschluss wird für alle beteiligten Domänen (Aktorik, Sensorik, Elektronik, Regelung) jeweils ein Entwurf ausgearbeitet (horizontaler Ast). Bei der Systemintegration werden die einzelnen Komponentenentwürfe zu einem Gesamtsystem zusammengefügt (aufsteigender Ast)

[Schlaak, Praktische Entwicklungsmethodik]

VDI2206:

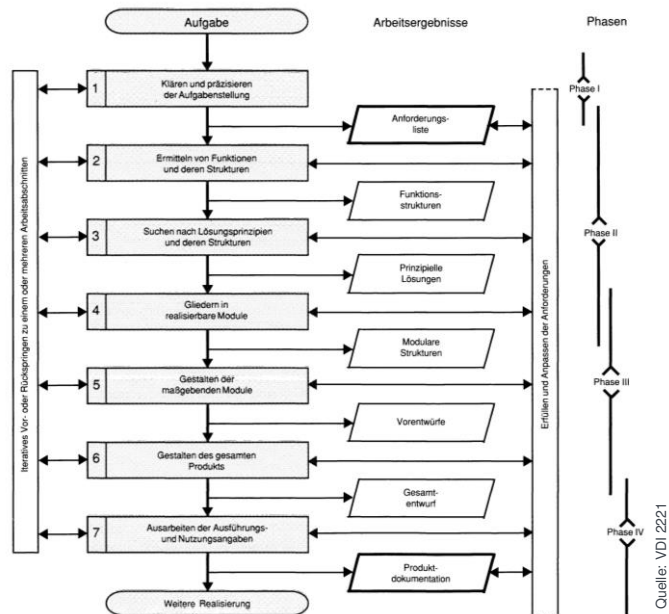


Gausemeier, S. Moehring, VDI 2206- A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems, IFAC Proceedings Volumes, Volume 35, Issue 2, 2002, Pages 785-790
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017340351>

8.1 Einführung

Entwurfsprozess VDI 2221

→ Methodik zum Entwickeln
und Konstruieren technischer
Systeme und Produkte



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 15

Institut für
Medizingerätetechnik **IMT**

Der **Entwurfsprozess** nach VDI 2221 lässt sich in vier Phasen einteilen.

Aufgabenpräzisierung

Eine Produktidee wird zunächst als Aufgabenstellung formuliert. Die Aufgabenstellung ist in den meisten Fällen nicht vollständig und bedarf ergänzenden Informationen (die Aufgabenstellung wird präzisiert). Die Anforderungen an das Produkt werden in der Anforderungsliste dokumentiert.

Konzeptphase

Die präzisierte Aufgabenstellung wird abstrahiert, um den Wesenskern der Aufgabenstellung (Gesamtfunktion) zu formulieren und sich von konventionellen Denkweisen zu lösen. Im Folgenden werden für die Gesamtfunktion und deren Teilfunktionen Funktionsstrukturen und Lösungsprinzipien aufgestellt. Ist die prinzipielle Funktionsfähigkeit der technischen Prinzipien bewiesen, erfolgt die Freigabe zum Entwerfen.

Entwurfsphase

Ausgehend von den prinzipiellen Lösungen werden zunächst die maßgebenden Module und anschließend das gesamte Produkt gestaltet.

Ausarbeitungsphase

In der letzten Phase werden für alle Einzelteile die relevanten Ausführungs- und Nutzungsangaben ausgearbeitet.

Die VDI2221 wird derzeit (2020) überarbeitet.

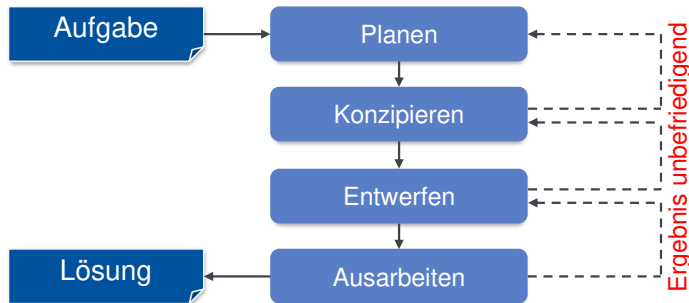
VDI2221:



8.1 Einführung

Konstruktionsprozess nach VDI 2221

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



Konstruktionsprozess nach VDI 2221

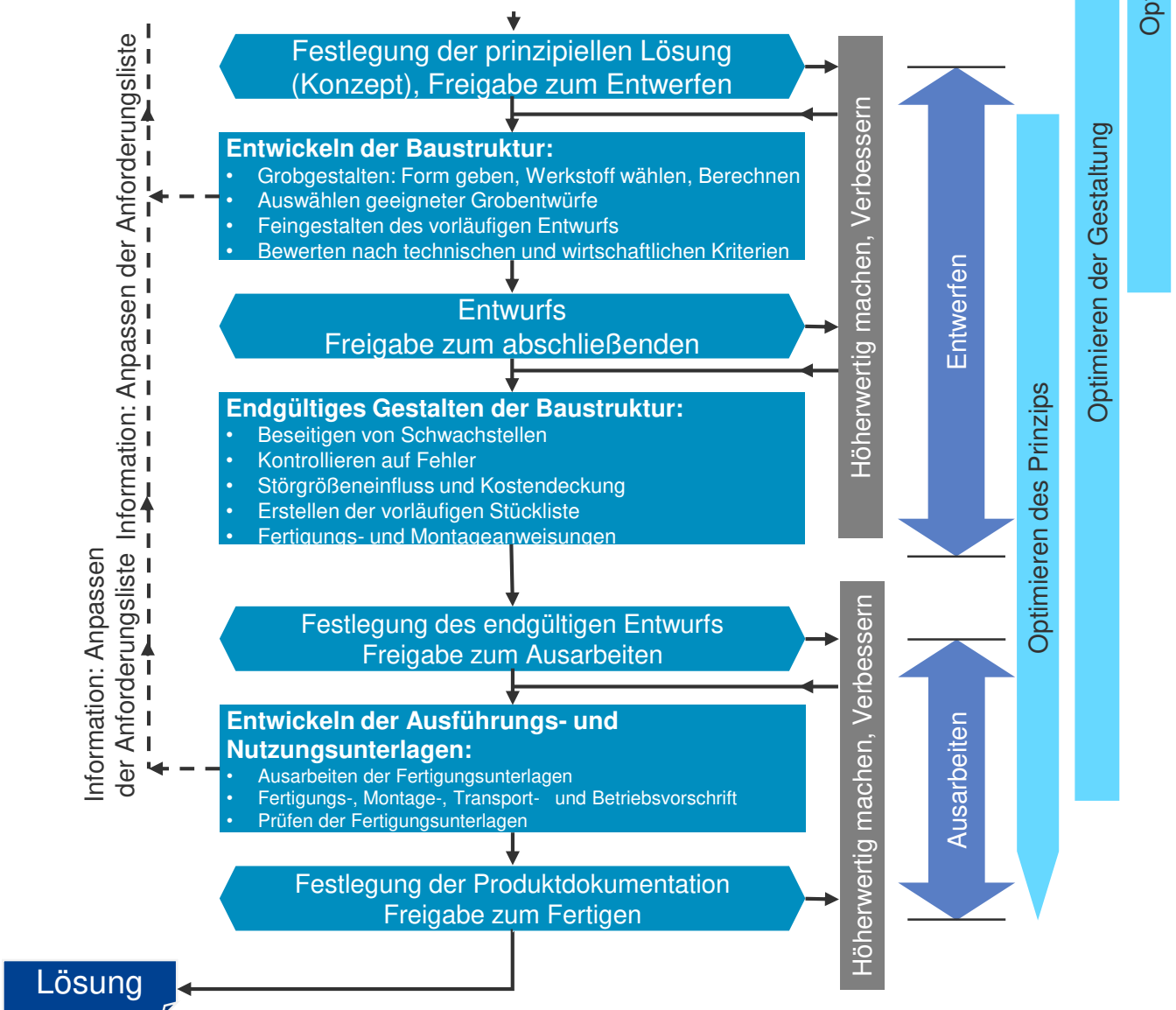
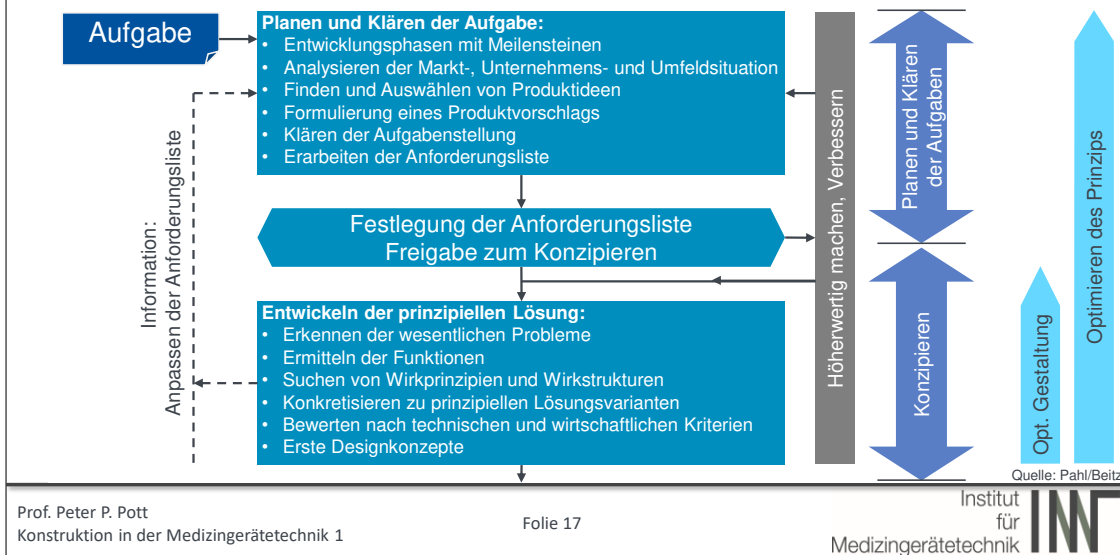
Sowohl innerhalb dieser Phasen als auch zwischen den Phasen sind Entscheidungsschritte vorgesehen, die bei negativen Ergebnissen einen Rücksprung in eine vorangegangene Phase bzw. einen bereits durchlaufenen Arbeitsschritt erforderlich machen. Dabei wird nach jedem Arbeitsschritt ein Entscheidungsprozess durchlaufen, bei dem zunächst geprüft wird, ob die Ergebnisse hinsichtlich der Zielsetzung befriedigend sind. Ist dies der Fall, wird zum nächsten Arbeitsschritt übergegangen. Falls das Ergebnis nicht befriedigend ist, ist zu prüfen, ob ein Wiederholen des Arbeitsschrittes bei vertretbarem Aufwand aussichtsreich ist. Ist dies nicht der Fall, wird die Entwicklung eingestellt. Wird sich von einem Wiederholen des Arbeitsschrittes Besserung versprochen, wird der Arbeitsschritt auf höherer Informationsstufe wiederholt. Anschließend ist wieder zu entscheiden, ob die Ergebnisse hinsichtlich der Zielsetzung befriedigend sind und der Entscheidungsprozess startet von neuem.

Dieses iterative Vorgehen führt zu abgesicherten Ergebnissen und bietet darüber hinaus die Möglichkeit, bei entsprechender Dokumentation der Vorgehensweise auch die Anforderungen von Qualitätsmanagementsystemen, wie z.B. nach DIN EN ISO 9001, zu erfüllen.

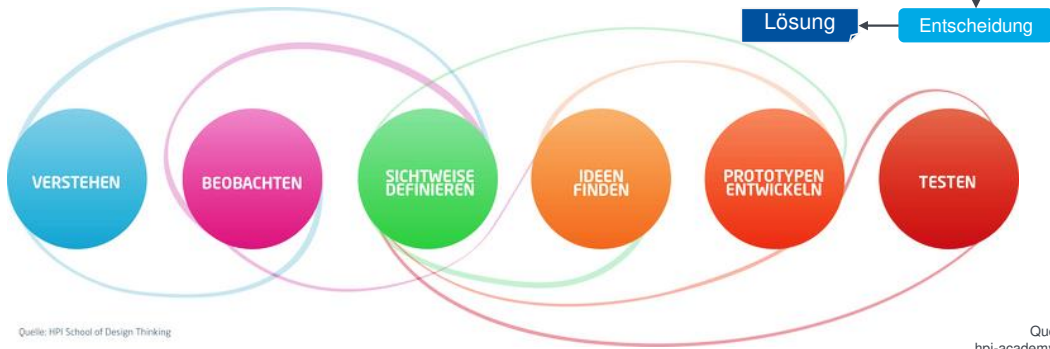
→ Im Folgenden wird näher auf den methodischen Konstruktionsprozess basierend auf der Richtlinie VDI 2221 eingegangen.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

Methodischer Konstruktionsprozess (1)



8.2 Der methodische Konstruktionsprozess Design Thinking



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 18

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

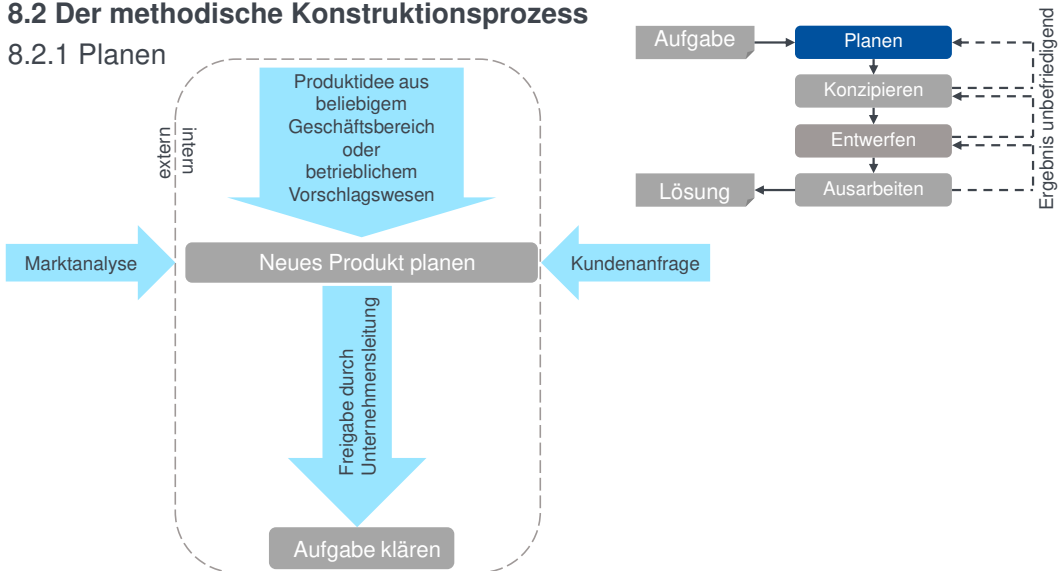
Design Thinking

Design Thinking ist eine systematische Herangehensweise um komplexe Problemstellungen zu lösen. Dabei steht immer der Nutzer mit seinen Bedürfnissen im Vordergrund. Es findet eine stetige Rückkopplung zwischen dem Entwickler und seiner Zielgruppe statt. Der Entwicklungsprozess besteht aus sechs Phasen, die in iterativen Schleifen durchlaufen werden:

- 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 werden zusammentragen und verdichtet.
- 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.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1 Planen



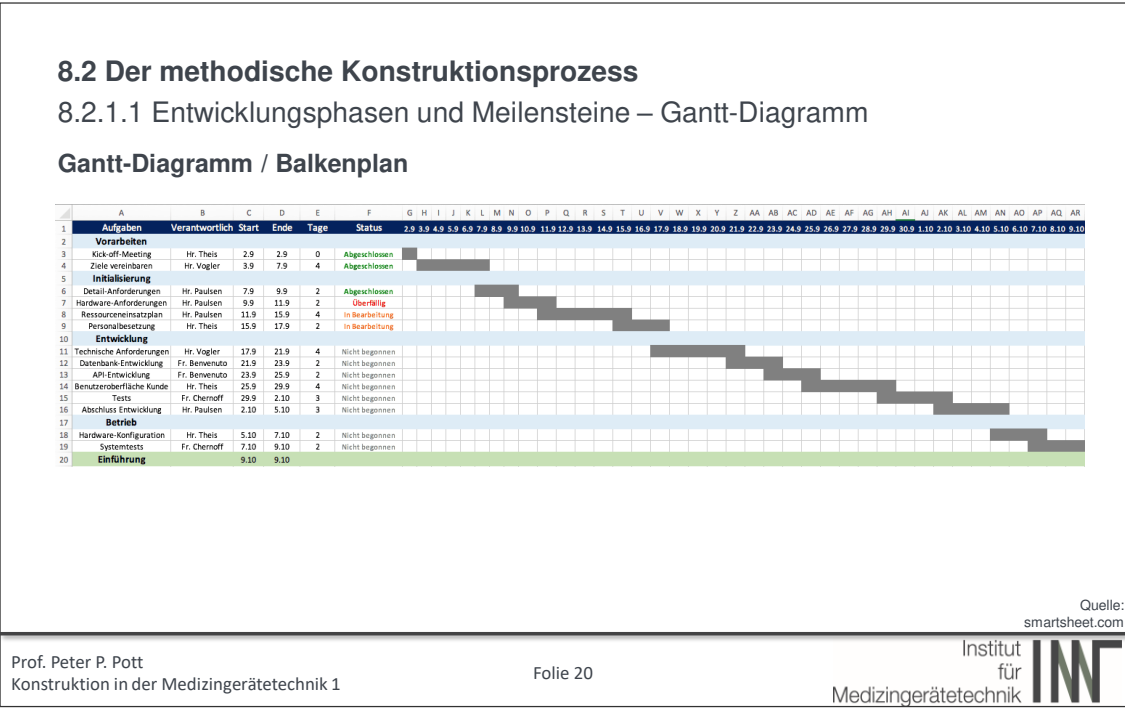
Prof. Peter P. Pott
 Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 19

Institut für
 Medizingerätetechnik **IMT**

Planen

Dem Wunsch ein neues Produkt zu planen liegen interne- und/oder externe Anregungen zugrunde. Externe Anregungen können Kundenanfragen oder auch Marktanalysen sein, interne Anregungen bezeichnen Produktideen aus beliebigen Geschäftsbereichen oder durch beliebiges Vorschlagswesen. Eine Freigabe durch die Unternehmensleitung ist in beiden Fällen erforderlich, bevor die Aufgabe geklärt wird.



Gantt-Plan

Der Gantt-Plan dient der grafischen Darstellung von zeitlichen und inhaltlichen Abläufen bzw. Ressourcen und ist damit ein Instrument des Projektmanagement. Benannt ist der Gantt-Plan nach Henry L. Gantt (1861–1919) – die Methode ist jedoch schon älter. Sie wird seit den 1960er Jahren breit eingesetzt.

Die horizontale Achse entspricht der Zeit-Achse.

Die Zeilen sind jeweils einer Aktivität zugeordnet. Jeder Aktivität können beliebig viele Ressourcen zugeordnet werden.

Ressourcen sind: Personal, Geld, Material, Maschinen etc.

Aktivitäten haben ein Start- und ein Enddatum und werden entsprechend als Balken in Ihrer Zeile dargestellt. Aktivitäten können auch unterbrochen werden.

Sowohl Start- als auch Enddatum können von den Ergebnissen anderer Aktivitäten abhängig sein (bspw.: „X startet nicht, bevor Y beendet wurde“ oder „X endet erst, wenn auch Y geendet hat“)

Aktivitäten können zu Gruppen zusammengefasst werden oder selbst bereits zusammengefasste Aktivitäten darstellen.

Ein Gantt-Plan lässt sich mit MS Excel zeichnen (sehr unkomfortabel). Professionelle Software ist bspw. MS Project, Tableau oder Asana. Brauchbare Freeware ist GanttProject.

Eine sinnvolle Alternative zum Gantt-Plan ist der Netzplan, der die Analyse kritischer Aktivitäten und Verläufe erleichtert, dafür weniger anschaulich ist.

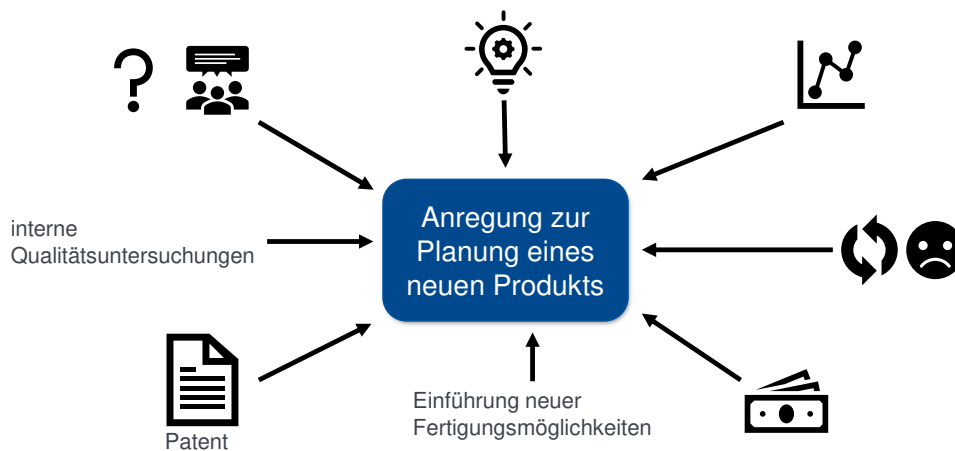
Meilensteine

Meilensteine dienen der Fortschrittskontrolle in einem Projekt. Ein Meilenstein wird durch messbare Kriterien definiert und für einen bestimmten Zeitpunkt geplant. Der Meilenstein dient der Entscheidung: entweder wird das Projekt weiter wie geplant voran getrieben, beendet oder der Zeitplan angepasst bzw. neue Ressourcen (Manpower, Geld) zugeordnet.

Meilensteine sind also Freigabestufen für die nächsten Entwicklungsphasen. Voraussetzung sind abgearbeitete Prozesse / Tätigkeiten und messbare Ergebnisse bis zu diesem Meilenstein!

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.2 Analysieren der Markt-, Unternehmens- und Umfeldsituation



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 21

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Anregungen zur Planung eines neuen Produkts

Externe Anregungen zur Planung eines neuen Produkts können aus den unterschiedlichsten Bereichen kommen. Sowohl die Situation des Marktes, als auch die des Unternehmens und des Umfelds sollten dazu analysiert werden.

Geeignete Mittel sind:

- 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

Leitbeispiel Rollstuhl

- 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

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

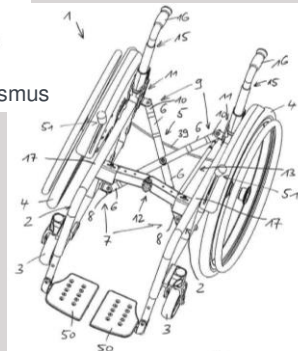
8.2.1.2 Analysieren der Markt-, Unternehmens- und Umfeldsituation

- Bestehende Patente

Leitbeispiel Rollstuhl



Rollstuhl mit Faltmechanismus



United States Patent
Hensler, Sr. et al.

US005634650A
[11] Patent Number: **5,634,650**
[45] Date of Patent: **Jun. 3, 1997**



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 23

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**



<https://patents.google.com/patent/US5634650A/en>

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.3 Finden und Auswählen von Produktideen



Produktidee

Zum Finden von Produktideen müssen zunächst strategische Freiräume, Bedürfnisse des Marktes und allgemeine Trends erkannt und analysiert werden. Dafür sind dieselben Suchmethoden wie bei der Produktentwicklung einsetzbar. Als Ausgangspunkt für neue Produkte können neue Produktfunktionen, andere Wirkprinzipien oder neuartige Gestaltungen etc. dienen.

Die Auswahl der Produktideen wird anhand verschiedener Kriterien getroffen. Dabei werden neben den Unternehmenszielen auch die Funktionsvorteile für den Anwender berücksichtigt. Zudem soll der Umsatz, Gewinn und Marktanteil möglichst maximiert werden.

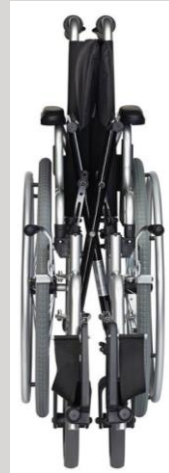
Ist eine geeignete Produktidee gefunden, gilt es diese in einen Produktvorschlag zu konkretisieren und zu präzisieren. Die beabsichtigten Funktionen und die vorläufigen Anforderungen werden darin lösungsneutral beschreiben.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.4 Formulierung eines Produktvorschlags

Leitbeispiel Rollstuhl

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



Quelle:
aktivwelt.de

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.5 Klären der Aufgabenstellung



Quelle: 9gag.com, www.retailhellunderground.com, www.watson.ch, www.voi.at

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 26

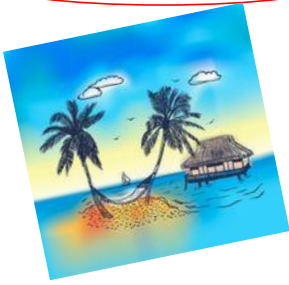
Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Klären der Aufgabenstellung

Die Aufgabe hat unter Umständen zeitlich veränderliche Bedingungen. Die Aufgabenstellung muss zu Beginn möglichst umfassend und vollständig geklärt werden, um Ergänzungen und Änderungen auf das Notwendigste zu beschränken und Zeit, Kapazitäten und damit Kosten zu sparen. Die Entwicklungsabteilung erhält die Aufgabenstellung in der Regel als internen oder externen Entwicklungsauftrag oder in Form eines Kundenauftrags. Der Auftrag enthält jedoch oft nicht alle notwendigen Informationen. Eine zusätzliche Phase der Informationsgewinnung bzw. Abstimmung mit dem Auftraggeber ist ggf. nötig.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste

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

[Quelle: geograph.com]

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 27

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Anforderungsliste

Die Anforderungen an das neue Produkt werden in einer Anforderungsliste systematisch zusammengestellt. Dies ist einer der wichtigsten Arbeitsschritte im gesamten methodischen Konstruktionsprozess. Dabei ist zu unterscheiden in Forderungen und Wünschen.

Forderungen müssen unter allen Umständen erfüllt werden, denn ohne deren Erfüllung ist die vorgesehene Lösung nicht akzeptabel. Mindestanforderungen werden durch entsprechende Formulierungen angegeben (z.B. Patientengewicht ≤ 110 kg). Wünsche sollen nach Möglichkeit erfüllt werden, wobei begrenzter Mehraufwand eventuell zulässig ist. Forderungen und Wünsche werden mit Quantitäts- und Qualitätsaspekten formuliert. Unter Quantität wird die Angabe von Anzahl, Stückzahl, Losgröße, Menge etc., oft auch pro Zeiteinheit wie Leistung, Durchsatz, Volumenstrom etc. verstanden. Die Qualität gibt zulässige Abweichungen oder besondere Anforderungen wie tropenfest, korrosionsbeständig, schocksicher etc. an.

Zudem sind in der Anforderungsliste Quellen und Verantwortliche aufgeführt; Änderungen und Ergänzungen sollten nachgetragen werden. Die Anforderungsliste wird mit dem Änderungsdienst auf dem neuesten Stand gehalten, und wird allen mit der Entwicklung des neuen Produkts in Berührung stehenden Stellen zugestellt. Des Weiteren ist eine Genehmigung der Verantwortlichen einzuholen.

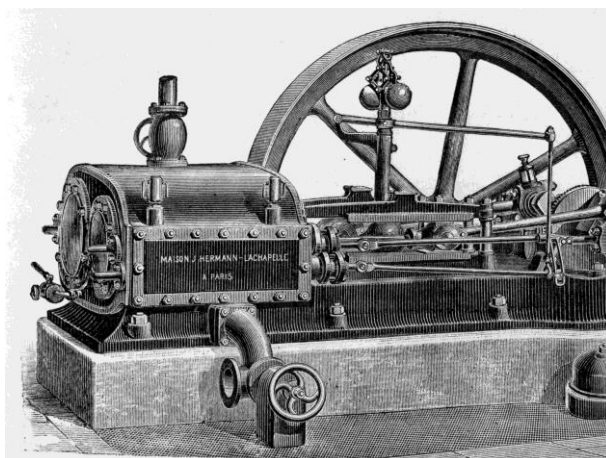
Sinnvoll kann eine Untergliederung in Teilsysteme (Funktions- bzw. Baugruppen) sein.

Darüber hinaus können Anforderungen in Gruppen aufgeteilt werden:

- Technisch-physikalische Anforderungen
- Fertigungstechnische Anforderungen
- Wirtschaftliche Anforderungen
- Mensch-Produkt-Anforderungen (Design-Anforderungen)

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste – Hauptmerkmal-Leitlinie



Quelle:
<https://www1.wdr.de>

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 28

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

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, n vorgeschriebene Werkstoffe, Materialfluss und -transport
Signal	Ein- und Ausgangssignale, Anzeigeart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform
Sicherheit	Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung: Bedienung, Bedienungsart, Bedienungsart, Bedienungsart, Bedienungsart, Bedienungsart
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.)
Montage	Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung
Transport	Begrenzung durch Hebezeuge, Transportwege, Versandart und -bedingungen
Gebrauch	Geräuscharm, 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
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 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

Anforderungsliste für einen Rollstuhl (detailliert)					
Firma:		Projektnr.:		Ausgabe vom:	
Bearbeiter:				Ers. Ausg. v.:	
F	Nr.	Anforderungen	Beschreibung Quantifizierung	Verantw./ Quelle	Ände- rung
Leitbeispiel Rollstuhl	F	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 1

Folie 30

Institut für Medizingerätetechnik **IMT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess					
8.2.1.6 Erarbeiten der Anforderungsliste					
Leitbeispiel Rollstuhl	Anforderungsliste für einen Rollstuhl (detailliert)				
	Firma: Bearbeiter:		Projektnr.:		Ausgabe vom: Ers. Ausg. v.:
	F W	Nr.	Anforderungen	Beschreibung Quantifizierung	Verantw./ Quelle
			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		
			<u>Sichtbarkeit und Erkennbarkeit</u>		
	W	17	Sichtbarkeit im Dunkeln		
Prof. Peter P. Pott Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1			Folie 31		Institut für Medizingerätetechnik

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**)

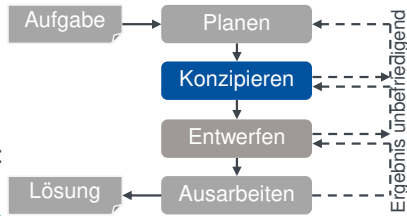
4) nach **Lösungsprinzipien** für Teilfunktionen suchen

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

6) aussichtsreichsten Prinzipkombinationen auswählen

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

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



Konzipieren

Die Idee hinter diese Phase ist es, sich von Vorurteilen und ersten Ideen zu befreien und die eigentliche Funktion des zu entwickelnden Systems zu identifizieren und zu benennen.

Dazu wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen unterteilt, die individuell und unabhängig voneinander gelöst werden können. Diese verschiedenen Lösungsprinzipien werden dann zu Prinzipkonstruktionen (sinnvoll!) durchkombiniert. Die aussichtsreichsten Prinzipkonstruktionen werden zu prinzipiellen Lösungsvarianten, die konkretisiert (nicht auskonstruiert!) werden und danach hinsichtlich technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewertet werden, um die optimale Gesamtlösung zu erhalten.

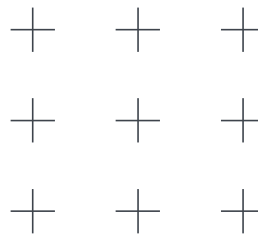
Der Prozess soll so weit wie möglich unabhängig von der Intuition und der Erfahrung der beteiligten Personen sein. In der Praxis ist dies nicht immer erreichbar. Nichtsdestotrotz erlaubt dieser Prozess eine eindeutige und umfangreiche Dokumentation des Entwicklungsprozess und insbesondere der Entscheidungsfindung für die letztendlich gewählte Gesamtlösung.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems – Ziel

Beispiel:

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



Abstrahieren

Ziel der Abstraktion ist die Auflösung von Konventionellen Vorstellungen, Vorfixierungen („Das haben wir schon immer so gemacht!“) und Vorurteilen („das funktioniert eh nicht!“), um den Durchbruch zu ungewohnten, technisch besseren oder wirtschaftlicheren Lösungen zu ermöglichen.

Abstrahieren beschreibt das Hervorheben des Allgemeingültigen und Wesentlichen. Der Wesenskern der Aufgabe wird zunächst identifiziert und die Gesamtfunktion daraus abgeleitet.

Bezogen auf die Anforderungsliste wird die Abstraktion schrittweise durchgeführt.

- Wünsche von Forderungen trennen und Wünsche gedanklich weglassen.
- Forderungen weglassen, welche die Funktion und wesentliche Bedingungen nicht unmittelbar betreffen.
- Quantitative in qualitative Angaben umsetzen und dabei auf wesentliche Aussagen reduzieren
- 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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 34

Institut
für
Medizingerätetechnik

IMT

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 2. Schritt – unwesentliche Forderungen 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		

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 35

Institut
für
Medizingerätetechnik

IMT

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.1 Abstrahieren zum Erkennen des wesentlichen Problems

Abstraktion: 3. Schritt – quantitativ → qualitativ

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

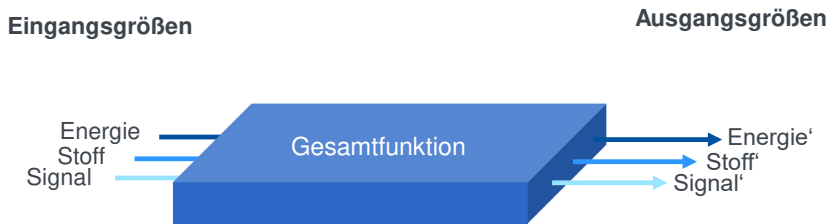
Leitbeispiel Rollstuhl

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

Mobilitätshilfe mit geringen Abmessungen zur kostengünstigen Beförderung von Personen

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen



Quelle:
Pahl/ Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 37

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Funktionsstrukturen – Gesamtfunktion

Das wesentliche Problem der Aufgabenstellung wird als Gesamtfunktion beschrieben. Hierzu wird das Produkt, die Maschine etc. als technisches System mit einer Systemgrenze betrachtet. Dies erlaubt es, die Ein- und Ausgangsgrößen des Systems zu analysieren. In technischen Systemen werden Energie, 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.

Jedes Gerät, jede Maschine, jedes Medizinprodukt hat in irgendeiner Weise einen Umsatz an Energie, Stoffen oder Signalen. Beispiele dafür sind:

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

Und wie immer gilt: What goes up, must come down. Das bedeutet: alles, was die Systemgrenze überschreitet, muss sie irgendwann auch wieder verlassen. Die einzige Ausnahme bildet das Signal, das auch verloren gehen kann.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen

- Systemgrenzen bestimmen:



- Aufstellen der Gesamtfunktion:

S: Mensch

E: Hand

N: Bremse

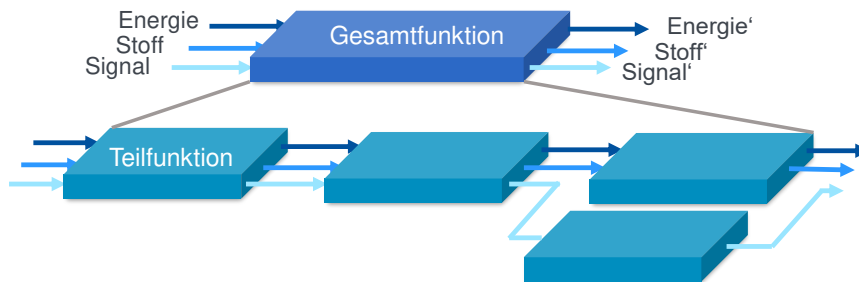
Mobilitätshilfe mit geringen
Abmessungen zur
kostengünstigen Beförderung
von Personen

S: Mensch, bewegt

Quelle:
rp-online.de, behindert-barrierefrei.de

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.2 Aufstellen von Funktionsstrukturen



Quelle:
Pahl/ Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 39

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Funktionsstrukturen – Teilfunktionen

Jede Gesamtfunktion kann in Teilfunktionen zerlegt werden. Die Teilfunktion ist die kleinstmögliche (sinnvolle!) Unterteilung und stellt das eigentliche zu lösende technische Problem dar. Für die formalisierte Darstellung der Teilfunktion existieren Symbole und eine entsprechende Darstellungsweise.

In der Regel ist ein Fluss von Stoff, Energie und Signal von besonderer Bedeutung. Dieser wird als Hauptfluss ausgewählt. Umgekehrt lassen sich Teilfunktionen durch Synthese zur Gesamtfunktion verknüpfen. Dazu ist es sinnvoll, zeitliche und/oder logische Zusammenhänge zu suchen und anschließend Nebenflüsse zu ergänzen.

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	Symbole nach Roth
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: Schlaak – Grundzüge des Projektmanagements | Schlaak – Praktische Entwicklungsmethodik & Pahl/ Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 40

Institut
für
Medizingerätetechnik

Am Beispiel des Energieumsatzes:

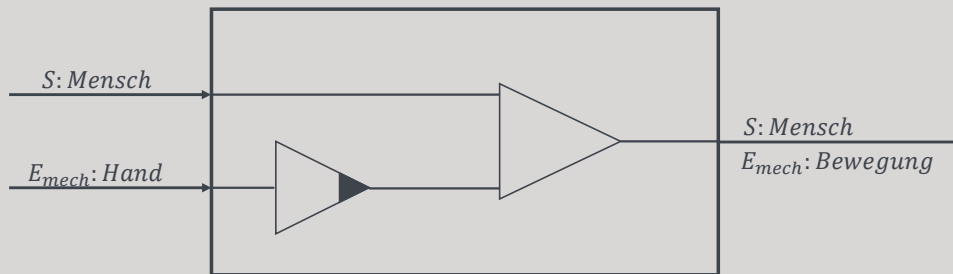
	Energieumsatz	Stoffumsatz	Signalumsatz
Wandeln	Elektrische in mechanische Energie wandeln	Luft verflüssigen	Mechanisches in elektrisches Signal wandeln
Ändern	Drehmoment vergrößern	Blech walzen	Ausschlag vergrößern
Verknüpfen	Elektrische Energie mit Signal verknüpfen → einschalten	Dampf absperren	Kennzeichnung 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

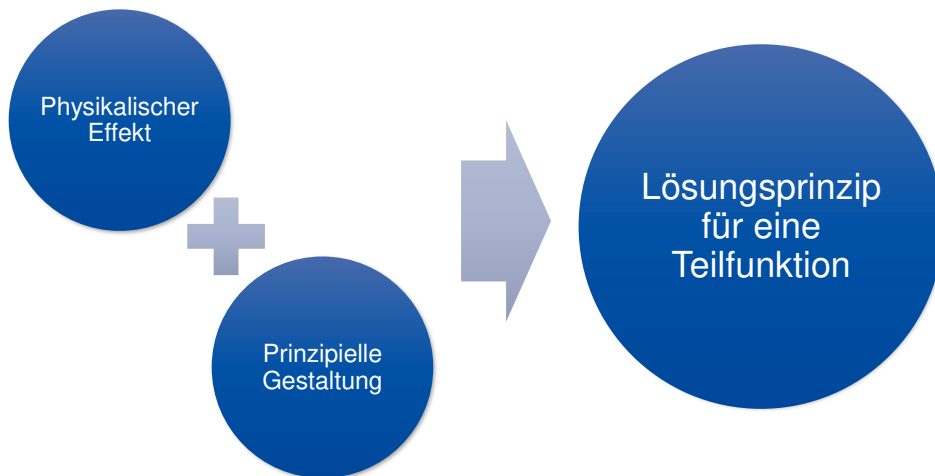
- Funktionsstruktur eines Rollstuhls

Leitbeispiel Rollstuhl



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



Intuitiv betonte Methoden



Methode 635

Diskursiv betonte Methoden



Quelle:
campus-pharmazie.de, chartflipper.de, buecher.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 43

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Suche nach Lösungsprinzipien

Zur Suche nach Lösungsprinzipien können diverse Methoden angewendet werden. Dazu zählen konventionelle Hilfsmittel wie Literaturrecherchen, Analyse bekannter technischer Systeme, Analyse natürlicher Systeme, Messungen oder Modellversuche etc., oder aber auch intuitiv- bzw. diskursiv betonte Methoden. Zu den intuitiv betonten Methoden zählen z.B. das Brain-Storming, die Methode 635, die Delphi-Methode, Synektik etc. Bei diskursiv betonten Methoden wird das physikalische Geschehen systematisch untersucht und anschließend eine systematische Suche mit Hilfe von Ordnungsschemata durchgeführt oder Konstruktionskataloge verwendet.

Brain-Storming: Alle Ideen werden in einem Team aufgeschrieben, dabei ist kein Raum für Kritik und Killerphrasen. Es geht allein um das Sammeln von Ideen und noch nicht um deren Bewertung.

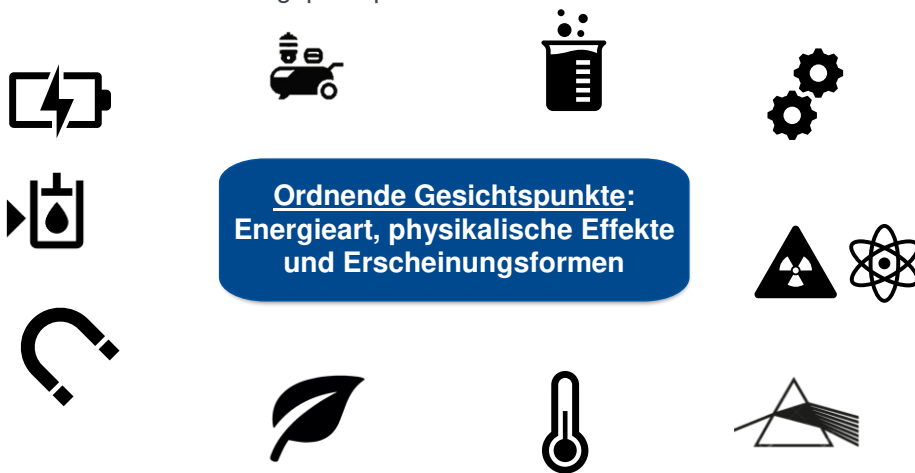
Methode 635: Die Methode 635 ist eine Weiterentwicklung des Brainstormings. Jeder der 6 Teilnehmer bringt 3 Lösungsansätze zu Papier. Anschließend gibt er diese an seinen Nachbarn weiter. Dies wird so lange weitergeführt, bis alle 5 anderen jeweils 3 Lösungen ergänzt haben.

Delphi-Methode: Die Delphi-Methode gliedert sich in 3 Phasen, in denen eine schriftliche Expertenbefragung stattfindet. In der 1. Runde werden spontane Lösungsansätze abgefragt. In Runde 2 werden weitere Lösungen auf der Liste ergänzt und in der letzten Runde werden die Vorschläge aus Runde 2 für die beste Realisierung angegeben.

Synektik: Die Synektik soll Denkprozesse, welche unbewusst ablaufen anregen. Ziel ist es, das Bekannte durch Analogien und Vergleiche zu ersetzen und somit das bekannte Problem zu entfremden. Dadurch werden neue Lösungsansätze gefördert. Z.B. Rollstuhl → Rollsessel → Fahr sessel → Sessel-Transport → ...

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien



Quelle:
icon-icons.com, gograph.com, klebefisch.de, 123rf.com

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 44

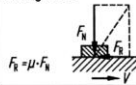
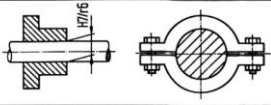
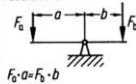
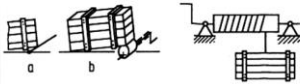
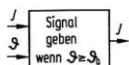
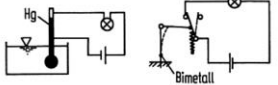
Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

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, Polarisierung, 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  $F_3 = \mu \cdot F_2$	
	Hebeleffekt  $F_0 \cdot a = F_b \cdot b$	
	Ausdehnungseffekt  $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta S$	

Quelle:
Pahl/ Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 45

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Wirkprinzip

Ist ein Grundsatz, von dem sich eine bestimmte Wirkung zur Erfüllung der Funktion ableitet (physikalische, biologische, chemische Effekt(e) sowie geometrische und stoffliche Merkmale in Verbindung mit einer Teilfunktion). Das gewählte Wirkprinzip muss hinsichtlich der physikalischen Effekte beschreibbare Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung aufweisen.

Wirkstruktur

Beschreibt eine 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.

Wirkungsweise

Beschreibt das Zusammenwirken von technischen Gebilden, um Funktionen nach bestimmten Wirkprinzipien zu erfüllen.

Wirkkörper

Beschreibt einen Körper, durch den oder an dem eine Wirkung erzwungen oder ermöglicht wird.

Wirkort

Ist der Ort, an dem durch Wirkflächen und Wirkbewegungen Wirkungen erzwungen oder ermöglicht werden.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.3 Suche nach Lösungsprinzipien

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

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

Prof. Peter P. Pott
 Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 46

Institut
für
Medizingerätetechnik

Bei der Suche nach Wirkprinzipien spielen die Wirkgeometrie, die Wirkgeometrie und die prinzipiellen Stoffeigenschaften als ordnende Gesichtspunkte eine entscheidende Rolle.

Wirkgeometrie

Definiert die Anordnung von Wirkflächen (bzw. -linien, -räumen), über die eine Wirkung erzwungen oder ermöglicht wird. Wobei eine Wirkfläche eine Fläche darstellt, an der oder über die eine Wirkung erzwungen oder ermöglicht wird.

Wirkbewegung

Bewegung, die eine Wirkung erzwingt/ermöglicht.

Wirkgeometrie	
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	
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
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
Merkmale					
Art					
Form					
Lage					
Größe					
Zahl					

Beispiel: Wirkfläche einer Welle-Nabe-Verbindung

Quelle:
Pahl/ Beitz

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 47

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Lösungsprinzipien

Obige Folie zeigt ein Ordnungsschema mit der Variation der Wirkgeometrie bei formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen bzw. bei Schrauben-Bit-Aufnahmen aus einem Konstruktionskatalog. Die Ordnungsschemata regen durch eine Kombination der Zeilen- und Spaltenparameter zu einer systematischen Lösungssuche an.

In den Zeilen werden...

Art (z.B. Formschluss im Teil, Formschluss durch zusätzliches Element (z.B. Passfeder))

Form (z.B. Geometrie des Formschlusses im Teil (Vierkant, Sechskant, Polygon...))

Lage (Formschluss durch z.B. achsparalleles zusätzliches Element, radial eingebrachtes Element, seitlich eingebrachtes zusätzliches Element etc.)

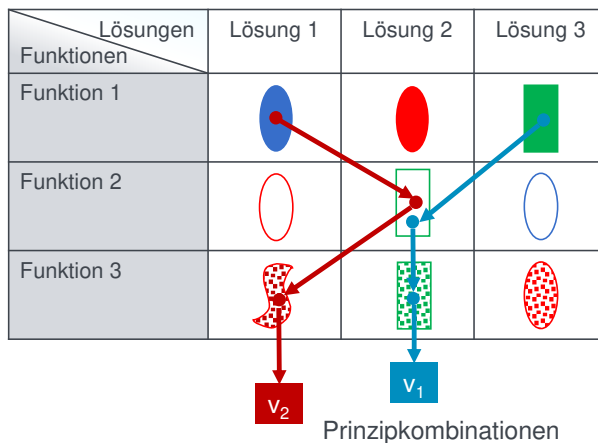
Größe (z.B. dünnes, dickes zusätzliches Element etc.)

Zahl der formschlüssigen Elemente

... aufgeführt. Es können beliebig viele Möglichkeiten gelistet werden, deren Auswahl dann durch zu definierende Kriterien (z.B. Fertigungsaufwand, Kosten, Dauerfestigkeit, Umkehrspiel etc.) erfolgt.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.4 Kombination der Lösungsprinzipien – Morphologischer Kasten



Quelle:
Ravensburger.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 48

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Morphologischer Kasten

Sind für die einzelnen Teilfunktionen einer Gesamtfunktion Lösungen gefunden worden, ergibt ihre sinnvolle Kombination die Gesamtlösung. Das Hauptproblem stellt dabei das Erkennen von Verträglichkeiten bzw. Unverträglichkeiten dar. Zudem soll die technisch und wirtschaftlich günstigste Kombinationen ausgewählt werden. Diese Prinzipkombinationen lassen sich in einem Ordnungsschema übersichtlich durchführen. Auf der Folie ist der prinzipielle Aufbau eines solchen Ordnungsschemas, das auch morphologischer Kasten genannt wird, dargestellt.

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	-

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 49

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Auswahl geeigneter Kombinationen

Die aus dem morphologischen Kasten gewonnenen möglichen Prinzipkombinationen werden im Anschluss anhand definierter Kriterien beurteilt und geeignete Kombinationen ausgewählt.

Kriterien der Auswahlliste

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

Die Auswahlliste wird folgendermaßen ausgefüllt:

Prinzipkombinationen eintragen (Nummer, Merkmal)

Jede Prinzipkombination einzeln nach den Auswahlkriterien überprüfen:

- (+) Auswahlkriterium erfüllt
- (-) Auswahlkriterium nicht erfüllt → nicht weiter beurteilen
- (?) Informationsmangel
- (!) Anforderungsliste überprüfen

Beurteilung hinsichtlich entscheidender Kriterien als Bemerkung näher kennzeichnen

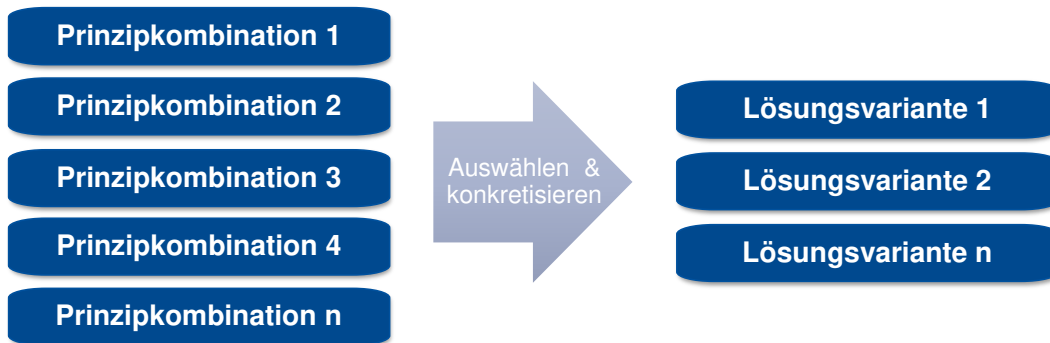
Entscheidung fällen und in Entscheidungsspalte eintragen

- (+) Lösung weiterverfolgen
- (-) Lösung scheidet aus
- (?) Informationen beschaffen und Lösung erneut beurteilen
- (!) Anforderungsliste auf Änderung überprüfen

→ Unbrauchbare Lösungen können damit möglichst früh im Entwicklungsprozess verworfen werden!

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.6 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten – Vorgehen



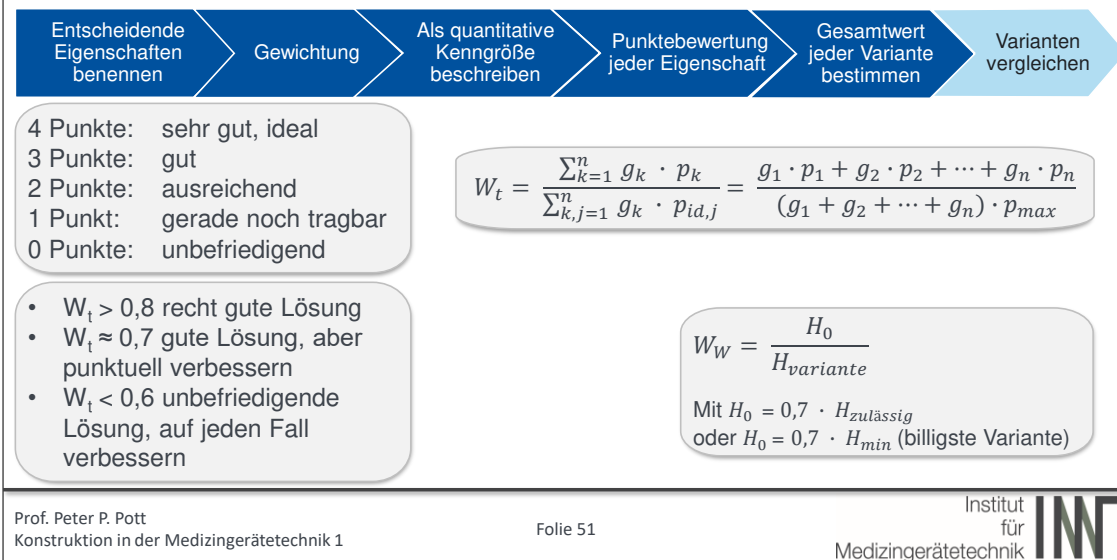
Lösungsvarianten

Die identifizierten Prinzipkombinationen sind in der Regel zu wenig konkret, um eine detailliertere Beurteilung durchzuführen und damit eine Entscheidung über die Festlegung des Konzepts treffen zu können. Sie müssen daher zu prinzipiellen Lösungsvarianten, auch Konzeptvarianten genannt, weiter konkretisiert werden. Meist wird hier schon eine Vorauswahl getroffen, um Arbeitsaufwand zu sparen.

Damit die Varianten beurteilungsfähig werden, müssen nicht nur qualitative Merkmale definiert werden, sondern häufig auch grobe quantitative Aussagen z. B. über Raumbedarf, Gewicht, Herstellkosten usw. gemacht werden. Hierfür sind oft detailliertere Skizzen oder grobe Entwurfszeichnungen, orientierende Berechnungen, labormäßige Grundsatzversuche sowie Kosten-Schätzungen bzw. –Kalkulationen notwendig.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



Bewerten

Die Lösungsvarianten können unter technischen oder wirtschaftlichen Kriterien bewertet werden. Dabei sollten voneinander unabhängige Bewertungskriterien angegeben (keine Doppelbewertung), eine möglichst gleiche Gewichtung angestrebt, Varianten neutral bezeichnet und stets Vorzüge als Bewertungsgrundlage gewählt werden (z.B. geräuscharm, hoher Wirkungsgrad → positiv formulieren).

Schritt 1: Entscheidungsrelevante Eigenschaften erkennen und benennen. Dazu werden wichtige technische Eigenschaften sowie Mindestanforderungen und Wünsche aus der Anforderungsliste herangezogen. Mindestens ein Bewertungskriterium aus jeder Hauptmerkmalgruppe wird angestrebt.

Schritt 2: Prüfen ihrer Bedeutung (Gewichtung) für den Gesamtwert der Lösung. Dabei ist zu beachten, dass nur Gleichgewichtiges verglichen wird. Bei stark unterschiedlicher Bedeutung müssen Gewichtungsfaktoren festgelegt werden.

Schritt 3: Eigenschaften möglichst in quantitativen Kenngrößen beschreiben

Schritt 4: Beurteilen der jeweiligen Eigenschaft der verschiedenen Varianten nach festzulegenden Wertvorstellungen.

Schritt 5: Bestimmen des Gesamtwertes für jede Variante. Der Idealwert der techn. Wertigkeit ist 1.

p_k = Punktzahl für die jeweils bewertete Eigenschaft

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

p_{max} = maximal zu erzielende Punktzahl

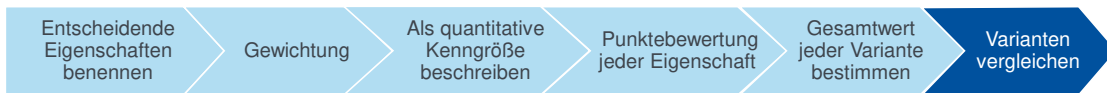
g_n = Gewichtungsfaktor für die jeweils bewertete Eigenschaft (keine Gewichtung: $g = 1$)

n = Anzahl der bewerteten Eigenschaften

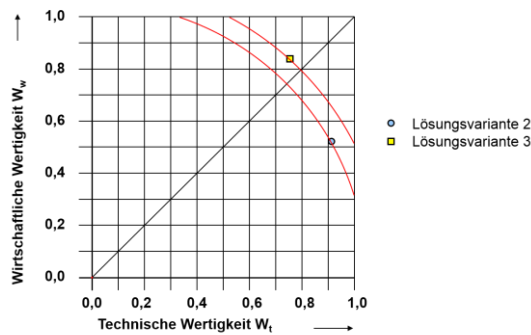
Für die wirtschaftliche Wertigkeit werden die ermittelten Herstellkosten der jeweiligen Lösungsvarianten in das Verhältnis zu den idealen Herstellungskosten H_0 gesetzt. Die zulässigen Herstellkosten werden z.B. über eine Marktuntersuchung ermittelt. Die wirtschaftliche Wertigkeit nimmt ebenfalls Werte zwischen 0 und 1 an.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien – Vorgehen



Wertigkeitsdiagramm (Stärkendiagramm):



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 52

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Schritt 6: Vergleichen der Varianten

Die VDI 2225 schlägt vor, beide Wertigkeiten in einem Wertigkeitsdiagramm darzustellen. Auf der Abszisse wird die Technische Wertigkeit W_t , auf der Ordinate die Wirtschaftliche Wertigkeit W_w aufgetragen. Die kombinierte graphische Darstellung beider Wertigkeiten ergibt oft eine gute Entscheidungshilfe für das Festlegen der prinzipiellen Lösung und damit der Freigabe zum Entwerfen. Die beste Lösung ist die mit dem größten Abstand zum Nullpunkt:

Lösungsvariante 2 → $W_t = 0,91$

Lösungsvariante 3 → $W_t = 0,75$

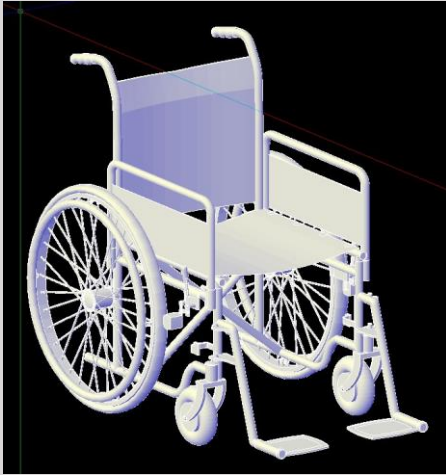
8.2 Der methodische Konstruktionsprozess					
8.2.2.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien					
Leitbeispiel Rollstuhl	Bewertungsbogen für einen Rollstuhl (detailliert)				
	Firma:		Projektnr.:		Ausgabe vom:
	Bearbeiter:				Ers. Ausg. v.:
	F	Nr.	Anforderungen	Lösungs- variante 1	Lösungs- variante 2
	W				Lösungs- variante 3
	F	1	Planungsdaten: Fertigstellung der Entwürfe	4	4
			Technisch-physikalische Anforderungen		
	F	2	Eigengewicht	4	4
	F	3	Traglast	3	1
	F	4	Gesamtbreite	0	4
			...	...	...
			Σp_k		59
			Wertigkeit $W_t (\Sigma p_{i,d}= 64)$		0,92
					0,75
Prof. Peter P. Pott			Folie 53		Institut für
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1					Medizingerätetechnik
					IMT

Hinweis: Hier wird ohne Gewichtung bewertet, d.h. g=1.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.2.8 Erste Designkonzepte

Leitbeispiel Rollstuhl



Quelle:
cad.de, cadblocksfree.com

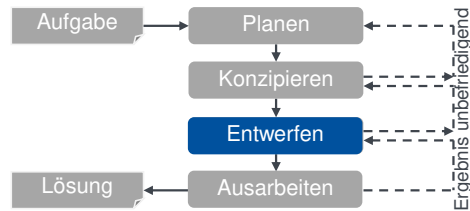
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 54

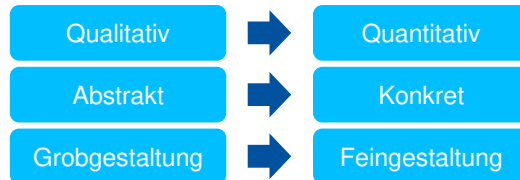
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.3 Entwerfen



Grundsätzliches Vorgehen:



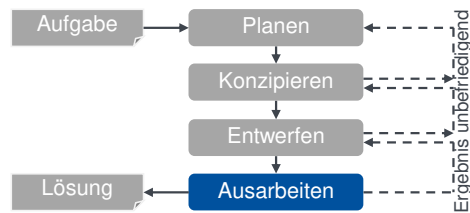
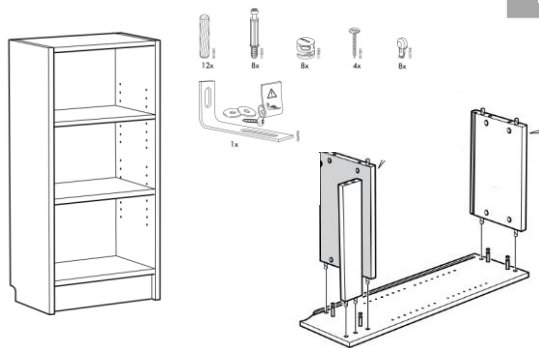
Entwerfen

Das Entwerfen beschreibt die konkrete Gestaltung der prinzipiellen Lösung. Hierfür werden die Hauptabmessungen des Produktes festgelegt, sowie die Werkstoffe und Fertigungsverfahren ausgewählt. Geometrische Verträglichkeiten werden überprüft, Dimensionierungen vorgenommen und ggf. noch nach Teillösungen für Nebenfunktionen gesucht. Zusätzlich werden z.B. die Herstellkosten ermittelt usw.

Das Entwerfen beinhaltet im Vergleich zum Konzipieren mehr korrektive Arbeitsschritte. Analyse- und Synthese-Vorgänge wechseln sich ab und ergänzen sich. Die Phase des Entwerfens ist komplex. Viele Tätigkeiten werden zeitlich parallel und iterativ durchgeführt. Es existiert kein allgemeingültiger Ablaufplan, das Vorgehen ist vielmehr dem Problem und dem vorliegenden Konkretisierungsniveau anzupassen.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten

Quelle:
ikea.comProf. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 56

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Ausarbeiten

Beim Ausarbeiten handelt es sich um die letzte Phase des Konstruktionsprozesses. Hier werden alle Unterlagen für Herstellung, Montage, Vertrieb, Transport und Betrieb des Erzeugnisses erstellt. Dazu gehören Gesamt- und Gruppenzeichnungen, fertigungsgerechte Einzelteil- und Fertigungszeichnungen, Zusammenbauzeichnungen, Explosionszeichnungen und auch Stücklisten.

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten

Leitbeispiel Rollstuhl



Quelle:
rehashop.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 57

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 58

Quelle:
rehash.p.de
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten

Leitbeispiel Rollstuhl



Quelle:
rehashop.de

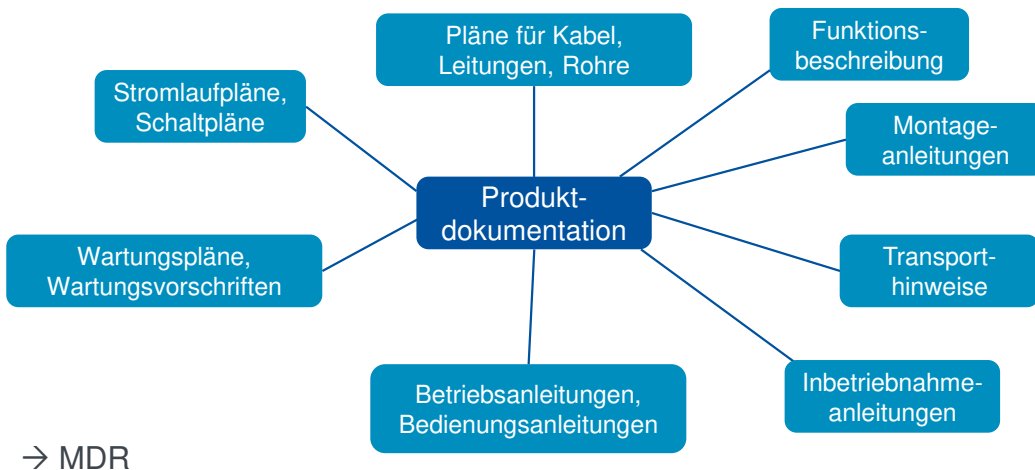
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 59

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Produktdokumentation



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 60

Institut
für
Medizingerätetechnik **IMT**

Produktdokumentation

Die Zusammenfassung dieser Unterlagen wird Produktdokumentation genannt und ist von großer Bedeutung bei zertifizierten Qualitätsmanagementsystemen, wie z. B. nach ISO 9001.

Zur Produktdokumentation gehören alle Unterlagen, die notwendig sind, das Produkt in der gewünschten Qualität und Anzahl herzustellen. Dazu zählen:

- Konstruktions-, Bauteil- und Zusammenbauzeichnungen
- Berechnungsunterlagen, Entscheidungsprozesse
- Schaltpläne und Platinenlayouts
- Kabellaufpläne, Rohrlaufpläne
- Montagehinweise, Transporthinweise, Anleitungen zur Inbetriebnahme, Wartungshinweise
- Bedienungsanleitungen
- Prüfpläne
- Fertigungsunterlagen
- Und vieles (!) andere mehr...

Die Unterlagen sind unter Beachtung aller relevanter Normen und Richtlinien zu erstellen und stets aktuell zu halten (Änderungsdienst).

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Anwendererprobung

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 61

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Anwendererprobung

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 62

Institut
für
Medizingerätetechnik **INF**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

8.2.4 Ausarbeiten – Anwendererprobung

Leitbeispiel Rollstuhl



Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 63

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8.2 Der methodische Konstruktionsprozess

Mobilitätshilfen mit anderen Anforderungen

Leitbeispiel Rollstuhl



Quelle: der-querschnitt.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 64

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

8. Produktentwicklung

Kontrollfragen

1. Warum ist in der Regel ein methodischer Konstruktionsprozess einer intuitiven Lösungsfindung vorzuziehen?
2. In welche vier Phasen lässt sich der Entwurfsprozess nach VDI 2221 einteilen?
3. Wozu eignet sich ein Gantt-Diagramm?
4. Welche fünf Kategorien eignen sich zur Strukturierung einer Anforderungsliste?
5. Erstellen Sie einen morphologischen Kasten zum Thema „Sommerurlaub 2021“. Finden Sie dabei Teillösungen für folgende Teilprobleme: Transportmittel, Urlaubsort, Dauer und Unterkunft.

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.: IDEnKompakt, 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)



Universität Stuttgart

Konstruktion in der Medizingeräte- technik 1

9. Produkt und Produktprogramm

WS 2020/21

Prof. Dr.
Peter P. Pott



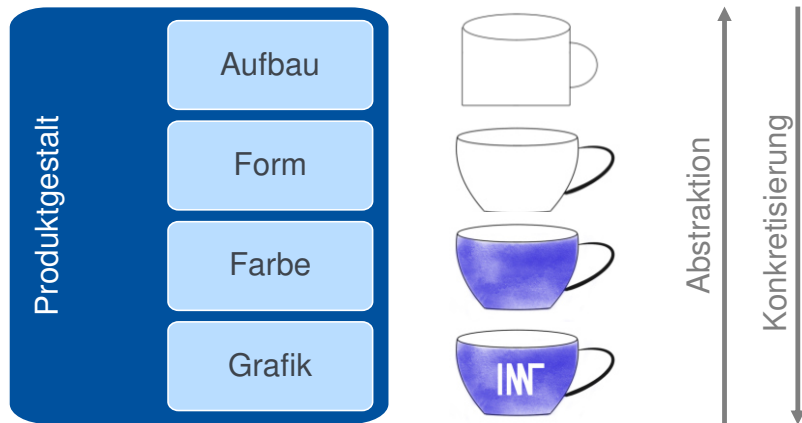
9. Produkt und Produktprogramm

Inhalt

- 9.1 Produktbeschreibung
- 9.2 Erweiterte Produktbeschreibung
- 9.3 Produktprogramm
- 9.4 Literaturverzeichnis

9.1 Produktbeschreibung

9.1.1 Definition der Produktgestalt



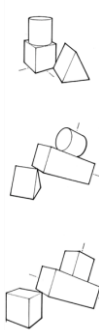
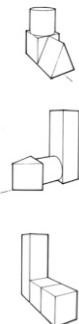
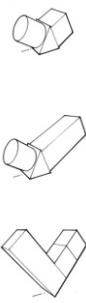
Produktgestalt

Die Produktgestalt beschreibt die Gesamtheit der Teilgestalten *Aufbau*, *Form*, *Farbe* und *Grafik*.

- Dabei umfasst die Teilgestalt *Aufbau* beispielsweise die Definition bzw. Konkretisierung von Funktionsbaugruppen, Anzeigen und Stellteilen oder Tragwerken und Verkleidungen, einschließlich deren Anordnung.
- Die Teilgestalt *Form* thematisiert die Wirkflächen, Bedienungsformen oder auch Fertigungsformen der Aufbauelemente.
- Darüber hinaus wird im Rahmen der Teilgestalt *Farbe* z.B. der Farbton, die Helligkeit und Sättigung bzw. die Textur der Aufbauelemente festgelegt.
- Beschriftungen, Ziffern oder Piktogramme auf den Aufbauelementen sind der Grafik zugehörig.

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 1		Folie 4				Institut für Medizingerätetechnik

Quelle:
Seeger (Design technischer Produkte,
Produktprogramme und -systeme)

Produktgestalt

Abstrakte Darstellung der Möglichkeiten zur räumlichen Anordnung von drei Gestaltelementen.

9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für den Gestaltaufbau



O-Press



C-Press



Doppel-C-Press



Quellen:

stama.ch, rucks.de, wikipedia

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 5

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

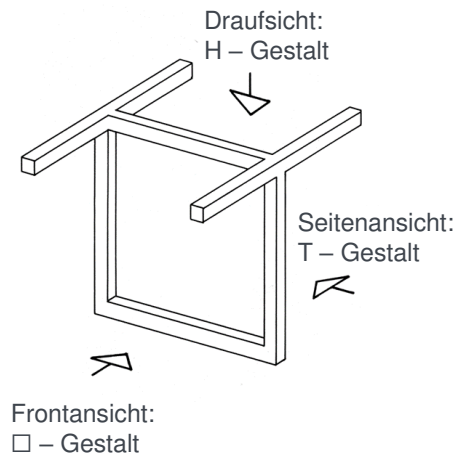
Gestaltaufbau – Presse

Pressen sind Umformmaschinen, mit denen beispielsweise Buchsen eingepresst (Fügen), Getränkedosen tiefgezogen (Umformen) oder auch Bleche geschnitten (Trennen) werden können. Bezüglich des Gestaltaufbaus wird zwischen Pressen mit C-Gestellen und O-Gestellen unterschieden. Wobei bei den C-Gestellen weiter in Einständer-Bauweise (C-Press) und Doppelständerbauweise (Doppel-C-Press) gegliedert wird. Die Wahl der Gestalt ist abhängig von Produkt- oder Prozess-Anforderungen (beispielsweise ist die Zugänglichkeit des Presswerkzeuges bei einer C-Press viel besser) und Anforderungen an z.B. die Steifigkeit, die bei dem O-Gestell viel höher ist.

9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für den Gestaltaufbau – Räumliche Aufbautypen

- □-T-H-Gestalt



Quelle:
Seeger (Design technischer Produkte,
Produktprogramme und –systeme)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 6

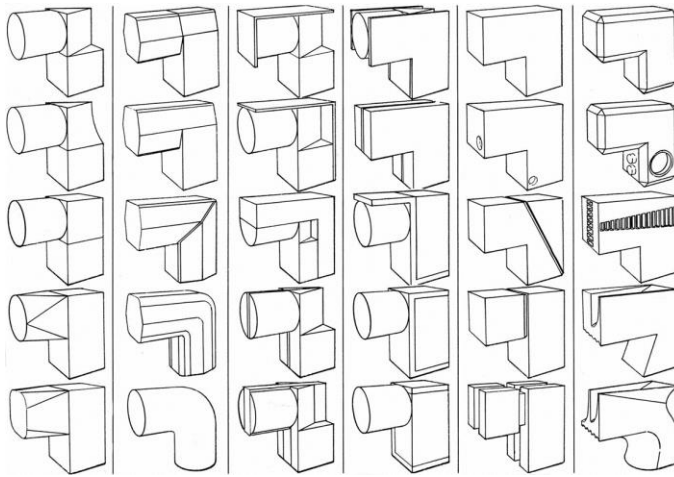
Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Gestaltaufbau

Die Gestalt eines Produktes kann aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet unterschiedlich erscheinen. Dies kann für die Gestaltung u.U. sinnvoll genutzt werden.

9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für Formgebung



Quelle:
IKTD, Universität Stuttgart

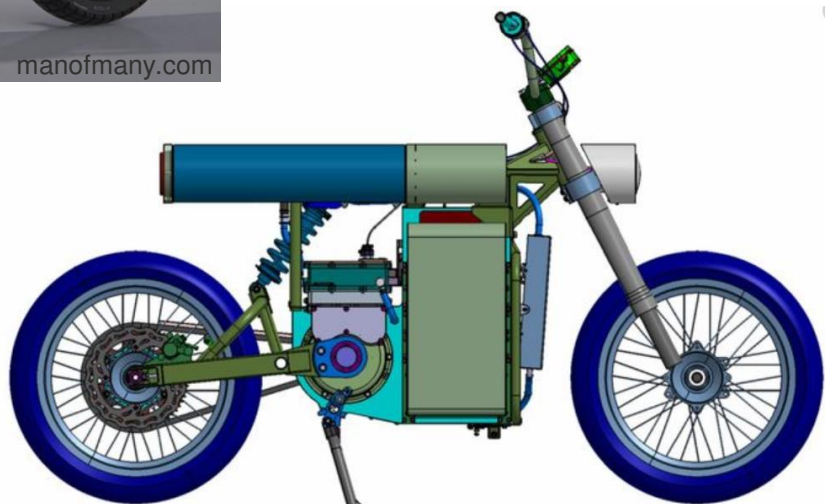
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 7

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Beispiele für die Formgebung

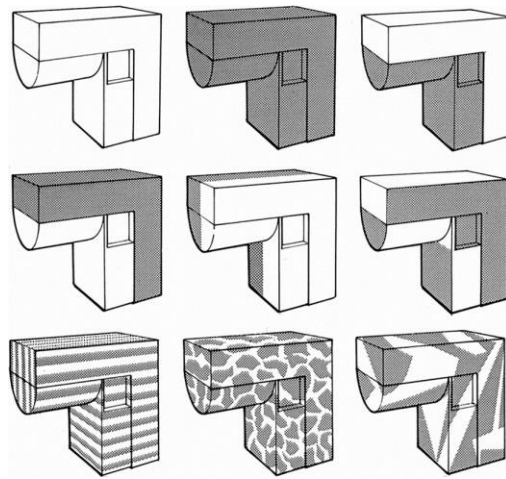
Eine L-förmige Gestalt kann unterschiedlich ausgeführt werden. Das Beispiel zeigt abstrakt wie aus verschiedenen Formelementen (z.B. Zylinder, Quader, Prisma) die L-form in verschiedenen Ausführungen realisiert werden kann.



motoradonline.de

9.1 Produktbeschreibung

9.1.2 Beispiele für Farbgebung



Quelle:
IKTD, Universität Stuttgart

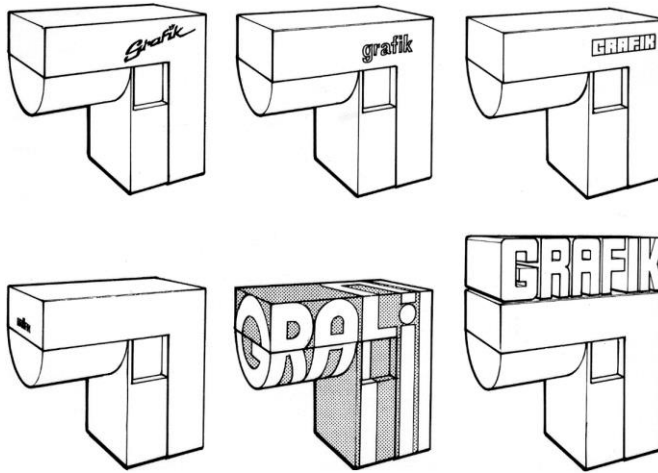
Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 8

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 1

Folie 9

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.1 Produktgestalt



Untergliederung der Produktgestalt als erweiterte Produktbeschreibung

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.1 Produktgestalt – Beispiel eines Magnetresonanztomographen



Untergliederung der Produktgestalt als erweiterte Produktbeschreibung

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

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 11

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Weiteres Beispiel: Zur Versorgung der Behandlungseinheiten in Zahnarztpraxen bietet die Firma Dürr Dental (Dürr Dental SE, Bietigheim-Bissingen) ihren „Power Tower“ an, der Druckluft, Absaugung und weitere Module in einem kompakten Gehäuse kombiniert. In den Abbildungen kann einfach die Funktionsgestalt sowie die Tragwerksgestalt (Tragwerk und Gehäuse) identifiziert werden. Die modulare Bauweise ermöglicht es, verschiedene Funktionselemente an der Tragwerksgestalt zu befestigen.



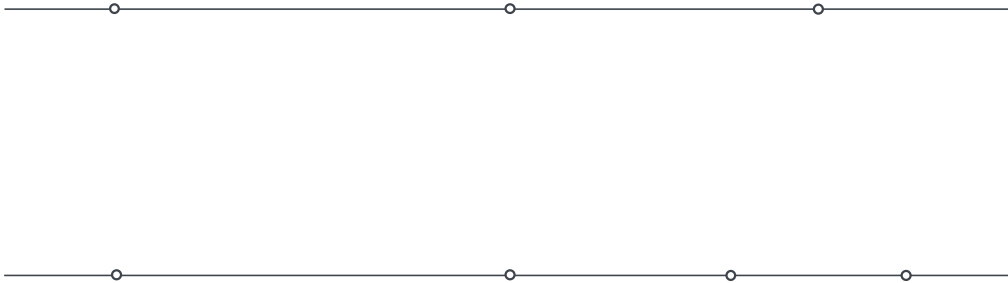
duerrdental.com



9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

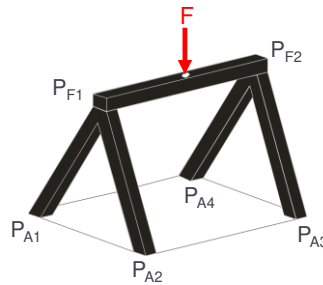
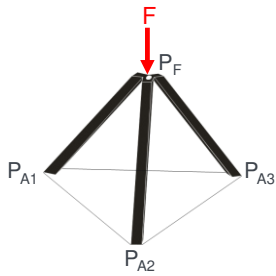
9.2.2 Tragwerksgestalt - Kraftleitung

- Konzeptionen von Tragwerksgestalten aus der Kraftleitung



9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.2 Tragwerksgestalt – Kraftleitung



Quelle:
Seeger (Design technischer Produkte,
Produktprogramme und –systeme)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 13

Institut
für
Medizingerätetechnik **INM**

Tragwerksgestalt – Kraftleitung

Auf der Folie werden zwei verschiedene Tragwerksgestalten hinsichtlich ihrer Kraftleitung untersucht. Beim sogenannten Dreibein (links) liegt eine direkte Verbindung von dem Punkt P_F mit den Punkten P_{A1} – P_{A3} vor. Das Dreibein weist eine Pyramidengestalt aus drei schrägen Stabelementen auf. Rechts dargestellt ist ein Bock, welcher sich aus zwei Pylon-Gestalten und einem waagrechten Stabelement zusammen setzt. Diese Portal-Pylon-Gestalt verbindet den Punkt P_{F1} und P_{F2} indirekt mit den Punkten P_{A1} – P_{A4} .

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.2 Tragwerksgestalt – Patientenliege



Quelle:
hfhealthcare.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 14

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Tragwerksgestalt – Funktionsintegration

Tragwerksgestalt und Funktionsgestalt sind nicht immer eindeutig zu trennen. Das Beispiel der höhenverstellbaren Liege zeigt, wie die technische Problemstellung *Höhenverstellung* in die Gestaltung des Tragwerks einfließt.

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.3 Interfacegestalt



Ultraschallgerät



Dialysegerät



Endoskop

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 15

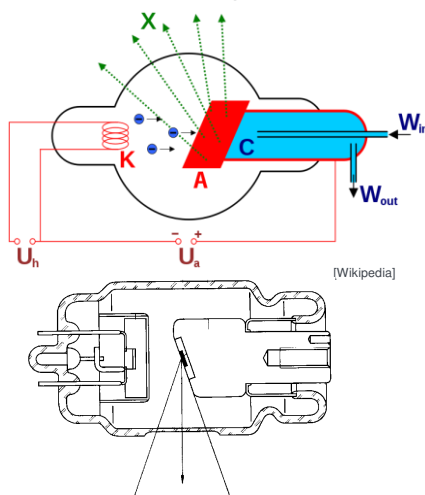
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Interfacegestalt

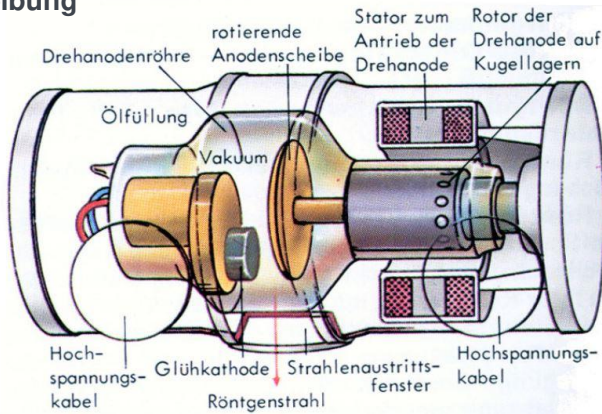
Das Interfacedesign beschreibt die Gestaltung von Benutzeroberflächen. Dabei spielen nicht nur Anforderungen des Anwenders an das Produkt und die Analyse bestimmter Verhaltensmuster eine Rolle. Die Auslegung des Interfacedesign bestimmt maßgeblich, inwieweit eine Dialogfähigkeit zwischen Mensch und Maschine vorliegt. Neben dem funktionellen Aspekt bestimmt das Interface im heutigen Markt auch das Image eines Produkts. Die Interfacegestalt spielt als zentrales Bedienelement auch in manchen medizintechnischen Produkten eine wesentliche Rolle. Dabei sind die Beachtung von Aspekten wie Ergonomie- und Benutzerfreundlichkeit oder Bediensicherheit ebenso relevant wie beispielsweise Anforderungen an die Bedienbarkeit (mit Handschuhen, Stift, Multitouch). Darüber hinaus kann z.B. eine Flüssigkeits- und Reinigungsresistenz oder auch Keimfreiheit notwendig sein. So unterscheidet sich je nach Produkt z.B. die Anzahl einzustellender Parameter und damit die Komplexität des Interfaces (Dialysegerät, Endoskop) oder auch die räumliche Anordnung (Ultraschallgerät: Display und Bedienmöglichkeit getrennt).

9.2 Erweiterte Produktbeschreibung

9.2.4 Funktionsgestalt



[Wikipedia]

Quelle:
Agrv.deProf. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 16

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Funktionsgestalt – Aufbau einer Röntgenröhre

Die Funktionsgestalt der Röntgenröhre ist dazu da, die folgenden wesentlichen Anforderungen zu erfüllen:

- Emission der Elektronen an der Kathode → Heizung der Kathode
- Beschleunigung der Elektronen → Leitung der Hochspannung
- Abbremsen der Elektronen an der Anode → Bildung eines möglichst kleinen optischen Brennflecks
- Abführen von Wärme von der Kathode
- Abführen von Wärme von der Anode → großer thermischer Brennfleck, Erzeugung der Rotation der Anode (Antrieb, Lagerung)
- Abschirmen der Röntgenstrahlung in unerwünschten Richtungen → Fenster im Stahlgehäuse
- ...und das alles im Vakuum.

Die Umsetzung der Anforderungen in die Funktion erzeugt die abgebildete Gestalt:

- Zylindrisches Gehäuse aus Stahl ggf. mit Blei-Einlage
- Große Flächen für Wärmeabfuhr
- Elektrische Isolation
- Antrieb der Anode
- uvm.

9.3 Produktprogramm



Quelle:
bechtold-sohn.de

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 17

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Produktprogramm

Ein Produktprogramm besteht aus mindestens zwei Produkten eines Herstellers, die dem gleichen Zweck dienen, jedoch unterschiedliche Designs und/oder Größen aufweisen. Ein Produktprogramm greift dabei auf Baureihen oder Baukästen zurück. Auf der Folie ist beispielhaft ein Wunddrainagesysteme von Bechtold & Sohn dargestellt.

9.3 Produktprogramm

9.3.1 Baureihen

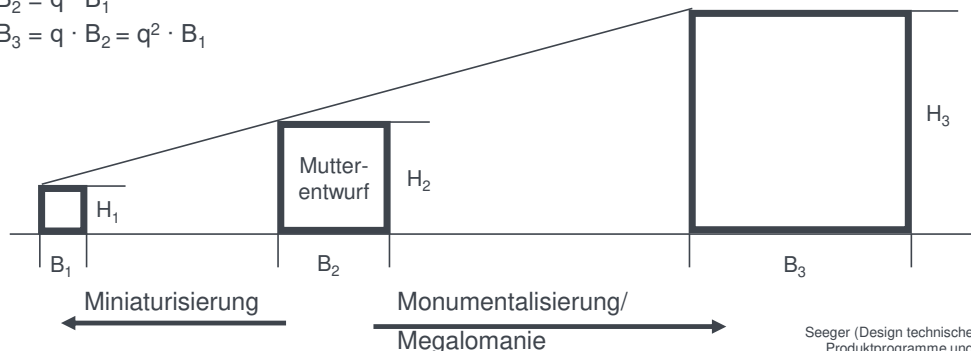
$$H_2 = q \cdot H_1$$

$$H_3 = q \cdot H_2 = q^2 \cdot H_1$$

$$B_2 = q \cdot B_1$$

$$B_3 = q \cdot B_2 = q^2 \cdot B_1$$

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



Quelle:
Seeger (Design technischer Produkte,
Produktprogramme und -systeme)

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 18

Institut
für
Medizingerätetechnik **IN**

Produktprogramm – Baureihen

Sogenannte Größenbaureihen entstehen durch die Miniaturisierung bzw. Monumentalisierung eines Mutterentwurfs. Die Größenänderung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Baugrößen wird als Stufensprung q bezeichnet. Dabei sollten nach Möglichkeit Normzahlen verwendet werden.

9.3 Produktprogramm

9.3.1 Baureihen



Quelle:
rewa-shop.de; Kocomotion.de; Baxter

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 19

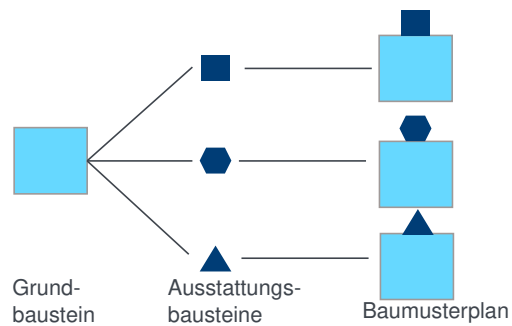
Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Baureihen

Die NEMA Schrittmotoren sind eine genormte Reihe von Schrittmotoren. Dabei steht NEMA für "National Electrical Manufacturers Association", eine amerikanische Normungsorganisation. Sie werden in Baugrößen mit einem äußeren Kantenmaß (Flanschmaß) zwischen 20 mm und 110 mm gefertigt. Das Flanschmaß in 1/10" ist dabei jeweils der Name der Baugröße. Die wichtigsten Baugrößen sind Nema 17, Nema 23 und Nema 34. Nema 17 bedeutet also 1,7" und entsprechen 43,18 mm (tatsächliches Flanschmaß: 42,0 mm).

9.3 Produktprogramm

9.3.2 Baukasten



Produktprogramm – Baukasten

Ein Baukasten besteht aus einem Grundbaustein und diversen variablen Bausteinen, hier als Ausstattungsbausteine bezeichnet. Baukästen erfüllen durch einen hohen Gleichteilanteil gleichzeitig fertigungstechnische und wirtschaftliche Kriterien.

9.3 Produktprogramm

9.3.2 Baukasten – C-Bogen-Baukasten der Firma Siemens



Quelle: med-archiv.de,
Siemens Healthcare

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 21

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Produktprogramm – Baukasten

Auf der Folie sind verschiedene C-Bögen der Firma SIEMENS abgebildet. Diese werden zur intraoperativen dreidimensionalen Röntgenbildgebung verwendet. Dabei kommt das Prinzip der starren Isozentrik zum Einsatz, bei dem der Zentralstrahl sich unabhängig von der Ausrichtung in einem festen Raumpunkt schneidet.

- SIREMOBIL Compact L (oben, links)
- ARCADIS Avantic (unten, links)
- ARCADIS Varic (oben, rechts)
- ARCADIS Orbic 3D (unten, rechts)

9.3 Produktprogramm

9.3.2 Baukasten – Pipettenprogramm der Firma Eppendorf



Quelle:
Eppendorf

Prof. Peter P. Pott
Konstruktion in der Medizingerätetechnik 1

Folie 22

Institut
für
Medizingerätetechnik **INT**

Produktprogramm – Baukasten

Ein weiteres Beispiel für ein Baukasten-basiertes Produktprogramm ist das Pipettenprogramm der Firma Eppendorf. Die Einkanal Eppendorf Pipette Research ist links dargestellt. In der Mitte ist die Mehrkanal Pipette Eppendorf Research abgebildet, mit der im 8- und 12-Kanal-Betrieb lange Serien und unterschiedlichste Applikationen durchgeführt werden können. Rechts dargestellt ist die Elektronische Pipettierhilfe Eppendorf Research pro.

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“



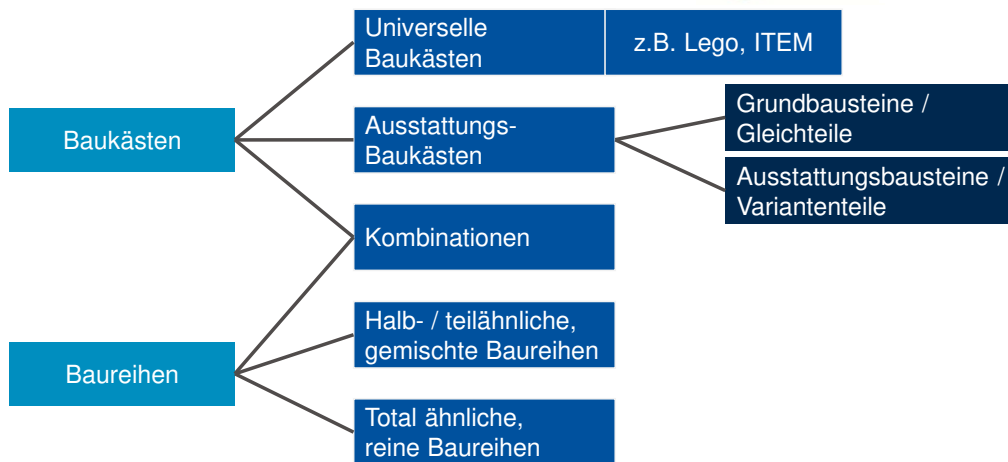
Avantgarde XXL2

„Außerordentliche Stabilität“

Quelle:
ottobock.de

9.3 Produktprogramm

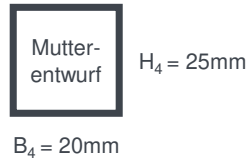
9.3.3 Lösungsprinzipien für Produktprogramme



9. Produkt und Produktprogramm

Kontrollfragen

1. Geben Sie die Abmaße H_1 , B_1 und H_6 , B_{16} an (Normreihe R10).



2. Welche Teilgestalten umfasst die Produktgestalt? Erläutern Sie den Hintergrund.

9.4 Literaturverzeichnis

- Maier, T., Schmid, M.: IDEnKompakt, 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