

Robotik 1 - Robot Design Lab

Mechanical Design

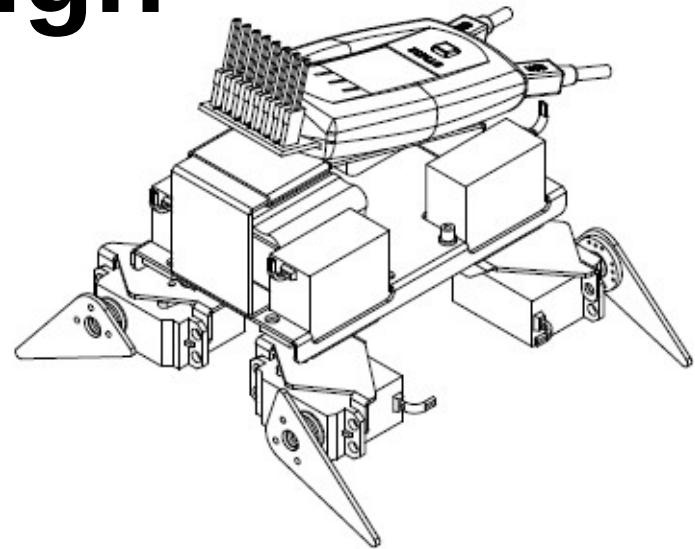
DFKI Bremen & University of Bremen
Felix Bernhard (felix.Bernhard@dfki.de)

Robotics research group

Director: Prof. Dr. Frank Kirchner

www.dfki.de/robotics

robotics@dfki.de



- Introduction
 - What is mechanical design?
 - Examples of robot designs
- How to design and construct?
 - Principle solutions
 - Layout / design
 - CAD / drawing
- Manufacturing processes
- Biomimetic design
- Recommended literature



- Introduction
 - What is mechanical design?
 - Examples of robot designs
- How to design and construct?
 - Principle solutions
 - Layout / design
 - CAD / drawing
- Manufacturing processes
- Biomimetic design
- Recommended literature

What is Mechanical Design?

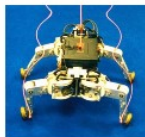
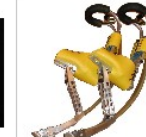
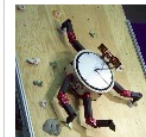
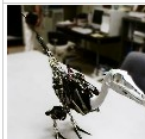


- The design process of mechanical components and systems (natural and artificial)
- This consists of mathematics, material science, mechanics (and sometimes biology)



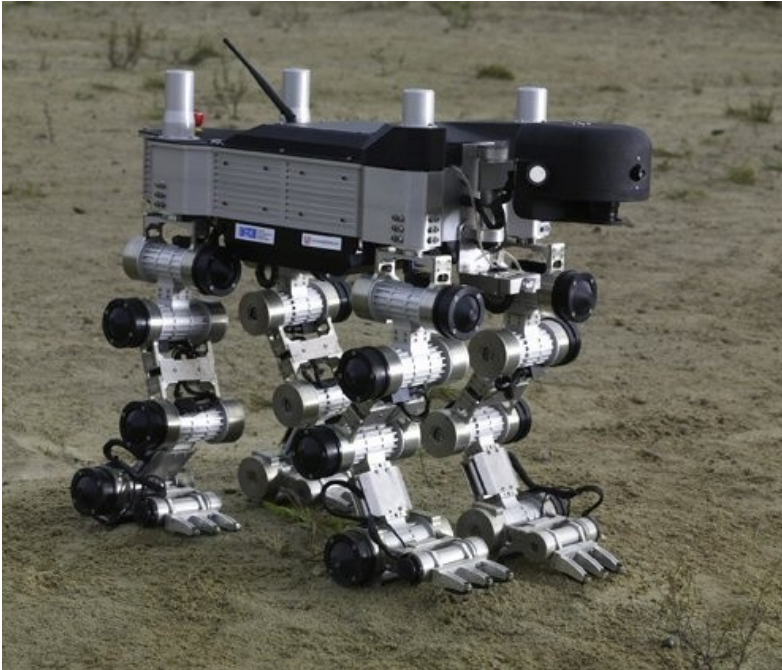
Examples of Robot Designs



Walking / Running			Driving			Hybrid	Crawling	Climbing	Non-Robotic
bipedal	more legs		wheels		tracks				
 Asimo	 Spaceclimber	 Strider	 Rimres Sherpa	 AILA Fahrwerk	 Galileo Viper	 Asguard	 TET-Walker	 MINOAS Magnet Crawler	 Trustep Prosthesis
 Flame	 Little Dog	 Roller Walker	 Mars Rover Spirit (Rocker Boogie)	 Rezero	 Packbot	 IMPASS	 Strandbiester	 Stickbot	 Powerskip
 Lola	 Scout2	 MIT One-Leg-Hopper	 DLR-Raddesign	 Rollin Justin	 Warrior	 Rhex	 Adelopod	 Rise	 Honda Walking Assist Devices
 Johnnie	 Tekken	 PAW	 Axel Rover	 Gyrover	 Hirose Helios Carrier	 Mini-Whegs	 Chembot	 Lemur	 Segway x2
 Troody	 MIT Quadruped	 ScarETH/StarETH	 Shrimp / Solero	 Autonomous car	 Switchblade	 Loper	 WSL: Whole Skin Locomotion	 Waalbot	 Uncle Sam
									

(Source: RIC Mechanics Collection)

ARAMIS



- 4-legged robot „ARAMIS“
- 6 Degrees of Freedom (DOF) per leg / 2 DOF @ Head
- Laserscanner and camera
- Inertia measuring unit and foot pressure sensors

SCORPION



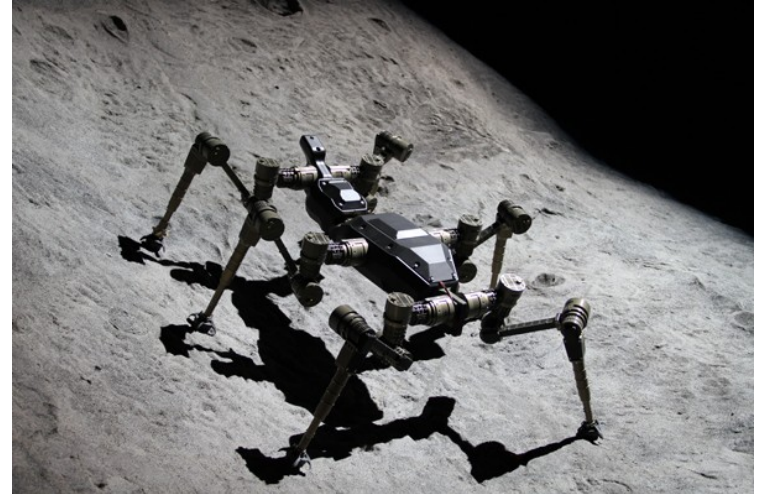
- 8-legged robot „SCORPION“
- 3 DOF per leg
- 1 linearer passive DOF per leg
- Camera
- Foot pressure sensors

Sherpa

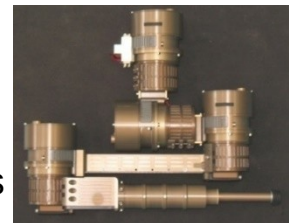


- Heterogeneous robot for the exploration of extraterrestrial planets
- Modularity, payload elements, robot cooperation (SpaceClimber)
- Versatile drivetrain
- Successors: SherpaTT, Sherpa UW, ATER

SpaceClimber



- 4 DOF per leg
- Extremely versatile
- foldable
- Camera & pressure sensors



Charlie



- 36 DOF in total
- Spine with 6 DOF
- Biological inspired feet, 48 FSR-Sensors per feet
- Locomotion-study

Mantis

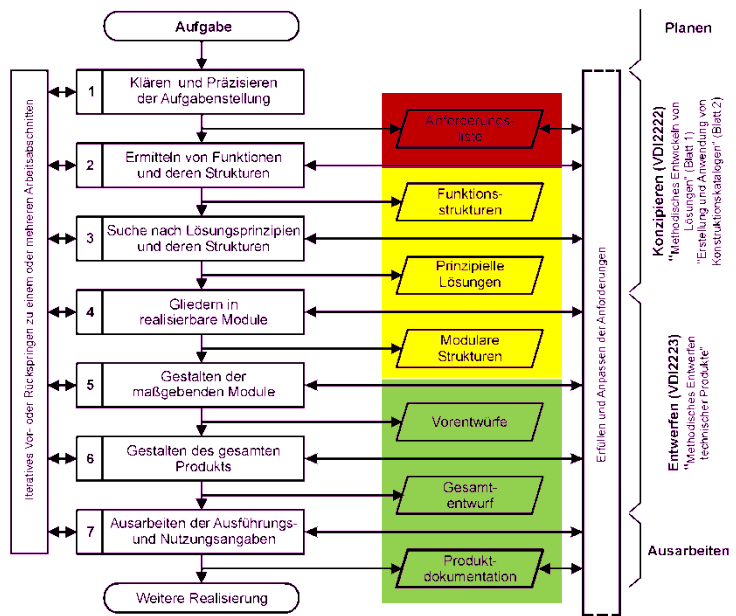


- Locomotion- & manipulation-system for rough environments
- 6 extremities / 2 usable as manipulators
- Stereo-camera system



- Introduction
 - What is mechanical design?
 - Examples of robot designs
- How to design and construct?
 - Principle solutions
 - Layout / design
 - CAD / drawing
- Manufacturing processes
- Biomimetic design
- Recommended literature

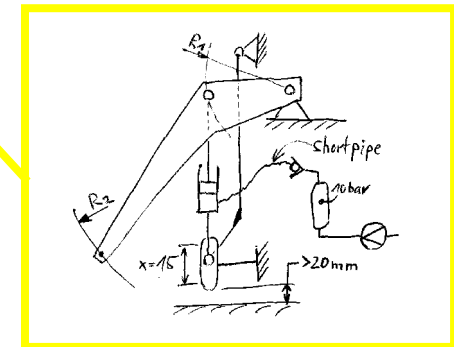
Construction Process



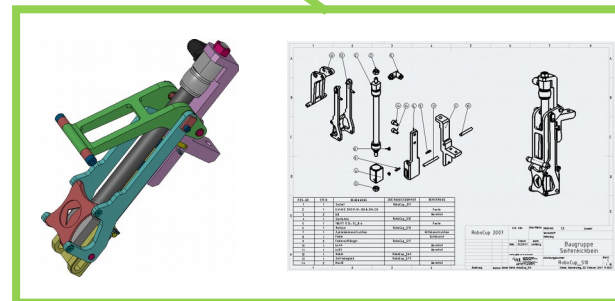
specification

Anforderungsliste modularer DGG-Filter				Blatt 1/2
Ander.	FW	Anforderung		
28.1.04		Geometrie		
-	F	Tiefe <120mm		
-	F	800-1000x200x350mm Querschnitt		
-	F	Die Höhe wird in den Stufen 200, 250 und 300 angeboten.		
-	F	Die Breite wird in den Stufen 600, 800 und 1000 angeboten.		
-	F	aktive Öffnungsfläche >70%		
-	F	Das Filterprinzip wird auf einen Massenstrom von 550 L/s ausgelegt.		
-	F	Die Schnittstellen des Filters passen an Vossloh-Kiepe DGG (Luftkanal).		

principles



design



Sources of information

documentation

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

book



obvious
clear
complete

ikt. Engineering			Blatt 1/2
Anforderungsliste modularer DGG-Filter			
Änder.	F/W	Anforderung	
28.1.04		Geometrie	Beck, Brumm,
"	F	Tiefe <120mm	Fehres,
"	F	600-1000x200x350mm Querschnitt	Follmann,
"	F	Die Höhe wird in den Stufen 200, 250 und 300 angeboten.	Freundt,
"	F	Die Breite wird in den Stufen 600, 800 und 1000 angeboten.	Hack,
"	F	aktive Öffnungsfläche >70%	Hamelmann,
"	F	Das Filterprinzip wird auf einen Massenstrom von 550 L/s ausgelegt.	Hegeler,
"	F	Die Schnittstellen des Filters passen an Vossloh-Kiepe DGG (Luftkanal, DGG-Außenwand)	Houben,
			Kamecke,
			Plogmann,

when?

requirement wish

what?

= has to be fulfilled
= „Would be nice if...“

who?
(to blame...)



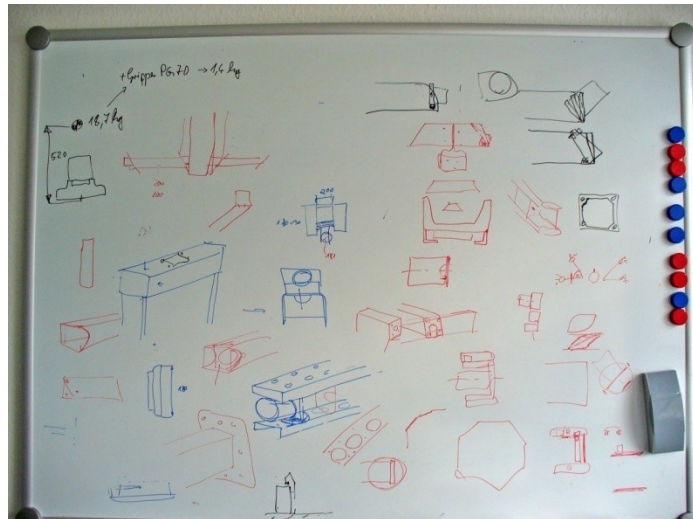
Tip:
A picture says more than a thousand words. Add photos and sketches!



Tip:
The more of the wishes you realize the better the product will be in the end.

- 1) Document ideas fast and unbureaucratic
- 2) Systematic aftertreatment

1) sketches



2) „morphologic box“

Part-solutions

Wirkprinzip Teilfunktion	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	elektrisch mech. Elektromotoren versch. Bauart	Linearmotor	Elektrostriktion	Magnetstriktion	Piezoelekt.	Kondensator	Elektromagnet		
2	elektrisch hydraul. Hydrostat. Ver- drängereinheiten (Pumpe od. Motor)	Hydrodynamisches Prinzip (Pumpe od. Turbine)	MHD-Effekt	Elektroosmose, Elektrophorese					
3	mech. mech. Schraubgetriebe	$F \cdot \Delta s$ Rädergetriebe	$F \cdot \Delta s$ Kurbelgetriebe	$F \cdot \Delta s$ Kurbelgetriebe	Kombinierte Getriebe	Platzliche Fixierung	Hebel	Zug- mittel- getr.	
4	mech. hydraul. Schubkolben	$F \cdot \Delta p$ Schraubpumpe bzw. -motor	$F \cdot \Delta p$ Zahnradpumpe bzw. -motor	$F \cdot \Delta p$ Flügelzahn- pumpe bzw. motor	Axialkolben- pumpe bzw. motor	Radialkolben- pumpe bzw. motor	Hydrodynamisches Prinzip	Antriebseffekt	
5	Energie spei- chern $E(t)$ $E(t + \Delta t)$	Mechanische Energie			Elektrische Energie		Hydraulische Energie		
6	Energie hinsichtl. Größe und Zeit steuern	Mechanische Energie			Elektrische Energie		Hydraulische Energie		
7	Energiekompo- nente ändern	Mechanische Energie			Elektrische Energie		Hydraulische Energie		

Total solution



Viehbahn

books

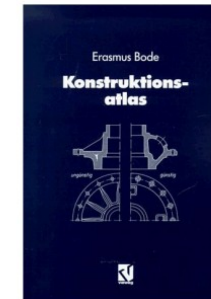


Roth

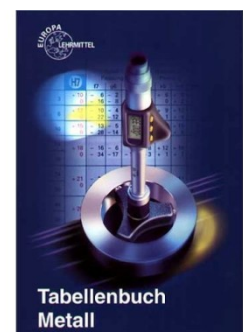
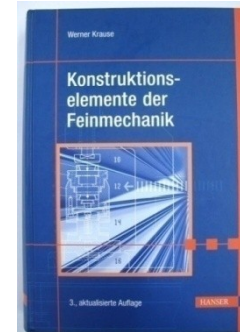
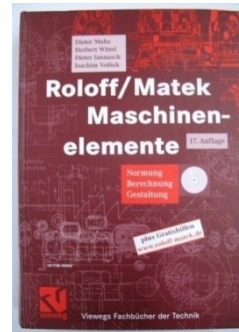
- 1) qualitative: find forms and variations
- 2) quantitative: determine measurements
- 3) Modeling and drawing

books

qualitative shape synthesis



quantitative shape synthesis



drawing



1) qualitative design



- Machine elements: use buyable standard parts!
- vary shapes
- stick to the rules
 - rules of design: simple, clear, safe
 - -principles: short force leads, etc.
 - -rules: weldable, manufacturable

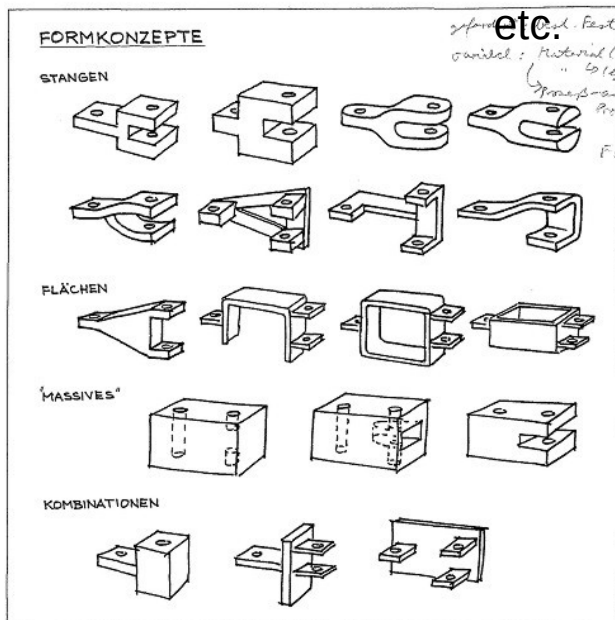


Bild 60 Formkonzepte für Gabelglied, aufgestellt aufgrund von Bild 59 und einer Variation von Formgeometrie und -Abmessungen (siehe auch Bild 98)

7.5 Gestaltungsrichtlinien 455

Verf.	Gestaltungsrichtlinien	Ziel	nicht fertigungsgerecht	fertigungsgerecht
Ma	Bevorzugen einfacher Formen für Modelle und Kerne (geradlinig, rechteckig).	A		
Ma	Anstreben ungeteilter Modelle, möglichst ohne Kerne (z.B. durch offene Querschn.).	A		
Fo	Vorsehen von Ausheb- schrägen von der Teilfuge aus (DIN 1511).	Q		
Fo	Anordnen von Rippen so, dass Modell ausgehoben werden kann, Vermeiden von Hinterschneldungen.	Q		
Fo	Lagern der Kerne zuverlässig.	Q		
Gi	Vermeiden waagerechter Wandteile (Gasblasen, Lunker) und sich verengender Querschn. zu den Steigern.	Q		
Gi	Anstreben gleichmäßiger Wand- dicken und Querschnitte sowie allmählicher Querschnittsüber- gänge, Beachten der Werkstoff- eigenheiten für zul. Wand- dicken und Stückgrößen.	Q		
Be	Anordnen der Teilfugen, dass Guss- versatz nicht statt in Bearbei- tungszonen liegt oder leichte Gratentfernung möglich ist.	A		
Be	Vorsehen gießgerechter Bear- beitungszugaben mit Werk- zeugauslauf.	A		
Be	Vorsehen ausreichender Spannflächen.	Q		
Be	Vermeiden schrägliegender Bear- beitungszugaben und Bohrungsansätze.	A		
Be	Zusammenfassen von Bear- beitungszugaben durch Zusam- menlegen und Angleichen von Bearbeitungszugaben und Bohrungen.	A		
Be	Bearbeiten nur unbedingt not- wendiger Flächen durch Auf- teilen großer Flächen.	A		

Machine elements - screws



- Screw connections are nonpositive, detachable connections
- The thread pitch is the distance between two adjacent threads
- Most of the screws are standardized

M6 x 1 - 20

Metric ISO-
thread

Nominal diameter
6mm

Thread pitch
1mm

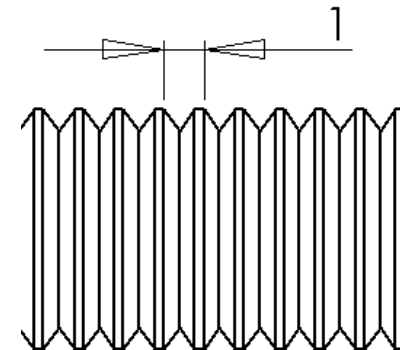
Thread length
20mm



Hexagon socket head cap
screw



Outside diameter of M6
thread



Thread pitch M6
screw

Machine elements - screws

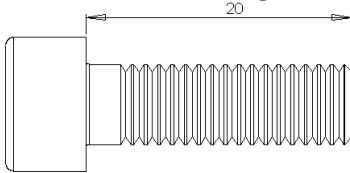


- Different thread types
(Metric, fine-, cone-, Trapezoidal-, pipe-...)
- Right-hand and left-hand thread
- Different materials and strength classes
- Different head shapes

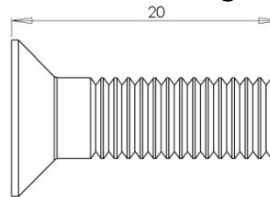


Screw-head disc nut

Cylinderhead screw
20mm long



Countersunk screw
20mm long



Strength class 8.8
Yield strength 640 N/mm²
Tensile strength 800 N/mm²

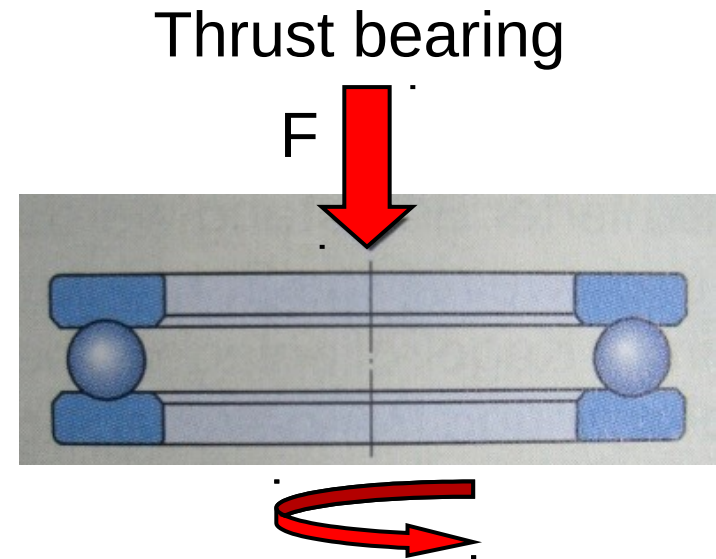
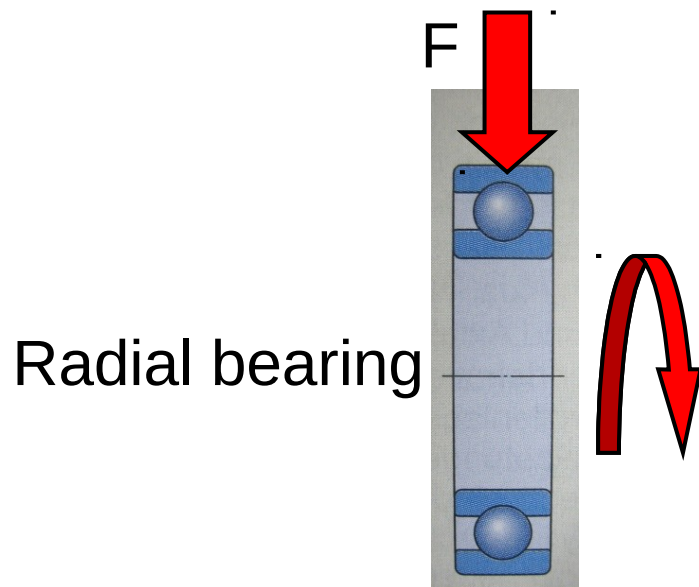


Strength class A2-70
Stainless Steel
Yield strength 450 N/mm²
Tensile strength 700 N/mm²

head-shapes

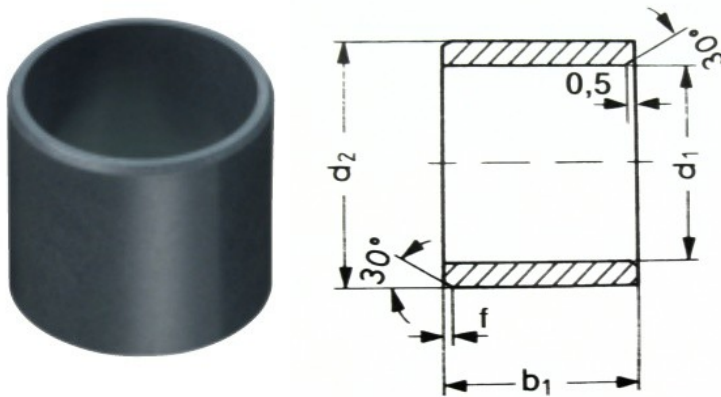
Slotted screw	
Phillips screw	
Hexagon socket head cap screw	
Hex bolt	

- Support and guidance of moving parts
- Name according to direction of load
- Radial bearing – load perpendicular to the axis of rotation
- Thrust bearing – load in the direction of the axis of rotation

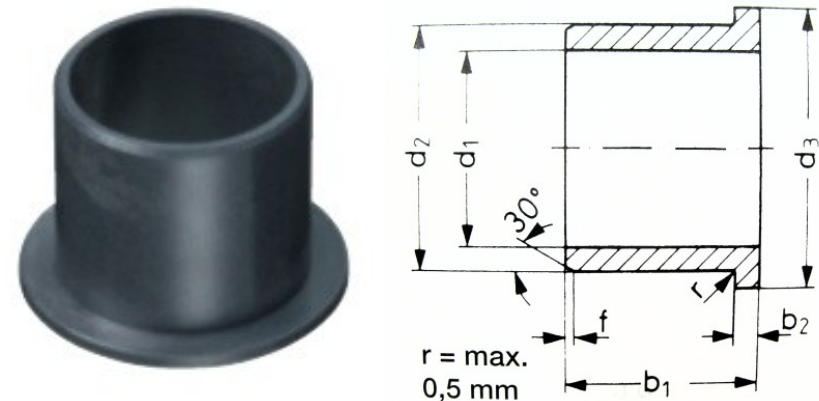


Source: SKF Hauptkatalog

- Work with low slide friction materials
- Relative movement between shaft and bearing shell
- Suitable lubrication can reduce the friction up to a maximum of factor 100
- Plain bearings are less suitable for very high speeds
- High surface quality is important for the life of the bearing
- Space-saving, inexpensive, light and robust



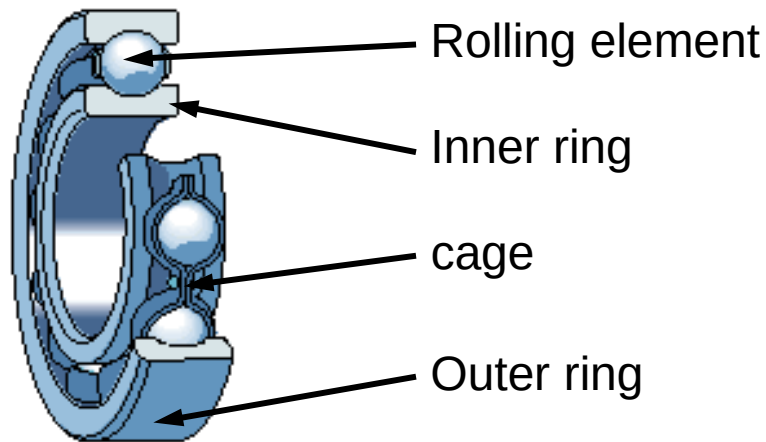
Plain bearing without collar



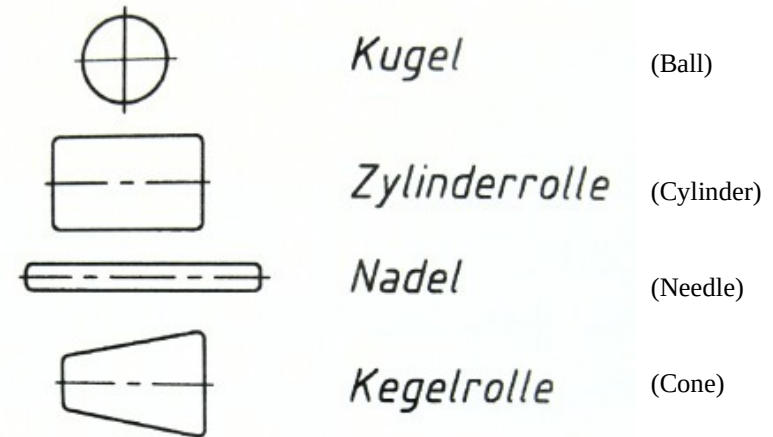
Plain bearing with collar

source: Igus catalogue, 2006

- Rolling friction –rolling elements on bearing rings
- Almost without friction, high rotation speeds
- Sensitive to impacts at low rotation speeds
- Sensitivity to dirt
- Naming of the bearing according to the rolling element shape
(ball bearing, cylindrical roller bearing, needle bearing, tapered roller bearing...)



bearings - source: SKF main catalogue



Rolling element shapes - source: Roloff / Matek

Machine elements - sealings



- Static sealings
- Dynamic sealings
- O-rings (round rings)
- Radial shaft seal (Simmerrings)

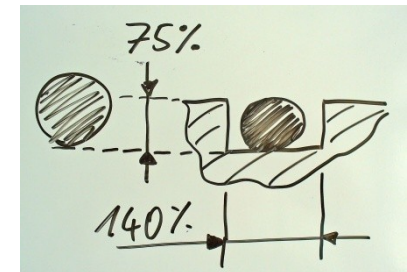
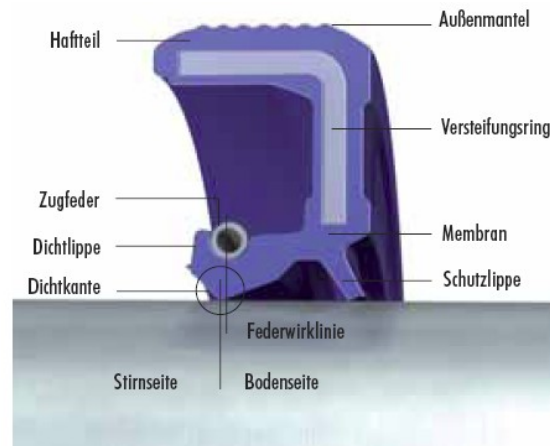


radial shaft seal



Source: Simrit Technisches Handbuch Simmerringe

cross-section of a radial shaft seal



<http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de/>

Machine elements - springs



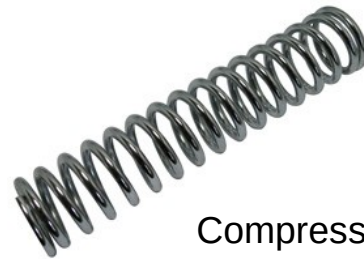
- Springs store energy
- Tension, compression and torsion springs
- Spring stiffness and travel

Hooke's law

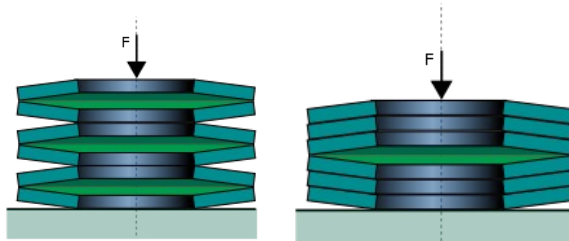
$$F = R \times s$$

Spring force [N] = spring rate [N/mm] x spring travel [mm]

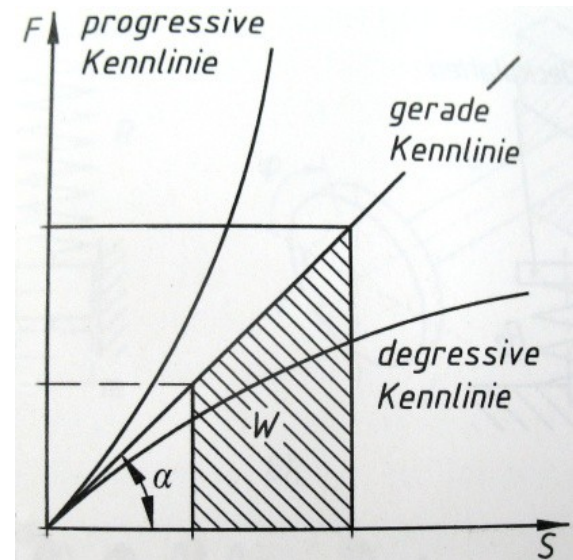
Tension spring



Compression spring



Belleville washers



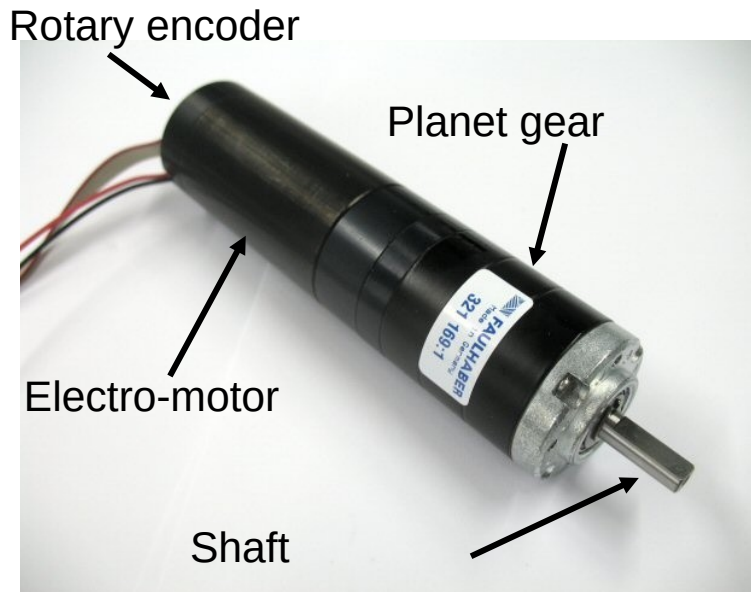
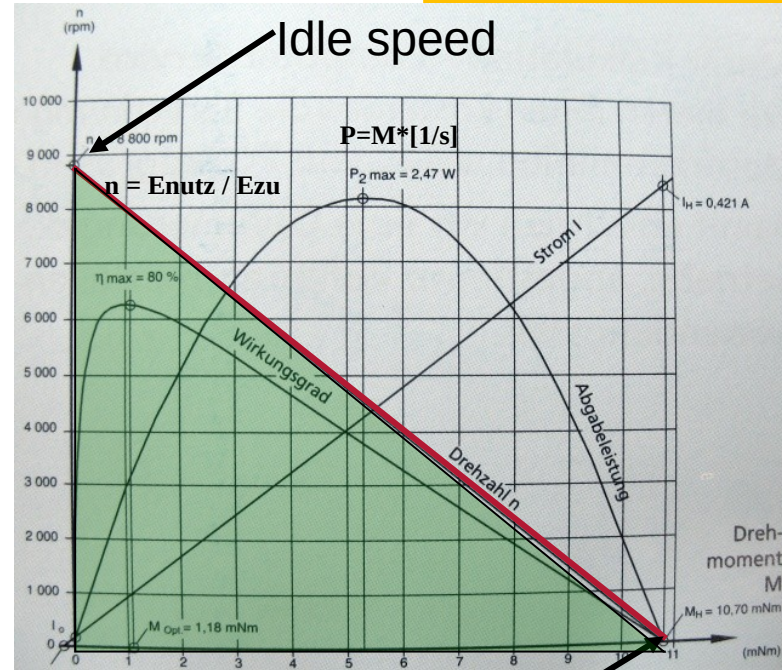
Spring characteristics / Source:
Roloff/Matek

Machine elements – DC motors



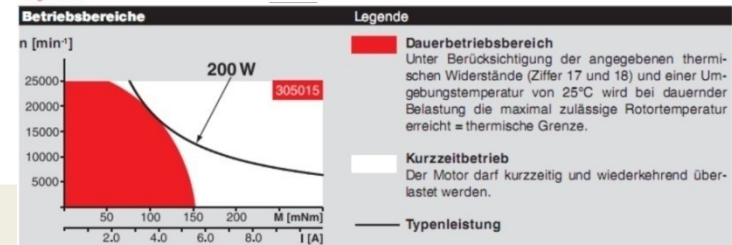
- Example: Faulhaber 3257 motor
- 169 : 1 reduction gear
- Speed-dependent maximum torque

Motor characteristics



Stopping torque

EC-4pole 30 Ø30 mm, bürstenlos, 200 Watt
High Power



Source: Faulhaber u. Maxon Katalog

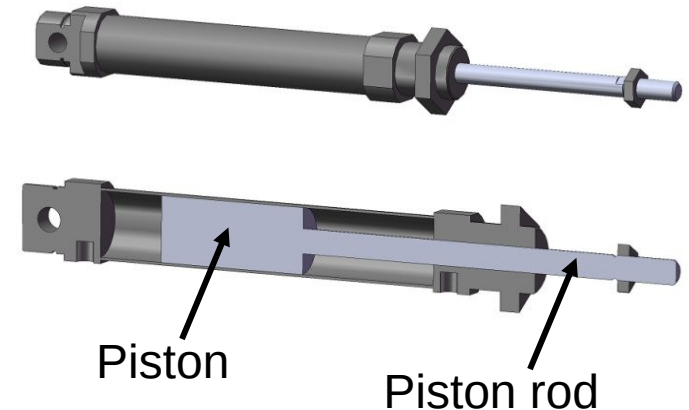
Machine elements - cylinders



- Linear actuators
- The range of movement is called the stroke
- Pneumatics – air pressure approx. 10 bar
- Hydraulics – oil pressure approx. 210 bar

$$F = p \times A$$

force [N] = pressure [N/mm²] x piston surface [mm²]



1 bar = 0,1N/mm²



Pneumatic cylinder



Hydraulic cylinder (Source: Hänchen Hydraulik)

- Information sources for mechanical engineers
 - Knowledge of others (ask them, Wikipedia)
 - Free search on the internet
 - DIN Norms
 - VDI-directives / VDMA-publications
 - Manufacturer-informations:
 - www.wlw.de "Wer-liefert-was,, (Who delivers what)
 - Local vs. global
 - Patents (Patentresearch: <http://www.depatistnet.de/>)
 - (teaching-) books
 - SuUB, library, (online) antiquarian books hops, flee markets

2) quantitative design



- „if you have to calculate, the construction is not good."
-> Observe proportions.
- Roughing calculations – survey orders of magnitude.
- Secure simulations with ad hoc tests.
- Built models or prototypes.

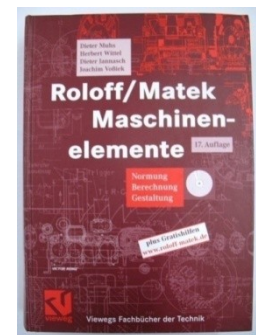


Often it is not the firmness, but the stiffness that makes the design goal.



Light weight construction:
Homogeneous stress distribution in the components.

book



- The design of mechanical components depends on the type of load
- They are often combinations of different types of loads
- Tensile, compressive and shear strength essentially depend on the cross-sectional area and the material properties of the component
- Torsional and bending strength depend strongly on the geometrical shape of the component

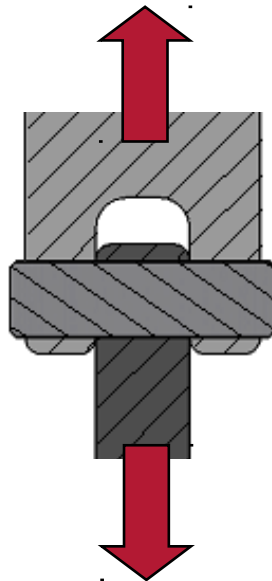
tension



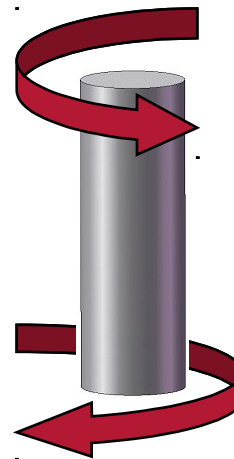
compression



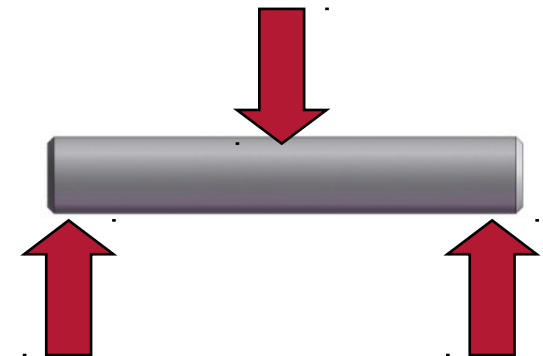
shear



torsion



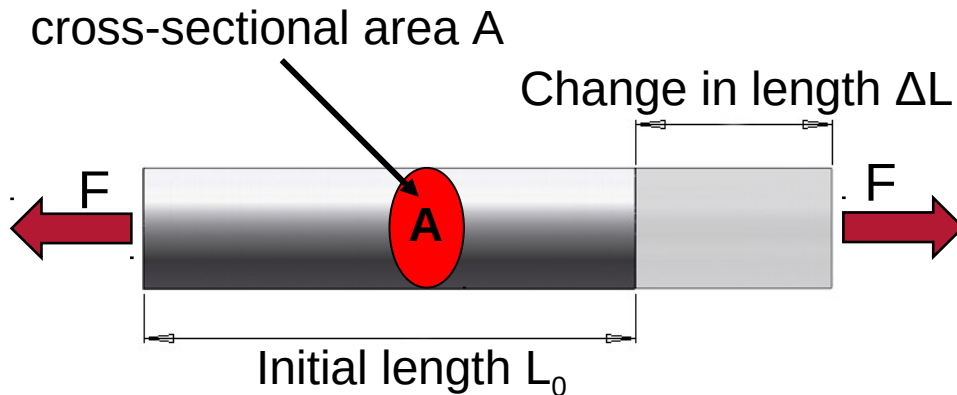
bending



Tension, elongation and modulus of elasticity



- Components under tensile load undergo a change in length.
- Elastic range – components behave like a „spring“
- Plastic range – components deform permanently
- The relationship between tension and elongation is called the elasticity modulus (E-modulus).
- The modulus of elasticity depends on the material.



$$\sigma = F / A$$

tension [N/mm²] = force [N] / cross-sectional area [mm²]

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

elongation = change in length [mm] / initial length [mm]

$$E = \sigma / \varepsilon$$

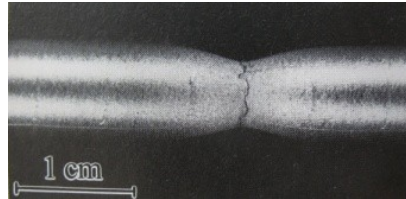
Modulus of elasticity [N/mm²] = tension [N/mm²] / elongation

Example of E-modulus: lead = 19KN /mm² / aluminium = 70KN /mm² / CFK = 150KN /mm² / steel = 200KN /mm² / diamond = 800KN /mm²

Stress-strain diagram

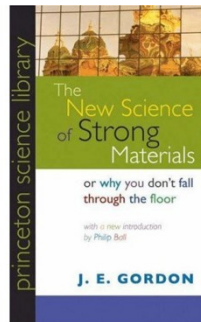


- Determination of material properties in tensile tests
- E-Module, yield strength, tensile strength, elongation at break,

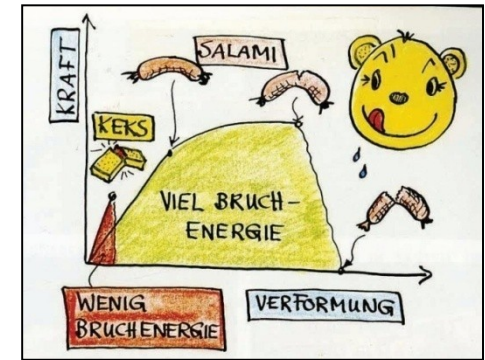
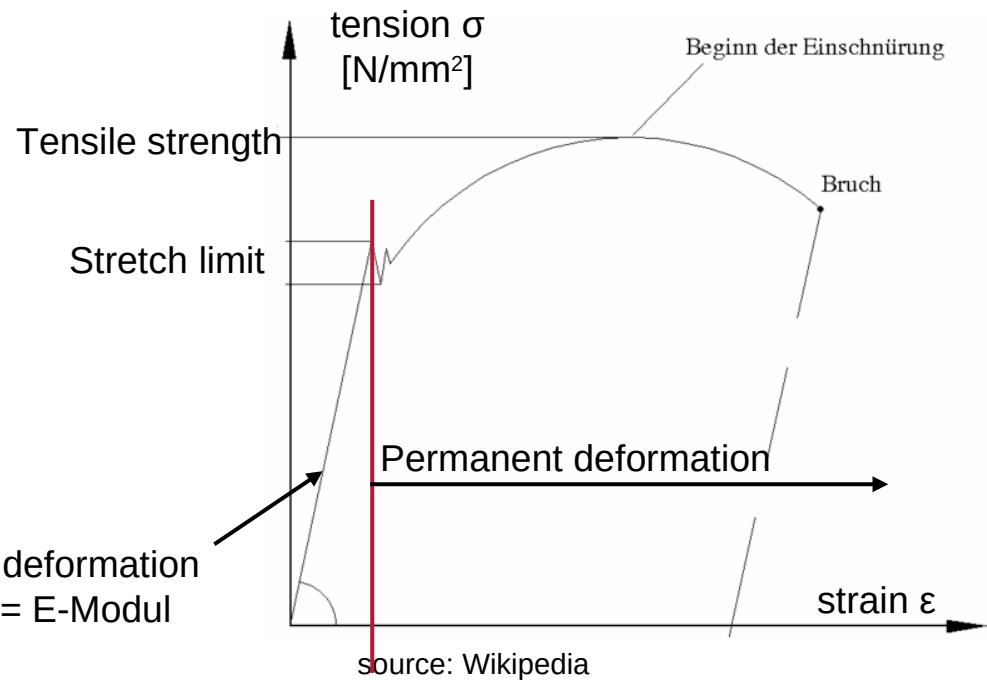


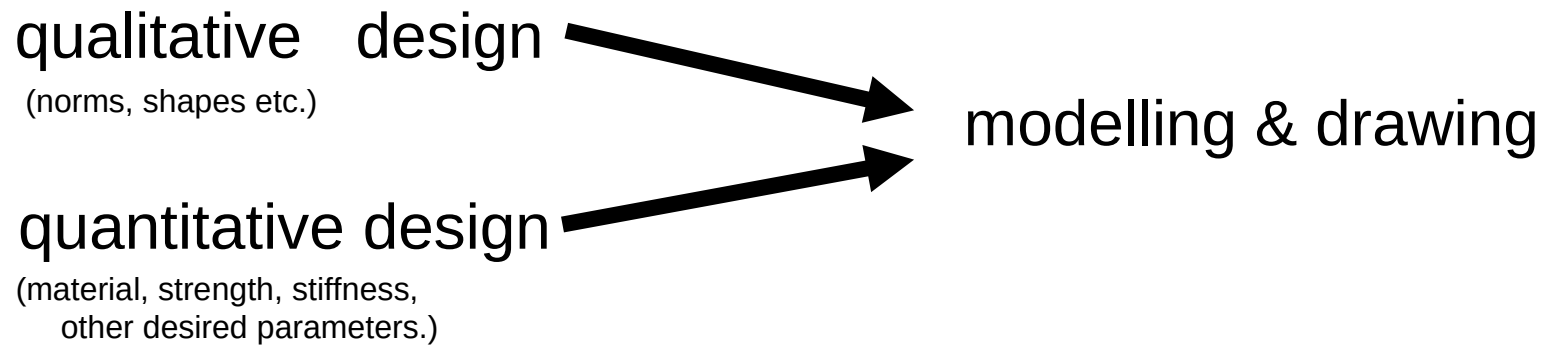
Constricted tensile test
source: Werkstoffkunde – Bargel / Schulze

book



Elastic deformation
pitch = E-Modul

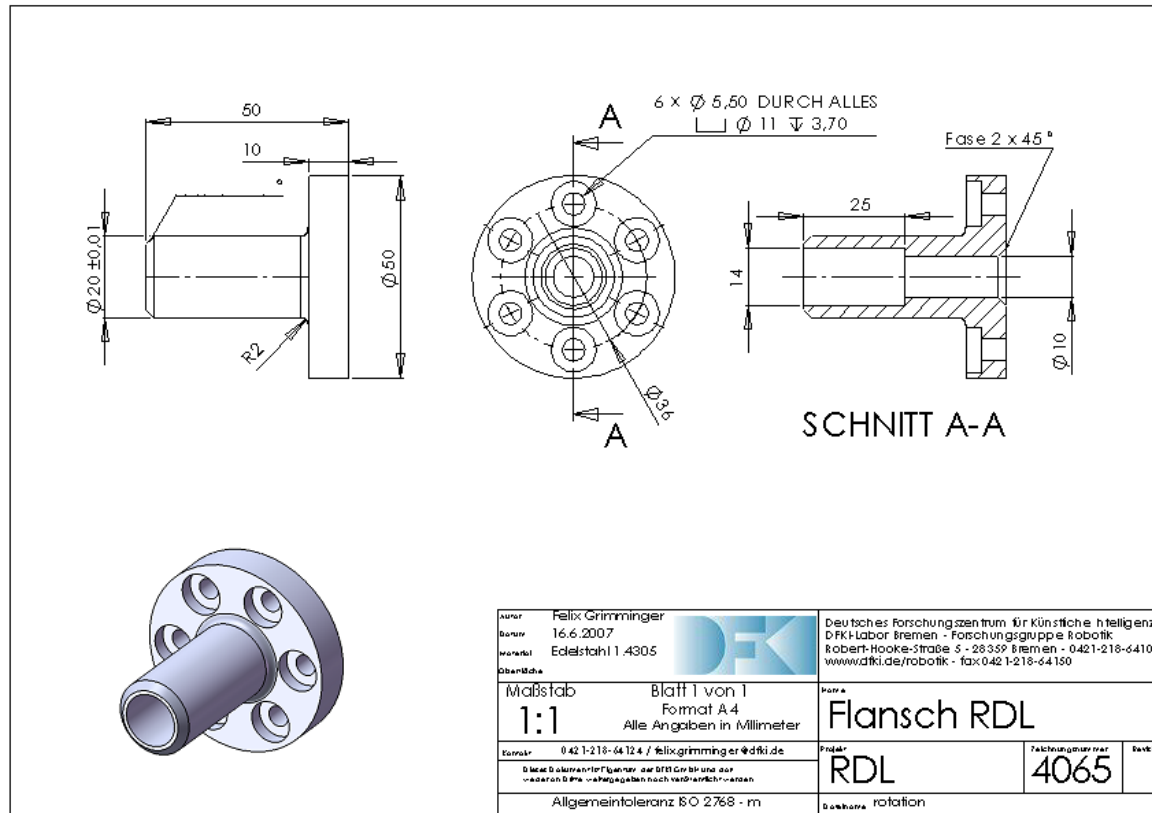




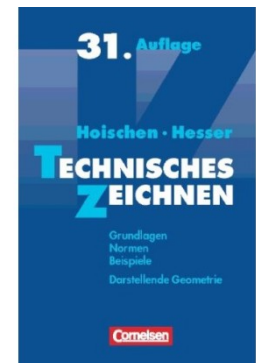
3) Modeling and drawing



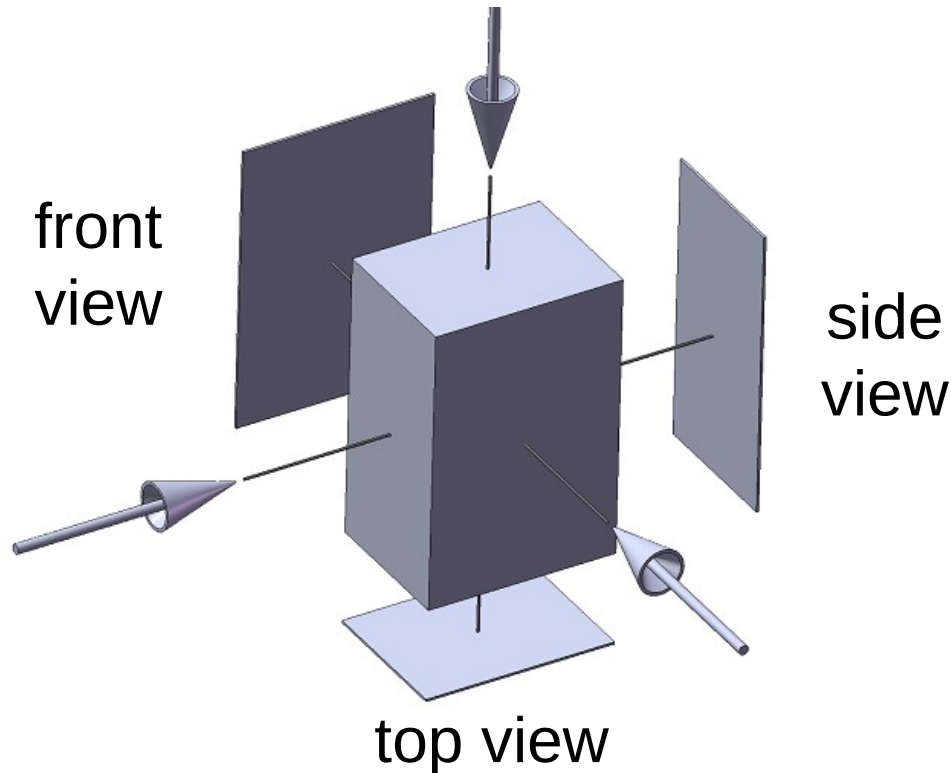
- Historically, the drawing is the basis of the technical documentation.
- Nowadays the CAD file dominates more and more.



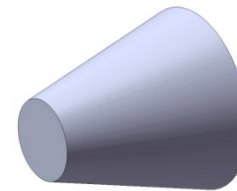
Buch



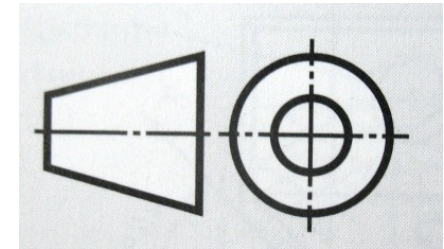
3) Modeling and drawing



- 2-dimensional representation of 3-dimensional components by projection
- Representation of the views in technical drawings (in Germany and most European countries)

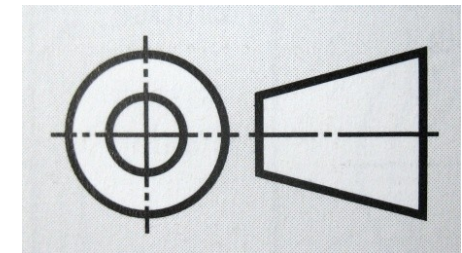


Truncated cone



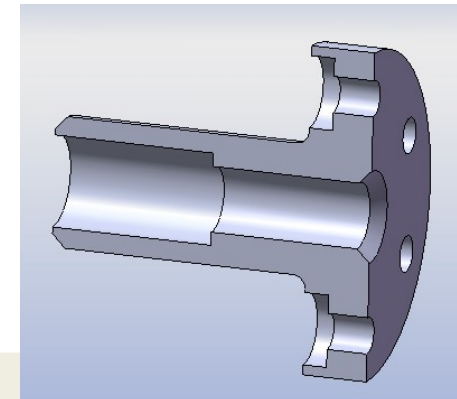
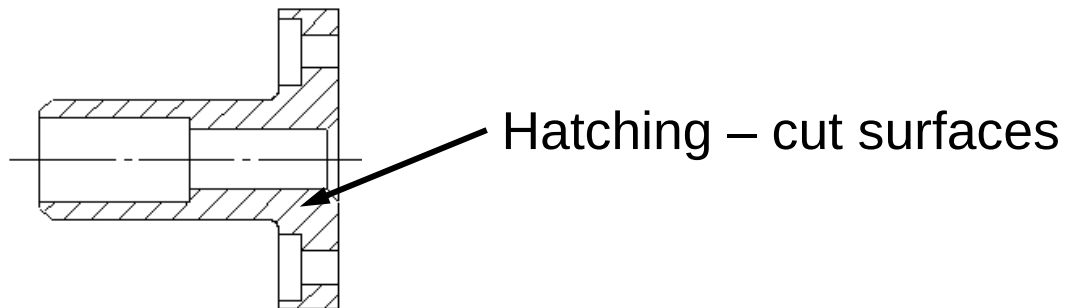
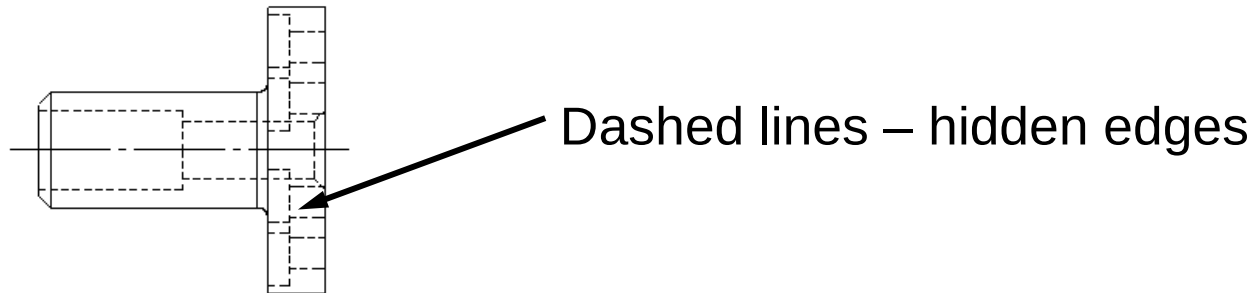
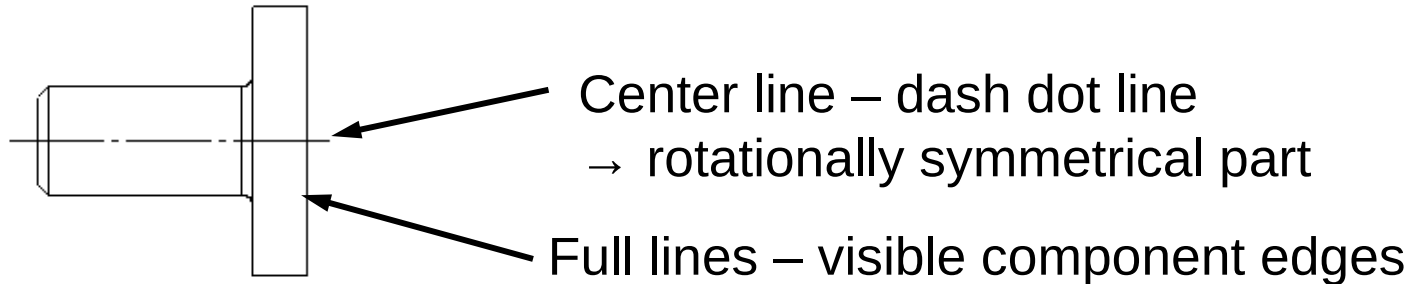
symbol projection method f.e. Germany –
Source: Tabellenbuch Metall

- Caution: In English-speaking countries like the USA, the views are shown on the opposite side.



symbol projection method
f.e. USA – Source: Tabellenbuch Metall

Meaning of the line types

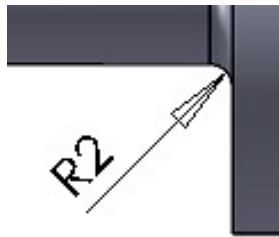
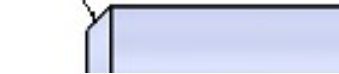


Maßstab
2:1

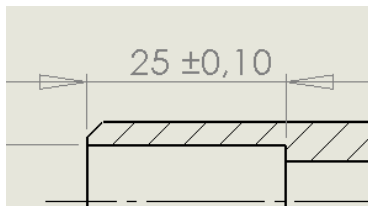
Scale
enlarged

Fase 2 x 45°

chamfer

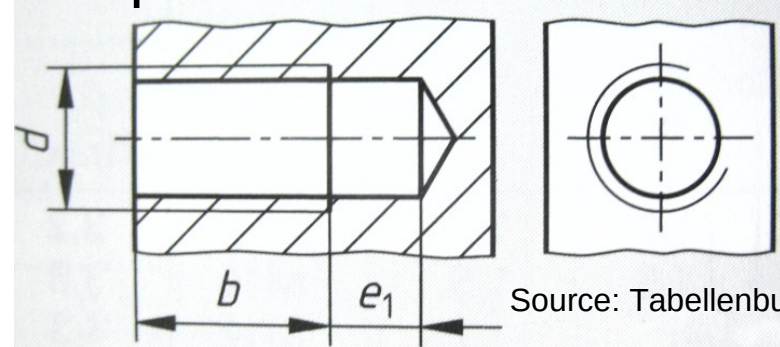


Radii

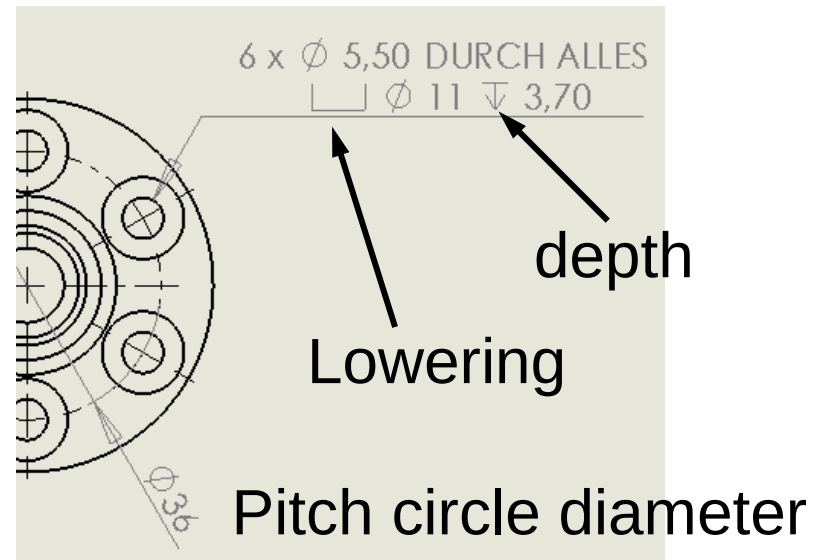


Tolerances

Representation of threads

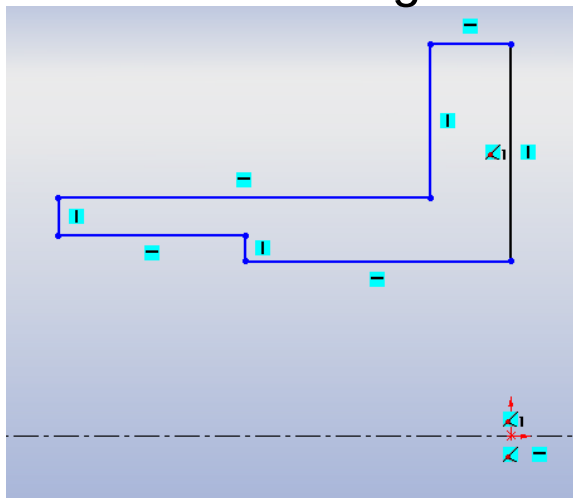


Source: Tabellenbuch Metall

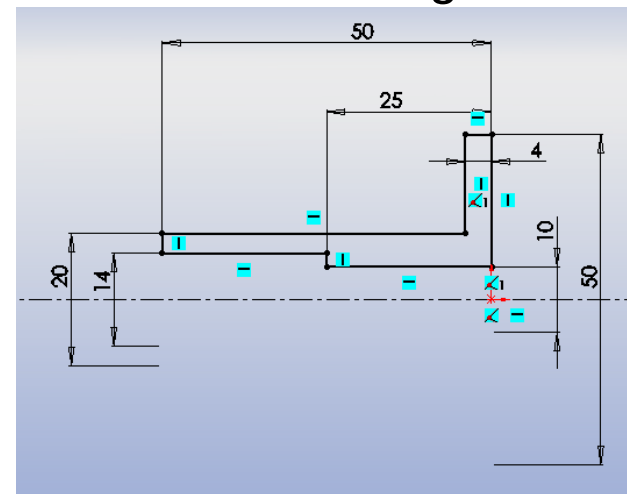


- CAD has changed the way that engineers work
- Software for creating and displaying mechanical components
- Sketch the contour of the component on a drawing plane
- Definition of relationships (parallel, symmetrical, tangential)
- Dimensioning – Define the components dimensions

2D drawing

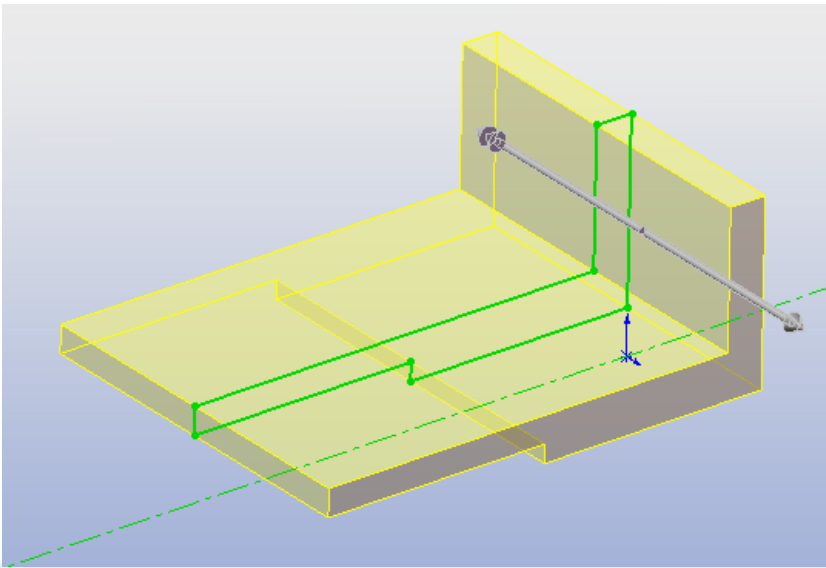


Dimensioning

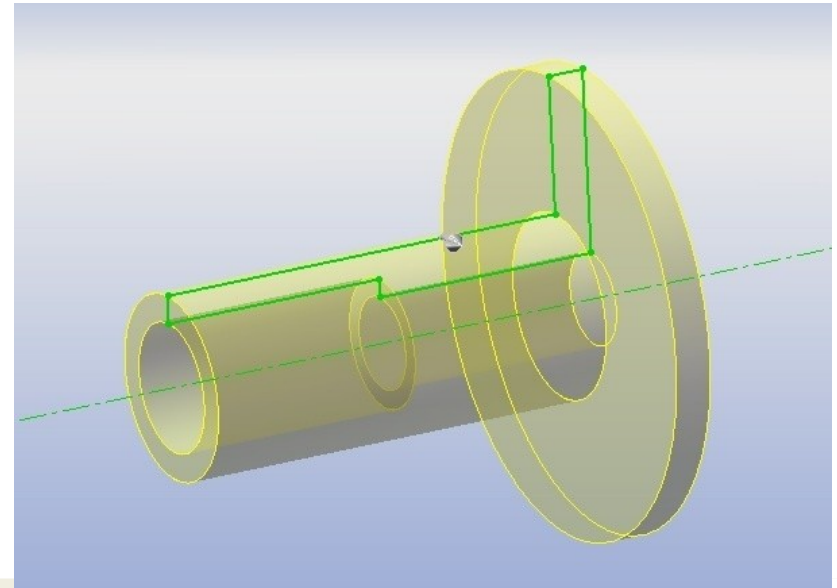


- Create solid
- Extrusion – parallel shift of the 2D sketch
- Rotation – Rotation of the 2D sketch around an axis
- The swept area defines the component volume

Extrusion

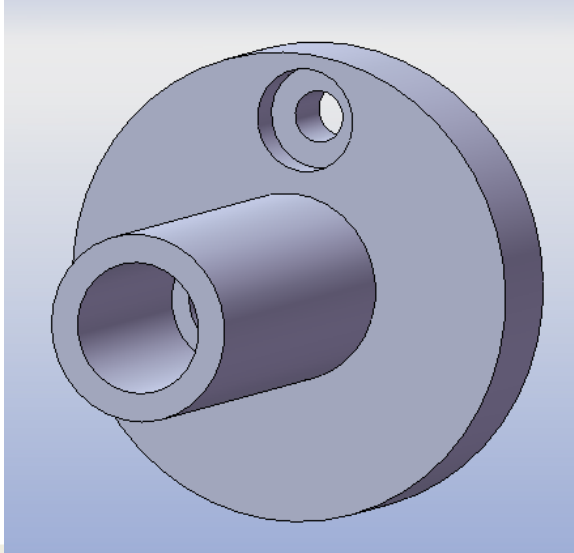


Rotation

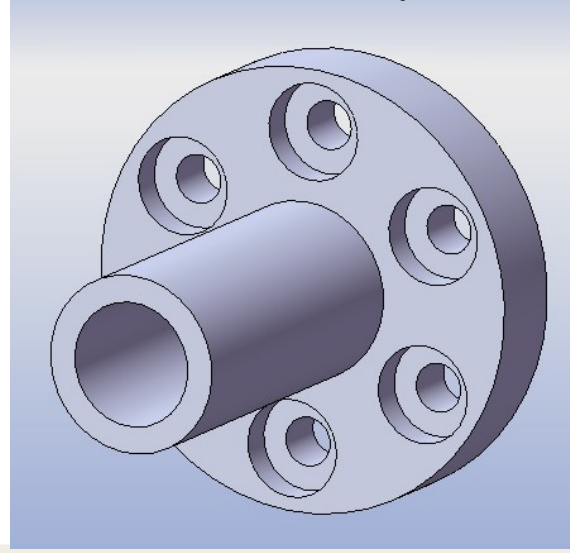


- Cuts, chamfers and bores – removing material
- Radii – adding material
- Patterns – regular repetition of features (linear and rotated patterns)

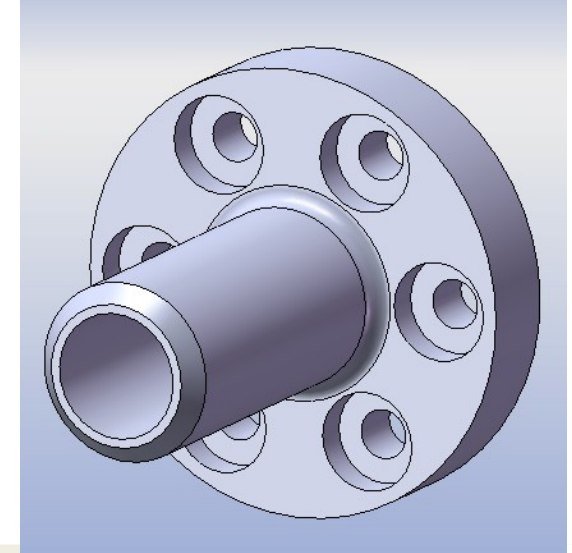
Insert of a hole



Insert of a circular pattern

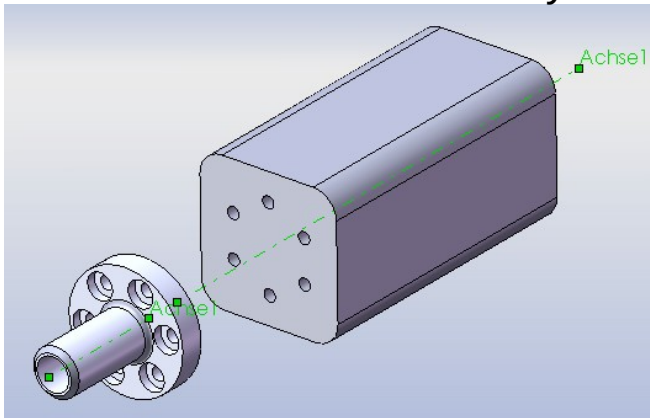


Chamfers and radii

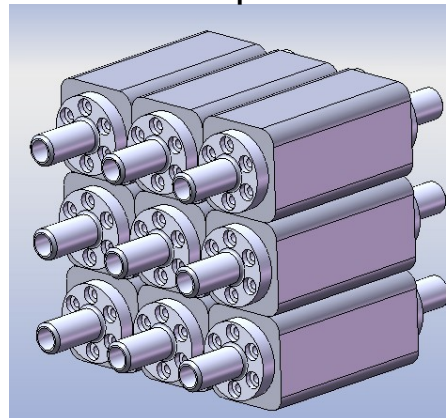


- Combining individual components into assemblies
- Merging sub-assemblies into higher-level assemblies
- Mirroring components
- Linear pattern of components

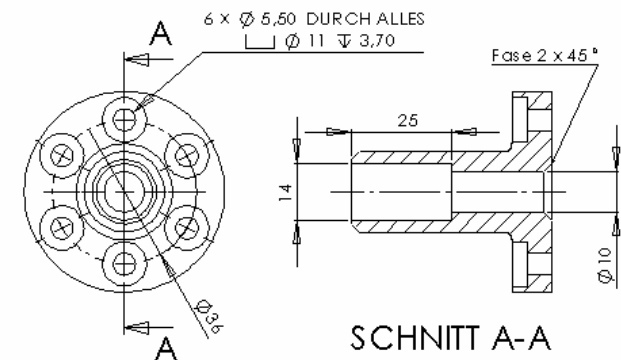
Creation of an assembly



Linear pattern



Creation of the production drawing



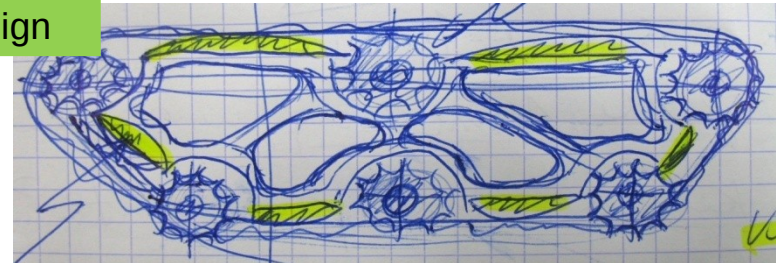
CAD, sketches & drawings

- 3D models for true-to-scale representations of concepts
- Freehand sketches for communicating and documenting ideas
- Construction diary
- Technical drawings as manufacturing documents

principle

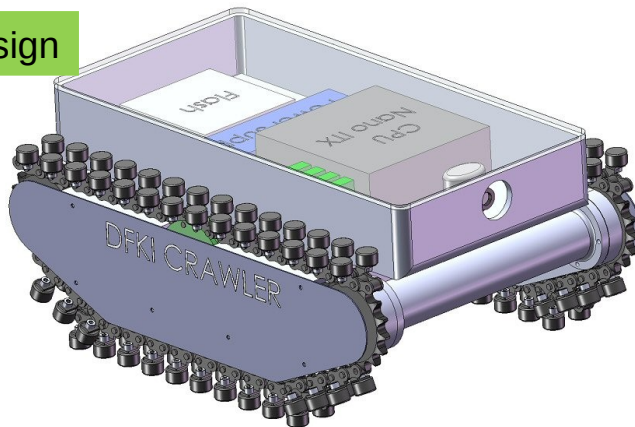
design

sketch



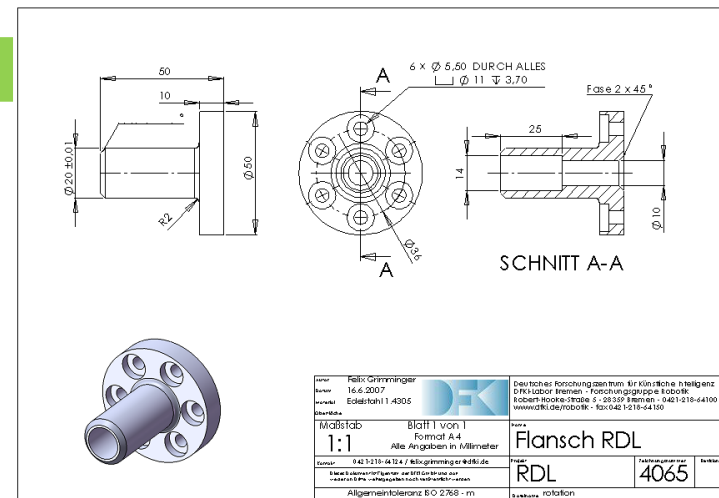
3D model

design



Technical drawings

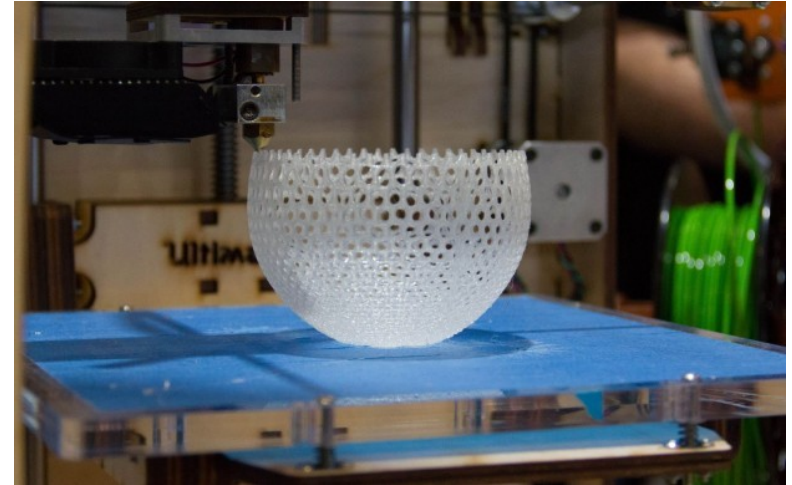
design



- Introduction
 - What is mechanical design?
 - Examples of robot designs
- How to design and construct?
 - Principle solutions
 - Layout / design
 - CAD / drawing
- Manufacturing processes
- Biomimetic design
- Recommended literature

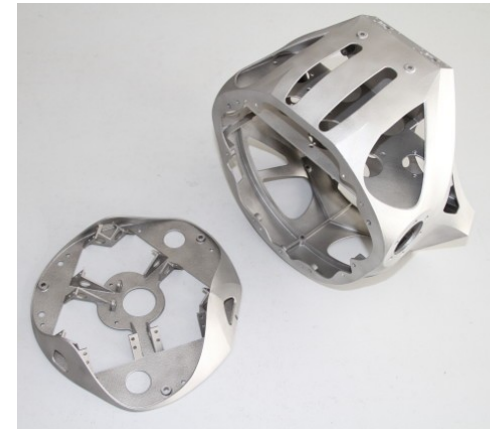
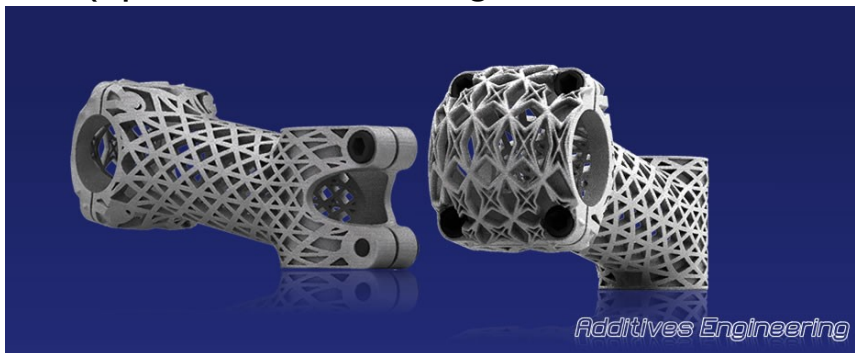
- 3D printer

- New geometries
- Less restrictions in shape through manufacturing process (additive)
- Plastics (ABS, PLA, etc.)
- Combination of different materials



- Laser sintering

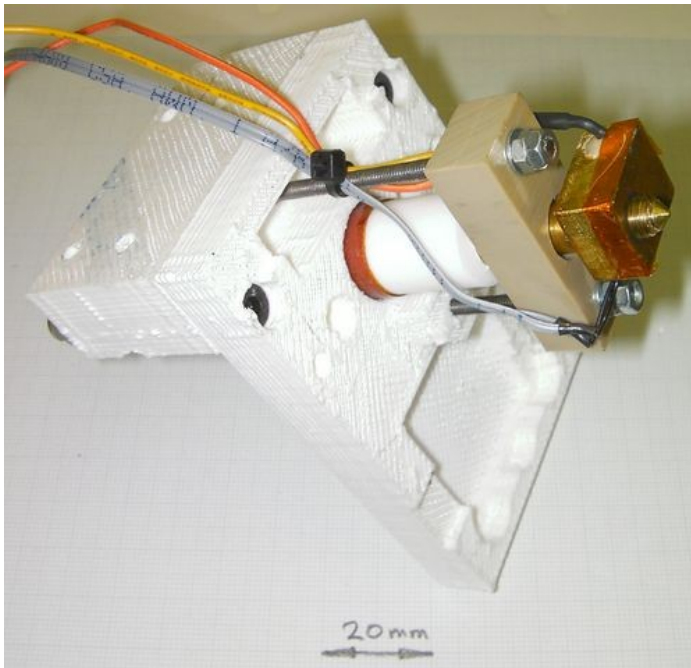
- Different plastics
- Different metals (Aluminium Titan)
(up to 98% of the original „massive“ material properties)



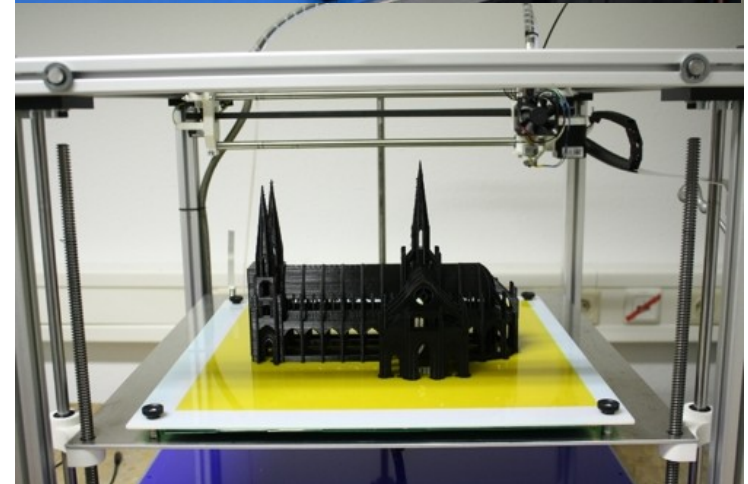
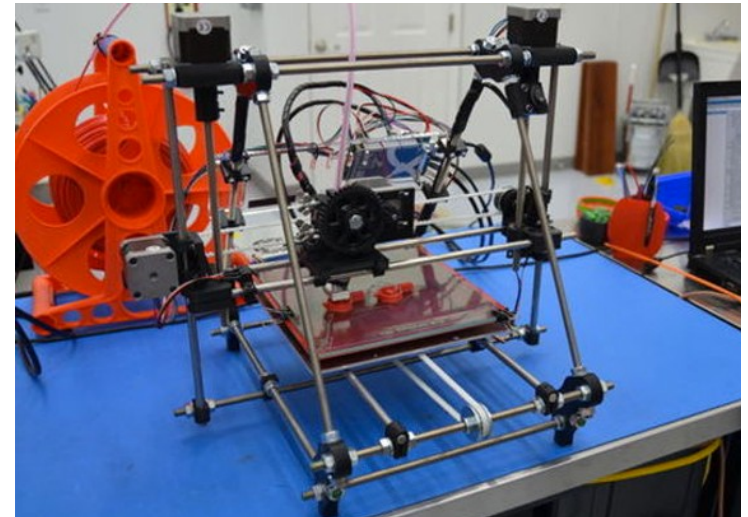
Thermal extruders (RepRap & derivatives)



- RepRap, Makerbot, etc.
- Material: ABS, PLA, etc,
- Ductile plastic characteristics



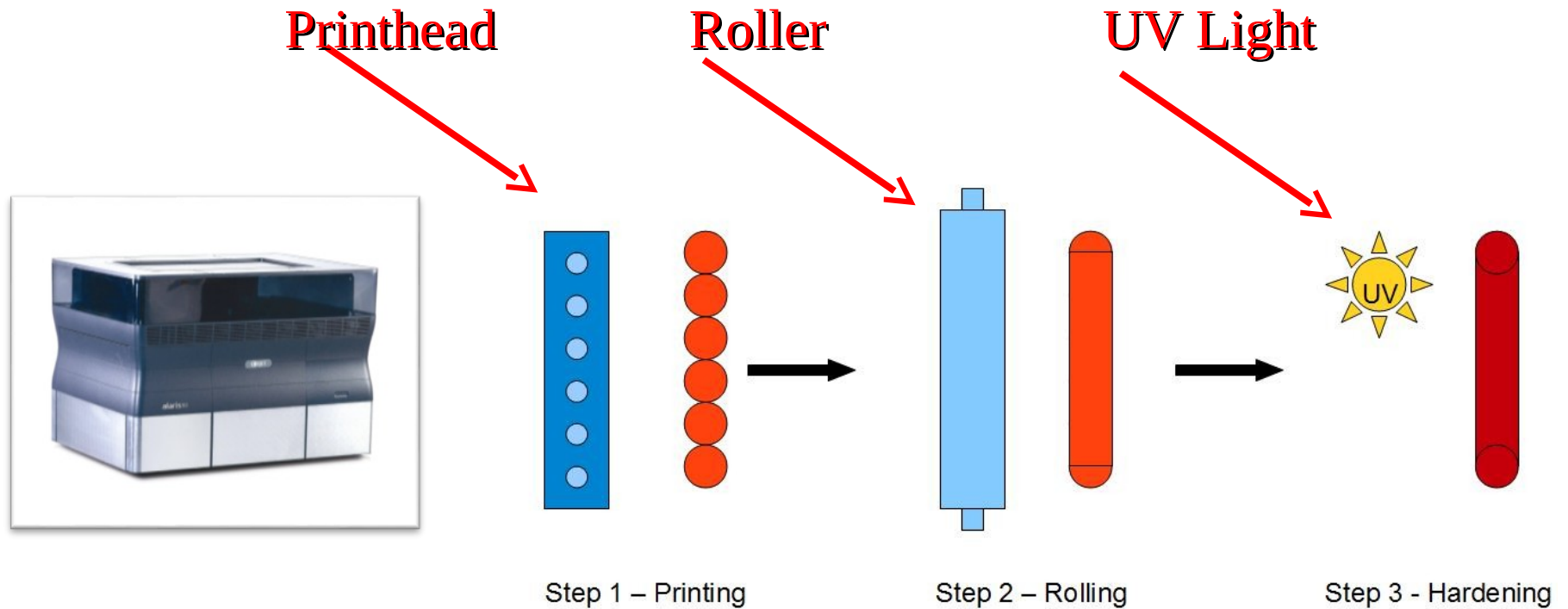
Extruder with heatable nozzle



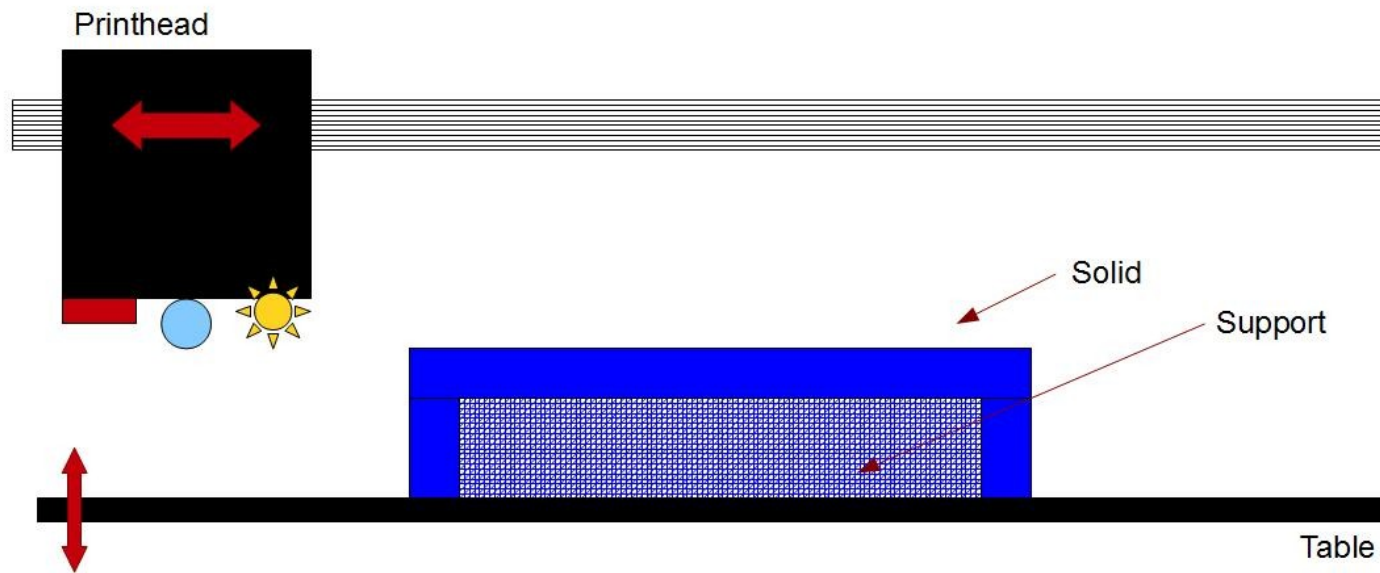
Photoactive 3D-printer



- Inkjet process with hardening via UV-Rays



- Printing overhangs with support material
 - Fine mesh structure with gelatinous filling material
 - Removal via waterjet



Stereo Litography



Design of the STL file



- STL → stereo lithography file
- The design of the model has to be adapted depending on the printer and the process
 - Oversize / undersize
 - Support structures
 - Thermal structures (f.e. ABS-process)
 - reinforcements
 - Division of structure (if buildingspace is too small)
 - Outlet openings



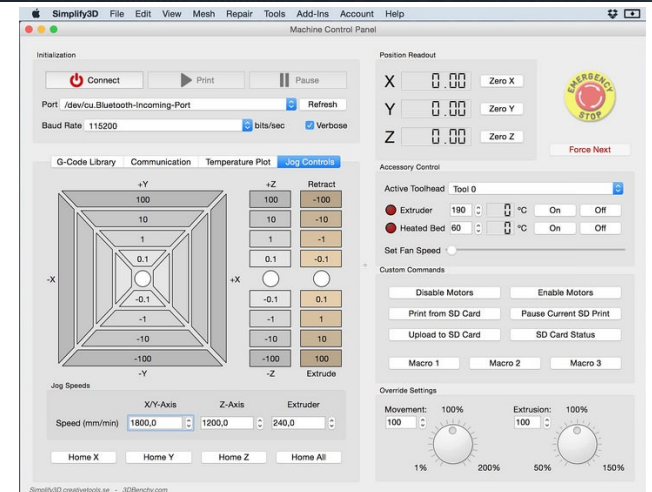
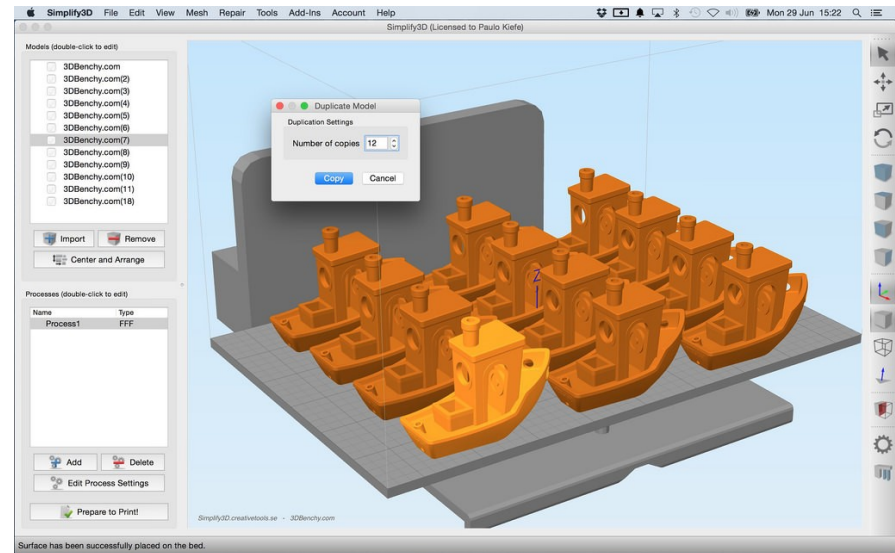
(Quelle: www.thingiverse.com)

Slicer and printer software



Decomposition of the object into individual layers

- Addition of:
 - Support structures
 - Thermal structures
 - Cleaning processes
 - Base-plates
 - a.s.o.
- G-code control
 - Heating elements (nozzle, table)
 - X,Y,Z travels
 - Speed settings for diff. processes
 - adjustment a.s.o.



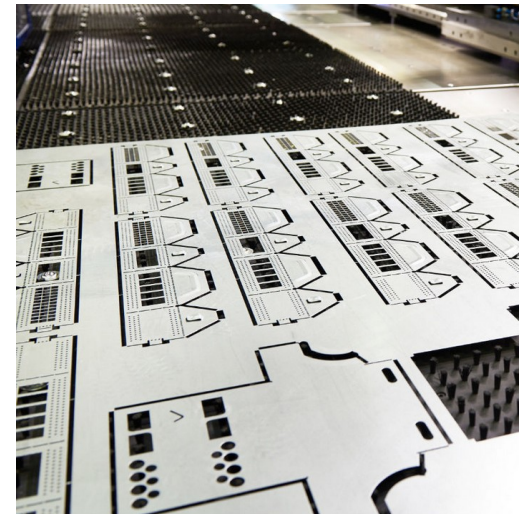
Laser cutting (subtractive manufacturing)



- Cutting of metals, plastics, wood with a focused CO₂-Laser
- DXF 2D drawing + material type and thickness → G-code and axis speeds
- More than 13mm of steel with small machines possible
- precision of a 1/10th millimeter
- Can produce poisonous gasses and can catch fire when not observed



(umwelt-campus.de, 2022)



(rz-multitec.de, 2022)

Water-jet cutting (subtractive manufacturing)



- High pressure water jet with abrasive substance
- Metal, stone, glass, wood, textiles, glassfibre, carbon fibre
- DXF 2D drawing + material type and thickness → G-code and axis speeds
- More than 25mm of steel with small machines possible
- precision of a 1/10th millimeter



(wgm-maschinen.de, 2022)



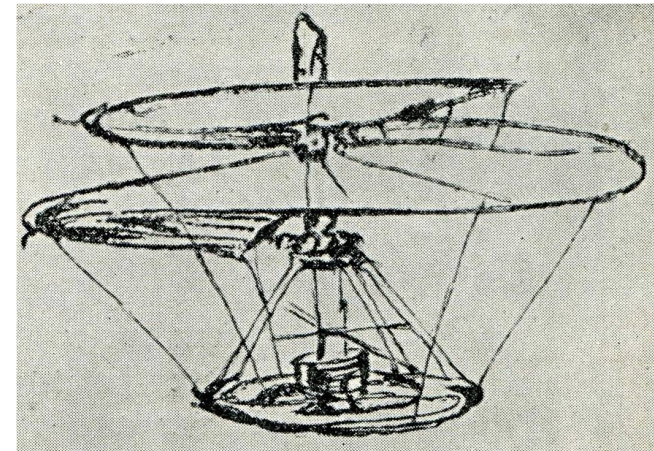
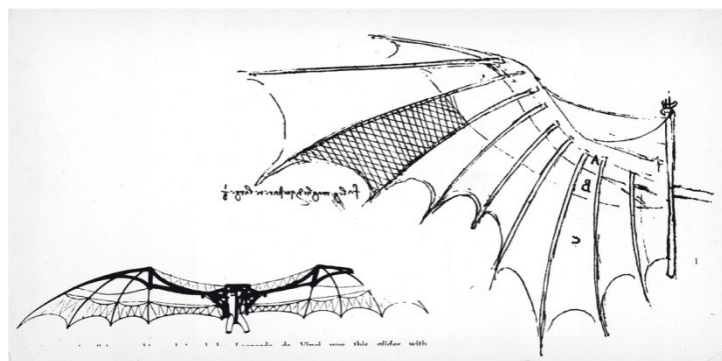
(protomax.com, 2022)

- Introduction
 - What is mechanical design?
 - Examples of robot designs
- How to design and construct?
 - Principle solutions
 - Layout / design
 - CAD / drawing
- Manufacturing processes
- Biomimetic design
- Recommended literature

What is Biomimicry or Biomimetics



- Bionik is an artificial word made out of **BIO**logy und Tech**NIK** (german „Bionik“ $\neq$ US „Bionics“)
- Principle „Learning from nature for technology“
- Approach
 - Plants and animals have solved many problems in the course of development history
 - Engineers use these inventions for new technical developments
- Leonardo Da Vinci (1452 – 1519)



- Bottom-up-Prozess



BASIC Research → principle understanding → abstraction → technical implementation

- Top-down-Prozess

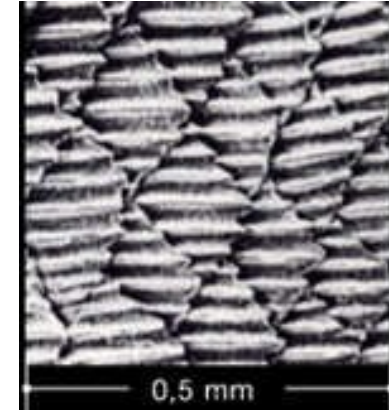


Technical problem → role model in biology → understanding of principles → abstraction → patent specification

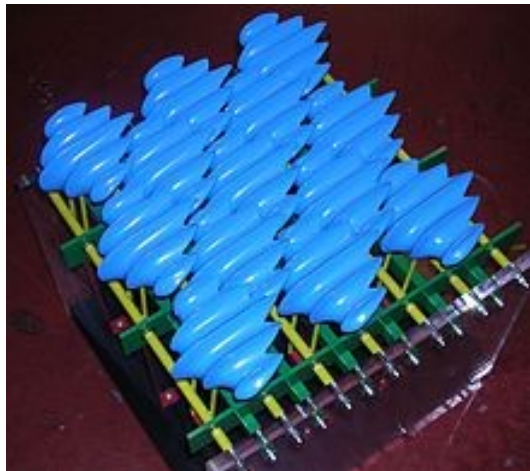
Example: Bottom-up-Process



role model



principle

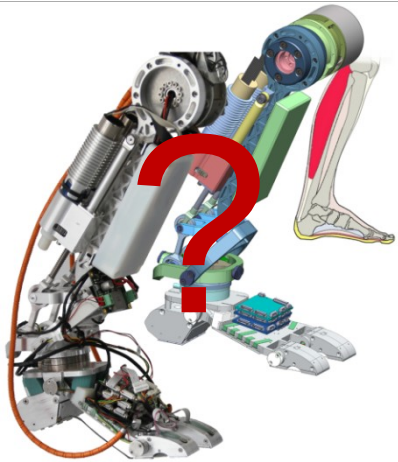


abstraction



application

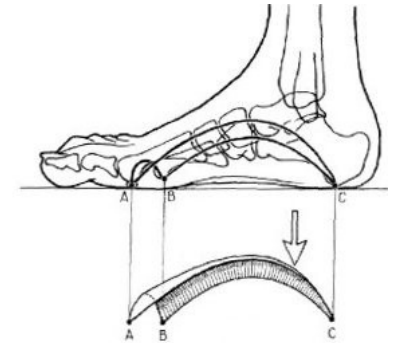
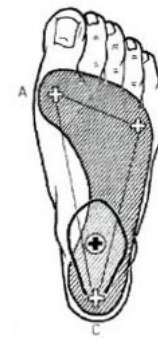
Example: Top-down-Process



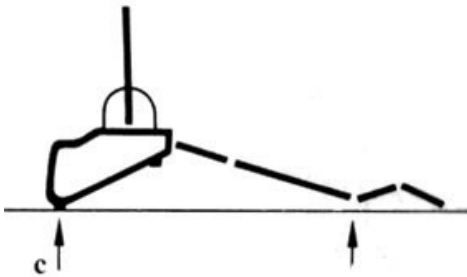
problem



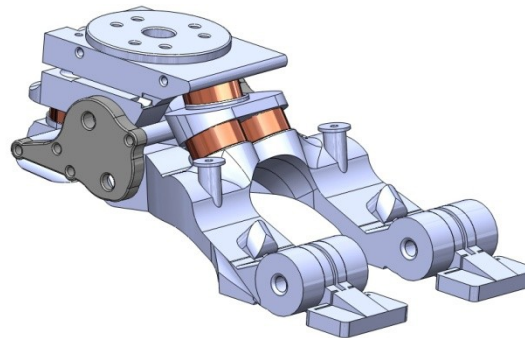
research



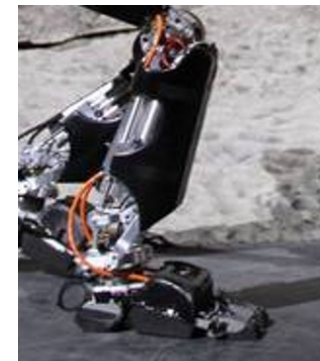
biological role model



abstraction

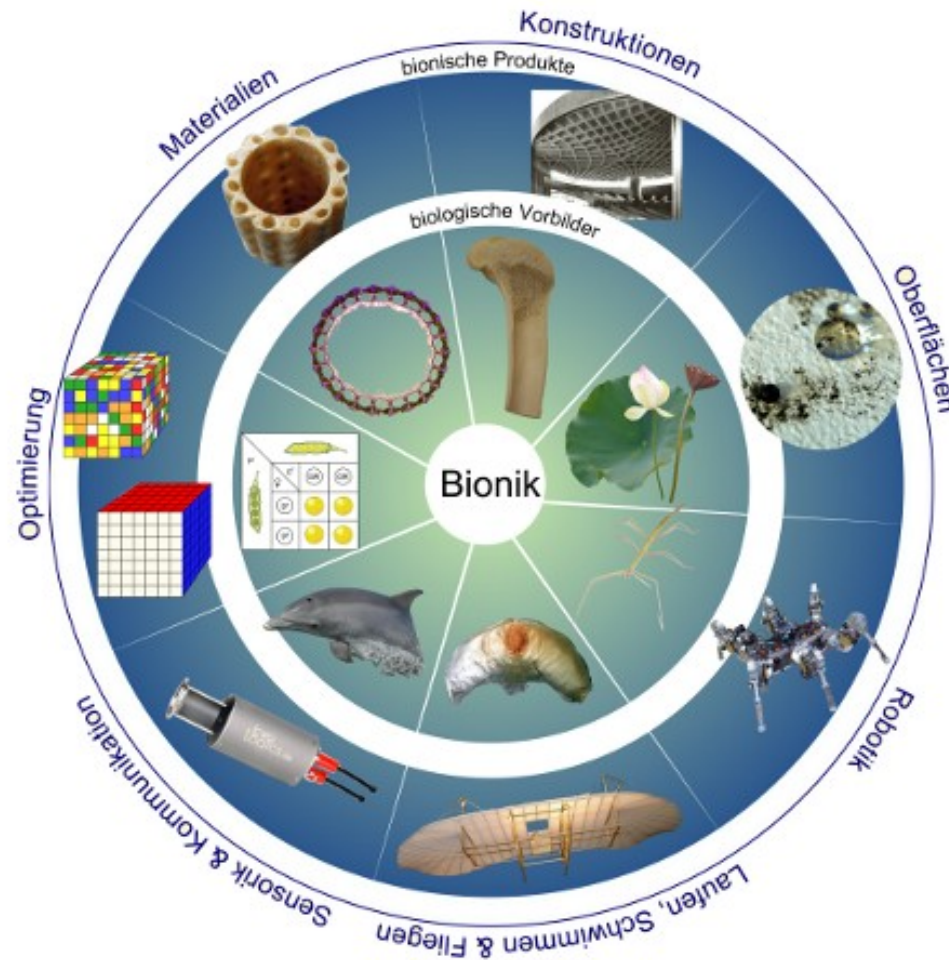


elaboration



solution & end product

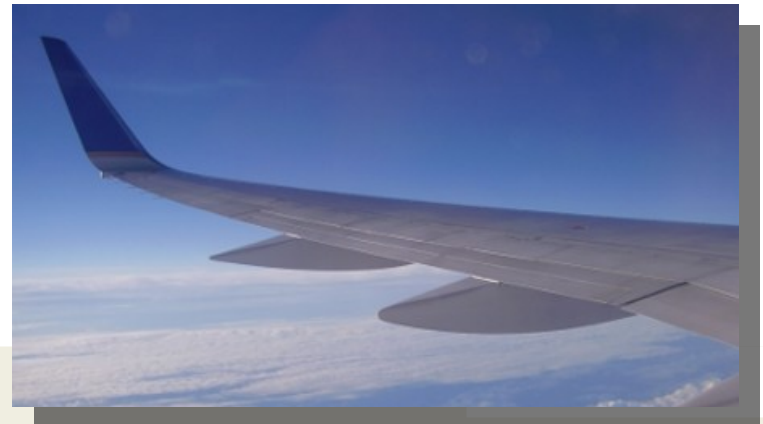
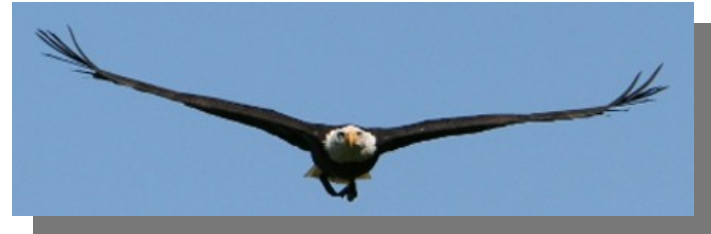
Application Areas of Biomimicry



Example: Flying



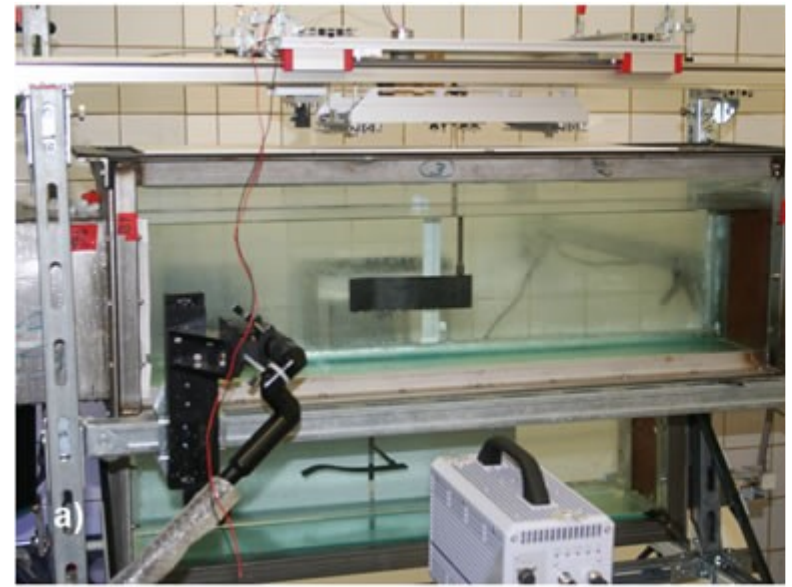
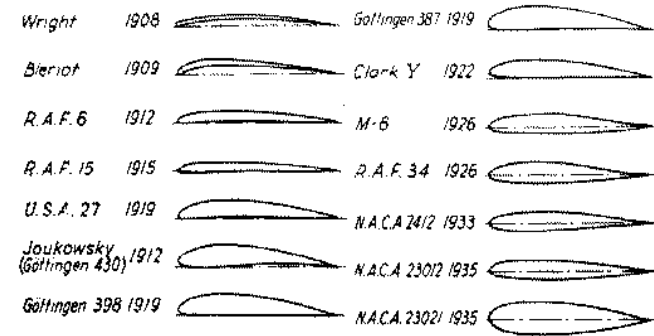
- Problem: Vortex at the end of the planes wing
- Role model: arching feathers at birds wings
- Implementation: Winglets



Example: swimming



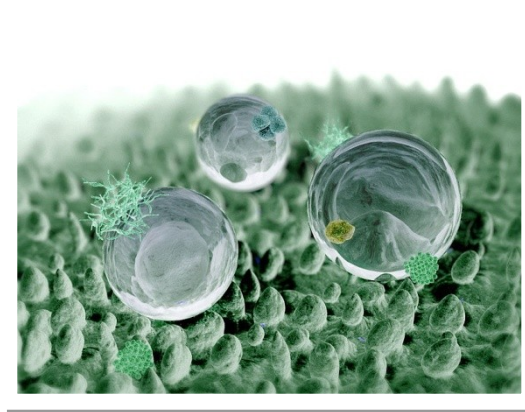
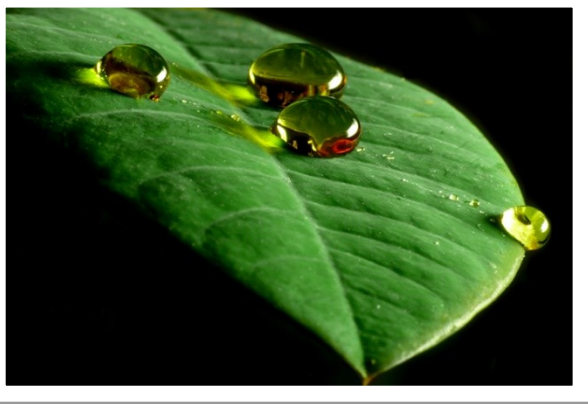
- Shape optimization for drag reduction under water



Example: functional surfaces



- Lotus effect
 - Self-cleaning surfaces through hydrophobe micro-structures and the use of natural adhaesion-forces



- Applications: paint & sealings
z.B. facades, glas, surfaces



Example: functional surfaces



- Air-holding surfaces „Salvinia effect“
 - Swimming fern repulses water
(local hydrophobe material properties of the structure)



- Application:
reduction of drag

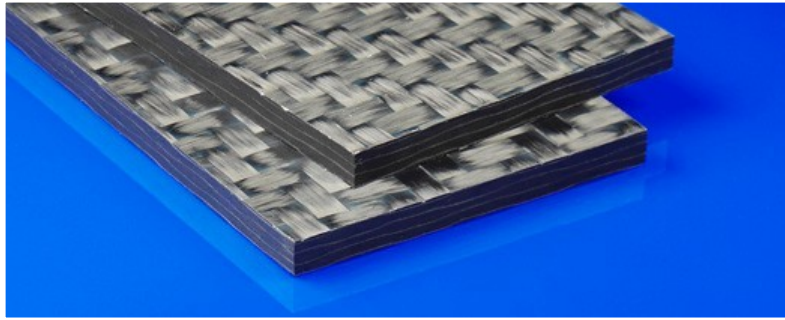
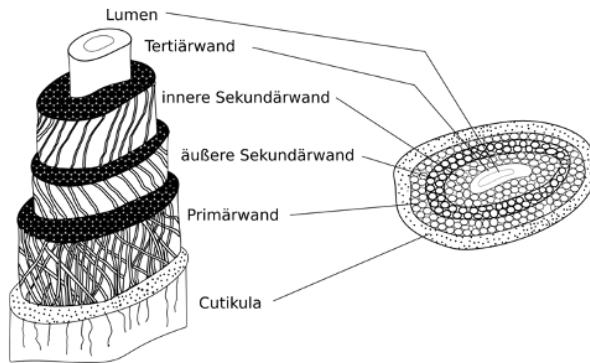


Example: Compound Materials



- Compound materials

- Optimal fibre orientation for compound materials from natural „building plans“



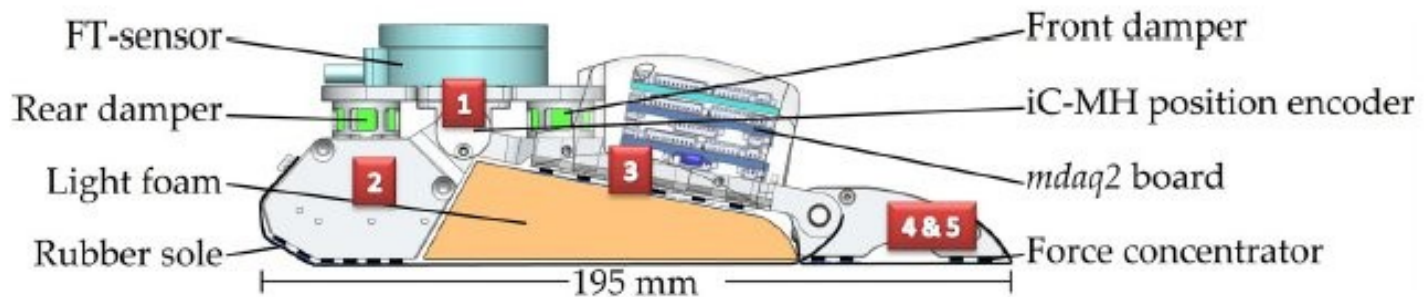
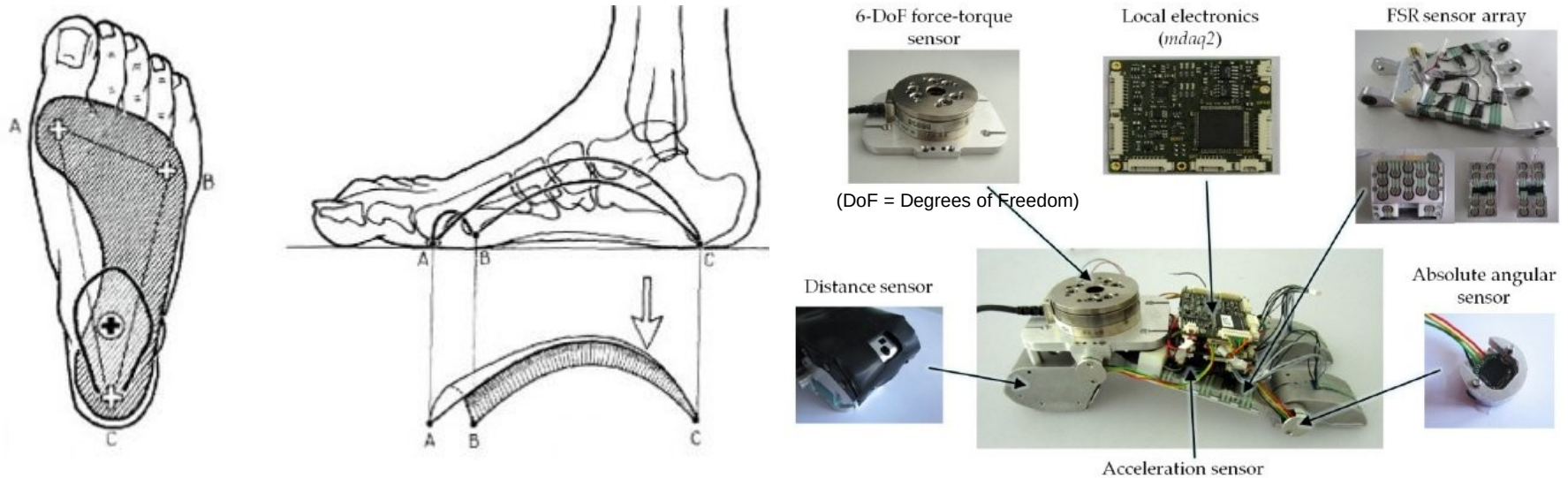
- Applications: Aerospace industrys

Werkstoffe im Eurofighter

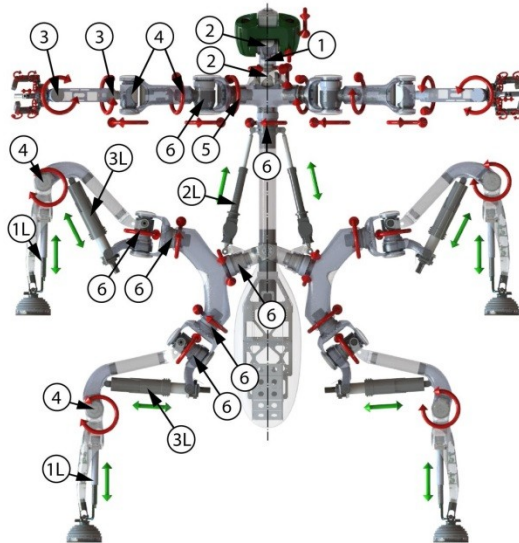
- Kohlefaser-Verbundwerkstoff (CFK)
- Aluminium
- Titan
- Glasfaser-Verbundwerkstoff (GFK)
- Aluminium-Gussteil



iStruct – foot-module details

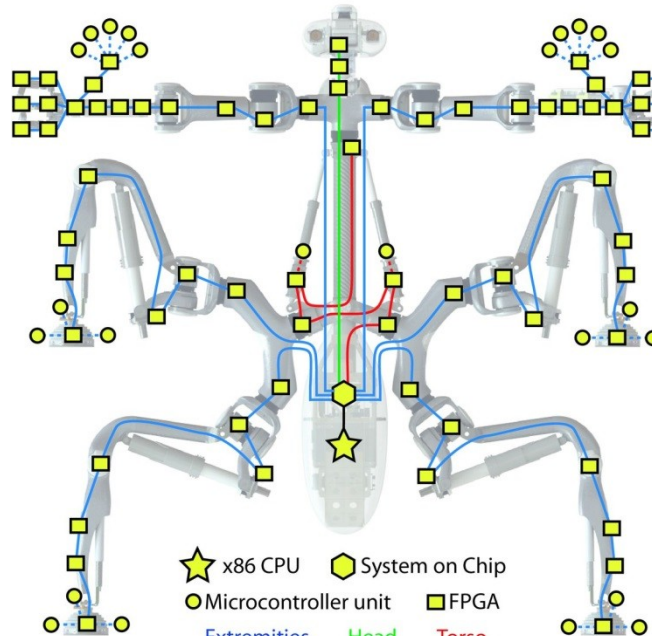


Mantis – system design



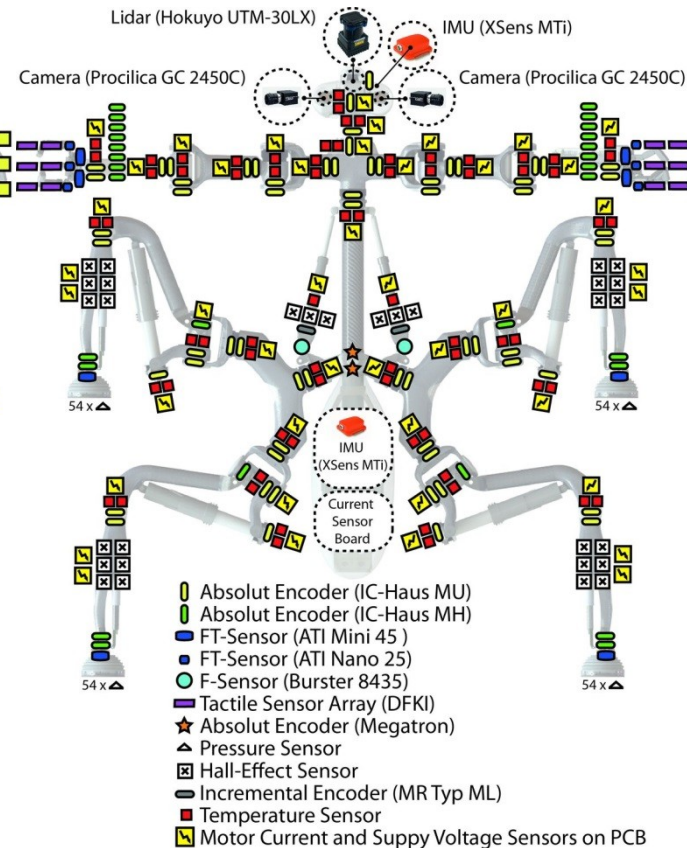
- ① = Rot. Typ 1 ② = Rot. Typ 2 ③ = Rot. Typ 3
 ④ = Rot. Typ 4 ⑤ = Rot. Typ 5 ⑥ = Rot. Typ 6
 ①L = Lin. Typ 1 ②L = Lin. Typ 2 ③L = Lin. Typ 3

motor units



- ★ x86 CPU ● System on Chip
 ● Microcontroller unit ■ FPGA
 Extremities Head Torso
 — High-Speed LVDS ··· Low-Speed LVDS

logical units



- Lidar (Hokuyo UTM-30LX) IMU (Xsens MTi)
 Camera (Procilica GC 2450C) Camera (Procilica GC 2450C)
 54 x ▲ 54 x ▲
 IMU (Xsens MTi)
 Current Sensor Board
 ■ Absolut Encoder (IC-Haus MU)
 ■ Absolut Encoder (IC-Haus MH)
 ■ FT-Sensor (ATI Mini 45)
 ■ FT-Sensor (ATI Nano 25)
 ■ F-Sensor (Burstner 8435)
 ■ Tactile Sensor Array (DFKI)
 ★ Absolut Encoder (Megatron)
 ▲ Pressure Sensor
 ■ Hall-Effect Sensor
 ■ Incremental Encoder (MR Typ ML)
 ■ Temperature Sensor
 ■ Motor Current and Supply Voltage Sensors on PCB

sensors

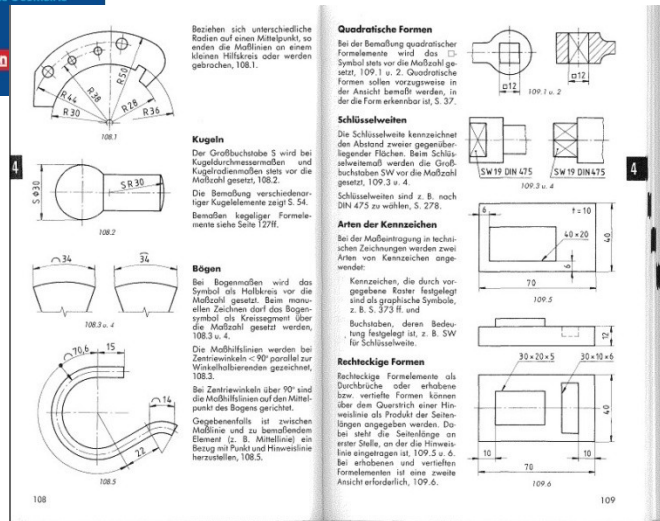


- Introduction
 - What is mechanical design?
 - Examples of robot designs
- How to design and construct?
 - Principle solutions
 - Layout / design
 - CAD / drawing
- Manufacturing processes
- Biomimetic design
- Recommended literature

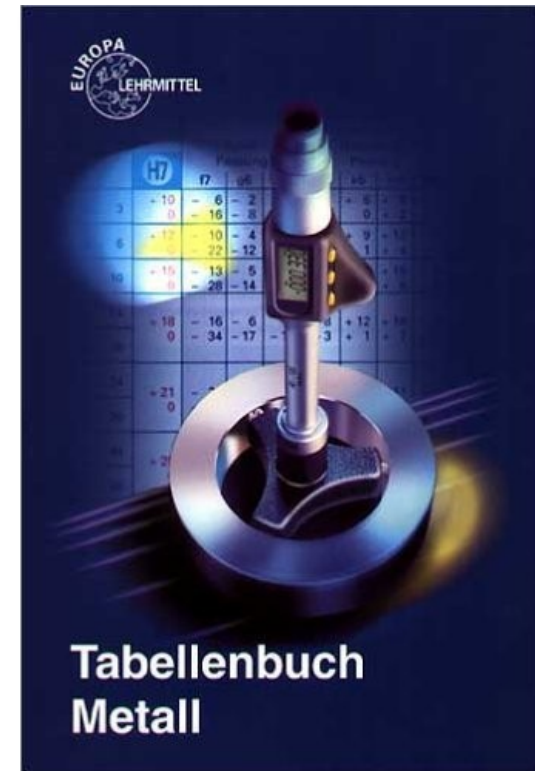
Literature - must haves



"Hoischen" Technisches Zeichnen

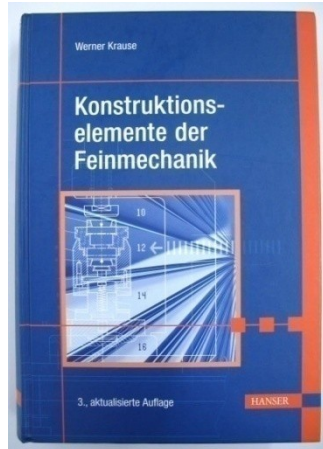


Broschiert: 490 Seiten
Verlag: Cornelsen; Auflage: 31., überarbeitete und aktualisierte Auflage. (September 2007)
ISBN-10: 3589241306
ISBN-13: 978-3589241309



Broschiert: 336 Seiten
Verlag: Europa-Lehrmittel; Auflage: 43. A. (Juli 2005)
ISBN-10: 3808516739
ISBN-13: 978-3808516737

"Krause" Konstruktionselemente der Feinmechanik



8.2.3.4. Kunststoffgleitlager [8.2.15] [8.2.25] [8.2.26]

Die vielfältigen konstruktiven und technologischen Möglichkeiten, die die Kunststoffe bieten, spiegeln sich auch in der Vielzahl der Lagerkonstruktionen wider.

Folgende Ausführungsformen sind zu unterscheiden (Bild 8.2.21).

Massengleitlager bestehen aus reinen oder auch mit Füllstoffen modifizierten Kunststoffen. Mit zunehmender Wandstärke und infolgedessen wegen der allgemein schlechten Wärmeleitfähigkeit die Reibungswärme gestaut, die Temperatur der Lagerfläche steigt stark an, und frühzeitiger Verschleiß ist die Folge. Aus diesem Grunde sind diese Lager sehr dünnwandig zu halten. Wandstärken unter 1 mm sind möglich. Damit sich Volumenänderungen, hervorgerufen durch Wärmeausdehnung bei Temperaturschwankungen oder Quellung infolge Feuchtaufnahme, ausgleichen können, sind Lagerbuchsen mit durchgehendem schrägem Längsschlitz (Bild 8.2.22) zu versehen.



Bild 8.2.21. Ausführungen von Kunststoffgleitlagern

a) Mass-, b) Verband-, c) Gewebe- oder Faservlies-, d) Füllmaterial-, e) Lager mit Gleitschicht



Bild 8.2.22. Polymerschub mit Längsschlitz

Bild 8.2.23. Toleranzen der Gleitverschleißintensität I_g als Funktion der Gleitflächen-temperatur θ (aus VDI-Richtlinie 2541, s. Tab. 8.4.6)

Verbandgleitlager setzen sich aus einem Metallträger, dem der Lager die Festigkeit und Montierbarkeit gibt, und der Lagerwerkstoffschicht mit guten Gleiteigenschaften zusammen.

Gewebelager (auch Faservlies genannt) bestehen aus einem strukturierten Werkstoff, der zur Erhöhung der Festigkeit, Maßhaltigkeit und Wärmeleitung in der Kunststoffmasse eingebettet ist. Als derartige Einlagen dienen Textil-, Kunststoff-, Glas- und Bronzezusätze bzw. -gewebe.

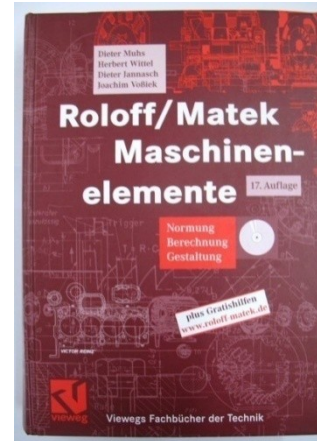
Füllmateriallager. Ein zugeschnittenes Füllmaterial oder Rohr mit einer Dicke bis etwa 0,2 mm wird entweder in der Bohrung oder auf dem Laufzapfen befestigt (meist geklebt).

Gleitbeschichtungen besitzen im Endeffekt eine ebenso dünne Gleitschicht wie die Füllmateriallager, die aber durch Aufdampfen, Betreiben (Gleitlack), Sätern oder Flammgespritzten auf die Lauffläche der Buchse bzw. bei kleinen Lagerdurchmesser einfacher auf die Zapfenfläche aufgebracht wird.

Für die Oberfläche des Stahlzapfens wird eine Härte von mindestens 50 HRC und eine Rauheit $R_a = 2 \dots 4 \mu\text{m}$ empfohlen. Kleinere Rauhtiefen verursachen eine höhere Reibung. Die Rauheit der Kunststofffläche ist unkritisch. Wie der Verschleiß vom Kunststoff abhängt, ist für trocken laufende Lager vergleichsweise Bild 8.2.23 zu entnehmen. Bei geschmierten Lagern ist der Verschleiß unbedeutend (Buchsegestaltung s. Abschnitt 8.2.3.2).

Berechnung. Zusätzlich zu den Berechnungen nach Abschnitt 8.2.3.1. ist die Lagertemperatur zu ermitteln.

Gebundene Ausgabe: 768 Seiten
Verlag: Hanser Fachbuchverlag; Auflage: 3., (Mai 2004)
ISBN-10: 3446223363
ISBN-13: 978-3446223363



"Roloff/Matek" Maschinenelemente

2.4 Berechnungsbeispiele

33

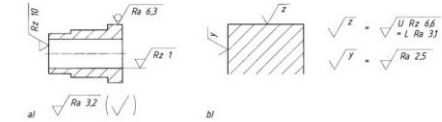


Bild 2-15 Vereinfachte Zeichnungseintragung
a) bei gleichen Anforderungen an die Mehrzahl der Oberflächen
b) Bezugsangabe durch ein Symbol mit Buchstaben, wenn der Platz begrenzt ist

2.4 Berechnungsbeispiele

■ **Beispiel 2.1:** Für die Toleranzklasse g8 sind mit den Werten der Tabellen TB 2-1 und TB 2-2 für das Nennmaß $N = 40 \text{ mm}$ die Grenzmaße es und ei zu ermitteln. Das Toleranzfeld ist maßstabsgerecht darzustellen.

► **Lösung:** Nach TB 2-2 wird für die Toleranzfeldlage „g“ das obere Grenzmaß

$$es = -9 \mu\text{m}$$

ermittelt. Das untere Grenzmaß errechnet sich aus der Beziehung

$$ei = es - IT$$

(s. TB 2-2, Fußnote). Mit der Grundtoleranz $IT = 39 \mu\text{m}$ nach TB 2-1 (Toleranzgrad 8, Nennmaß $N = 40 \text{ mm}$) wird somit das untere Grenzmaß

$$ei = -9 \mu\text{m} - 39 \mu\text{m} = -48 \mu\text{m}$$

■ **Beispiel 2.2:** Für die Passung H7/k6 sind mit den Werten der Tabellen TB 2-1 bis TB 2-3 für das Nennmaß $N = 140 \text{ mm}$ die Grenzpassungen P_9 und P_8 sowie die Passtoleranz P_T zu ermitteln und maßstabsgerecht darzustellen.

► **Lösung:** Die Grenzpassung P_9 wird mit Gl. (2.5) $P_9 = ES - ei$. Das Grenzmaß der Bohrung wird errechnet aus $ES = EI + IT$ (s. Fußnote 1 zu TB 2-3). Mit dem unteren Abmaß der Bohrung $EI = 0$ (Toleranzfeldlage H7) nach TB 2-3 und $IT = 40 \mu\text{m}$ (Toleranzgrad IT7, Nennmaßbereich 120 bis 180 mm) nach TB 2-1 wird somit das obere Abmaß für die Bohrung $ES = 0 + 40 \mu\text{m} = 40 \mu\text{m}$; das maßgebende Grenzmaß der Welle wird für die Toleranzfeldlage k nach TB 2-2 $ei = 3 \mu\text{m}$, so dass sich die Grenzpassung aus $P_9 = 40 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m} = 37 \mu\text{m}$ ergibt. Darstellung der Toleranzfeldlagen für Welle und Bohrung der Passung H7/k6 s. Bild 2-17a.

Die Grenzpassung P_8 wird nach Gl. (2.5) $P_8 = EI - es$. Mit $EI = 0$, $ei = 3 \mu\text{m}$ (s. a.) und $IT = 25 \mu\text{m}$ nach TB 2-1 (Toleranzgrad IT6, Nennmaßbereich 120 bis 180 mm) wird nach der Fußnote zu TB 2-2 das obere Abmaß der Welle $ei = ei + IT = 3 \mu\text{m} + 25 \mu\text{m} = 28 \mu\text{m}$ und damit $P_8 = 0 - 28 \mu\text{m} = -28 \mu\text{m}$. Mit den Grenzpassungen $P_9 = 37 \mu\text{m}$ und $P_8 = -28 \mu\text{m}$ ergibt sich die Passtoleranz nach Gl. (2.6) aus

$$P_T = P_9 - P_8 = 37 \mu\text{m} - (-28 \mu\text{m}) = 65 \mu\text{m}$$

(s. Bild 2-17b).

Ergebnis: Die Grenzpassungen betragen $P_9 = 37 \mu\text{m}$ und $P_8 = -28 \mu\text{m}$; die Passtoleranz $P_T = 65 \mu\text{m}$. Da $P_9 > 0$ und $P_8 < 0$, ist beim Fügen der Teile sowohl Spiel als auch Übermaß möglich. Die Passung H7/k6 ist also eine Übergangspassung.

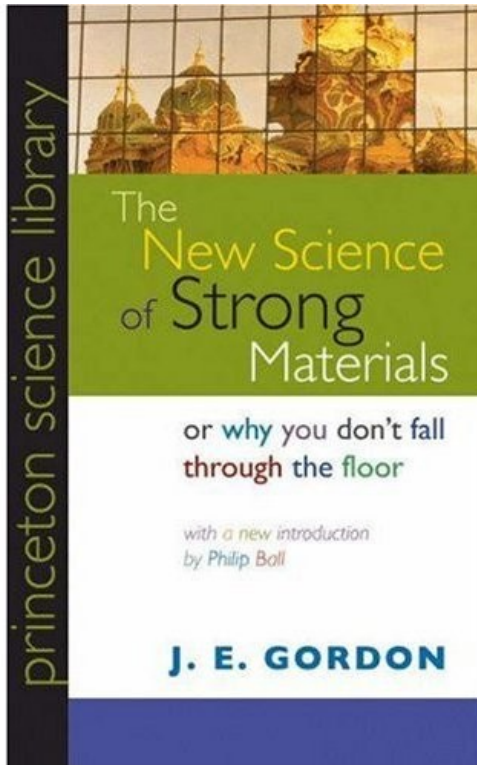
Anmerkung: Die Abmaße für Bohrung und Welle können auch TB 2-4 entnommen werden.

Bild 2-16 Darstellung des Toleranzfeldes g8 für das Nennmaß $N = 40 \text{ mm}$

Gebundene Ausgabe: 802 Seiten
Verlag: Vieweg+Teubner; Auflage: 18., (August 2007)
ISBN-10: 383480262X
ISBN-13: 978-3834802620



Taschenbuch: 442 Seiten
Verlag: Springer, Berlin; Auflage: 9., bearb. A. (August 2005)
ISBN-10: 3540261079
ISBN-13: 978-3540261070

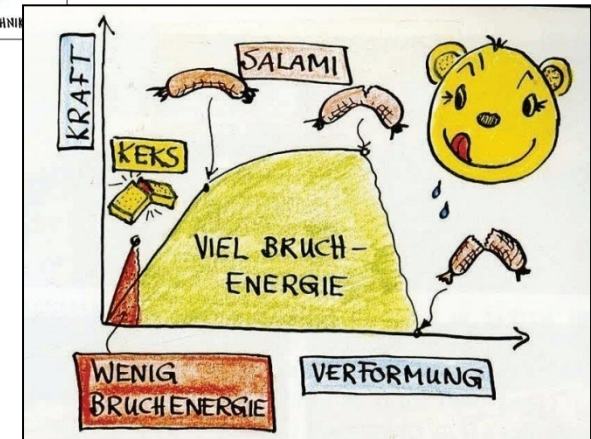


Material-
wissenschaft

Taschenbuch: 328 Seiten
Verlag: Princeton Univ Press, Revised edition 2007
ISBN-10: 0691125481
ISBN-13: 978-0691125480

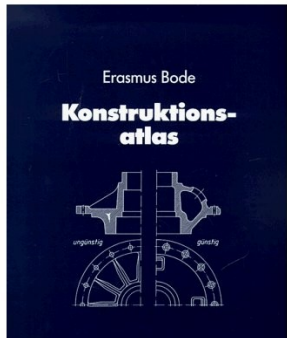


"Mattheck"
(Schadenskunde)

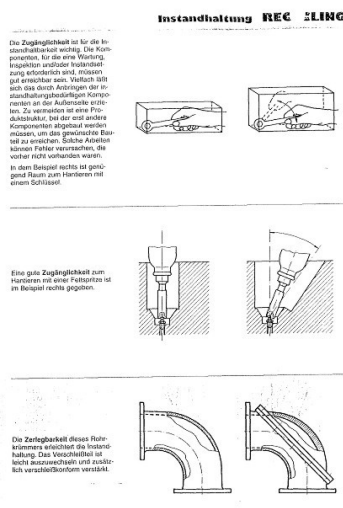
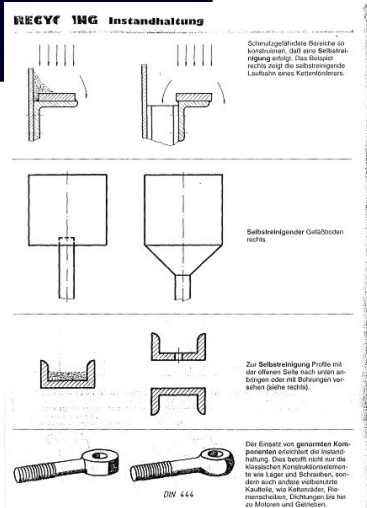


Taschenbuch: 208 Seiten
Verlag: Forschungszentrum Karlsruhe; Auflage: 1 (August 2003)
ISBN-10: 3923704410
ISBN-13: 978-3923704415

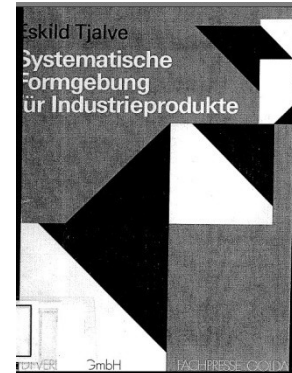
Literature – pragmatic helper



"Bode" Konstruktionsatlas



Gebundene Ausgabe: 403 Seiten
Verlag: Vieweg+Teubner; Auflage: 6., aktualis. u. erw. A. (1996)
ISBN-10: 3528149841
ISBN-13: 978-3528149840



"Tjalve" Systematische Formgebung für Industrieprodukte

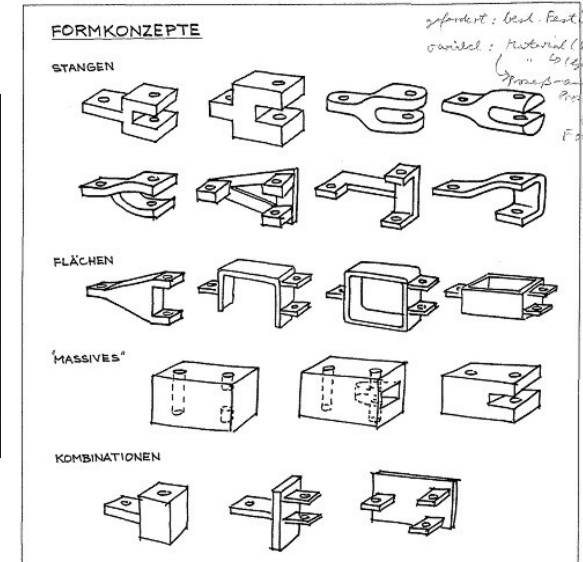
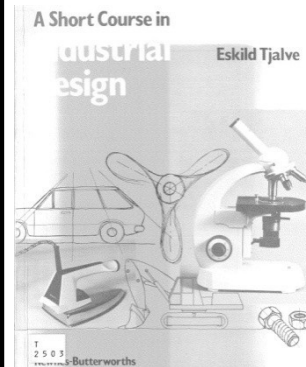
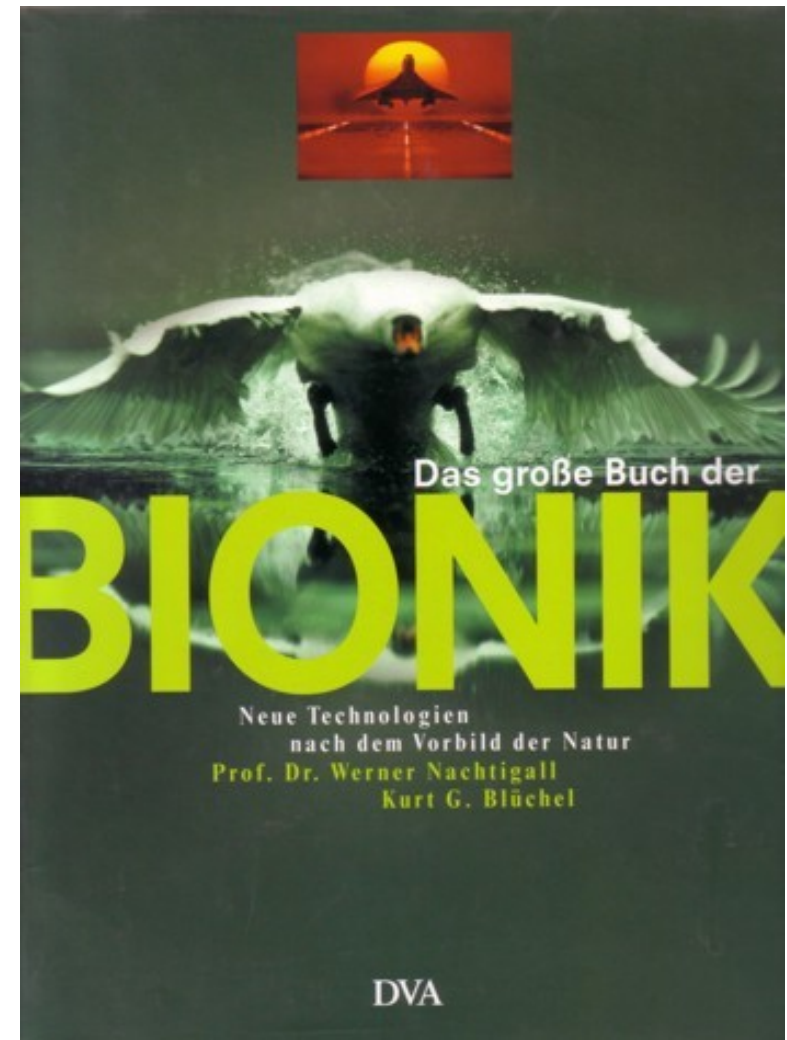


Bild 60 Formkonzepte für Gabelglied, aufgestellt aufgrund von Bild 59 und einer Variation von 'Formgeometrie und -abmessungen' (siehe auch Bild 98)

Broschiert: 237 Seiten
Verlag: VDI, Ddf. (Februar 1985)
ISBN-10: 3184190536
ISBN-13: 978-3184190538

Recommended literature on Biomimetics





- Basic understanding of the mechanical construction process
principle solutions → layout / design → CAD
- Basic machine elements
- Basic manufacturing processes

thank you for your attention