

1	Inovationsprozess	8	4.9.1	Teillösungen den Teilfunktionen zuordnen	21
1.1	Produkt	8	4.9.2	Variantenflut beherrschen	21
1.1.1	Produkte- lebenslauf.....	8	4.9.3	Verträglichkeitsmatrix = vollständiger Paarvergleich	22
1.1.2	Kunde, Kundennutzen	9	4.9.4	Aussichtsreiche konzeptionelle Gesamtlösung	22
1.2	Produkt aus sicht der Umwelt und Gesellschaft.....	9	4.10	Gesamtlösung konkretisieren	22
1.3	Innovations-Puls des Unternehmens	9	4.11	Beurteilen von Varianten	22
1.4	(Produkt-)Innovationsprozess	10	4.12	Bewerten von Varianten	22
2	Markt-Leistungsprozess.....	10	5	Entwurfsprozess.....	22
2.1	Leitbild, Vision, Unternehmensstrategie, Ziele, Kompetenz	11	5.1	Gestaltungsprozess.....	22
2.1.1	Stärken-/schwächenanalyse	11	5.1.1	Modulgenerierung	23
2.1.2	Technologieanalyse	11	5.1.2	Konkretisierungsstrategie	23
2.1.3	Zukunftsprojektion	12	5.1.2.1	Problemlösezyklus.....	23
2.1.4	Technologiewandel	12	5.2	Regeln, Prinzipien, Richtlinien des Gestaltens(eindeutig, einfach, sicher)	23
2.2	Produkte-positionierung	12	5.3	Gestaltungsprinzipien -> hochwertige Lösung.....	23
2.2.1	Bewertungskriterien für erfolgreiche Positionierung	13	5.3.1.1	Funktionsvereinung, Funktionstrennung(Bsp Lampe)	23
2.2.2	Erweiterung Systemgrenze	14	5.3.1.2	Bauteilvereinigung, Bauteilauftrennung(Integral-/Differentialbauweise)	23
2.2.3	Benutzungsanalyse	14	5.3.1.3	Kraftfluss	23
2.2.4	Dokumentation Produktepositionierung	14	5.4	Gestaltungsrichtlinien (design-to-x).....	24
2.3	Dokumentation Marktleistungsprozess	14	5.5	Management und Methoden im Entwurfsprozess	24
3	Kostenmanagement.....	14	5.6	Ergebnisdokument/Dokumentation des Entwurfsprozess	24
3.1	Kostenstrukturen und Begriffe	14	6	Organisation.....	24
3.2	Vollkostenrechnung	15	6.1	Organisationsformen in Unternehmungen	24
3.3	Budgetierung Kostenstelle	15	6.1.1	Linienorganisation	24
4	Konzeptprozess.....	16	6.1.2	Spartenorganisation	25
4.1	Intuitive und diskursive Problemlösung.....	16	6.1.3	Projektorganisation.....	25
4.2	Divergenz und Konvergenz beim Konzipieren	16	6.1.4	Teamorganisation	25
4.3	Teilprozess, Produktmodelle	16	6.1.4.1	Organisatorische Einheiten und deren Funktion	25
4.4	Projektdefinition.....	17	6.1.5	Organisationsformen im Vergleich	26
4.4.1	Anforderungsarten.....	17	6.1.6	Kommunikationskonzept.....	26
4.4.2	Projektplanung	18	6.2	Konflikte und Widerstände	26
4.4.3	Arbeitspakete	18	7	Moderation	26
4.5	Funktionsgliederung.....	18	7.1	Präsentation, Vortrag.....	26
4.5.1	Produktfunktion und ihre Darstellung	18	7.2	Informationssitzung.....	26
4.5.2	Funktion und Verhalten.....	18	7.3	Moderation	26
4.6	Gesamtfunktion, Teilfunktion und Funktionsstruktur	18	7.3.1	Vorbereitung.....	27
4.6.1	Funktionen beschreiben.....	19	7.3.2	Organisation.....	27
	Nicht normierte Funktionsbeschr	19	7.3.3	Werkzeuge.....	27
4.6.2	Physikalische Funktion.....	19	7.3.4	Ablauf einer Moderation	28
4.6.3	Logische Funktion.....	20	8	Werkstoffe	29
4.6.4	Zubringerfunktionen.....	20	8.1	Wahl des Werkstoffes	29
4.7	Funktionsstrukturen erarbeiten.....	20	8.2	Eigenschaften der Werkstoffe	29
4.8	Lösungsfindung.....	20	8.3	Stahl	30
4.8.1	Vorhandene Lösungen.....	20	8.3.1	Kennzeichnung der Stähle.....	31
4.8.1.1	Reale Lösungen	20	8.3.1.1	Unlegierte Baustähle.....	31
4.8.1.2	Virtuelle Lösungen	20	8.3.1.2	Unlegierter Stahl Mn < 1%.....	32
4.8.2	Intuitive Lösungsfindung	20	8.3.1.3	Legierungsanteil < 5 % (niedriglegierte St) Unlegierte St mit Mn>1%	32
4.8.3	Systematische Variation	20	8.3.1.4	Legierungsanteil > 5% (hochlegierter Stahl)	32
4.8.4	Innere und äussere Eigenschaften.....	20	8.4	Baustahl.....	32
4.8.5	Systematische Variation	21	2		
4.8.6	Systematische Variation von Produktmodellen.....	21			
4.9	Prinzipielle Gesamtlösung.....	21			

8.4.1	Unlegierter Baustahl (Tmax = 350°C)	32	10.1	Urformen aus Flüssigem Zustand – Schwerkraftgiessen	40
8.4.2	Automatenstähle	32	10.1.1	Konstruktionsrichtlinien Schwerkraftgiessen	41
8.4.3	Einsatzstähle	33	10.1.1.1	Gusswerkstoffgerechtes Konstruieren	41
8.4.4	Vergütungsstähle	33	10.1.1.2	Modell und Formgerechtes Gestalten	41
8.4.5	Nitrierstähle	33	10.1.1.3	Form und Modellteilung	41
8.4.6	Sonderstähle	33	10.1.1.4	Heuversche Kontrollkreismethode	42
8.4.6.1	Federstähle	34	10.1.1.5	Vermeidung von Spannungen und Rissen	42
8.4.6.2	Rost- und säurebeständige Stähle	34	10.1.1.6	Vermeidung von Gasblasen:	42
8.4.6.3	Warmfeste und hochwarmfeste (zunderbeständige) Stähle	34	10.1.1.7	Vermeiden sperriger Formen	42
8.4.7	Werkzeugstähle	34	10.1.1.8	Bearbeitungsgerechtes Gestalten	42
8.5	Eisengusswerkstoffe	34	10.2	Urformen aus flüssigem Zustand	43
8.5.1	Gusseisen mit Lamellengraphit GG	34	10.2.1	Druckgiessen	43
8.5.2	Gusseisen mit Kugelgraphit GGG	34	10.2.1.1	Konstruktionsrichtlinien Druckgiessen	43
8.5.3	Temperguss	35	10.2.2	Niederdruckgiessen	43
8.5.3.1	Weisser Temperguss GTW	35	10.2.3	Weitere Verfahren	43
8.5.3.2	Schwarzer Temperguss GTS	35	10.2.4	Faser-Verbund-Werkstoffe	43
8.6	Stahlguss	35	10.2.4.1	Verfahren Handlaminiere	43
8.7	Nichteisenmetalle NE (weniger als 50% Fe)	35	10.2.4.2	Verfahren Wickeln	43
8.7.1	Einteilung NE-Metall-Legierungen	35	10.2.4.3	Weitere Verfahren	43
8.7.2	Kupfer und Kupferlegierungen – NE-Schwermetalle	36	Injektionsverfahren, Diafragmatechnik, Vakuumpressen, Strangziehen (Pultrusion), Injektionsverfahren, Diaphragmatechnik, Prepreg		43
8.7.2.1	Kupfer-Zink Legierung (Messing) Zn<45%	36	10.2.4.4	Konstruktionsrichtlinien	43
	wird unterteilt:	36	10.2.5	Urformen aus plastischem Zustand: Spritzgiessen	43
8.7.3	NE-Schwermetall – Bronzen (Cu > 60%)	36	10.2.5.1	Konstruktionsrichtlinien Spritzgiessen	44
8.7.3.1	Zinn-Bronze/Sn-Bronze (kurz Bronze) (Sn<13%)	36	10.2.5.2	Gestaltungsrichtlinien	44
8.7.3.2	Aluminium-Bronze	36	10.2.6	Urformen aus plastischem Zustand: Rotationsgiessen	44
8.7.4	Zink und Zinklegierung	36	10.2.7	Urformen aus plastischem Zustand: Strangpressen (Extrudieren)	44
8.7.5	Blei und Bleilegierung	36	10.2.8	Urformen aus plastischem Zustand: Blasformen	44
8.7.6	Zinn und Zinnlegierungen	36	11	Umformen	44
8.7.7	Nickel und Nickellegierung	36	11.1.1	Druckumformen – Freiformen	44
8.8	Leichtmetalle	36	11.1.1.1	Konstruktionsrichtlinien Freiformen	44
8.8.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen	36	11.2	Gesenkformen	44
8.8.1.1	Reinaluminium	37	11.2.1	Konstruktionsrichtlinien Gesenkformen	45
8.8.1.2	Al-Knetlegierungen	37	11.3	Durchdrücken	45
8.8.1.3	Al-Gusslegierungen	37	11.3.1	Konstruktionsrichtlinien	45
8.8.1.4	Behandlungen der Al-Legierungen	37	11.4	Zugdruckumformen – Tiefziehen (deep drawing)	45
8.8.2	Magnesium und Magnesium-Legierungen	37	11.4.1	Blechumformung	45
8.8.3	Titan und Titanlegierungen	37	11.4.2	Kunststoffumformung – Vakuumtiefziehen	45
8.9	Plastwerkstoffe	37	11.4.2.1	Konstruktionsrichtlinien Tiefziehen	45
8.10	Sonderwerkstoffe	38	11.5	Zugumformen	46
8.10.1	Sinterwerkstoffe	38	11.5.1	Weiten	46
8.10.2	Technische Keramik	38	11.5.2	Tiefen	46
8.11	Verbundwerkstoffe (Composites)	39	11.5.2.1	Streckziehen (strech drawing) und Hohlprägen	46
8.12	Korrosion, Korrosionsschutz	39	11.6	Biegen	46
8.12.1	Chemische Korrosion	39	11.6.1	Konstruktionsrichtlinien Biegeumformen	47
8.12.2	Elektrochemische Korrosion (Kontaktkorrosion)	39	11.6.2	Sicken zur Blechversteifung	47
8.12.3	Korrosionsschutz	39	11.6.2.1	Gestaltungsregeln	47
9	Fertigungsverfahren	40	12	Trennen	47
10	Urformen	40			

12.1	Zerteilen – Scherschneiden	47	15.4	Beschichten aus ionisiertem Zustand – Galvanisches Beschichten.....	53
12.2	Feinschneiden.....	48	15.4.1	Konstruktionsrichtlinien (siehe Schmelztauchen)	53
12.2.1	Konstruktionsrichtlinien	48	16	Dimensionieren.....	53
12.3	Zerteilen - Messerschneiden.....	48	16.1	Eingliederung in Entwicklungsprozess	53
12.4	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	48	16.2	Beziehung zur Mechanik.....	54
12.4.1	Drehen	48	16.3	Ziele der Dimensionierung.....	54
12.4.1.1	Konstruktionsrichtlinien.....	49	16.4	Ablauf einer Bauteildimensionierung	54
12.4.2	Bohren, Senken, Reiben, Fräsen	49	16.4.1	Betriebszustände bestimmen	54
12.4.3	Hobeln, Stossen	49	16.4.2	Selektion der kritischen Bauteile für einzelne Lastfälle	54
12.4.4	Räumen.....	49	16.4.3	Freilegen der Bauteile und Bestimmung der äusseren Kräfte/Modellierung 54	
12.4.5	Schleifen (mit rotierendem Werkzeug) (grinding).....	49	16.4.4	Bestimmung der Kritischen Bauteile und der Schnittkräfte	55
12.4.6	Honen (honing).....	49	16.4.4.1	Flächenmittelpunkt	55
12.4.7	Läppen.....	50	16.4.4.2	Schnittreaktion.....	55
12.4.8	Strahlspanen	50	16.4.5	Bestimmung der Spannungen – Spannungstensor T.....	55
12.5	Abtragen - Thermisches Abtragen	50	16.4.6	Festigkeits- und Versagensberechnung druchführen	56
12.5.1	Funkenerosives Abtragen (Erodieren).....	50	17	Elementare Bealstungsfälle	56
12.6	Chemisches Abtragen.....	50	17.1	Werkstoffkennwerte.....	56
12.7	Elektrochemisches Abtragen.....	50	17.1.1	Einflüsse auf Werkstoffkennwerte.....	56
13	Fügen.....	50	17.2	Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannung für ruhende Beanspruchung....	56
13.1	Montage	50	17.2.1	Zulässige Vergleichsspannung bei ruhender Belastund.....	57
13.1.1	Konstruktionsrichtlinien	50	17.3	Bauteilbeanspruchung oberhalb der Grenzbeanspruchung	58
13.2	Fügen durch Umformen – Einbetten.....	51	18	Kerbwirkung.....	58
13.2.1	Insert- /outserttechnik	51	18.1	Kerben, Kerbwirkung und Formzahl.....	58
13.3	Nieten.....	51	18.1.1	Formzahl.....	58
13.4	Schweissen (wedling Technology).....	51	18.1.1.1	Formzahl für Absatz und Rundnut.....	58
13.4.1	Pressschweissen.....	51	18.1.1.2	Formzahl für Absatz mit Freistich	59
13.4.2	Schmelzschweissen	51	18.1.1.3	Formzahl für Rundstäbe mit Querbohrung	59
13.4.3	Konstruktionsrichtlinien	51	18.2	Kerb-Einfluss-Überlagerung	59
13.5	Löten	51	18.3	Einfluss der Kerbwirkung auf die Festigkeitsrechnung	59
13.5.1	Konstruktionsrichtlinien	52	18.4	Gestaltungsrichtlinien zur Minderung der Kerbwirkung.....	60
13.6	Kleben.....	52	19	Elementare Beanspruchungsfälle.....	60
14	Stoffeigenschaftsändern.....	52	19.1	Zug-, Druck-Beanspruchung.....	60
14.1	Sintern, Brennen.....	52	19.2	Biegebeanspruchung	60
14.1.1	Sintern.....	52	19.2.1	Drehung des Koordinatensystems um die x-Achse	60
14.1.2	Selektives Laser Sintern (SLS) (Rapid Prototyping)	52	19.2.2	Verschiebung des Koordinatensystems in der y-z-Ebene/ Satz von Steiner 60	
14.2	Pulvermetallurgisches Spritzgiessen(Metal Injection Moulding: MIM).....	52	19.3	Torsionsbeanspruchung.....	61
14.2.1	Konstruktionsrichtlinien	52	19.3.1	Rotationssymmetrische Torsionsbeanspruchung	61
14.3	Bestrahlen.....	52	19.3.2	Nichtrotations-symmetrische Querschnitte.....	61
14.4	Fotochemisches Verfahren(Stereolithographie (SLA)	52	19.3.3	Rechteckprofile.....	61
15	Beschichten.....	52	19.3.4	Offne, dünnwandige Profile mit konstanter Wandstärke.....	61
15.1	Schmelztauchen	52	19.3.5	Geschlossene, allgemein dünnwandige Profile.....	62
15.1.1	Konstruktionsrichtlinie	52	19.4	Schubbeanspruchung.....	62
15.2	Beschichten aus körnigem/pulverförmigen Zustand- Thermisches Spritzen (Plasmaspritzen).....	53	19.4.1	Rechteckquerschnitte.....	62
15.3	Beschichten aus dampfförmigen Zustand – Vakuumbeschichten	53	19.4.2	Kreisquerschnitt.....	62
15.3.1	Verfahren: PVD (Physical Vapor Deposition)	53	19.4.3	Offene dünnwandige Querschnitte	62
15.3.2	Konstruktionsrichtlinien	53	19.4.4	Torsion infolge Schub/Schubmittelpunkt	65
15.3.3	CVD (Chemical Vapor Deposition)	53			

20	Technisches Zeichnen.....	66
20.1	Visualisieren.....	66
20.1.1	Zeichnungsarten.....	66
	Technische Zeichnung.....	67
20.1.2	Arten von Technischen Zeichnungen.....	67
20.1.3	Schriftfeld.....	67
20.2	Darstellungsprinzipien.....	67
20.2.1	Projektionsarten.....	67
20.2.2	Linienarten.....	67
20.2.3	Darstellungskonvention.....	69
20.3	Formelemente.....	69
20.4	Maschinenelemente.....	69
20.5	Bemassung.....	69
20.5.1	Bemassungsart.....	69
20.5.2	Prüfung der Bemassung.....	70
20.6	Toleranzen.....	70
20.6.1	Masstoleranzen.....	70
20.6.2	Form und Lagetoleranzen.....	70
20.6.3	Oberflächen.....	70
20.7	Stücklisten und Zusammenstellzeichnungen.....	70
21	Tipps.....	71
21.1	Fehlersuche.....	71
21.2	Definitionen.....	72
21.3	Aufgaben.....	72
22	Cases.....	73
22.1	Materialbestimmung.....	73
22.2	Rückruf Mercedes.....	74
22.3	Funktionsanalyse.....	74
22.4	Kostenrechnung.....	75
22.5	Kommunikation.....	75
22.6	Case Festplatte.....	76
22.7	Case Kombizange.....	76
22.8	Case Spannungstensor.....	77
22.9	Case Kupplung, Fehler erkennen.....	78
22.10	Case Riemen.....	79
22.11	Case Kerbwirkung.....	79
22.12	Case Radaufhängung.....	80
23	Mechanikformeln.....	80

1 Innovationsprozess

1.1 Produkt

technisches materielles/immaterielles Erzeugnis, kommt nicht in der Natur vor, für Markt hergestellt.

Einteilung nach Verwendungszweck:

Produkte		
Dienstleistungen		Sachgüter
		Konsumgüter
		Investitionsgüter

Produkt-Lebenszyklus

- kürzer
- verschiedene Zyklen
- Vorsprung -> Rendite
- Junge Produkte von Alten Bezahlt

Wachsende U: gesunder Mix aus Phasen

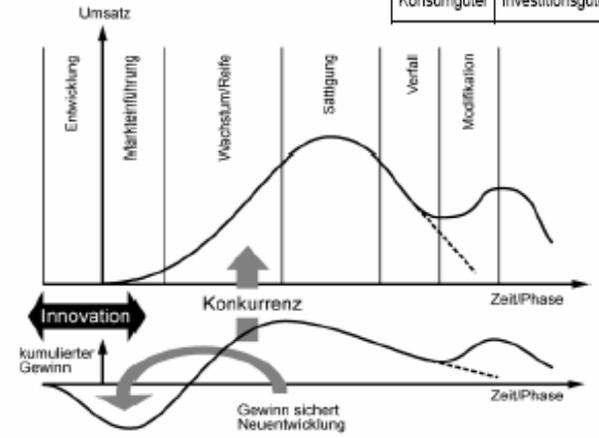
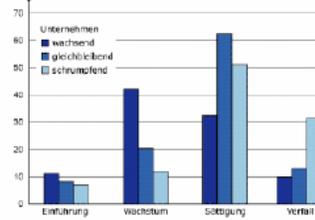
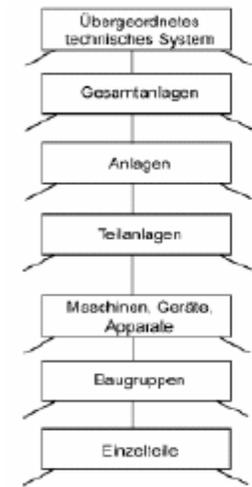
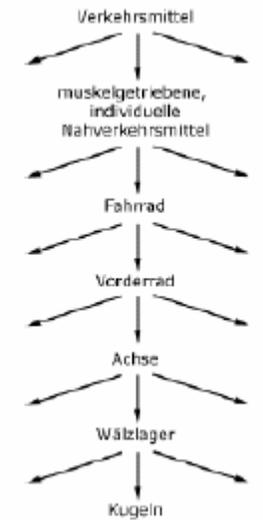


Bild (B002pipZ) Lebensphasen eines Produktes und typische Kurve des kumulierten Gewinnes

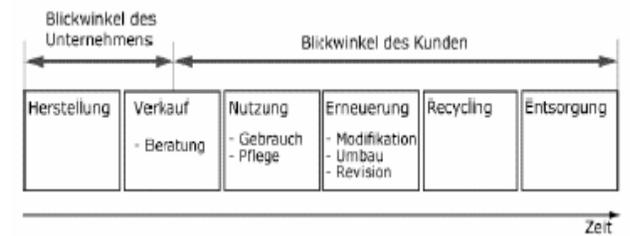


- z.B. elektrisches Verbundnetz, Eisenbahnnetz
- z.B. Hafenanlage, Schwerindustriezentrum, Kraftwerk
- z.B. Walzwerk, Kaffeemahlanlage
- z.B. Turboverdichter, Dampfkesselanlage, UKW-Sender
- z.B. Fahrzeug, Messgerät, Schaltschrank
- z.B. Motoren, Getriebe, Leistungsverstärker
- z.B. Wellen, Laufräder, el. Widerstände



1.1.1 Produktlebenslauf

aus Kundensicht:
Beachte: Kostenanteile



1.1.2 Kunde, Kundennutzen

Kunde kauft nicht Produkt, sondern Nutzen.

- ist die wichtigste Person in unserem Unternehmen, egal ob er persönlich da ist, schreibt oder telefoniert.
- hängt nicht von uns ab, sondern wir von ihm.
- ist keine Unterbrechung unserer Arbeit, sondern ihr Sinn und Zweck.
- ist jemand, der uns seine Wünsche bringt.
- Wir haben die Aufgabe, diese Wünsche gewinnbringend für ihn und uns zu erfüllen.
- ist keine Statistik, sondern ein Mensch aus Fleisch und Blut, mit Vorurteilen und Irrtümern behaftet.
- ist nicht jemand, mit dem man ein Streitgespräch führt oder seinen Intellekt misst. Es gibt niemanden, der je einen Streit mit einem Kunden gewonnen hat.
- ist keine Aussensteiter, sondern ein lebendiger Teil unseres Geschäftes. Wir tun ihm keinen Gefallen, indem wir ihn bedienen, sondern er tut uns einen Gefallen, wenn er uns Gelegenheit gibt, es zu tun.

Gebrauchs-, Geltungsnutzen

1.2 Produkt aus sicht der Umwelt und Gesellschaft

Maximaler Nutzen (ökonomische Optimierung) bei minimaler Umweltbelastung (ökologische Optimierung)

Ethik des Technischen Handelns:

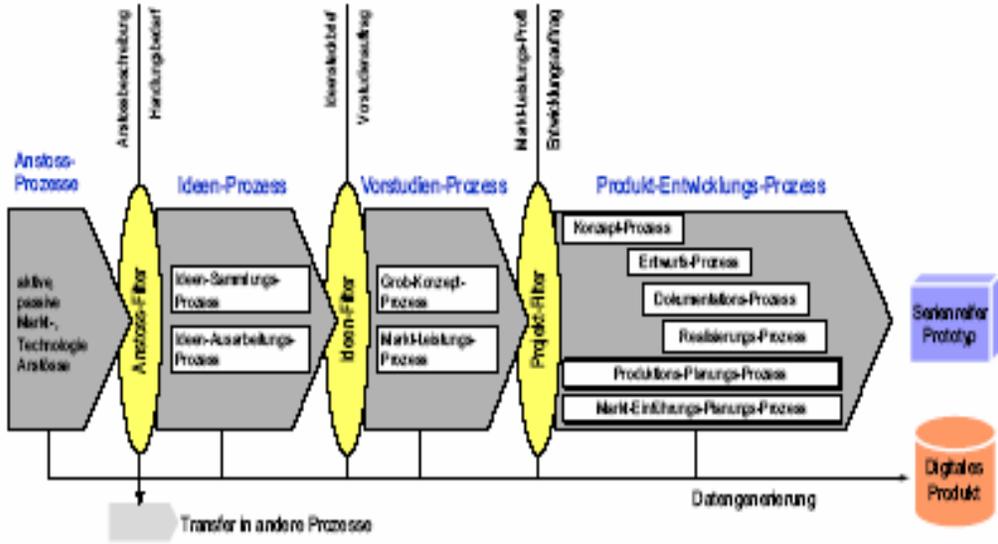
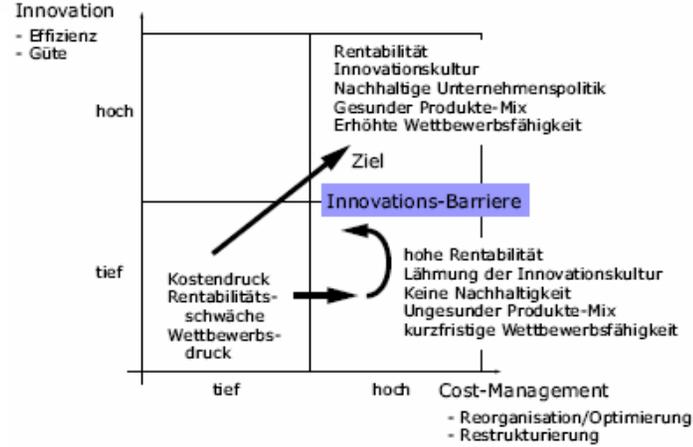
- lange Nutzungsdauer
- erneuerbare Ressourcen
- Demontagegerecht
- Niedriger Ressourcenverbrauch, Emissionsarm

1.3 Innovations-Puls des Unternehmens

Innovation: Neues generieren und erfolgreich im Markt einführen

Unternehmen, die sich nicht bzw. nur wenig um Innovationen bemühen, können recht lange erfolgreich operieren. Sie holen ihre meist hohe Rentabilität aus der Optimierung der Produkte, der Verbesserung der Produktionsprozesse, der Verstärkung der Marktaktivität, durch Reorganisation und Restrukturierungen der internen Abläufe, so dass der Gewinn mit den vorhandenen Produkten maximiert ist. Sie vergessen dabei häufig, dass dieses Vorgehen nur eine Ausrichtung der Strategie sein darf und ein Teil des verdienten Geldes auch in neue Entwicklungen einfließen muss.

Horizontal: operative Stärke,
Kostensoptimierung
Diagonal: i-nnovatives handeln, operative Effizienzsteigerung



1.4 (Produkt-)Innovationsprozess

Prozess: zeitlich begrenzter Ablauf mit klar definiertem Anfangs- (Input) und Endzustand(Output)

Methode: Rezept, Arbeitsanweisung, um den Prozess qualitativ besser, effizienter durchzuführen. Auch Methoden haben Ausgangslage und Endzustand

Anstossprozess: aktive und passive Informationsgewinnung, marktgetriebene (market pull) oder technologiegetrieben (Technologie push)

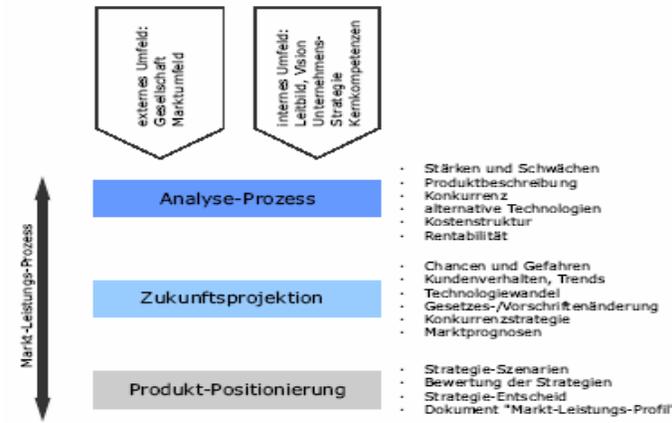
2 Markt-Leistungsprozess

Grobkonzeptprozess: verfeinern und weiterentwickeln des Grobkonzeptes

Markt-Leistungs-Prozess: beleuchten von Markt und Umfeld

3 Teilprozesse

S	strength (Stärken)	aus der Analyse
W	weakness (Schwächen)	
O	opportunity(Chance)	aus der Projektion
T	threat (Gefahr)	



⇒ Ergebnisdokument: Markt-Leistungs-Profil

2.1 Leitbild, Vision, Unternehmensstrategie, Ziele, Kompetenz

Leitbild: Sinn, Zweck der U (Verantwortung, Marktstellung, Personalpolitik
 Finanzierungsgrundsätze, Kunden –Lieferanten Pflege, Verh. gegen Konkur.)

Strategie	qualitative, definitive, mittel- bzw. langfristige Stossrichtung um Vision anzunähern
Vision	qualitative, langfristige, erstrebenswerte Position, Leuchtturm in weiter Zukunft
Ziel	qualitative, definitive, messbare Zustände, die auf dem strategischen Weg zu einem Zeitpunkt zu erreichen sind
Kernkompetenz	Bündelung und Nutzung von einzelnen Fähigkeiten, welche die Unternehmung von anderen Unternehmen differenziert, eine konkrete Leistung am Markt bewirkt, schwierig imitierbar ist, aus einem kollektiven und langem Lernprozess entstanden ist und ein offenes Potential für zukünftige Weiterentwicklungen hat.

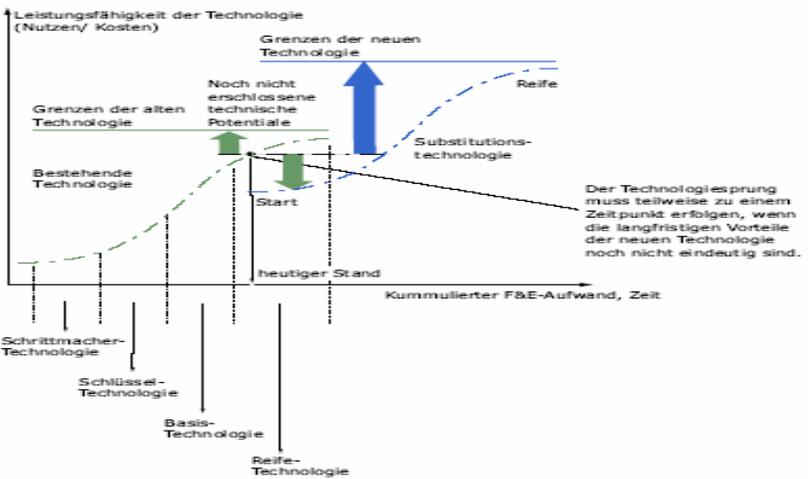
- 1: questionmarks
- 2: stars
- 3: cash cow
- 4: bad dogs



2.1.1 Stärken-/schwächenanalyse

Durch Kunden, oder Benchmarking (Vergleichsobjekt), darst. Fieberskala

2.1.2 Technologieanalyse

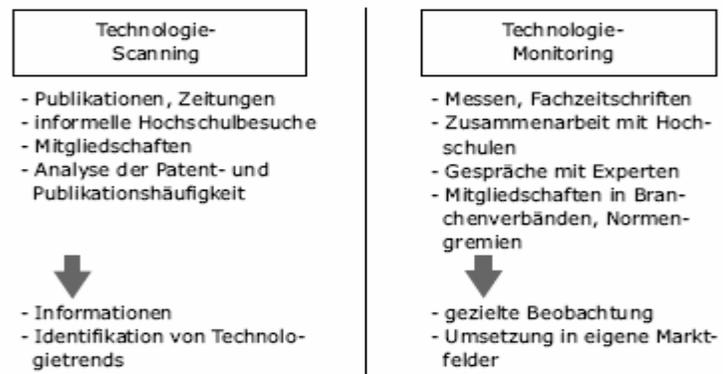


Schrittmachertechnologie	Wissenschaftliche Arbeiten zeigen erste Möglichkeiten; die eigentlichen Anwendungen sind jedoch noch nicht bekannt, bzw. werden erst erahnt. Auch das mögliche Potential ist noch umstritten.
Schlüsseltechnologie	Erste industrielle Applikationen kommen auf den Markt. Das Potential ist erkannt aber noch nicht in der vollen Breite erschlossen.
Basistechnologie	Die Technologie ist auf grosser Breite eingesetzt und das Wissen Allgemeingut und bildet die Basis vieler Produkte; Verbesserungen sind nach wie vor möglich.
Reife	Die Technologie ist breit eingesetzt und die Verbesserungspotentiale schwierig imitierbar ist, aus einem kollektiven und langem Lernprozess entstanden ist und ein offenes Potential für zukünftige Weiterentwicklungen hat.

2.1.3 Zukunftsprojektion

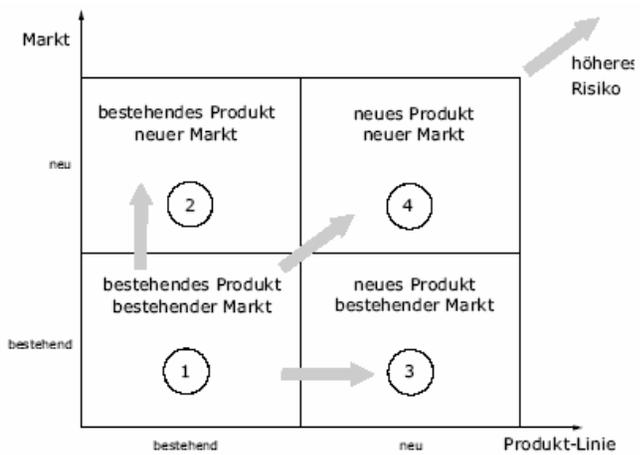


2.1.4 Technologiewandel



2.2 Produktepositionierung

Chancen und Gefahren von Umfeld und U abgleichen

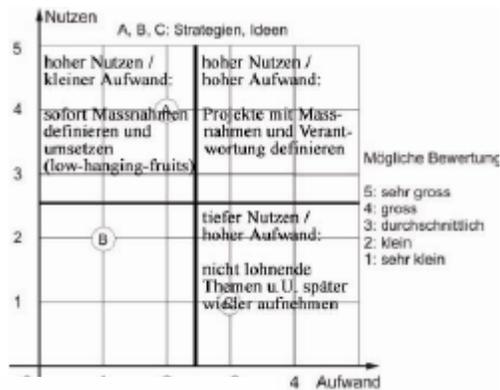


1. **Bestehende Produkte in bestehenden Märkten**
 - Basisstrategie: Verbesserung und Weiterentwicklung der bestehenden Produkte in den bestehenden Märkten
 - Neue Potentiale erschliessen (z.B. High-End)
 - Eliminieren von Schwächen
 - Abschotten im Low-Endbereich
 - Ausprägungslücken schliessen
 - Erhöhung des Kundennutzens/ Attraktivitätssteigerung
2. **Bestehende Produkte in neuen Märkten**
 - Vielfach eine reine Marketingaufgabe
3. **Neue Produkte in bestehenden Märkten**
 - Sortimentserweiterung
 - Neupositionierung
 - Blockierung im Low-Endbereich
 - Ausbruch im High-End Bereich
 - Positionierung in Leistungslücken
 - Diversifikation (Geschäftstätigkeit auf andere Geschäftsfelder erweitern)
 - Kombinatorik der Kompetenzen
4. **Neue Produkte in neuen Märkten**
 - Variation in Suchfeldern
 - Gliederung der Produkte nach bestehenden Merkmalen
 - Funktion
 - Wirkprinzip
 - Gestalt
 - Stoffe
 - Marketingfelder
 - Kombinatorik
 - Anwendungen suchen

2.2.1 Bewertungskriterien für erfolgreiche Positionierung

Nutzen-/Aufwandbewertung

- Aus Sicht der Kunden:
- höherer Nutzen für die Kunden (technisch, ökonomisch, psychologisch), sich von Bestehendem abheben, besondere Vorteile, höhere Qualität, höhere Lebensdauer
 - dem Kundenproblem entsprechend
 - mit Image-Wert
 - gutes Preis-Leistungs-Verhältnis
 - umfassendes Sortiment im Angebot



- Aus Sicht des Unternehmens:
- passend zu Leitbild, Strategien und Zielen (Rentabilitätsziele werden erreicht)
 - auf Kernkompetenzen basierend oder aufbauend
 - Kundenbindung wird gefestigt
 - Synergien mit weiteren eigenen Marktsegmenten, Marktanteile schon existent
 - Potential zur Sortimentserweiterung
 - mit Potential für neue Marktsegmente
 - in klaren Wachstumsmärkten oder konzentrierten Nischenmärkten
 - wenig substitutionsgefährdet
 - Eintrittsbarrieren sind erstellbar (z. B. Patente)
 - Austrittsbarrieren sind überwindbar (z.B. Kapitalbindung)
 - Beschaffung von Rohmaterialien bzw. -teilen ist gesichert
 - schwer zu imitieren

2.2.2 Erweiterung Systemgrenze

2.2.3 Benutzungsanalyse

Wir versetzen uns in die Situation der Benutzergruppe eines Produkts und gehen gedanklich den gesamten Ablauf im Umfeld des Produkts (Erweiterung der Systemgrenze) wie auch direkt am Produkt durch.

2.2.4 Dokumentation Produktepositionierung

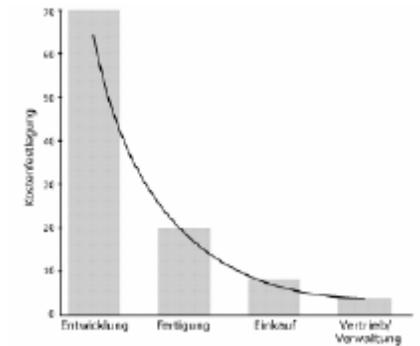
Lösungsneutral, messbare Werte, selbstverständliche Punkte vermerken

2.3 Dokumentation Marktleistungsprozess

Markt-Leistungs-Profil	Ergebnisdokument (Gesamtdokument) aus dem Markt-Leistungs-Prozess
Pflichtenheft	Teildokument der Produktepositionierung im Marktleistungsprofil und beinhaltet alle qualitativen und quantitativen Erwartungen an das Produkt und Entwicklungsprojekt. Das Pflichtenheft bildet die Schnittstelle zwischen Marktleistungsprozess und Konzeptprozess. Es dient als Grundlage zum Aufstellen der Anforderungsliste.

3 Kostenmanagement

Entwicklung 70-80 % der Kosten



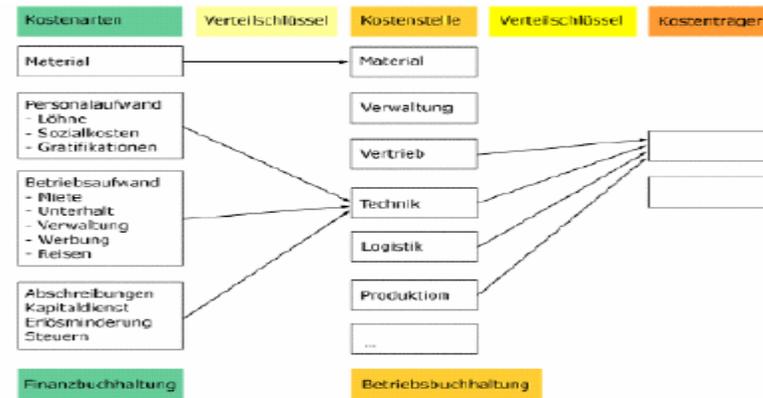
3.1 Kostenstrukturen und Begriffe

Kostenträger: Gruppierung von Produkten oder Leistungen eines U

Kostenarten: Gruppierung anfallender Kosten (mit gleichen Merkmalen)

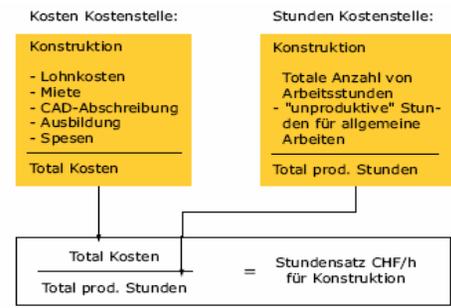
Kostenstelle: betriebliche Bereiche (Abteilungen, Gruppen) die eingrenzbar Kosten verursachen.

Einzelkosten/direkte Kosten: direkt verursachungsgerecht zuordbar



3.2 Vollkostenrechnung

Direkte Kostenstelle



Summe aller direkten Kosten plus Materialgemeinkosten

Gemeinkosten: Summe Vertriebsgemeinkosten, Verwaltungsgemeinkosten etc.

- Herstellkosten**
- + Vertriebsgemeinkosten
 - + Verwaltungsgemeinkosten
 - + Forschungsgemeinkosten
-
- = **Selbstkosten**

ohne Gewinn.

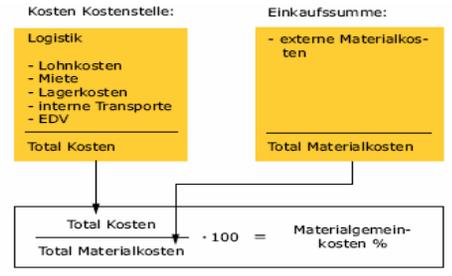
3.3 Budgetierung Kostenstelle

Überdeckung: mehr Kosten übertragen, als vorhanden (positiver Effekt)

Unterdeckung: weniger Kosten, als vorhanden (negativ)

Entwicklungsquote: (Entwicklungskosten – verkauf prototyp)/Anz Produkte

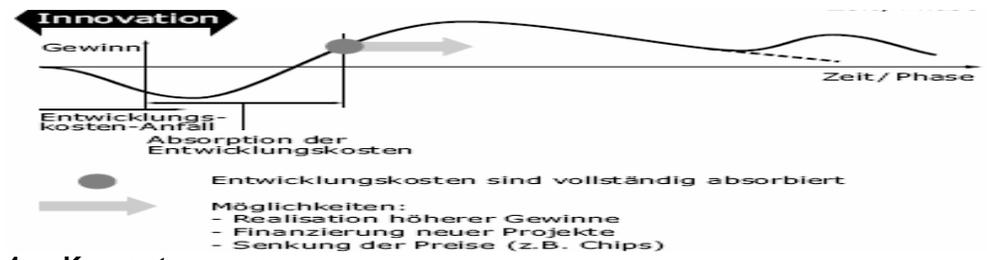
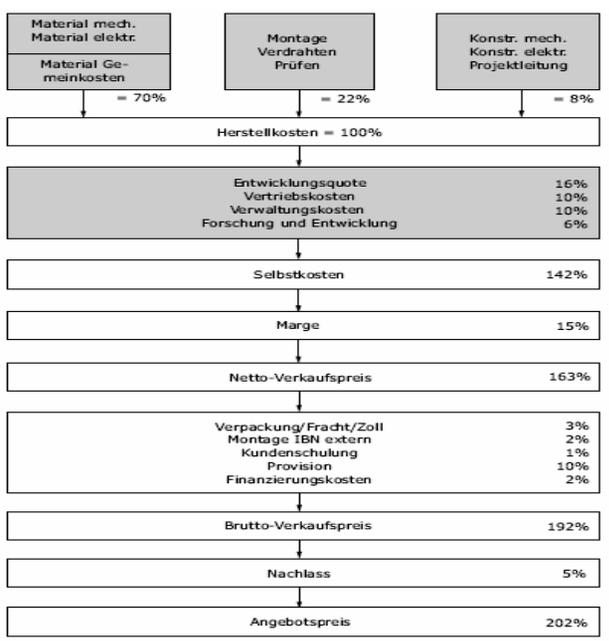
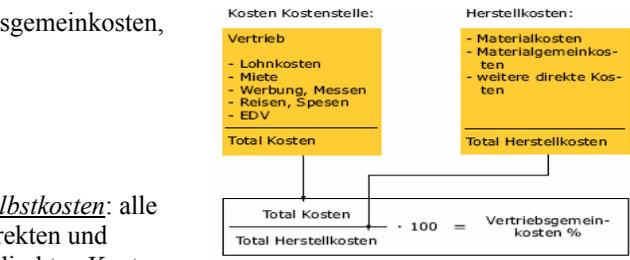
indirekte Kostenstelle



Herstellkosten:

- Materialkosten**
- + Materialgemeinkosten
 - + direkte Kosten Technik
 - + direkte Kosten Fertigung
 - + direkte Kosten Montage
 - + ...
-
- = **Herstellkosten**

Selbstkosten: alle direkten und indirekten Kosten



4 Konzeptprozess

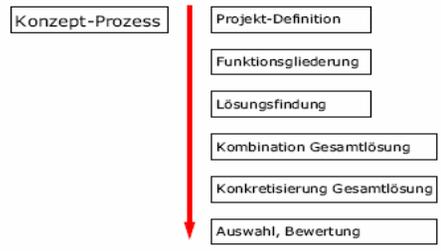
Konzeptprozess: Ausgangszustand ist die Produktpositionierung mit Pflichtenheft. Im Endzustand des KP liegen mehrere prinzipielle Lösungen vor, welche die geforderten Funktionen des Produkts erfüllen und durch ihre Wirkprinzipien und -strukturen bereits geometrisch und stoffliche Festlegungen enthalten.

4.1 Intuitive und diskursive Problemlösung

Intuitiv: nachdenken, bis Lösung offensichtlich

Diskursiv: schrittweise, weitgehend bewusstes denken

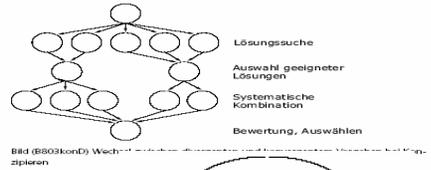
Intuitives Vorgehen	Diskursives Vorgehen
<ul style="list-style-type: none"> • Stimuliert den Lösungsprozess • Kann unterstützt werden durch Kreativitätstechniken • Ist bei guten Entwicklern und vertrauten Aufgaben schnell und effizient • Ergibt gute Ergebnisse bei erfahrenen Experten • Ist schlecht zu managen, da der kreative Einfall nicht erzwungen werden kann 	<ul style="list-style-type: none"> • Besteht aus abgeschlossenen Teilschritten • Ist in Arbeitsschritten und Zwischenzuständen beschreibbar • Geht logisch, folgerichtig vor • Ist kontrollierter und damit beherrschbarer • Ist aufwändiger • Sichert grösseres Lösungsfeld • Kann „Erfindergeist“ hemmen



4.2 Divergenz und Konvergenz beim Konzipieren

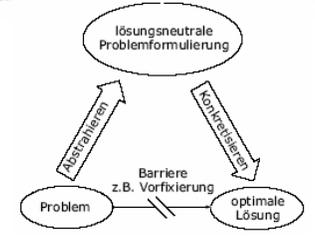
Divergentes Vorgehen: erhöht Anzahl Lösungen, erweitert Lösungsraum

Konvergentes Vorgehen: scheidet Lösungen aus, oder stellt sie zurück, reduziert also den Lösungsraum.



4.3 Teilprozess, Produktmodelle

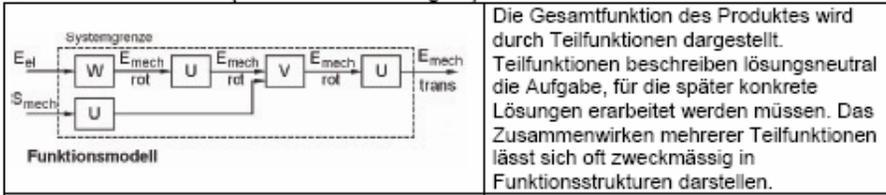
Produktmodell: Sammelbegriff zur virtuellen Beschreibung von Produkten in abstrakter Form.



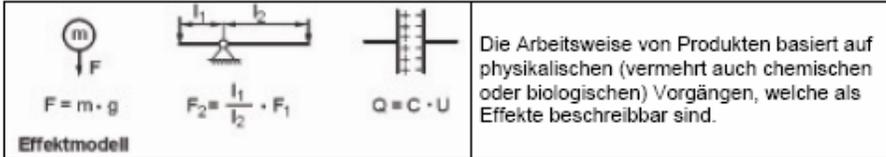
1. Anforderungsliste:

Darstellung der zukünftigen Eigenschaften (in Textform).

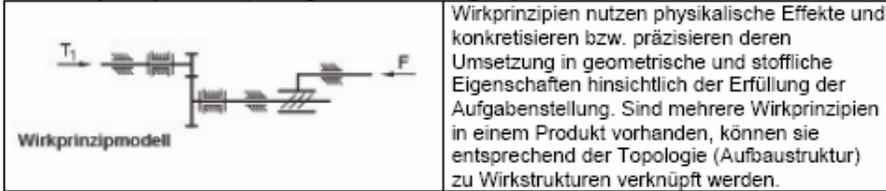
2. Funktionsmodell: (Hoher Abstraktionsgrad)



3. Effektmodell: (Mittlerer Abstraktionsgrad)



4. Wirkprinzipmodell: (Geringer Abstraktionsgrad)



Wirkelemente: Wirkkörper, Wirkflächen, Wirkraum, Wirkbewegung

Erfolgreiche Produkte: klare Produktstruktur, einfache Funktionsstruktur, eindeutige und funktionssichere Wirkstruktur, kostengünstige Baustruktur

4.4 Projektdefinition

Anforderungsliste: ist Basis Konzeptprozess. Enthält qualitative und quantitative Anforderungen, schriftlich, mit Prioritäten, strukturiert.

Anforderungen: lösungsneutral, positiv formuliert, anspruchsvoll (erreichbar), quantifiziert und Skizzen, klar u. eindeutig, mit selbstverständlichen Punkten

4.4.1 Anforderungsarten

Hauptgruppe		Unterteilung	Beispiel
Festforderung (FF)		Punktforderung	Stahrrahmen, 24-Gänge
Bereichs-forderung (BF)		Intervall-forderung	Spreizungsbereich der Übersetzung Mind. 12 Gänge Max. 3 kg
		Mindest-forderung	
		Maximal-forderung	
Zielforderung		Zielforderung	Etwas 6 cm Einfederung
Wunsch		Wunsch	Gepäckträger

4.4.2 Projektplanung

Projekt ist einmalig, risikobehaftet, klar durch Anforderungen, terminiert,...

Planung: gedankliche Vorbereitung um sinnvoll, zielorientiert, wirtschaftlich, und effektiv zu Handeln.(Bild: Ergebnisse Projektplanung)

- Projektstrukturplan
- Ablaufplan (z. B. Netzplan)
- Terminplan
- Kostenplan
- Organisationsplan
- Kapazitätsplan
- Risikoplan

4.4.3 Arbeitspakete

Arbeitspaket: In sich geschlossene Tätigkeit des Projektstrukturplans, mit definiertem In- und Output. Logische Abhängigkeit zu vorhergehenden APs mit zugeordnetem Zeitfenster. Zur Bearbeitung übergebar.

- wer die Empfänger der Kommunikation sind
- wie für sie kommuniziert wird
- wann für sie kommuniziert wird
- durch welchen Informationskanal für sie kommuniziert wird
- welche Werkzeuge eingesetzt werden sollen.

Projektablaufplanung: (Netz- und Balkenplan; Meilensteine; Kapazität-, Aufwandsplanung, Planungsoptimierung, Simultaneous Engineering, Kick-Off-, Meilensteinmeeting; Kommunikationskonzept)

4.5 Funktionsgliederung

4.5.1 Produktfunktion und ihre Darstellung

Black-Box-Modell

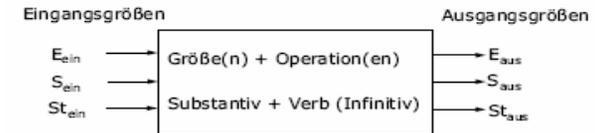


Bild (B807/konD) Funktionsdarstellung im Black-Box-Modell
E: Energie, S: Signal, St: Stoff

4.5.2 Funktion und Verhalten

Funktion	lösungsneutrale Beschreibung als Operation des gewollten Zusammenhangs zwischen Ein- und Ausgangsgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • Abstrahiert Produkt auf lösungsneutrale Ebene • Hilft einen grösseren Lösungsraum zu erzeugen • Gibt einen Überblick über Variationsmöglichkeiten • Zeigt Minimalstrukturen auf
Verhalten	die Beschreibung eines beobachteten oder gemessenen Zusammenhangs zwischen Ein- und Ausgangsgrößen beim Wirken eines realen Produkts	

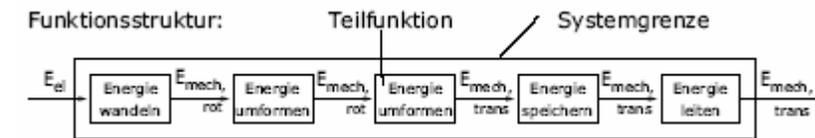
4.6 Gesamtfunktion, Teilfunktion und Funktionsstruktur

Gesamtfunktion: Transformation von Grössen durch ein Produkt insgesamt

Teilfunktion: Elemente der Gesamtfunktion, tragen durch ihr Zusammenwirken zum Erfüllen der Gesamtfunktion bei.

Funktionsstruktur: Gesamtheit aller Teilfunktionen und deren logische Verknüpfung, von Produktumgebung durch Systemgrenze abgegrenzt.

Systemgrenze: umfasst in System enthaltene Teilfunktionen.



4.6.1 Funktionen beschreiben

Nicht normierte Funktionsbeschr. normierte Funktionsbeschr.

Nicht normierte Funktionsbeschreibung	Beschreibungen im allgemeinen oder im technischen Sprachgebrauch, die keiner Norm bzw. keinem Standard unterliegen.	Normierte Funktionsbeschreibung	Basiert auf der Systemtechnik und verwendet standardisierte Grössen und Operationen zum Beschreiben von Grössentransformationen.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Die Formulierung ist jedermann geläufig. Sie ist leicht anpassungsfähig an die jeweilige Aufgabe und Branche. Sie ist sofort ohne Lernaufwand anwendbar. Sie erleichtert insbesondere für Anfänger den ungewohnten Umgang mit funktionalen Beschreibungen. Sie ist sehr hilfreich zum Beschreiben von statischen Aufgaben. 	Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Die Beschreibungen sind definiert. Es gibt nur eine begrenzte Anzahl von Beschreibungen. Es können dafür weitgehend vollständige Lösungssammlungen erstellt werden. Unterschiedliche Produkte können mit den gleichen Beschreibungen dargestellt werden, dies erleichtert das Erkennen von Ähnlichkeiten zwischen Produkten.
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Es können Definitions- und Kommunikationsprobleme auftreten, z.B. beim Unterscheiden zwischen Drehen, Schwenken, Rotieren, Neigen, Kippen. Der Aufbau von Verfahrens- und Lösungssammlungen für konkrete Funktionen ist nur sehr begrenzt zu realisieren. Die Anzahl möglicher Formulierungen ist sehr gross. 	Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Die Vielfalt funktionaler Beziehungen in technischen Produkten kann durch die Reduktion auf relativ wenige normierte Beschreibungen zu Unklarheiten, Auslegungs- und Verständnisproblemen führen. Die Anwendung muss erlernt werden und ist gewöhnungsbedürftig. Durch die Abstraktion der Beschreibungen kann ein Verlust an Anschaulichkeit auftreten.

Allgemeine Funktion: beschreib der Transformation von allg. Grössen Stoff, Energie und Signal mit definierten Operationen

Stoff (Gestalt- u. Werkstoffeigenschaften)	Energie (Energetische Eigenschaften)	Signal (Signaltechnische Eigenschaften)
Werkstücke Bandmaterial Schüttgut Fliessgut Flüssigkeiten Gase	Mechanische Energie (Kräfte, Momente, Bewegung) hydraulische/pneumatische Energie, thermische Energie, elektrische Energie usw.	Mechanische, elektrische, thermische Signale usw. Beschriftungen, Anzeigen, Digitale, analoge Signale usw.

4.6.2 Physikalische Funktion

Beschreibt Transformation physikalischer Grössen mit def. Operationen



Physikalische Grössen	
Energieart	Physikalische Grössen
Mechanisch translatorisch	Kraft F, Impuls L, Verschiebung s, Geschwindigkeit v
Mechanisch rotatorisch	Drehmoment M, Drehimpuls L, Winkelverschiebung, Winkelgeschwindigkeit
Hydraulisch, pneumatisch	Volumenstrom U, Volumen V, Druckimpuls A, Druck p
Elektrisch	Stromstärke I, Ladung Q, Induktionsfluss M, Spannung U
Thermodynamisch	Wärmestrom Q, Wärmemenge Q, Temperatur T
Physikalische Operationen	
Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrössen	Physikalische Operationen
Art der Eingangsgrösse ändern	Wandeln, Umformen
Betrag der Eingangsgrössen ändern	Vergrössern, Verkleinern
Richtung der Eingangsgrösse ändern	Ablenken, Umlenken
(Wirk-) Ort der Eingangsgrösse ändern	Versetzen Verschieben
Zeitverhalten der Eingangsgrösse ändern	Modulieren, Dämpfen, Glätten ...
Anzahl der Eingangsgrössen ändern	Summieren, Verteilen, Zerlegen

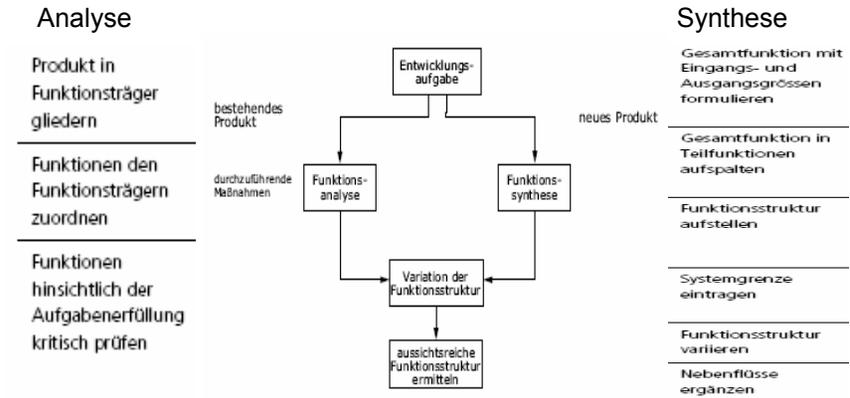
4.6.3 Logische Funktion

Beschreibt Transformation logischer (diskreter) Grössen mit def. Operationen

4.6.4 Zubringerfunktionen

Beschr. Handhabung von Werkstücken mit def. Operationen

4.7 Funktionsstrukturen erarbeiten



4.8 Lösungsfindung

4.8.1 Vorhandene Lösungen

4.8.1.1 Reale Lösungen
Suche in Wettbewerbslösungen, Zuliefermarkt (Zulieferkomponenten=abnehmeranonyme Standardlösung),

4.8.1.2 Virtuelle Lösungen
Schutzrechten (Patente, Gebrauchsmuster), Lösungssammlungen, Konstruktionskatalogen (Ordnungsschema gegliedert)
Konstruktionskatalog: + Vollständigkeit, branchen, unternehmensunabhängig
- selten Zuordnung zu Hersteller, printmedien -> rechercheaufwand

4.8.2 Intuitive Lösungsfindung

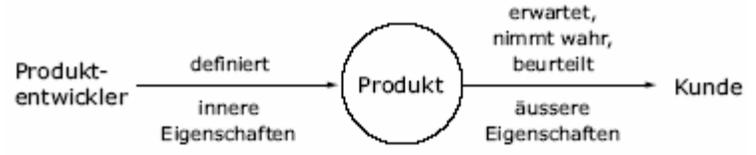
Brainstorming, Brainwriting (6-3-5), Galeriemethode, Synektik (Analogien suchen, bsp Bionik), Kreative Sprünge, Checkliste

4.8.3 Systematische Variation

Eigenschaft = Merkmal * Ausprägung (Wert)
Ähnlichkeit: grad an Übereinstimmung der Eigenschaften
Ähnliche objekte: gleiche Merkmale, unterschiedliche ausprägung =Varianten

4.8.4 Innere und äussere Eigenschaften

Innere Eigenschaft: kennzeichnen Aufbau des Objektes, meist elementare Eigenschaften, nicht weiter unterteilbar
Äussere Eigenschaft: beschreibt Wirkung des Produkts auf sein Umfeld, ergibt sich aus innerer Eigenschaft als spezifische Verknüpfung



4.8.5 Systematische Variation

Systematische Variation: diskursive Methode, zum generieren eines vollständigen Lösungsfeldes.

Vorgehen: 1. Ausgangsobjekt ermitteln, 2. Variationsmerkmale ermitteln (innere Eigenschaften) 3. Eigenschaft systematisch Variieren, 4. vollständiges Kombinieren 5. alternierende Kombination und Auswahl (sofort beurteilt)

4.8.6 Systematische Variation von Produktmodellen

- Systematische Variation der Physikalischen Effekte

Physikalischer Effekt	eine physikalische Erscheinung bzw. der Ablauf eines physikalischen Geschehens. Ein physikalischer Effekt ist durch Gesetze (z.B. Erhaltungssätze) beschreibbar und für technische Anwendungen nutzbar.
------------------------------	---

- Systematische Variation des Wirkprinzips

Wirkprinzip	Konkretisierung eines physikalischen Effekts unter Festlegung geeigneter geometrischer, kinematischer und stofflicher Eigenschaften. (Skizze)
--------------------	---

- Systematische Variation der Wirkelemente

Wirkelemente	Wirkraum, Wirkkörper, Wirkflächen und Wirkbewegung
---------------------	--

4.4.3.7 Darstellen von Varianten

<ul style="list-style-type: none"> • Variantenbaum 	<ul style="list-style-type: none"> • Ordnungsschema (Matrizenform) <table border="1"> <tr> <td>Merkmale A</td> <td>Wert 1</td> <td>Wert 2</td> <td>Wert 3</td> <td>Wert 1</td> <td>Wert 2</td> <td>Wert 3</td> </tr> <tr> <td>Merkmale B</td> <td>Wert 1</td> <td>Wert 2</td> <td>Wert 3</td> <td>Wert 1</td> <td>Wert 2</td> <td>Wert 3</td> </tr> <tr> <td>Merkmale C</td> <td>Wert 1</td> <td>Wert 2</td> <td>Wert 3</td> <td>Wert 1</td> <td>Wert 2</td> <td>Wert 3</td> </tr> </table>	Merkmale A	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Merkmale B	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Merkmale C	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3
Merkmale A	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3																
Merkmale B	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3																
Merkmale C	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 1	Wert 2	Wert 3																

4.9 Prinzipielle Gesamtlösung

Voraussetzung: detaillierte Anforderungsliste und Funktionsgliederung mit zugeordneten Teillösungen

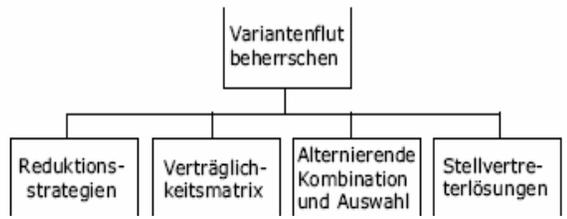
4.9.1 Teillösungen den Teilfunktionen zuordnen

Morphologischer Kasten: Ordnungsschema, zur Darstellung von Teilfunktionen und zugehörigen Teillösungen in Matrixform.

4.9.2 Variantenflut beherrschen

Probleme: Variantenfülle, Variantenschrott, geringe Ausbeute
Reduktionsstrategie: 1. Teilfunkt. nach Wichtigkeit ordnen, 2. weniger wichtige (3. geeignete) zurückstellen, 4. Teillösungsklassen

Vorteile	Nachteile
Man erkennt in einem reduzierten Morphologischen Kasten wesentlich besser die aussichtsreichen Konzeptvarianten (so genannte Stellvertreterlösungen).	Werden Teillösungen zurückgestellt, fallen damit ganze Lösungszweige aus dem Variantenbaum weg. Ein Zurückstellen muss daher gut überlegt werden und erfordert oft eine Vorausschau auf spätere Lösungseigenschaften.



4.9.3 Verträglichkeitsmatrix = vollständiger Paarvergleich

- Die völlig von Konzeptvarianten losgelöste Betrachtung von Zweierkombinationen fördert erheblich die Objektivität der Beurteilung.
- Durch eine rechnerunterstützte Präsentation der Zweierkombinationen wird der Bearbeiter von jedem Kombinatorikaufwand entlastet und kann sich voll auf die Beurteilung konzentrieren.
- Es werden nur Verträglichkeiten von Zweierkombinationen betrachtet. Wirkungsketten in der Verträglichkeit zwischen mehr als 2 Teillösungen müssen durch eine nachgeschaltete Feinbeurteilung erfasst werden.
- Eine Fehlentscheidung kann erhebliche Auswirkungen auf die Vollständigkeit und Qualität der Konzeptvarianten haben, wird selbst aber nur schwer entdeckt.
- Das Verfahren ist wegen seines schnellen Wechsels zwischen Vorstellungsbildern kognitiv extrem anspruchsvoll.

4.9.4 Aussichtsreiche konzeptionelle Gesamtlösung

Besteht aus untereinander verträglichen Teillösungen, die Anforderungen als Ganzes erfüllen

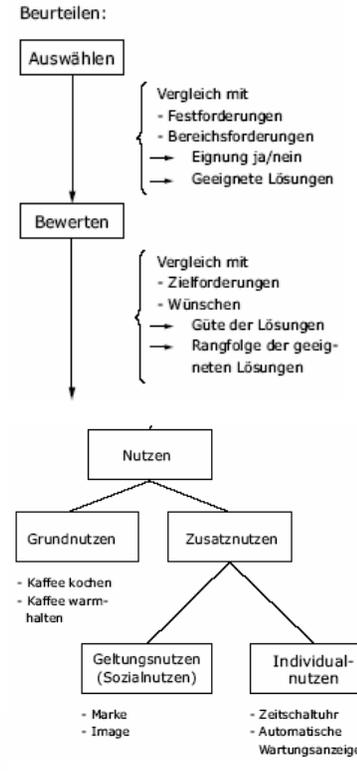
4.10 Gesamtlösung konkretisieren



4.12 Bewerten von Varianten

Paarvergleich, Nutzwertanalyse
 Produktnutzen = Grundnutzen + Zusatzteilnutzen (= Individual und Geltung (sozial)nutzen)

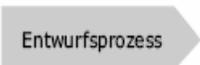
Vorgehen: 1. Zielvorstellung aufstellen, 2. Bewertungskriterien gewichten 3. Eigenschaften der Lösungen zusammenstellen (gleicher Informationsstand!!) 4. allg. Werteskala (+, -1-5) 5. spezielle Werteskala 6. Lösungseigenschaft nach Wervorstellung beurteilen, Teilnutzen bilden 7. Gesamtnutzen bilden
 Darstellung: Werteprofil, Stärkediagramm



5 Entwurfsprozess

Input:

- Anforderungen
- Prinzip-Skizze
- Machbarkeitsstudien
- Designstudien
- Kostenziele
- Terminplanung



Output:

- Massstäbliche Entwürfe
- Produktstruktur, Module, Stücklisten
- Baugruppen und Eigenschaften der Bauteile, wie Leistungswerte, Formgebung, Material, Fertigungsverfahren
- Schnittstellen
- Kostenstruktur
- Terminierung

5.1 Gestaltungsprozess

Ziel: Eigenschaften quantitativ festzulegen

Gestalten: Optimieren der Gesamtheit aller Eigenschaften zur bestmöglichen Erfüllung der Anforderungen

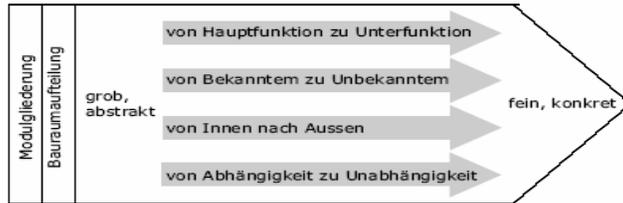
5.1.1 Modulgenerierung

-> individuelle Produkte, paralleles Vorgehen, einfache Wartung/Recycling

Thesen der Gliederung:

- Module sind funktionell und räumlich abgeschlossene Einheiten. (Baugruppen)
- Module sind überblickbar und haben einen klaren Leistungsbeschreibung.
- Die Schnittstellen zw. den Modulen sind eindeutig und möglichst einfach beschreibbar.
- Die Modularisierung lehnt sich an die funktionellen Gliederungen.
- Die Gliederung erfolgt nach nutzbringenden Kriterien für alle Prozesse des Lebenszyklus (Verkauf, Montage, Lagerung, Nutzung, ...).

5.1.2 Konkretisierungsstrategie



5.1.2.1 Problemlösezyklus

Informieren und abgrenzen, generieren und variieren, analysieren und validieren (Dimensionieren,

Prototyp, Fehlerbaumanalyse, FMEA), bewerten und entscheiden (Nutzwertanalyse, Paarvergleich, Benchmarking)

5.2 Regeln, Prinzipien, Richtlinien des Gestaltens (eindeutig, einfach, sicher)

Eindeutig und einfache Konstruktion in Bezug auf:

Grenzrisiko: nach zeitgemäßem Verständnis größtes

Vertretbare Risiko

Zuverlässigkeit: Bauteilzuverlässigkeit,

Maschinenzuverlässigkeit, Anlagenzuverlässigkeit, Prozesssicherheit, Betriebssicherheit, Arbeitssicherheit, Umweltsicherheit

Massnahmen: unmittelbare (safe-fail, fail-safe, redundanz=funkt von anderem Bauteil übernommen), mittelbar (Schutzsysteme/-einrichtungen), hinweisende Sicherheit (Schutz = Verringerung Schadenseintrittshäufigkeit/-umfang)

5.3 Gestaltungsprinzipien -> hochwertige Lösung

Bessere Funktionserfüllung, minimale Herstellungskosten/Platzbedarf, kleines Gewicht, hohe Zuverlässigkeit, unmittelbare Sicherheit

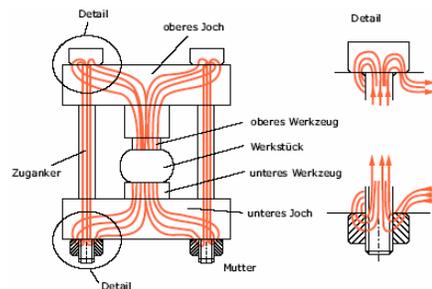
5.3.1.1 Funktionsvereinigung, Funktionstrennung (Bsp Lampe)

5.3.1.2 Bauteilvereinigung, Bauteilauftrennung (Integral-/Differentialbauweise)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • weniger Einzelteile • weniger Bestellungen • weniger Lieferanten • weniger Lagerpositionen • weniger Einzelteilrechnungen • Reduktion der Fügestellen und Toleranzen • reduzierte Montagezeit • weniger Einstellarbeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Umkehrung der Vorteile • komplexere Teile, meist werden Werkzeug-Formen und Modelle benötigt. • längere Entwicklungszeit, aufwändig. Testphasen • bei gr. Maschinen: Transport teilw. verunmöglicht • höheres Entwicklungsrisiko • aufwändigeres Änderungswesen • schwierige Bauteil- bzw. Materialtrennung bei der Entsorgung

5.3.1.3 Kraftfluss

Regeln: Eindeutigkeit der Kräfte und Kräfteführung, geschlossene Kräftekreise, gleiche Beanspruchung, Kräfteumleitung und Verengung vermeiden, sanfte Kraftumlenkung, Statisch Bestimmt



5.4 Gestaltungsrichtlinien (design-to-x)

- belastungsgerecht (Festigkeit, Verformung, Stabilität und Schwingung)
- ausdehnungsgerecht (Temperatur Ausdehnung, kriechen)
- korrosionsgerecht
- fertigungsgerecht
- montagegerecht
- normgerecht
- benutzungsgerecht, ergonomiegerecht
- formgebungsgerecht, designorientiert
- instandhaltungs- und wartungsgerecht
- recyclinggerecht

5.5 Management und Methoden im Entwurfsprozess

Ziel: Simultaneous Engineering (min Kosten, Zeit max Qualität)

QFD	(Quality Function Deployment) vermittelt einen Überblick, welchen Produktmerkmalen welche Bedeutung beigemessen werden kann. Grundsätzlich ermöglicht die QFD ein intensives Auseinandersetzen des Teams mit dem Spannungsfeld der Anforderungen und der Merkmale.
FMEA	(Failure Mode and Effect Analysis) dient zum Lokalisieren der Risiken in Bezug auf den Prozess, die Funktionalität, die Langlebigkeit, die Sicherheit usw. des Produktes. Mit Hilfe der FMEA werden Massnahmen festgehalten, um die lokalisierten Risiken zu eliminieren bzw. zu vermindern.
DFMA	(Design for Manufacturing and Assembling) Das primäre Ziel der Methode ist die Reduktion der Teilezahl des Produktes. (Bauteilvereinigung / -trennung). Jede Bauteilreduktion ändert auch die Randbedingungen für die Herstellung der Teile und die spätere Montage.
Target Costing	eine Methode, die zu versch. Zeitpunkten des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden kann. Ein Schwerpunkt liegt im Entwicklungsprozess selber. Ausgehend von den zulässigen Kosten des gesamten Produkts (Zielkosten) werden die maximalen Kosten jedes Modells bestimmt und ständig überwacht. Abweichungen erfordern Massnahmen.
Design Reviews	dienen dazu, an fixen terminlichen Meilensteinen die Zielerfüllung gemäss Anforderungen in Bezug auf Funktion, Qualität, Kosten und Termin zu überprüfen und zu entscheiden, ob das Projekt gemäss Terminplan weitergeführt wird, für das Projekt eine Iterationsschleife eingeführt werden soll oder das Projekt abgebrochen werden muss.

5.6 Ergebnisdokument/Dokumentation des Entwurfsprozesses

- CAD-Modell (Funktionsweise, Wirkstruktur eindeutig erkennbar)
- Produkt-Struktur (Baugruppen, Bauteile, Materialien)
- Projektplanung (Terminplanung aktualisiert, nachfolgende Prozesse geplant)
- Kostengliederung (Herstellkosten)
- Projektdokumentation

6 Organisation

6.1 Organisationsformen in Unternehmen

6.1.1 Linienorganisation

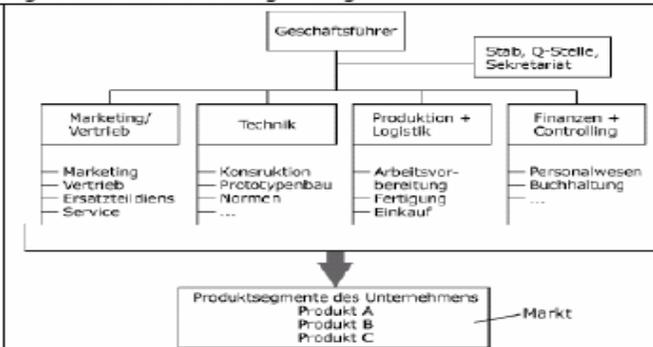
Klar festgelegte Abläufe in der Wertschöpfung, kleine gegenseitige Abhängigkeit, kleiner Informationsfluss, klar definierte Aufgaben mit Verantwortungsteilung

Geeignet für:

- Operationelles Tagesgeschäft
- Produkte ab Katalog
- Handel

Ungeeignet für:

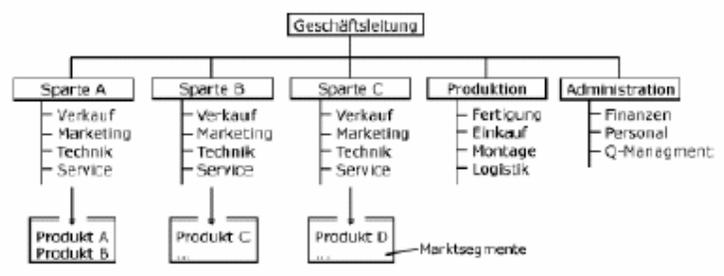
- Ungerichtete Abläufe
- Multidisziplinäre Aufgaben
- Kundenspezifische Produkte
- Entwicklungsprojekte



6.1.2 Spartenorganisation

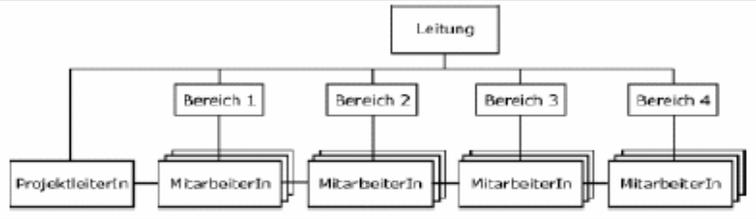
Produktplattformen, bzw. Marktleistungen werden zu Gruppen zusammengefasst

- Heute sehr häufig anzutreffende Organisationsform
- Geeignet für gute Fokussierung am Markt
- Weniger geeignet für Neuentwicklungen wegen Mangel an Ressourcen



6.1.3 Projektorganisation

Geeignet für Anspruchsvolle technische Produkte od. Anlagen. Gute Information und Koordination der verschiedenen Bereiche



- Geeignete für:
- Projekte mittleren und grösseren Umfangs mit kundenspezifischen Ausführungen
 - Mittlere Entwicklungsprojekte,

- Ungeeignet für:
- Umfassende Neuentwicklungen (Rollenkonflikte)

6.1.4 Teamorganisation

Ein definiertes Kommunikationskonzept im und ausserhalb des Teams ist einer der Erfolgsfaktoren von Entwicklungsprojekten. Weitere sind: Information optimieren, Zielsetzungen erreichen durch gute Planung, richtiges Einsetzen von CAx-Werkzeugen

- soziales Gebilde auf Zeit, in dem Menschen zur Erreichung eines besonderen, einmaligen Ziels zusammenarbeiten
- Ein Team:
- zeichnet sich durch Organisieren, Entscheiden und Ausführen auf derselben Arbeitsebene aus
 - leistet nicht nur ausführende Arbeit, sondern ist auch für seine innere Organisation verantwortlich
 - Ist nicht örtlich gebunden, sondern kann global verteilt arbeiten
 - Besitzt Prozess-Kompetenz
 - Benützt modernste Hilfsmittel zur Entwicklungsarbeit

6.1.4.1 Organisatorische Einheiten und deren Funktion

- Kernteam:** Zentrale, verantwortliche Einheit, welche mehrheitlich eine konstante Zusammensetzung aufweist und das ganze Projekt mit den Teildaten koordiniert und verantwortet. Der Projektleiter führt diese Einheit.
- Teildaten:** Falls das Projekt nicht durch das Kernteam allein durchgeführt werden kann, wird die Aufgabe in Teildaten gegliedert und vergeben.
- erweitertes Team:** Für bestimmte Aufgaben oder Meetings wird das Kernteam um einzelne Personen erweitert.
- Experte:** Für konkrete Aufgaben werden Spezialisten oder Teams beigezogen.
- Coach:** Hilft dem Projektleiter bei methodischen Fragen, schult teamorientiertes Arbeiten, moderiert z.T. Sitzungen, unterstützt bei Krisen.
- Lenkungsausschuss:** Führungsorgan, welches das Projekt freigibt, Verantwortlichkeiten und Randbedingungen festlegt und überträgt, das Projekt kontrolliert und lenkt.

6.1.5 Organisationsformen im Vergleich

	Produktpflege	Kundenauftrag	Neuentwicklung
Liniorganisation	sehr gut geeignet	schlecht geeignet – geeignet	schlecht geeignet
Spartenorganisation	sehr gut geeignet	schlecht geeignet – geeignet	schlecht geeignet
Projektorganisation	geeignet	sehr gut geeignet	geeignet
Teamorganisation	schlecht geeignet	geeignet	sehr gut geeignet

6.1.6 Kommunikationskonzept

Was, wie, wann, an wen mitgeteilt werden?

6.2 Konflikte und Widerstände

Sachkonflikt, Rollenkonflikt (Linienentscheide), Kommunikationskonflikt (fehlender Informationsfluss), Persönlicher Konflikt

7 Moderation

7.1 Präsentation, Vortrag

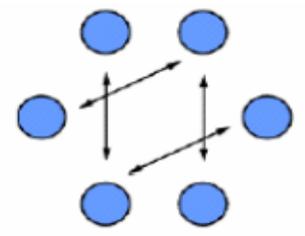
- Nachteile:**
- Das Resultat ist nicht gemeinsam erarbeitet worden
 - Das Resultat ist lediglich die Summe des Einzelwissens, Multiplikation des Wissens ist verhindert
 - Gesprochenes und Folien sind flüchtig
 - Die Lösung wird nicht unbedingt von allen getragen

- Sinnvoll unter der Voraussetzung:**
- dass der Lösungsweg des Problems
 - die Arbeit in der Detailausführung liegt
 - es um die strukturierte Vorbereitung einer Moderation geht

7.2 Informationssitzung

Eine Informationssitzung dient zum gegenseitigen informieren. Abstrakt gesprochen geht es darum, die Elemente von Informationen verschiedener Teilnehmer zu sammeln und ein Gesamtbild zu erstellen.

Merke: keine Sitzung ohne vorher festgelegte Ziele und Traktanden



- Nachteile:**
- Im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen die anwesenden Personen, nicht aber das Problem, um das es eigentlich geht
 - Einzelne Teilnehmende dominieren, halten lange Monologe oder sie beteiligen sich nur mangelhaft
 - Man neigt zu Aktionen „gegen Personen“ statt Aktionen „für das Projekt“
 - Die Visualisierung des Gesprochenen fehlt

- Sinnvoll unter der Voraussetzung:**
- dass der Lösungsweg lediglich in einer Addition der Einzelwissen (des sich gegenseitigen Informierens) besteht
 - dass kein gemeinsames Erarbeiten und keine Wissensmultiplikation notwendig sind

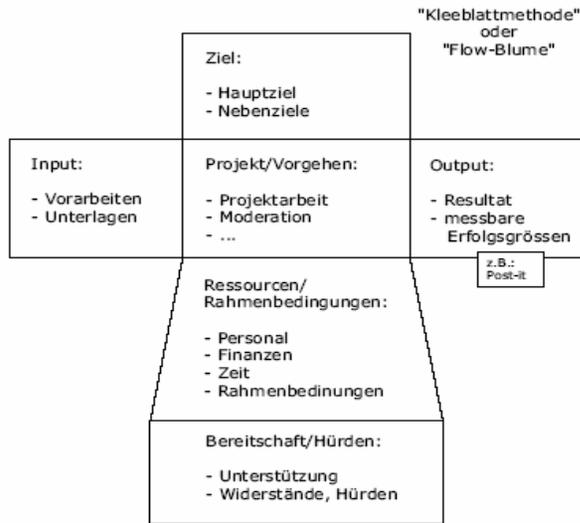
7.3 Moderation

Moderation: gemeinsame Arbeit und Diskussion innerhalb der Gruppe, die visualisiert und durch Moderator geführt wird.

Die permanente Visualisierung:

- hält das Gesagte verfügbar und präsent
 - sie hilft zu konzentrieren
 - steigert den Gesamtüberblick und die Identifikation
 - präzisiert die Information, vermeidet Missverständnisse und erhöht die Verbindlichkeit
 - ermöglicht einen dynamischen und kontinuierlichen Aufbau des Lösungsweges
 - fokussiert auf das Thema und vermeidet ungerichtete Arbeitsweisen
- Die Moderationssitzung erfolgt abwechselnd in einem Plenum oder aber verteilt auf mehrere Gruppen (Gruppenarbeit).

7.3.1 Vorbereitung



7.3.2 Organisation

Ort: losgelöst, vorbesichtigt
 Teilnehmer: Spezialisten, Querdenker (total ca 6-30 Pers)
 Einladung: Ziel(Haupt/ Neben), Ort, Dauer, Ablauf, Vorbereitungsarbeiten

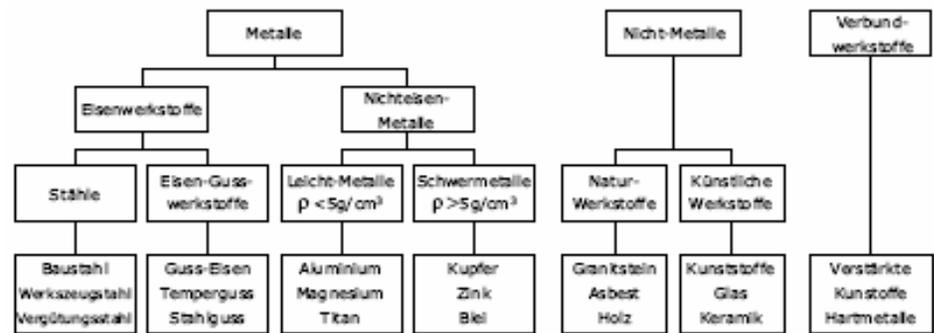
7.3.3 Werkzeuge

- Pinnwände
- Packpapier
- Karten
- Diverses Kleinmaterial
- Flipchart
- Tafel, Smart-Bords
- Hellraumprojektor, Beamer
- Digitalkamera für Sofort-Protokoll

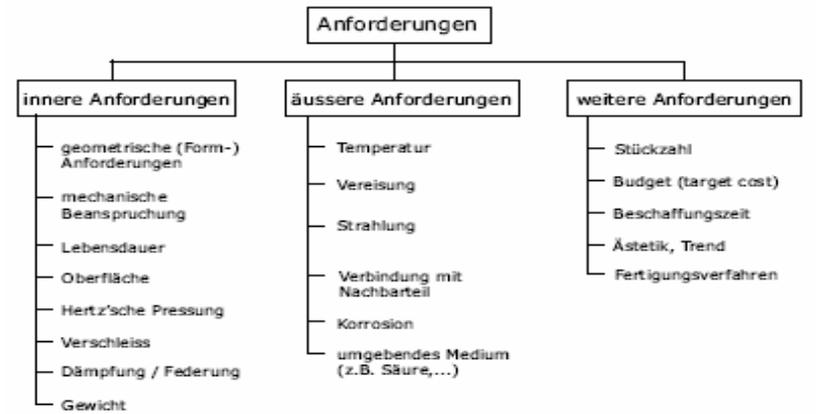
7.3.4 Ablauf einer Moderation

	Gute Ausgangslage schaffen, Teilnehmer psychisch in die Arbeits- und Denkmgebung bringen und positiv stimmen. Regeln festlegen Einstiegsmethoden.
1. Einsteigen	<ul style="list-style-type: none"> • Fünfziger-Ziel. Für Teilnehmer, welche sich schon kennen • Ein-Punkt-Abfrage: um Stimmungsbilder aufzunehmen • Bild – Person – Identitätskarte: um Personen auch auf der emotionalen Seite kennen zu lernen • Moderationslotto: um zwischen den Teilnehmern einen Erstkontakt zu schaffen
2. Informieren	Alle Teilnehmer auf einen notwendigen gemeinsamen Wissensstand bringen. Rahmenbedingungen und Ziele, soweit diese nicht in der Gruppe erarbeitet werden sollen, darlegen. Falls es sich um Problemstellungen handelt, welche weit in die Zukunft reichen, müssen die Teilnehmer geistig von der Gegenwart weg bewegt werden.
3. Sammeln	Gemeinsam Informieren, Ideen zur Problemstellung sammeln mit Kartenabfragetechnik
4. Strukturieren	Die Ideen werden gemeinsam strukturiert und geordnet. Die Ordnung dient dazu, Teilthemen zur weiteren Ausarbeitung zu kristallisieren. Methoden zur Strukturierung: <ul style="list-style-type: none"> • Ursachen-Wirkungs-Diagramm • Netzbild • Mindmap
5. Bewerten	Die Teilthemen (oder Einzelbeiträge) werden gemeinsam bewertet. Damit werden Prioritäten für die weitere Bearbeitung gesetzt. Methoden zur Bewertung: <ul style="list-style-type: none"> • Mehrpunkt-Abfrage • Nutzen-Aufwand-Matrix siehe 2.4.2
6. Bearbeiten	Die favorisierten Teilthemen werden, meist in Gruppenarbeit, vertieft bearbeitet.
7. Präsentieren	Die Gruppenarbeiten werden präsentiert und weiter vertieft. Das Ziel liegt darin, aus den einzelnen Präsentationen die wesentlichen Punkte zu selektieren, die Ideen zu konsolidieren und daraus einen Massnahmenplan zu erarbeiten.
8. Massnahmen festlegen	Parallel zu den einzelnen Schritten bzw. gegen Ende des Workshops, werden die Massnahmen (Tätigkeitenliste, weiteres Vorgehen, to do's) festgelegt und grob geplant mit Termin und Verantwortlichkeit. Rückmeldung, Messung der Zielerreichung
9. Reflexion, Abschluss, Protokoll	Analog dem Eintritt in die Moderation soll auch das Ende positiv gestaltet werden. Dazu können Stimmungsbilder aufgefangen werden. Abschliessend wird das Protokoll erstellt.

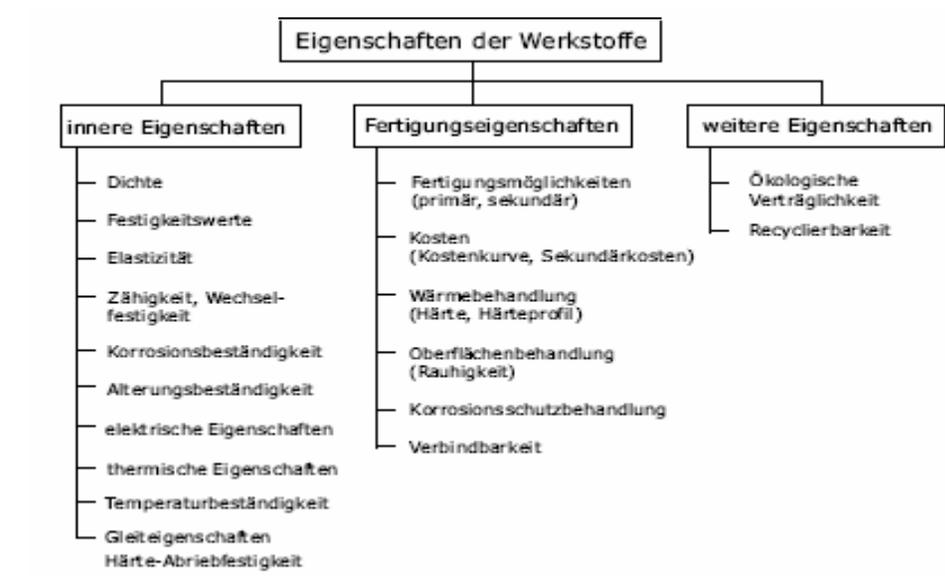
8 Werkstoffe



8.1 Wahl des Werkstoffes

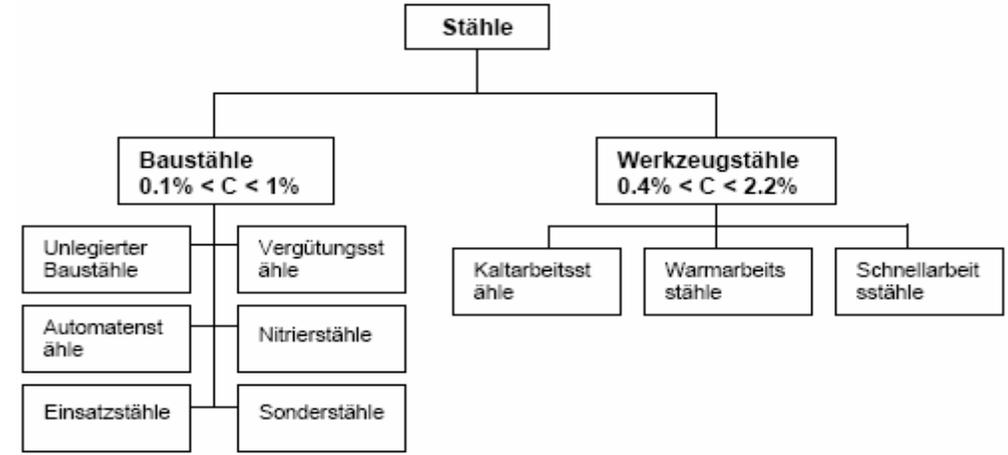


8.2 Eigenschaften der Werkstoffe



8.3 Stahl

$\rho = 7.85 \text{ kg/dm}^3$
 $E = 210'000 \text{ N/mm}^2$
 $G = 83'000 \text{ N/mm}^2$



Halbzeuge: Drähte, Rohre, Platten, Bleche, Profile

Eigenschaften	Legierungselemente										
	Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	Si	Mn	S	P
Zugfestigkeit	+	+		+	+	+	+	+	+		+
Streckgrenze	+	+		+	+	+	+	+	+		+
Kerbschlagzähigkeit	-		-		+	-	+	-		-	-
Verschleissfestigkeit	+	-		+	+	+	+	-	-		
Warmumformbarkeit	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	
Kaltumformbarkeit				-		-	-	-	-	-	-
Zerspanbarkeit		-		-			-	-	-	+	+
Warmfestigkeit	+	+		+	+	+	+	+			
Korrosionsbeständigkeit	+				+						-
Härtetemperatur	+		+	+	+	+	+	+	-		
Härtbarkeit, Vegütbarkeit	+	+		+	+	+	+	+	+		
Nitrierbarkeit	+		+	+	+		+	-	+		
Schweisbarkeit	-	-	+		+		-		-	-	-

+ Erhöhung, - Verminderung, leer kein nennenswerter Einfluss

	erhöht	vermindert
Kohlenstoff	C	
	Bruchgrenze	Schmelzpunkt
	Streckgrenze	Zähigkeit
	Härte, Härbarkeit	Schmiedbarkeit
	Kerbempfindlichkeit	Schweisbarkeit
	Rissbildung	Leitfähigkeit
		Zerspanbarkeit
		Kein Einfluss auf Korrosions-empfindlichkeit!

	Unlegierte Stähle			Legierte Stähle	
	Grundstähle	Qualitätsstähle	Edelstähle	Qualitätsstähle	Edelstähle
Merkmale	Keine besonderen Gütemerkmale	Erhöhte Anforderungen bezüglich Korngröße und Verformbarkeit	Besonders hohe Anforderungen an den Reinheitsgrad	Legierungsbestandteile ergeben bestimmte Eigenschaften	Genaue chemische Zusammensetzung ergibt bestimmte Gebrauchseigenschaften
Wärmebehandlung	Nicht vorgesehen	Möglich	Vorgesehen	Nicht vorgesehen	Zum Teil vorgesehen

8.3.1 Kennzeichnung der Stähle
8.3.1.1 Unlegierte Baustähle

G	S	235	JO	W							
Gussqualität	Hauptsymbol für Verwendungszweck	Mindeststreckgrenze	Kerbschlagzähigkeit oder Angabe über die Beruhigung	spezielle Eigenschaften							
(sonst leerlassen)	S	(für Halbzeug mit Bezugsdurchmesser) Mindeststreckgrenze = maximale Spannung bevor plastisches Fließen eintritt	Kerbschlagzähigkeit:	C	mit besonderer Kaltumformbarkeit						
	E			D	für Schmelztauchüberzüge						
	B			Betonstahl	E	für Emaillierung					
	D			Flacherzeugnisse für Kaltumformen	Kerbschlagarbeit	T	H	Hohlprofile			
						27J	40J	60J	in °C	L	für tiefere Temperaturen
						JR	KR	LR	+20	M	Thermomechanisch gewalzt
						JO	KO	LO	0		
						J2	K2	L2	-20	N	Normalgeglüht oder normalisierend gewalzt
						J3	K3	L3	-30		
	J4			K4	L4	-40	O	für Offshore			
	J5			K5	L5	-50	P	Spundwandstahl			
	H			Flacherzeugnisse aus höherfestem Stahl zum Kaltumformen	J6	K6	L6	-60	Q	Vergütet	
	L			Stahl für Leitungsrohren	T=Prüftemperatur			S	für Schiffsbau		
	M			Elektroblech	Beruhigung:	T	für Rohre				
						W	Wetterfest				
P	Stahl für Druckbehälter	G1	unberuhigt	Cu	Chemische Symbole für vorgeschriebene Elemente						
				+C	Grobkornstahl						
R	Stahl für Schienen	G2	beruhigt	+F	Feinkornstahl						
				+H	mit besonderer Härbarkeit						
T	Verpackungsblech und -band	G3	Gütegruppe	+Z	Feuerverzinkt						
				+ZE	Elektrolytisch verzinkt						
Y	Spanstähle	G4	Gütegruppe	+A	Weichgeglüht						
				+N	Normalgeglüht						
				+QT	Vergütet						

St	37
Alte Bezeichnung	Festes Symbol
8.3.1.2 Unlegierter Stahl Mn < 1%	Mindestzugfestigkeit für kleinstes Erzeugnis in kp/mm ²
C	45
E	
Festes Symbol	Kohlenstoffgehalt mal Faktor · 100
	E: vorgeschriebener max S-Gehalt R: vorgeschriebener Bereich für S C: besondere Kaltumformbarkeit G: weitere Merkmale S: für Federn U: für Werkzeuge

42	CrMn	4
Kohlenstoffgehalt Faktor 100	Legierungsbestandteile	Gehalt der Legierungsbestandteile in der Reihenfolge der Nennung, Faktor X Faktor 4: für : Cr, Co, Mn, Si, W, Ni Faktor 10: für: Al, Cu, Mo, Pb, Ti, V Faktor 100: für: P, S, N
		Bsp: 10CrMo9-10

X	5	Cr Ni	18 10
Festes Symbol	Kohlenstoffgehalt Faktor 100	Legierungsbestandteile	Gehalt der Legierungsbestandteile in der Reihenfolge der Nennung Faktor 1

Legierungsanteile < 1% werden nicht notiert

8.4 Baustahl

8.4.1 Unlegierter Baustahl (Tmax = 350°C)

Bezeichnung	alte Bezeichnung	C-Gehalt in %	Streckgrenze		Zugfestigkeit	Eigenschaften	Verwendungszweck
			d<16	d<40			
S235	St37	0,2	235	225	340	gering beanspruchte Teile; gut bearbeitbar, gut schweisbar	Hebel, Niete, Schweissteile, Stangen
S355	St52	0,2	355	345	490	Mittlere bis hohe Beanspruchung, gut zerspanbar, gut schweisbar, gute Zähigkeit	Wellen, Schubstangen
E360	St70	0,5	360	355	670	Höchste Beanspruchung, naturharte Teile, schwer zerspanbar, verschleissfest	Nocken, Gelenke, Walzen

C < 0.22% gut schweisbar

8.4.2 Automatenstähle

Phosphor-, Schwefel- oder Blei-Zusatz für Zerspanbarkeit und kurze Späne
Eigenschaften: Guter Verschleisswiderstand, schlecht schweisbar, geringe Bruchdehnung und Kerschlagfestigkeit

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendungszweck, Eigenschaften
9S Mn Pb28	375	460-710	Zum Einsatzhärten nur bedingt geeignet, Kleinteile geringer Anforderungen Bolzen, Stifte, Schrauben, Wellen, Muttern
10S Pb20	355	460-710	Geeignet für Einsatzhärten, verschleissfeste Kleinteile Wellen, Bolzen, Stifte
45S Pb20	375	640-830	Zum Vergüten geeignet, Teile höherer Beanspruchung Spindeln, Wellen, Schrauben

8.4.3 Einsatzstähle

Einsatzhärten: kleines C (ca 0.1-0.22%) bis 1mm Tiefe aufgekohlt
-> C-Anteil bis 0.8%, welcher härter ist. (Beachte: Verzug!)

Eigenschaften: hohe Oberflächenhärte, gute Gleiteigenschaften, zäher Kern(-> hohe Dauerfestigkeit, vor allem auf Biegung)

Bezeichnung	Streckgrenze (nach Härtung im Kern, Ø30 mm)	Zugfestigkeit	Verwendungszweck
C10	295	490-640	Teile geringer Belastung, wie Hebel und Zapfen
16MnCr5	440	780-1080	Teile hoher Belastung Ø50, wie Kolbenbolzen, Zahnräder und Spindeln
17CrNiMo6	785	1080-1320	Teile höchster Belastung, z.B. Teilerräder

8.4.4 Vergütungsstähle

C ca 0.2 bis 0.6%, wird vergütet = Härten bei 850°C + Anlassen ca 600°C (verzugsarm)

Eigenschaften: hohe Festigkeit, hohe Kerbschlagzähigkeit, guter Verschleisswiderstand, Gleiteigenschaften

Bezeichnung	Streckgrenze (Ø16-40 vergütet)	Zugfestigkeit (Ø16-40 vergütet)	Verwendungszweck
C45	390	650-800	Geringe Beanspruchung & kleine Masse Bolzen, Achsen, Welle, Getriebeteile, Zahnstangen, Nockenwellen, Hebel
42CrMo4	750	1000-1200	Höhere Beanspruchung & Masse Zahnräder, Lenkungsteile, Keil- und Kurbelwelle
30CrNiMo6	1050	1230-1420	Grössere Teile hoher Kerbschlagzähigkeit

8.4.5 Nitrierstähle

Aussetzen C-armter Stähle bei 500°C in stickstoffhaltiger Atmosphäre.

Eigenschaften: hohe Härte, zäher Kern, verzugsarm, nicht schweisbar, hohe Flächenbelastung -> abplatzen

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendungszweck
34CrAl6	540	780-900	Teile mittlerer Beanspruchung
34CrAlMo5	600	800-1000	Warmfeste (bis 500°C) Verschleisssteile bis 80mm Dicke
31CrMoV9	800	1000-1200	Warmfeste Teile bis 100mm Dicke

8.4.6 Sonderstähle

Federstähle, warmfeste Stähle, korrosionsfeste Stähle

$$\rho = 7.2 \text{ g/cm}^3$$

$$E = 175000 \text{ N/mm}^2 = \text{konst.}$$

8.4.6.1 Federstähle

Eigenschaften: hohe Dauerfestigkeit, hohe Festigkeit, sehr hohe Streckgrenze

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendungszweck
38Si7	1030	1180-1370	Federplatte, grössere Querschnitte, Fahrzeugblattfedern
50CrV4	1175	1370-1620	Höchst beanspruchte Schrauben-, Teller- und Blattfedern

8.4.6.2 Rost- und säurebeständige Stähle

Ferritische Stähle(bsp Möbel), Martensitische Stähle(bsp Messer), Austenitische Stähle(unmagnetisch, Aussenanwendung)

Für höchste Beständigkeit: Ni-Legierungen

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendungszweck
38Si7	1030	1180-1370	Federplatte, grössere Querschnitte Fahrzeugblattfedern
50CrV4	1175	1370-1620	Höchst beanspruchte Schrauben-, Teller- und Blattfedern

8.4.6.3 Warmfeste und hochwarmfeste (zunderbeständige) Stähle

Festigkeitswerte bis mind 550°C

Eigenschaften: hitzebeständig, schlecht schweisbar, schlecht kaltumformbar, schwierig zu zerspanen, schwierig zu schmieden

Chrom für Zunderbeständigkeit

Bezeichnung	Verwendungszweck
15CrMo3	Dampfkessel, -Leitungen, Brennkammern
X8CrNiNb16 13	Gasturbinenschaufeln und -teile
CoNiCr-Legierung	Gasturbinenschaufeln und -teile

8.4.7 Werkzeugstähle

C > 0.4%

Einteilung nach Anwendungsbereiche:

Kaltarbeitsstahl(Schneid-/ Umformwerkz max 200°C)

Warmarbeitsstahl(Druckgussformen, Umformwerkzeuge, T ca 200-400°C)

Schnellarbeitsstahl(spanende Werkzeuge wie Bohrer, ... max 600°C)

Einteilung nach Zusammensetzung

8.5 Eisengusswerkstoffe

2.1% < C < 4.5%, kostengünstig,

Unlegierte Werkzeugstähle (C80W1)

Niedriglegierte Werkzeugstähle (100Cr6)

Hochlegierte Werkzeugstähle (X38CrMoV5-1)

tiefere Festigkeitseigenschaften

8.5.1 Gusseisen mit Lamellengraphit GG

Eigenschaften: gute Giessbarkeit, gute Zerspanbarkeit, umformen

nicht möglich, nicht schweisbar, gute Gleiteigenschaften, hohe Dämpfung, Spröd

8.5.2 Gusseisen mit Kugelgraphit GGG

Bezeichnung	Zugfestigkeit in N/mm ²	E-Modul	Gefüge	Verwendung/ Bemerkungen
GG-10	100	40000-70000	Ferritisch	Gering beanspruchte Teile, Maschinenständer, Gehäuse
GG-20	200	80000-100000	Perlitisch	Teile höherer Belastung, Gehäuse, Gleitbahnen, Kolben
GG-30	290	130000		Teile hoher Beanspruchung, dünnwandig
GG-40	390	130000		Teile höchster Beanspruchung, dünnwandig (konstant!)

Kohlenstoff durch zulegieren von Mg kugelförmig

Eigenschaften: erhöht Festigkeit, Zähigkeit, senkt Dämpfungsverhalten, schweisbar, vergütbar(Festigkeit höher)

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendung
GGG 40	250	400	Gehäuse
GGG 50	320	500	Fittings, Fluelestangen
GGG 70	440	700	Zahnräder, Ketten, Kurbelwellen

Dichte $\rho = 7.4 \text{ kg/dm}^3$ und
E-Modul $E = 170'000 \text{ N/mm}^2$

8.5.3 Temperguss

Beim Erstarren Graphit nicht ausgeschieden

8.5.3.1 Weisser Temperguss GTW

Entkohlende Atmosphäre → Randentkohlung, versch. Wandstärken möglich Gewicht egal

Eigenschaften: meist schweisbar, hohe Festigkeitswerte (im Vergleich zu GG)

8.5.3.2 Schwarzer Temperguss GTS

In neutraler Atmosphäre gegläut. Bauteile < 1kg, konstante Wandstärken

Eigenschaften: nicht schweis- noch lötlbar, nicht für hohe T, vergütbar

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendung
GTW-40	220	400	Teile bis 1kg, Hebel, Kettenglieder, Beschläge, Bremsstrommel, Schaltgabel, Fittings, Ventilgehäuse, Schlüssel
GTS-70	530	700	Getriebegehäuse, Bremsstrommel, Kardangabeln, Planetenträger, Kupplungsteile, Achsgehäuse

8.6 Stahlguss

Eigenschaften: hohe Zähigkeit, Festigkeit, gute Schweisbarkeit ($C < 0.15\%$)

Für höchst beanspruchte Teile

Beachte: 2-3% Schwindungsmass, Festigkeitswerte meist reichungsabhängig

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendung
GS-52	260	520	Teile mittlerer bis hoher Beanspruchung: Ventilgehäuse, Radsterne, Bremsstrommel, Bolzen, Kettenräder
G-X8CrNi12	355	540-690	Verwendung bis 500°C (warmfest): hochwarmfeste Pumpengehäuse, Ventile, Heissdampfarmaturen, Pumpen
G-X6CrNiMo18 10	185	440-640	Korrosions- & säurebeständige Teile: Pumpen für Säuren, Nahrungsmittelindustrie

8.7 Nichteisenmetalle NE (weniger als 50% Fe)

- Leichtmetalle und Leichtmetalllegierungen $\rho \leq 5 \text{ kg/dm}^3$

- Schwermetalle und -Legierungen $\rho > 5 \text{ kg/dm}^3$

8.7.1 Einteilung NE-Metall-Legierungen

Gusslegierung: zum Giessen

Knetlegierung: für Halbzeug, weitere Umformung oder spanende Bearbeitung

GD-Kennbuchstaben	Zn	Al4	Cu1
G-	Guss		
GD-	Druckguss		
GK-	Kokillenguss		
GZ-	Schleuderguss		
GC-	Strangguss		
GI-	Gleitmaterial		
Lg-	Lagermaterial		
	Zinklegierung mit 4% Aluminium und 1% Kupfer mit Druckgussverfahren hergestellt		

8.7.2 Kupfer und Kupferlegierungen – NE-Schwermetalle

Eigenschaften: Korrosionswiderstand gegen Feuchtigkeit, Heisswasser und versch. Säuren, gute Schweis-/ Lötbarkeit, gute Gleit- und Festigkeitseigenschaften, hohe elektrische und wärme-Leitfähigkeit

Fertigungsmöglichkeiten: Giessen,

Umformen (Kaltverformung), spanend bearbeitbar.

Dichte $\rho = 8.93 \text{ kg/dm}^3$

Rein Kupfer:

E-Modul $E = 120'000 \text{ N/mm}^2$

8.7.2.1 Kupfer-Zink Legierung (Messing) Zn < 45%

wird unterteilt:

➤ α -Messing: Zn < 37%: gute Kaltumformbarkeit (hohe Bruchdehnung)

➤ α - β -Messing 37% < Zn < 46% gute Bearbeitbarkeit

Bezeichnung	Streckgrenze $\sigma \leq 40 \text{ mm}$	Zugfestigkeit	Verwendungszweck
CuZn30	230	350	Tiefziehteile, Federelemente
CuZn31Si	200	440	Lagerbuchsen, Führungen
CuZn40Pb2	250	430	Warmpressteile, Drehteile (Automatenmessing)

8.7.3 NE-Schwermetall – Bronzen (Cu > 60%)

8.7.3.1 Zinn-Bronze/Sn-Bronze (kurz Bronze) (Sn < 13%)

Eigenschaften: gute Festigkeitswerte und Härte bei guter Duktilität, ausgezeichnete Gleiteigenschaften

Knetlegierung Sn < 8.5%; Gusslegierung Sn < 14%

8.7.3.2 Aluminium-Bronze

Eigenschaften: Sehr hohe Festigkeitswerte $> 800 \text{ N/mm}^2$, hohe

Warmfestigkeit, Zunderbeständigkeit, Korrosionsbeständig, schwer Kaltumformbar, Zerspanbar

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendungszweck
CuSn8	340 (< 12mm)	470-550	Gleitlager, Schneckenräder
CuAl10Fe3Mn2	340 (< 50mm)	690	Korrosionsbeständig, verschleissfest, zunderbeständig Bolzen, Schrauben, Wellen, Zahnräder, Gleitsteine, Ventil-sitze

8.7.4 Zink und Zinklegierung

$\rho = 7.1 \text{ kg/dm}^3$, verzinken (Korrosionsschutz auf Stahl), Druckguss, ! giftig!

8.7.5 Blei und Bleilegierung

$\rho = 11.3 \text{ kg/dm}^3$, absorbieren Röntgen und radioaktive Strahlen, gegen Säure

8.7.6 Zinn und Zinnlegierungen

$\rho = 7.3 \text{ kg/dm}^3$, Lote, Überzug auf Stahlbleche (Konserven), Weissbleche

8.7.7 Nickel und Nickellegierung

$\rho = 8.9 \text{ kg/dm}^3$, galvanische Überzüge (vernickeln), Ni-Be: Federn, Ni-Cu-Fe: Monel-Metall: gegen Säuren und Laugen, Ni-Cr-Mo T fest

8.8 Leichtmetalle

8.8.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen

$\rho = 2.7 \text{ kg/dm}^3$, $E = 70'000 \text{ N/mm}^2$, neben Stahl am weitesten verbreitet

Eigenschaften: geringes Gewicht, gute Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit (Oxidschicht), gut giessbar, umformbar, spanbar, in Schutzgas schweisssbar (verliert Festigkeit), geringe Warmfestigkeit

Grosse Primär-Herstellungsenergie (16 000 kWh pro t), teuer

8.8.1.1 Reinaluminium

Je reiner sinkt Festigkeit,

Eigenschaften: elektrische, wärme Leitfähigkeit, reflektiert Wärme, Licht, in Schutzgas schweisssbar (verliert Festigkeit), schwierig lötlbar(Oxidhaut)

8.8.1.2 Al-Knetlegierungen

Können gewalzt, gezogen, gepresst, geschmiedet und geschweisst werden. Bsp:

- Al-Cu-Mg: hohe Festigkeit, gut spanbar, kleiner Korrosionswiderst.
- Al-Mg-Si: hohe Korrosionsw., vorzügliche elektr. Leitfähigkeit
- Al-Mg: hohe Festigkeit, Korrosionsw.(Seewasser, Alkalien)
- Al-Mg-Mn: gleich oben, Warmfester, geringere Festigkeit
- Al-Mn: extrem Korrosionsfest (chemische und Nahrungsindustrie)

8.8.1.3 Al-Gusslegierungen

Druckguss sehr massgenau (wenig Nachbearbeitung)

8.8.1.4 Behandlungen der Al-Legierungen

Aushärten Al-Leg: Lösungsglügen

Schweissen: Schutzgas

;Eloxieren

Al99	80	110	Sehr weiche Teile, lötlbar, schweisssbar, korrosionsbeständig, nicht aushärtbar
AlMg1	90	140	Witterungsbeständig, umformbar, nicht aushärtbar, Karosserieteile
AlMgSi1	200	275	Warmhärthbar, korrosionsbeständig, schweisssbar, mittlere Beanspruchung
AlCuMg2	310	440	Kaltausgehärtet, mittlere chem. Beständigkeit, hohe Festigkeit
G-AlSi12	70-100	150 - 200	Gut giessbar, witterungsbeständig, gut spanendbearbeitbar, schweisssbar
G-AlSi10Mg	100-260	220 - 320	Die hohen Festigkeitswerte werden durch Warmhärten erreicht, Motorengehäuse, gut schweisssbar und spanendbearbeitbar.

8.8.2 Magnesium und Magnesium-Legierungen

$\rho = 1.8 \text{ kg/dm}^3, E = 43\,000 \text{ N/mm}^2$

Eigenschaften: gute Festigkeit, zerspanbar (entflammare Späne!!), nicht kaltumformbar, unempfindlich gegen Schläge, kontaktkorrosion

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendungszweck/Eigenschaften
GDMgAl9Zn1	150-170	200-250	Hohe Festigkeit, gute Gleiteigenschaften, schweisssbar, häufig verwendete Druckgusslegierung

8.8.3 Titan und Titanlegierungen

$\rho = 4.53 \text{ kg/dm}^3, E = 110\,000 \text{ N/mm}^2$

Eigenschaften: warmfest, hohe Dauerfestigkeit, tieftemp- tauglich, sehr korrosionsbeständig, schwierig spanbar(späne brennbar), im schutzgas schweisssbar, lötlbar

Bezeichnung	Streckgrenze	Zugfestigkeit	Verwendungszweck/Eigenschaften
Ti- Al5Sn2.5	770	810	Kompressorschaukel, Fahrgestelle, Spanten, Antenne

8.9 Plastwerkstoffe

Siehe S 154 INA

Werkstoffe nach Mass(Eigenschaften einstellbar)

	1.8.1 Duroplaste	1.8.2 Elastomere	1.8.3 Thermoplaste
Eigenschaften	Engmaschig dreidimensional chemisch verbunden Nicht schmelzbar Formbeständig unter Wärmeeinfluss Nicht schweisssbar Nicht umformbar	An wenigen Stellen vernetzt Gummielastisches Verhalten Nicht schweisssbar Nicht umformbar	Keine chemische Vernetzung Bei höheren Temperaturen schmelz-, schweis- und umformbar
Anwendungen	Bootsbau Flugzeugbau, Leichtbau	Dichtungen Puffer Dämpfungselemente	Gespritzte Teile, wie Griffe etc. Abfalleimer Kohlefaserverstärkte Thermoplaste

8.10 Sonderwerkstoffe

8.10.1 Sinterwerkstoffe

Pulver unter hohen Drücken gepresst, anschliessend wärmebehandelt.

Eigenschaften:

einstellbare Porosität,
alternative zu giessen,
geschmiedet

Bezeichnungsbeispiel für Sinterstahl: SINT-D10

- SINT steht für die Kurzbezeichnung
- D gibt Auskunft über die Dichteklasse
- die erste Zahl bezeichnet die Werkstoffgruppe
- die zweite Zahl steht für die Unterteilung der Werkstoffgruppe

Bezeichnung:

Dichteklasse

Dichteklasse	Dichte	Verwendung
AF	sehr niedrig	Filter, Flammensperren, Drosseln
A	niedrig	Gleitlager
B	niedrig	Gleitlager, Führungsringe; gut dämpfende Eigenschaft
C	mittel	Gleitlager und Bauteile mittlerer Festigkeit
D	hoch	Bauteile hoher Festigkeit
E	sehr hoch	Bauteile sehr hoher Festigkeit
F	sehr hoch	Bauteile mit guten Korrosionsbeständigkeit

Werkstoffgruppe

Ziffer	Bedeutung
0	Sinterisen und Sinterstahl mit einem Massenanteil von 0-1 % Cu
1	Sinterstahl mit einem Massenanteil von 1-5% Cu
2	Sinterstahl mit einem Massenanteil von mehr als 5% Cu
3	Sinterstahl mit oder ohne Cu bzw. C jedoch mit einem Massenanteil von höchstens 6% anderer Legierungselemente
4	Sinterstahl mit oder ohne Cu bzw. C jedoch mit einem Massenanteil von mehr als 6% anderer Legierungselemente
5	Sinterstahl mit einem Massenanteil von mehr als 60% Cu
6	Sinterbuntmetalle, die nicht in Ziffer 5 enthalten sind
7	Sinterlichtmetalle

Kurzzeichen	Gruppe	Verwendung	Dichte ρ	Festigkeit	Bruchdehnung
			kg/dm ³	σ_B N/mm ²	ϵ_B %
SINT AF 40	rostfreier Sinterstahl	Filter	3.8-5.6	-	-
SINT AF 50	Sinterbronze	Filter	5.0-6.5	-	-
SINT B 00	Sintereisen	Gleitlager	6-6.4	80	3
SINT A50	Sinterbronze	Gleitlager	6.4-6.8	70	2.5
SINT C00	Sintereisen	Formteile	6.4-6.8	130	4

8.10.2 Technische Keramik

Man unterscheidet: Oxid- und Nichtoxidkeramiken

Eigenschaften: höchste Festigkeit, Härte sowie chemische und thermische Stabilität, nicht ausreichende Wärmeformbeständigkeit, Kriechneigung, Sintern bei niedrigen Temp., dotierung -> biegefestigkeit

Eigenschaften verschiedener Ingenieurkeramiken	Einheit	Si ₃ N ₄	SiC	ZrO ₂	Al ₂ O ₃ (+ZrO ₂)
Spez. Gewicht	g/cm ³	2.0–3.2	3.2	6	4
Biegefestigkeit bei 1400°C	MPa	200–600	200–400	100	100
Bruchzähigkeit	kJ/m ²	3–10	3–5	6–15	3 (8)
E-Modul	GPa	200–300	400	200	400 (300)
Wärmedehnung	10 ⁻⁶	3	4	10	8
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	10–40	100–140	2	30
Thermoschockbeständigkeit		hoch	hoch	mittel	gering
Abriebbeständigkeit		sehr gut	sehr gut	gut	gut
Biegefestigkeit	MPa	200–1000	400	500–1000	300 (600)

8.11 Verbundwerkstoffe (Composites)

Faserförmige Verstärkungskomponente: Kurz- oder Endlosfaser, gerichtet oder ungerichtet, eingebettet in eine polymere Matrix

Fasermaterial: Glas- (hohe Festigkeit), Aramid- (hohe Festigkeit, Bruchdehnung) und Kohlenstofffasern

Polymeres Matrixsystem: Klebstoff, bestimmt druckfestigkeit

Prepreg: gewünschte faserrichtung in Matrixsystem eingebettet

Beachte: Kostern, nicht besser als isotrope Metalllegierungen!!!

Faserverstärkte Keramik: hohe sprödigkeit

8.12 Korrosion, Korrosionsschutz

8.12.1 Chemische Korrosion

Kontakt mit Gasen, Wasser, Säuren, Laugen, chemisch aktiven Stoffen => Sauerstoffverbindungen (Oxide) (bsp Stahl + Wasser -> FeO₂, Rost)

T hoch => verzundern

8.12.2 Elektrochemische Korrosion (Kontaktkorrosion)

Untersch Spannungspotenziale => galvanisches Element => Korrosion

Achtung: Kapillarwirkung

8.12.3 Korrosionsschutz

- Teile vor Feuchtigkeit schützen
- Günstige Formgebung, so dass Wasser ablaufen kann oder trocknet
- Oberflächen sauber halten
- Anzahl Trennfugen minimieren (d.h. Unterlagsscheiben nur wenn notwendig)
- Spaltstellen versiegeln
- Werkstoffe mit ähnlichen Potentialen verwenden
- galvanische Trennung
- Glatte, eingölte oder gefettete Oberflächen
- Oberflächenbehandlungen wie Phosphatieren, Brünieren oder Chromatieren, Lackieren, Feuerverzinken, Verchromen oder Vernickeln und Eloxieren

Emallieren (glasartige Überzüge); Kunststoffbeschichtung

9 Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren

Schaffen der Form	Ändern der Form				Ändern der Stoffeigenschaften
Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren		Stoffeigenschaftsänderungen
Urformen	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten	

10 Urformen

10.1 Urformen aus Flüssigem Zustand – Schwerkraftgessen

Sandkanteneffekt: Wärmestau

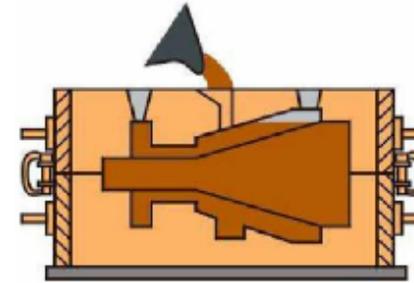
Vakumformen:

Verdichtungsprozess durch Vakuum

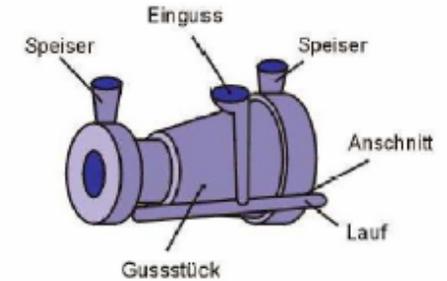
Maskenformen: Anstelle Formsand -> Phenolhaz-Sandgemisch => starre Fromschale

Feingiesse n: Lost wax (Giessbäumchen mit Trauben/Modellen, in keramische Überzüge getaucht.)
Vollformgiessen: Schaumstoffmodell, das vergast(günstig)

	Gliederung Gessen		Serien-grösse			Genauigkeit			Material
			k	m	g	k	m	g	
Dauerform	ohne Modell	Druckgessen	x	x				x	Leichtmetall
		Kokillengessen		x	x		x	x	Leicht-Buntmetalle, Gusseisen
		Schleudergessen		x	x		x		alle Metalle
verlorene Form	Dauermodell			x	x		x	x	alle Metalle
		Handformen	x			x			alle Metalle
		Maschinenformen	x	x	x	x			alle Metalle
		Maskenformen		x	x		x		alle Metalle
verlorenes Modell		Keramikformen	x	x			x	x	alle Metalle
		Feingessen	x	x	x		x	x	alle Metalle
		Vollformgessen	x	x	x	x			alle Metalle



Formhälften wieder getrennt und Modell entfernt; Kern eingelegt; wieder montiert und vergossen



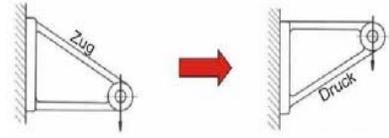
fertiges Gussteil, entformt und anschliessend geputzt

Anhaltswerte für die Schwindung	flüssig	fest
Gusseisen:	bis 2.8%	1.0%
Sphäroguss:	bis 5.0%	1.6%
Temperguss:	bis 5.5%	1.5%
Stahlguss:	bis 6.0%	2.0%

10.1.1 Konstruktionsrichtlinien Schwerkraftgessen

Konzentration des Werkstoffs dort wo für Beanspruchung gebraucht!

Regeln: einfacher Kraftfluss, Werkstoff in Richtung Kraftfluss, einfache Formen, von innen nach aussen gestalten, bevorzugte Beanspruchungsart beachten!(Bsp Grauguss: Druckspannung)



Spannungspitzen vermeiden, Verrippung und Randwülste => erhöhung Biege-/Torsionsfestigkeit ohne wesentliche Gewichtszunahme

10.1.1.1 Gusswerkstoffgerechtes Konstruieren

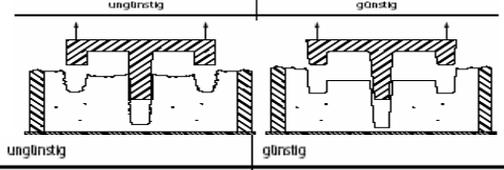
Alle mechanischen, physikalischen, chemischen und technologischen Werkstoffeigenschaften ausnutzen

Abkühlgeschw + Wanddicke => mechanisch-technologische Eigenschaften

Beachte: Festigkeitsangaben Gusswerkstoffe immer auf 30mm dicke Proben
Minimale Wanddicken!(Unterschreitung -> Versprödung)

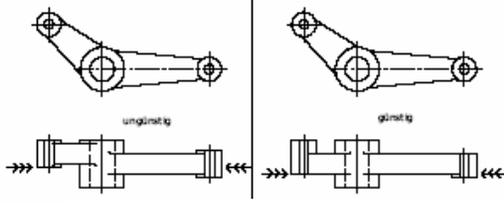
10.1.1.2 Modell und Formgerechtes Gestalten

Modellschrägen

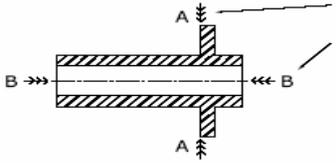


10.1.1.3 Form und Modellteilung

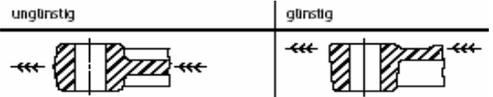
Teilebenen nicht von Teilfuge durchschnitten



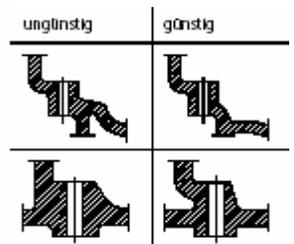
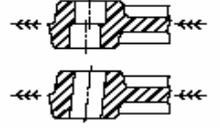
Hinterschnidungen und Einschnürungen vermeiden



(sonst Kerne) Teilfuge -> kein

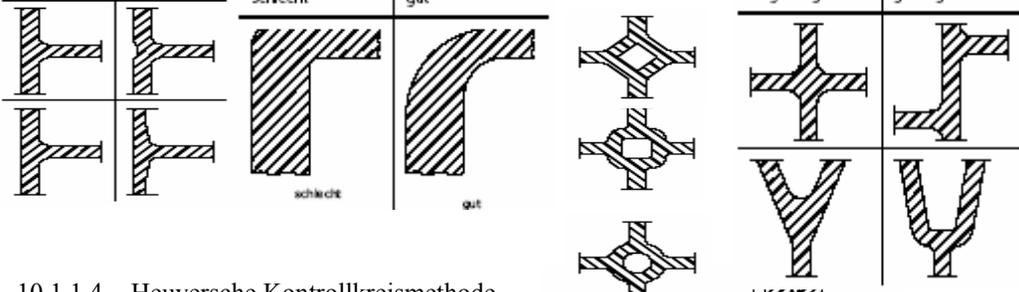
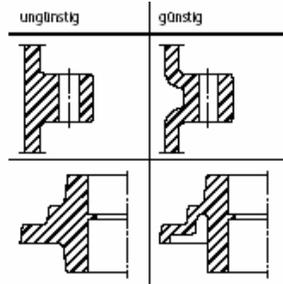


Formkastenversta



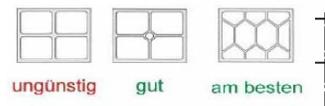
Vermeidung geschlossener Hohlformen

- > Vermeidung von Materialanhäufung
- > Keine grossen Radien
- > Horizontale Flächen vermeiden
- > Giesstrichter und Steiger ausreichend gross
- > Gleichmässige Wanddicken
- > Aufnahme von Spannungen durch Rippen
- > Übergänge Abrunden!!!
- > Spitze Winkel vermeiden



10.1.1.4 Heuversche Kontrollkreismethode

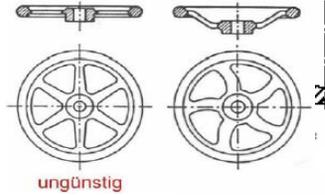
Vermeidung von Spannungen und Rissen



Schrumpfspannung

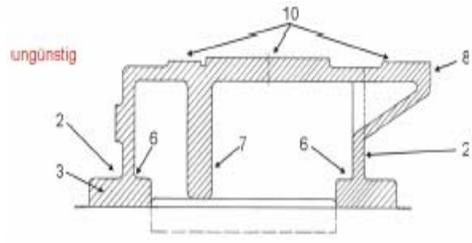
Vermeidung von Gasblasen:

Schräg angeordnete Flächen (spannungsmässig auch vorteile)



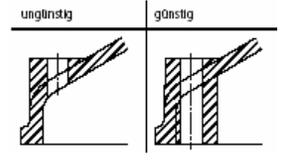
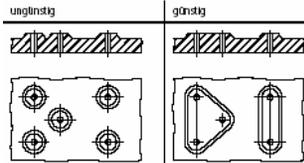
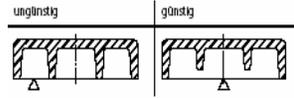
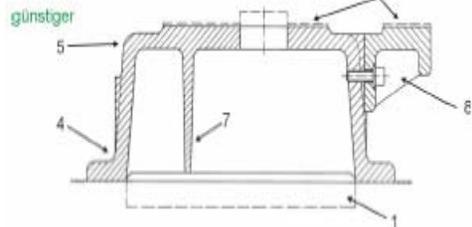
10.1.1.7 Vermeiden sperriger Formen

- > Einfache und sicher aufliegende Kerne
- > Aussenkerne vermeiden
- > verwickelte Teilstücke getrennt giessen
- > Bearbeitungszugabe
- > Bearbeitete Flächen in eine Ebene



10.1.1.8 Bearbeitungsgerechtes Gestalten

- > Spannen und Umspannen berücksichtigen (Spannflächen, Spannrahmen; möglichst wenig umspannen)
- > Werkzeugschnitt, Werkzeugauslauf sowie Freiräume beachten
- > Keine Schräg liegende Arbeitsflächen



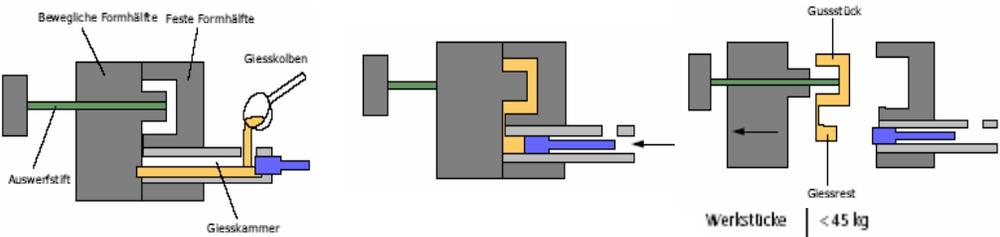
10.2 Urformen aus flüssigem Zustand

10.2.1 Druckgiessen

Eigenschaften: hohe Masshaltigkeit, sehr gute Oberflächenbeschaffenheit

Putzaufwand gering, Entgraten durch Trovalisieren

Trovalisieren: Teile in Behälter mit Schleifsteinen umgewälzt



Werkstücke	< 45 kg
Wandstärke	> 0,8 mm
Stückzahl	> mittlere bis grosse Serien
Toleranzen	0,1-0,4% (0,3-0,1 mm)

Werkstoffe: Alu-, Zink-, Blei-, Kupfer-Zink- oder Mg-Legierungen

Thixo-Casting: pressen im halbflüssigen Zustand ab Stangenmaterial

10.2.1.1 Konstruktionsrichtlinien Druckgiessen

- Ecken verstärken
- Lange durchgehende Bohrungen vermeiden
- Hinterschnidungen verzichten
- Keine Formschrägen erforderlich

10.2.2 Niederdruckgiessen

Niederdruck-Kokillengießverfahren: schnelle Abkühlung => feines Korn

10.2.3 Weitere Verfahren

Schleudergiessen, Stranggiessen, Schäumen

10.2.4 Faser-Verbund-Werkstoffe

10.2.4.1 Verfahren Handlaminieren

Gewebe von Hand in Form, mit Pinsel oder Walze mit Harz getränkt

10.2.4.2 Verfahren Wickeln

10.2.4.3 Weitere Verfahren

Injektionsverfahren, Diafragmatechnik, Vakuumpressen, Strangziehen (Pultrusion),

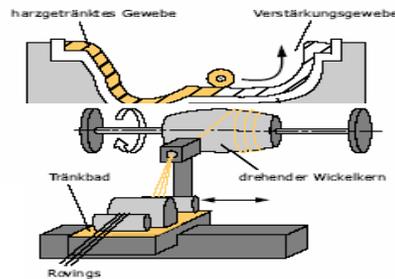
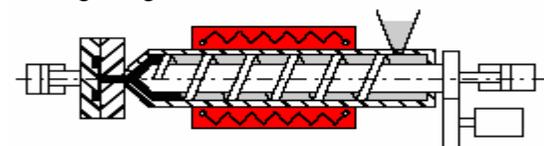
Injektionsverfahren, Diaphragmatechnik, Prepreg

10.2.4.4 Konstruktionsrichtlinien

Harzansammlung vermeiden, grosse Radien, grosszügige Übergänge, steife Gestaltung, unterschiedliche Dehnung bei Wärme und Beanspruchung berücksichtigen, Schrauben und Nieten: Einbettung zur Kräfteinleitung, Bohrungen und Einfräsungen senkrecht zu den Verstärkungen

10.2.5 Urformen aus plastischem Zustand: Spritzgiessen

kostengünstig



Werkstoffe	Thermoplaste
Werkstücke	Klein- bis Grossteile
Stückzahlen	> 10'000
Toleranzen	Meist einbaufertig

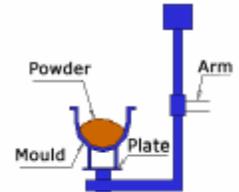
10.2.5.1 Konstruktionsrichtlinien Spritzgiessen

- Werkstoff- und werkzeuggerecht: Mindestwanddicken (dicke ca 0.6-3mm), Neigungen, Abrundungen
- Festigkeitsgerecht: (Rippen, Wölbungen, Randgestaltung)
- Toleranzen zur Nachbearbeitung
- Einpressen bzw Einbetten von Metallteilen
- Wirtschaftliche Aspekte (Stückzahl, Form)

10.2.5.2 Gestaltungsrichtlinien

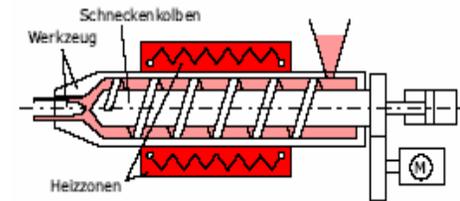
Keine Materialanhäufung, Anspritzstelle beanspruchungsgerecht, gleiche Wanddicken, Neigungen von 1/100, runde Kanten

10.2.6 Urformen aus plastischem Zustand: Rotationsgiessen



10.2.7 Urformen aus plastischem Zustand: Strangpressen (Extrudieren)

Offene Profildüse



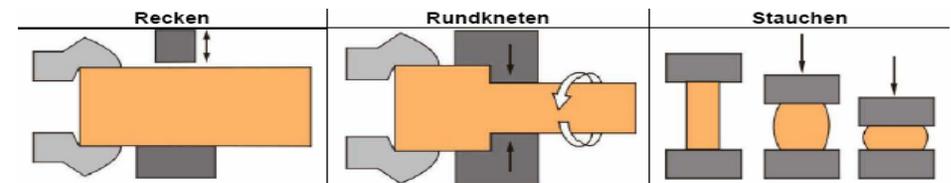
10.2.8 Urformen aus plastischem Zustand: Blasformen

Spritzgegossene Preforms (Vorformlinge) werden aufgeblasen (!Wanddicke!)

11 Umformen

11.1.1 Druckumformen – Freiformen

Freiformen: Umformen mittels nicht oder nur teilweise das Werkstück umschliessende Werkzeug (Schmieden)



11.1.1.1 Konstruktionsrichtlinien Freiformen

- Beachte schmiedbarer Temperaturbereich, Aufwärmzeit
- Zunehmender C-Gehalt => schmiedbarkeit (dehnbarkeit) nimmt ab

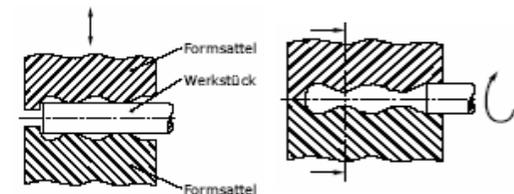
Gestaltungsrichtlinien:

- Nicht zu schwere Schmiedstücke
- Einfache Formen mit möglichst parallelen Flächen (rund schwierig)
- Grosse Verformung und schroffe Querschnittsübergänge vermeiden
- Schwierige Schmiedstücke in einfach Einzelteile trennen

11.2 Gesenkformen

Kontinuierliche Materialverschiebung (möglichst klein halten)

=> genau Bauteile, gute Oberflächengüte



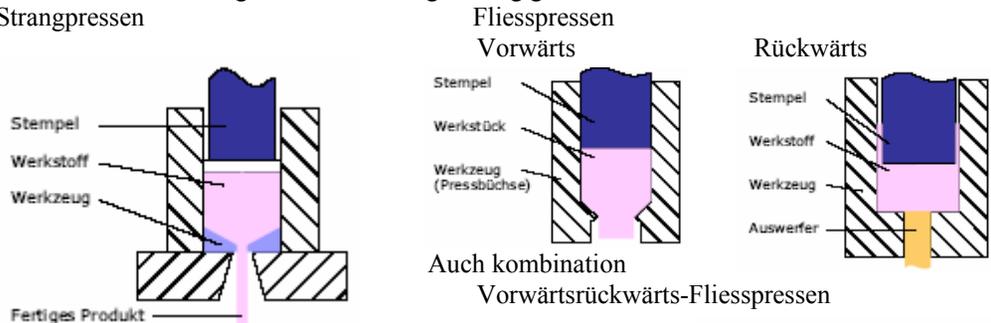
Kerbwirkung: spanende bear > gesenkformen > schmieden (preis umgekehrt)

11.2.1 Konstruktionsrichtlinien Gesenkformen

- Dünne Böden und schlanke Ripen vermeiden
- Aushebeschrängen
- Rotationssymmetrische Teile
- Grosse Rundungen

11.3 Durchdrücken

Werkstück durch formgebende Werkzeugöffnung gedrückt
Strangpressen



11.3.1 Konstruktionsrichtlinien

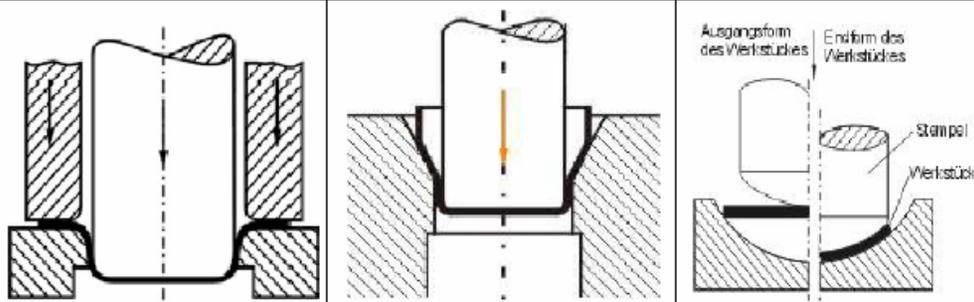
- Duktile Materialien
- Axial- und rotationssymmetrisch

Gestaltungsrichtlinien: siehe Gesenkschmieden

11.4 Zugdruckumformen – Tiefziehen (deep drawing)

11.4.1 Blechumformung

1. Tiefziehen im Erstzug
2. Tiefziehen im Weiterzug
3. Krümpeln



Vokabular: Niederhalter, Blechzuschnitt(Platine)

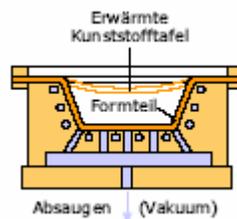
Nur best. Verhältnis zwischen Platinen-/Napfdurchmesser möglich

⇒ mehrere Züge für tiefe Teile

11.4.2 Kunststoffumformung – Vakuumtiefziehen

Werkstoff: Thermoplaste

11.4.2.1 Konstruktionsrichtlinien Tiefziehen

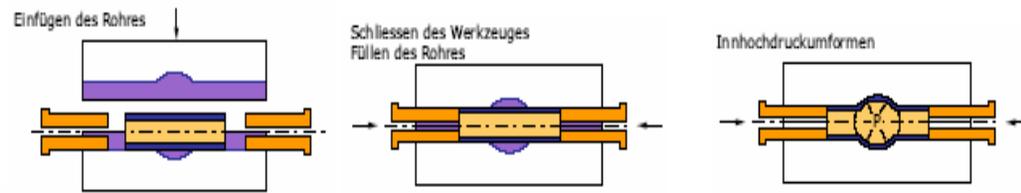


- Restspannung und Rückfederung berücksichtigen
- Symmetrische Teile anstreben
- Ebene Bodenprofile anstreben
- Konvexe Mantelpartien anstreben
- H/d möglichst klein halten, d. h. Umformvorstufen reduzieren (Werkzeugkosten, Prozesszeit)
- Material verwenden mit hohem Umformvermögen
- Ausgerundete Ecken gestalten

11.5 Zugumformen

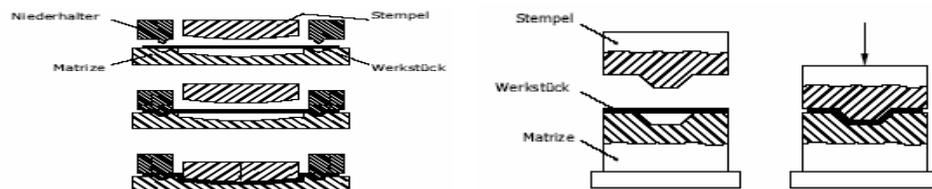
11.5.1 Weiten

Umfang eines Hohlkörpers vergrößert. Innen-Hochdruck-Umformen (IHU)



Vertiefung in ein Blech, Oberflächenvergrößerung durch verringern der Blechdicke (Bsp Container, Münze)

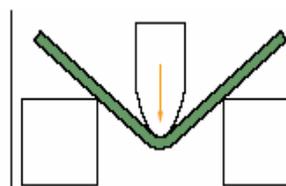
11.5.2.1 Streckziehen (strech drawing) und Hohlprägen



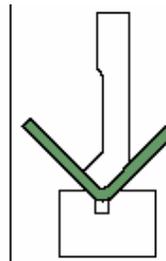
11.6 Biegen

Geradlinige Werkzeugbewegung:

freies Biegen:
Ein Blechzuschnitt wird durch zwei Auflagen gehalten und mit einem Stempel gebogen



Gesenkbiegen:
Die Form von Stempel und Gesenk bestimmen die Geometrie des Blegetels.

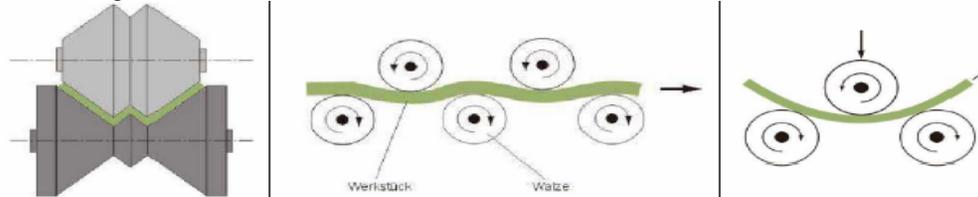


Drehende Werkzeugbewegung

Gesenkbiegen

Walzrichten

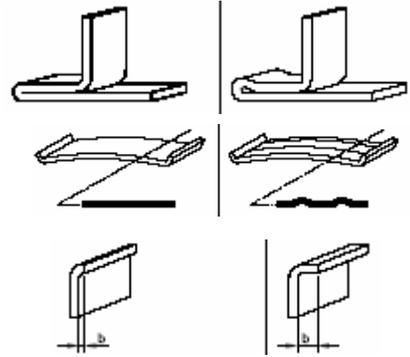
Runden



Beachte: günstig, Starke elastische Rückfederung (=> gezieltes Überbiegen)

11.6.1 Konstruktionsrichtlinien Biegeumformen

- Möglichst Toleranzen gross -> Freibiegen
- Kanten rund
- Kein zudrücken
- Grosse Verhältnisse r/s versteifen
- Biegekante senkrecht Aussenkante
- Biegeränder sollen frei liegen
- Allseitiges umnehmen: Aussparungen!
- Spitze Ausläufe und schräge Übergänge vermeiden
- Kompliziert -> mehrere Einzelteile

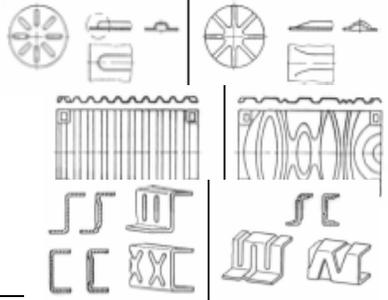


11.6.2 Sicken zur Blechversteifung

Versteifung: durch Rippen, Stege, Sicken
Wahl der Form, Anordnung und Lage der Versteifung unter Berücksichtigung der Beanspruchungsart und -richtung wählen.

11.6.2.1 Gestaltungsregeln

- Sicken auslaufend
- Grosse bleche: unregelmässige Sicken
- Knotenpunkte vermeiden
- Umlaufende Sicken bevorzugen
- Aufgelöstes Sickenbild
- Räumliche Sicken
- Entspannungssicke
- Hilfssicken



Sicken immer in Krafrichtung (sonst Wirkung negativ)

Randversteifung: Falz



12 Trennen

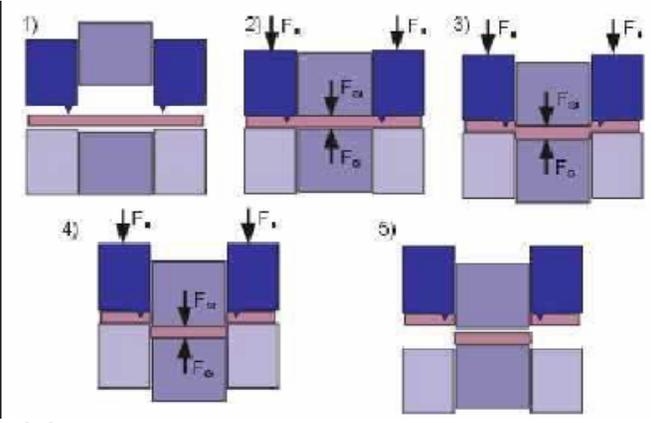
12.1 Zerteilen – Scherschneiden

Einhubiges Scherschneiden	Kontinuierliches Scherschneiden	Nibbeln
Hier erfolgt der Schnitt entlang der gesamten Schnittlinie in einem Hub.	Scherschneiden mit zwei kreisförmigen Messern.	Ein Schneidstempel trennt entlang der Schnittlinie kleine Stückchen ab.

Offene Schnittlinie: Schere
geschlossene Linie: Stanzen

12.2 Feinschneiden

- Feinschneiden
1. Ausgangslage
 2. Einpressen der Ringzacke
 - 3./4. Schneiden mit Gegendruck des Gegenstempels
 5. Abschluss des Vorgangs und Ausstossen des Schnittteiles



12.2.1 Konstruktionsrichtlinien

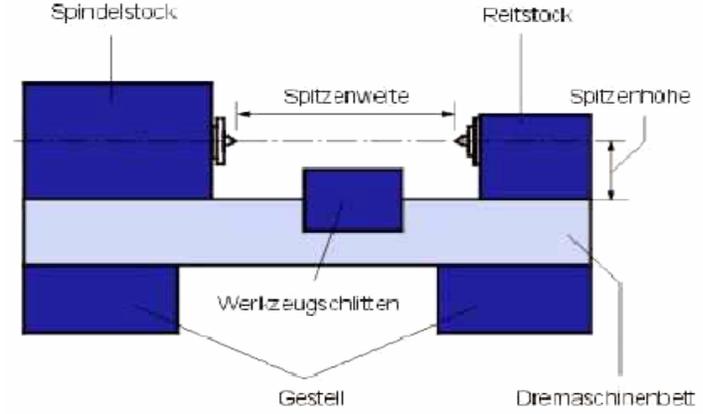
- Schachtelbare Stanzteile generieren
- Teile so gestalten, dass möglichst wenig Abfall entsteht
- Formen gestalten, die möglichst einfache, nicht zu feingliedrige Werkzeuge erfordern (Werkzeugverschleiss reduzieren)
- Lochabstände nicht zu eng legen, nicht zu filigrane Konturen gestalten (Werkzeug-Abnutzung)
- Ausklüngen genügender Tiefe für Biegeoperationen gestalten
- Teile mit einfachen Formen gestalten
- Werkzeuge schonen
- Toleranzen nur so eng wie notwendig
- Scharfe Ecken nur bei Feinblechen
- Nicht zu schmale Lochungen gestalten (Werkzeugbelastung)

12.3 Zerteilen - Messerschneiden

Nur eine Schneide

12.4 Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden

12.4.1 Drehen



Aufbau einer Drehbank

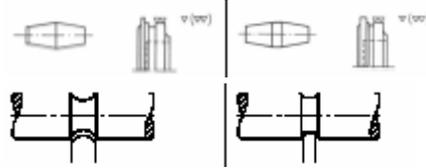
Drehoperationen:

- Längsrunddrehen
- Querabstechdrehen
- Gewindedrehen
- Innendrehen

Vokabular: HSS (Hochleistungs-Schnellarbeitsstahl); HM (Hartmetall)

12.4.1.1 Konstruktionsrichtlinien

- Werkzeugauslauf
- Einfacher Formmeisel
- Toleranzen
- Spannungsmöglichkeiten
- Vermeiden grosser Zerspanarbeit



12.4.2 Bohren, Senken, Reiben, Fräsen



Technologie: Bestimmte Schneide

12.4.3 Hobeln, Stossen

Hobeln: Werkzeug bewegt sich (nicht Hobeln Holzverarbeitung!!)

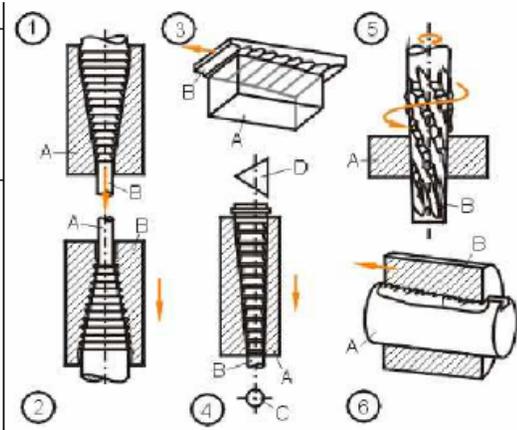
Stossen: Werkstück bewegt sich (für kürzere Teile)

12.4.4 Räumen

spanendes Verfahren mit einem mehrzahnigen Werkzeug, dessen Schneidezähne hintereinander liegen. Die Scheidezähne sind so gestaffelt, dass die letzten Zähne das gewünschte Profil aufweisen.

1. Innenrundräumen
2. Aussenrundräumen
3. Aussenplanräumen
4. Innen-Profilräumen
5. Innen-Schraubräumen
6. Aussen-Nuten-Räumen

A: Werkstücke
B: Werkzeug
C: Ausgangsquerschnitt
D: Endquerschnitt

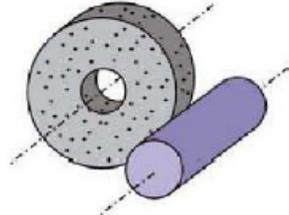
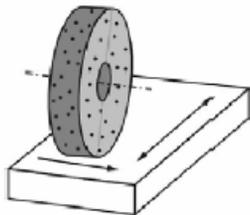


12.4.5 Schleifen (mit rotierendem Werkzeug) (grinding)

Für Mass und Formgenauigkeit oder bearbeiten harter Werkstoffe, unbestimmte Schneide

Planschleifen
Erzeugung flacher Oberflächen mittels drehender Schleifscheibe und in 2 Achsen hin- und her bewegendem Werkstück.

Rundschleifen
Hier drehen sich Schleifscheibe und Werkstück, zusätzlich beschreibt das Werkstück eine Hin- und Herbewegung.



12.4.6 Honen (honing)

Eigenschaften: Höchste Formgenauigkeit, feinste Oberflächen (überkreuzte Spuren -> Schmiereffekt); Rund-, Planhonen



12.4.7 Läppen

Eigenschaften: hochpräzise Oberflächen (spanabhebendes Feinstbearbeitungsverfahren)

Läppen: Das Läppgemisch (Paste oder Flüssigkeit mit gelöstem Korn) wird so unregelmässig wie möglich über die plane Läppscheibe geführt (Bsp Planläppen, Seiten-Aussen-Rundläppen)



12.4.8 Strahlspanen

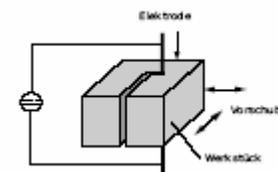
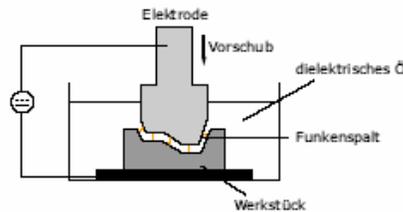
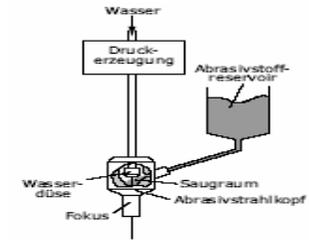
Wasserstrahl (meist mit Abrasivmitteln: Sand), Laser (Lokale Erwärmung, Oxidation, unschöne Schnittkante, langsam, schnitt überall)

12.5 Abtragen - Thermisches Abtragen

Schmelzschnitten mit Heizelement (Kunstschäume), Plasmaschmelzschnitten

12.5.1 Funkenerosives Abtragen (Erodieren)

Elektrisch erzeugte Funken tragen kleinste Partikel ab
Bsp Senkerodieren Drahterodieren



12.6 Chemisches Abtragen

Chem Reaktionen mit dem Wirkmedium umgesetzt (Bsp TEM: Entgraten)

12.7 Elektrochemisches Abtragen

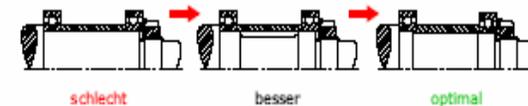
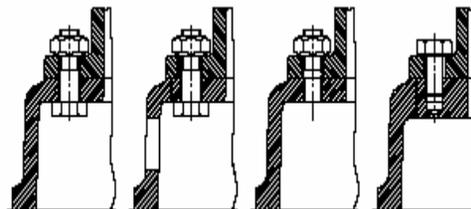
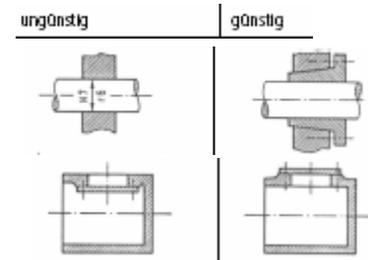
Werkstück: Anode, Werkzeug Kathode => elektrolytische Zelle

13 Fügen

13.1 Montage

13.1.1 Konstruktionsrichtlinien

- Stapelfähig, orientierfähig
- Kennzeichnen der Vorzugslage
- Selbstausrichtung, einstellmögl
- Zugänglichkeit
- Sichern
- Fügen mit positionierung (zentrieren)
- Kontrolle ermöglichen



13.2 Fügen durch Umformen – Einbetten

13.2.1 Insert- /outserttechnik

Kombination von Metallteil mit Spritzgiessteil

13.3 Nieten

13.4 Schweißen (wedling Technology)

Schweißen: Verbinden von Werkstoffen im flüssigen Zustand mit oder ohne Zusatzstoff

;Vokabular: Quer-, Längs, Winkelschrumpfungen

13.4.1 Pressschweißen

Punktschweißen, Rollnathschweißen

13.4.2 Schmelzschweißen

Gasschmelzschweißen: langsam, nicht automatisierbar), Lichtbogenschweißen: einfach, elektr. Lichtbogen (Kurzschlusszündung), Schutzgassatmosphäre (Verdampfung Elektrodenumhüllung)

Unterpulverschweißen:

Schutzgasschweißen: Entkohlung durch Luft verhindern

13.4.3 Konstruktionsrichtlinien

- So wenig wie möglich Schweißen - sehr teuer, zeitintensiv

- Erwärmung=> Schrumpfung, Eigenspannung, Risse, Beulen, Verzug, partielle Aufhärtung

=> wärmeinbringung so klein wie möglich

- Schweißanhäufungen und Kreuzungen vermeiden
- Gute Zugänglichkeit zu den Schweißnähten gewährleisten

- Toleranzen so gross wie möglich

- Schweißgüte niedrig

- Abflachungen, Überstände vorsehen

- Ringen, Lagern, Scheiben: Luftspalt

- dünne Platte wölbt auf => dicke Platte besser

- Entlüftungsbohrungen

- Lochschweißungen gegen abheben

- Schweißnähte nicht in Passflächen und nicht bearbeiten

- Schweißpunkte auf Schub

beanspruchen

- wenige grosse Punkte, statt viele kleine

kleine

Schweißsymbolik:

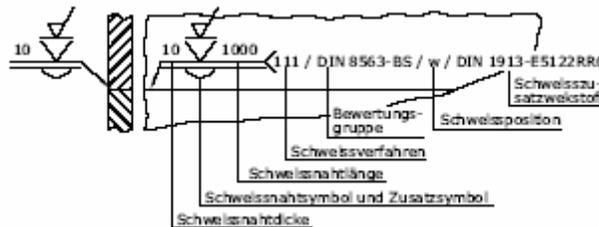
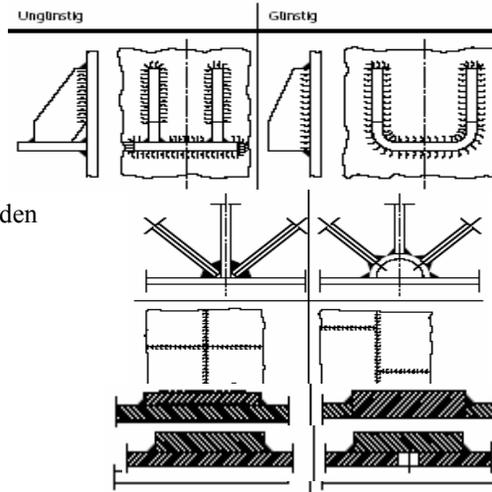
13.5 Löten

Löten: Verbindung durch einen tief

schmelzenden, metallischen

Zusatzwerkstoff(Lot), welcher bei

Arbeitstemperatur in den Fügspalt gezogen wird (Kapillare Kräfte)



13.5.1 Konstruktionsrichtlinien

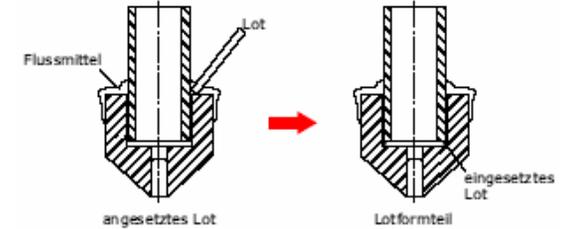
- Grosse Berührungsflächen (Überlappung-> hohes Gewicht)

- möglichst auf Schub beansprucht

Lotformteile: genau Dosierung,

keine Kugelbildung, einfache

Endkontrolle



13.6 Kleben

Grosse Klebflächen, gut auf Zug

und Druck, verstärkungsbleche

Vorteile: billig, gewichtssparend,

gleichmässiger Kraftfluss, kleben von unterschiedlichen Materialien

Nachteile: Alterung, gering thermische beständig, Oberflächenbehandlung

Beachte: Entlüftungsbohrungen für Gasentweichung

14 Stoffeigenschaftsändern

14.1 Sintern, Brennen

Siehe Sinterwerkstoffe

14.1.1 Sintern

Verfahren: Pulver mechanisch verdichtet-> Rohlinge(Grünlinge), dann gesintert bei 2/3 Ts => zusammenwachsen der Teilchen durch Diffusion

Nur einfache Bauformen und hohe Stückzahl

14.1.2 Selektives Laser Sintern (SLS) (Rapid Prototyping)

14.2 Pulvermetallurgisches Spritzgiessen(Metal Injection Moulding: MIM)

MIM: Kombination von Spritzgiessen mit anschliessendem Sintern

Verfahren: Metallpulver wird mit thermoplastischen Bindern und Plastifizierern gespritzt (homogene Masse), und dann durch thermische Zersetzung und Verdampfung entfernt, danach Sintern in Schutzgasatmosph.

Eigenschaften: komplexe Bauteile möglich, enge Toleranzen, Rückführung der Ausgussrückstände -> höchste Werkstoffausbeute

14.2.1 Konstruktionsrichtlinien

Siehe Spritzgiessen

14.3 Bestrahlen

Parallele Röntgenstrahlen ätzen Material weg(für kleine feine Bauteile)

14.4 Fotochemisches Verfahren(Stereolithographie (SLA))

UV-Laser-Strahl härtet Photopolymer-Harz aus.

15 Beschichten

15.1 Schmelztauchen

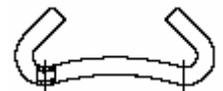
Feuerverzinken: Oberfläche wird Legierung -> elektrochemisches Schutzsystem =>

Ausbreitung von Rost verhindert, beschränkte chemische Beständigkeit des Zinks (Bsp:

Schrauben, Rohre, Karosserieteile)

15.1.1 Konstruktionsrichtlinie

- Grosser Krümmungsradius
- Keine Rillen, Nuten, Falten Mulden
- Vermeiden von Gasblasen und Rückstände(Bohrungen)



15.2 Beschichten aus körnigem/pulverförmigen Zustand- Thermisches Spritzen (Plasmaspritzen)

Spritzwerkstoff mit Fördergas in Plasma eingeführt, geschmolzen, beschleunigt, gespritzt.

Eigenschaften: erhöht Verschleissfestigkeit, Korrosionsschutz, Reparatur

15.3 Beschichten aus dampfförmigen Zustand – Vakuumbeschichten

Neue Eigenschaften addieren an Kontaktschicht (Bsp: Werkzeuge, Schmuck, Cd, Armaturen)

15.3.1 Verfahren: PVD (Physical Vapor Deposition)

Drehbarer Halter, im Vakuum beschichten, teuer, extreme Härte

15.3.2 Konstruktionsrichtlinien

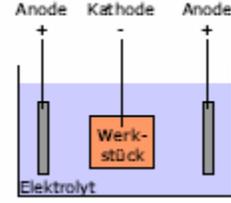
- Ungehinderter Zugang und Abgang
- Schafe Kanten runden
- Keine Hohlräume mit eingeschlossenen Gasen
- Haltestelle unbeschichtet

15.3.3 CVD (Chemical Vapor Deposition)

15.4 Beschichten aus ionisiertem Zustand – Galvanisches Beschichten

Elektrolyse, hohe Umweltbelastung

15.4.1 Konstruktionsrichtlinien (siehe Schmelztauchen)



16 Dimensionieren

16.1 Eingliederung in Entwicklungsprozess



Immer parallel: Wahl des Werkstoffs und Fertigungsverfahren

Grobdimensionierung (Grob- auslegung)	Schon während des Konzeptprozesses werden erste Abschätzungen der Bauteilgrößen durchgeführt, meist um erste Machbarkeiten oder Platzverhältnisse und Anordnungen zu überprüfen. Die Modellbildungen und Berechnungen erfolgen meist von Hand und basieren auf stark vereinfachten Modellen.
Dimensionieren, Feindimensionieren, Feinauslegen	Während des Entwurfsprozesses werden die Bauteile vollständig gestaltet, nicht nur in ihrer groben Ausprägung, sondern auch in der Detailgestalt. In dieser Phase erfolgen vertiefte Berechnungen, teilweise von Hand oder mittels Berechnungsprogrammen (spezialisierte Programme oder Finit-Element-Programme)
Festigkeitsnachweis	Im Anschluss an die Gestaltung aller Baugruppen und Bauteile eines Produktes erfolgt häufig für kritisch erachtete Bauteile eine Umkehrung der Dimensionierung, indem ausgehend von der nun festgelegten Gestalt und den Belastungen aus der Belastungsannahme, die Erfüllung der Festigkeit bzw. die verbleibende Sicherheitsspanne nachgewiesen wird.
Optimieren	Optimierung in Bezug auf das Dimensionieren wird während jedes Berechnungsschrittes angestrebt. Man setzt sich beim Dimensionieren das Ziel, nicht nur Bauteile zu gestalten, welche die Belastung ertragen, sondern die Belastung, das Material, die geometrische Gestalt derart zu variieren, dass dieses Ziel optimal, z. B. mit minimalstem Gewicht, mit einfachen Mitteln zu fertigen, usw. erreicht wird.
Dokumentation der Dimensionierung	Die wesentlichen Dokumente einer Produkt-Entwicklung werden abgelegt, dies für folgende weitere Entwicklungen, aber auch aus rechtlichen Aspekten. Beim Dimensionieren ist dies für alle durchgeführten Berechnungsschritte sinnvoll, jedoch unabdingbar für den Festigkeitsnachweis von Bauteilen, welche kritisch betrachtet werden. Die Ablage erfolgt in der Produktdokumentation.

16.2 Beziehung zur Mechanik

Modellierung, Materialbezug, Normbezug

16.3 Ziele der Dimensionierung

- Sicherheit gegen Versagen
- Gleichmässige Beanspruchung
- Geeignetes Material und kostengünstige Fertigung

16.4 Ablauf einer Bauteildimensionierung

1. Betriebszustände bestimmen
2. Kritische Bauteile auswählen
3. Bauteile freilegen und äusseren Kräfte/ Momente (Belastung) und die Modellbildung bestimmen
4. Bestimmen der kritischen Bauteilquerschnitte und der Schnittkräfte
5. Spannungen (Beanspruchung) in kritischen Querschnitten bestimmen
6. Festigkeits- und Versagensberechnungen durchführen
7. Ergebnisse diskutieren und Entwürfe optimieren.

16.4.1 Betriebszustände bestimmen

Blastungszustände = Lastfälle Betriebsfaktor bestimmen,

c_B : Überhöhungsfaktor/Unsicherheitsfaktor; $F_{max} = c_B F_{nenn}$

Beschreibung	Beispiele	c_B
Gleichmässige Bewegung, nur leichte Abweichungen von Nennbelastung	Elektromotoren	1.0 – 1.1
Alternierende Bewegungen (Hin- und Herbewegung) mässige Abweichungen	Kolbenmotoren	1.2 – 1.5
Stossende Hin- und Herbewegungen	Pressen, Sägen	1.6 – 2.0
Schlagende Bewegungen	Hämmern	2.0 – 3.5

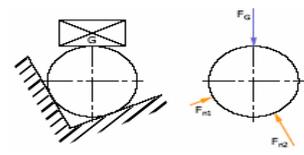
16.4.2 Selektion der kritischen Bauteile für einzelne Lastfälle

Überlegungen des Kraftflusses, Kraftumlenkung und Kraftverengung

16.4.3 Freilegen der Bauteile und Bestimmung der äusseren Kräfte/Modellierung

Bestimmen der äusseren Kräfte, Gleichgewichtsbetrachtung

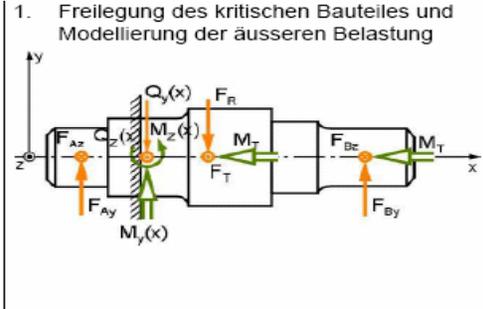
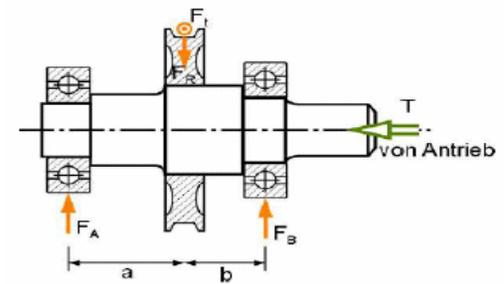
- Beachte:
- Seile und Ketten übertragen nur Zugkräfte
 - Gelenkstäbe übertragen nur Zug- und Druckkräfte
 - Berührungsflächen übertragen bei Reibungsfreiheit nur Normalkräfte
 - Wälzkörper übertragen nur Radialkräfte



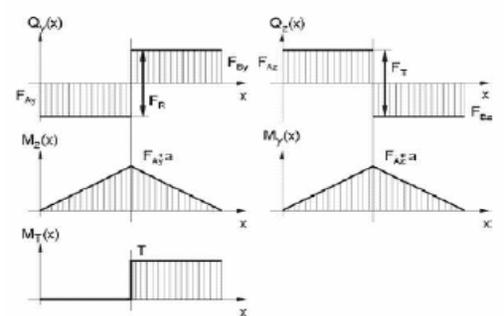
Modellierung durch einführen von Kräften (verteilte, einzelne). Meist Auswahl des konservativsten (grösste Momente, Kräfte)

16.4.4 Bestimmung der Kritischen Bauteile und der Schnittkräfte

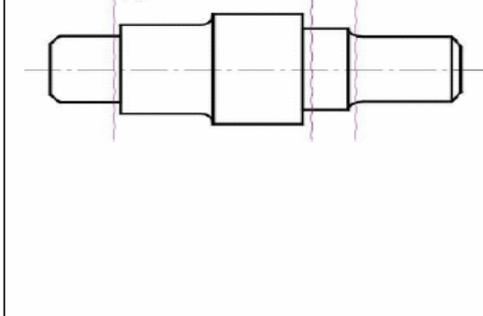
Riemetrieb gelagert



2. Aufzeichnung des Beanspruchungsverlauf für jede Stelle x des Bauteiles



3. Kritische Querschnitte wählen



16.4.4.1 Flächenmittelpunkt

Reduktion der Kräfte und Momente auf den Flächenmittelpunkt

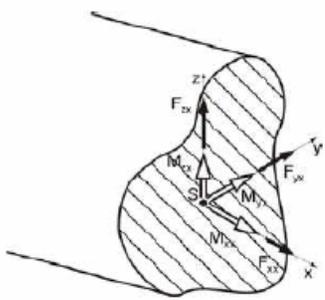
Bei zusammengesetzten Flächen:

$$x_s = \frac{\sum x_i \cdot A_i}{A_{tot}} \quad y_s = \frac{\sum y_i \cdot A_i}{A_{tot}}$$

Bei beliebigen Flächen:

$$x_s = \frac{\int x dA}{A} \quad y_s = \frac{\int y dA}{A}$$

16.4.4.2 Schnittreaktion



F_{xx}	Normalkraft (häufig auch F_x bezeichnet)
F_{yx}, F_{zx}	Querkräfte (häufig Q_y und Q_z bezeichnet)
M_{yx}, M_{zx}	Biegemomente (häufig auch M_B oder M_y, M_z bezeichnet)
M_{xx}	Torsionsmoment (häufig auch M_T oder T bezeichnet)

Konvention:
 1. Index bezeichnet die Richtung der Kraft oder des Momentes
 2. Index bezeichnet die Richtung der Normalen der betrachteten Schnittfläche

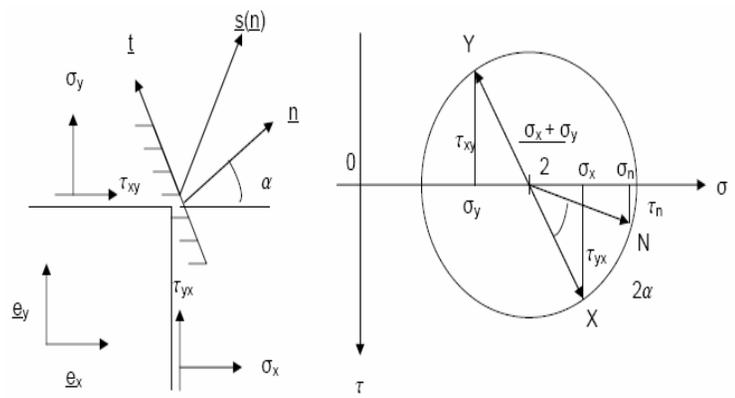
16.4.5 Bestimmung der Spannungen – Spannungstensor T

$$\underline{T}(x,y,z) = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Bestimme $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ wobei $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$
 (Konvention Maschinenbau (ev Meier...))
 Mit Mohrschem Spannungskreis

Aus ebenem Spannungszustand (ev. Zyklisch vertauschen)

$$[T] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \end{bmatrix}$$



Analytisch (Eigenwertproblem)

$$\text{Det}(T - \sigma I_n) = 0 \Rightarrow \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$$

16.4.6 Festigkeits- und Versagensberechnung druchführen

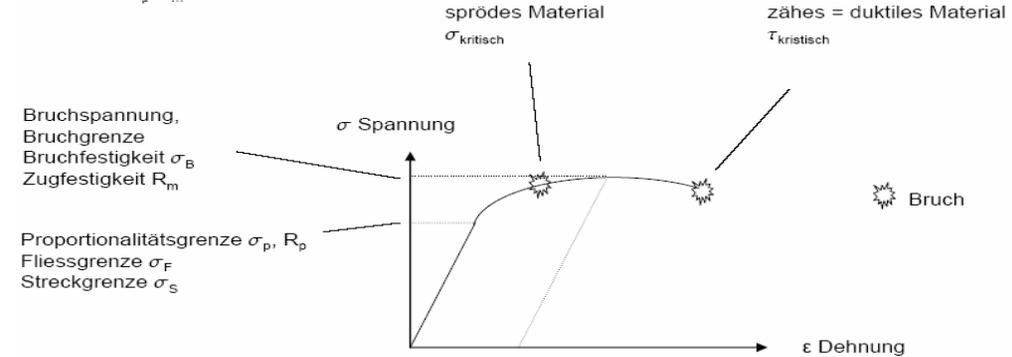
Ruhende Belastung (Lastwechsel $< 10^4$)

Sonst Ermüdungsfestigkeit testen

17 Elementare Bealstungsfälle

Ruhende Belastung (Lastwechsel $< 10^4$), Versagensfälle: Fließen, Bruch, zu grosse Deformation oder Instabilität

17.1 Werkstoffkennwerte

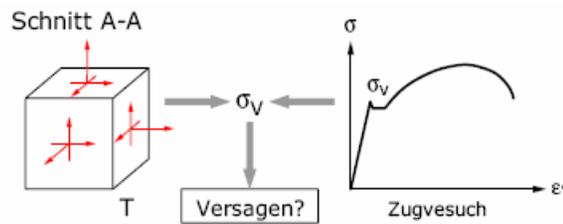


17.1.1 Einflüsse auf Werkstoffkennwerte

- Temperatur: Tiefe Temperaturen erhöhen einerseits die Grenzwerte, reduzieren aber die Zähigkeit des Materials (Ausnahme Al)
- Hohe Temperaturen bewirken eine Erniedrigung der Grenzwerte und eine Erhöhung des Spröbruchverhalten
- Belastungsgeschwindigkeit: Eine Anstieg der Belastungsgeschwindigkeit erhöht die Grenzwerte und die Neigung zu Spröbruch
- Bauteilgrößen: Im Herstellungsprozess des Halbzeugs ergeben grössere Dimensionen kleinere Grenzwerte.
- Wärmebehandlung: Die Wärmebehandlung selber und die Bauteilgrösse bei der Wärmebehandlung beeinflussen die Grenzwerte in starkem Masse.

17.2 Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannung für ruhende Beanspruchung

Vergleichsspannung σ_v : zurückführen eines mehrachsigen Spannungszustand auf eine „äquivalenten“ einachsigen Wert
Versagen: Bruch, Fließen, zu grosse Deformation, Instabilität (Knicken, Beulen)



1. Normalspannungshypothese	2. Schubspannungshypothese	3. Gestaltsänderungsenergiehypothese
Sprödbrechendes Bauteilverhalten	Plastisches Versagen der Bauteile	
Festigkeitsverhältnis = 1 (berücksichtigt τ identisch)	Festigkeitsverhältnis = 2 (berücksichtigt τ stärker)	Festigkeitsverhältnis = 1.73
- einfacher in der Anwendung - Vorzeichen bleibt erhalten - konservativere Konstruktionen	- komplexer in der Anwendung - schlankere Konstruktionen	

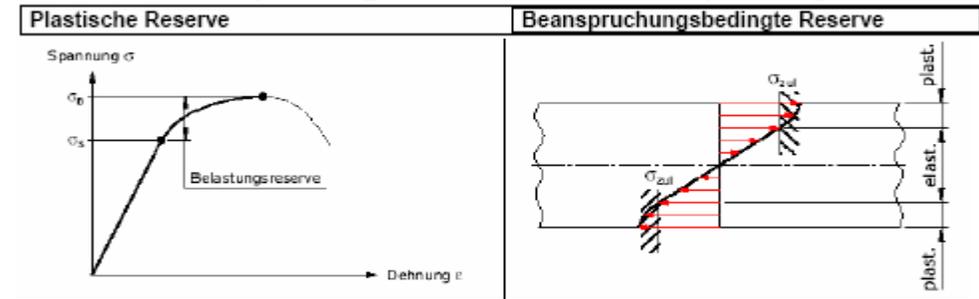
Spannungszustand		Normalspannungshyp.	Schubspannungshypothese	Gestaltsänderungshypothese
3-achsig	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	$\sigma_v = \sigma_1$	$\sigma_v = 2\tau_{max} = \sigma_{max} - \sigma_{min} = \sigma_1 - \sigma_3$	$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$
2-achsig	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 = 0$	$\sigma_v = \sigma_1$	$\sigma_v = \sigma_1$	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$
	$\sigma_1, \sigma_3, \sigma_2 = 0$	$\sigma_v = \sigma_1$	$\sigma_v = \sigma_1 - \sigma_3$	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_3}$
	$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$	$\sigma_v = \sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$	$a^* \sigma_v = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$ $b^* \sigma_v = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$
	$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z = 0$	$\sigma_v = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2}$	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2}$	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$
1-achsig	σ_x	σ_x	σ_x	σ_x

Bestimme immer $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ (am sichersten...), INA S118

17.2.1 Zulässige Vergleichsspannung bei ruhender Belastung

Normalspannungshypothese	Schubspannungshypothese	Gestaltänderungshypothese
Sprödbrechendes Bauteilverhalten	Zähes Bauteilverhalten	
$\sigma_v \leq \sigma_{zul} = \frac{\sigma_B}{S_B}$	$\sigma_v \leq \sigma_{zul} = \frac{\sigma_F}{S_F}$	

17.3 Bauteilbeanspruchung oberhalb der Grenzbeanspruchung



Diese Belastungsreserve wird teilweise gezielt ausgenutzt. Bedingungen sind:

- Es handelt sich um zähes Materialverhalten mit vorhandener plastischer Reserve
- Die Berechnungsgrundlagen sind gut
- Die verbleibende plastische Deformation beeinflusst die Funktionalität nicht
- Keine gesetzlichen Vorgaben und die Folgen eines Versagens sind abschätz- und verantwortbar

Liegt vor bei:

- Torsion
- Biegung
- druckbelasteten, dickwändigen, rotationssymmetrischen Bauteilen
- Kerben

18 Kerbwirkung

18.1 Kerben, Kerbwirkung und Formzahl

Kerben sind konstruktions- oder funktionsbedingt wie:

- Querschnittsänderungen (Bohrung, Nuten, Absätze)
- Kraftumlenkung (Ecken, Ringverstärkung, Überlappung)
- Steifigkeitsänderungen (Löt oder Klebfugen)
- Verunreinigungen (Poren, Einschlüsse, Risse, Korrosion)

18.1.1 Formzahl

Allgemein gilt: $\alpha_{\sigma(\text{Zug})} < \alpha_{\sigma(\text{Biegung})} < \alpha_{\tau(\text{Torsion})}$ und $\alpha > 1$

Ausnahme: $\alpha < 1$:

Loch in der Mitte

Zug	Biegung	Torsion
Nennspannungs- und wirkliche Spannungsverteilung		
Nennspannung		
$\sigma_n = \frac{F}{A}$	$\sigma_n = \frac{M_B}{W_B}$	$\tau_n = \frac{M_T}{W_T}$
Formzahl		
$\alpha_{\sigma(\text{Zug})} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$	$\alpha_{\sigma(\text{Biegung})} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$	$\alpha_{\tau(\text{Torsion})} = \frac{\tau_{max}}{\tau_n}$

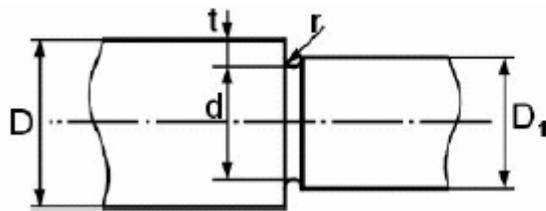
18.1.1.1 Formzahl für Absatz und Rundnut

$$\alpha_{\sigma, \tau} = 1 + \frac{1}{\sqrt{A \frac{r}{t} + 2B \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + C \left(\frac{r}{t}\right)^2}} \cdot \frac{d}{D}$$

Geometrie / Belastung	A	B	C	Z
	0.22	1.37	-1)	-1)
	0.2	2.75	-1)	-1)
	0.7	10.3	-1)	-1)
	0.62	3.5	-1)	-1)
	0.62	5.8	0.2	3
	3.4	19	1	2

1) nicht bekannt (Null setzen!)

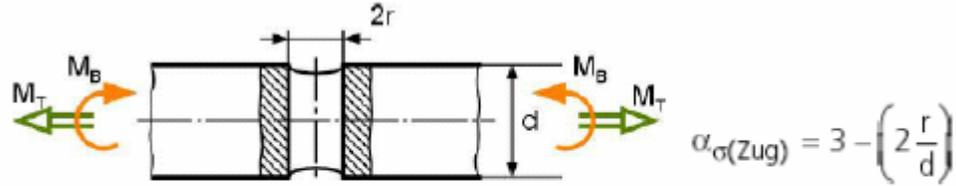
18.1.1.2 Formzahl für Absatz mit Freistich



$$\alpha_{\tau F} = 1.04 \alpha_{\tau A}$$

$$\alpha_{\sigma F} = (\alpha_{\sigma R} - \alpha_{\sigma A}) \cdot \sqrt{\frac{D_1 - d}{D - d}} + \alpha_{\sigma A}$$

18.1.1.3 Formzahl für Rundstäbe mit Querbohrung

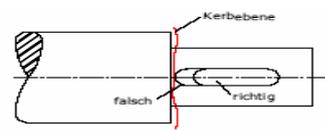


$$\alpha_{\sigma(\text{Zug})} = 3 - \left(2 \frac{r}{d}\right)$$

$$\alpha_{\sigma(\text{Bieg})} = 1.4 \left(\frac{2r}{d}\right) + 3 - 2.8 \sqrt{\frac{2r}{d}} \quad \alpha_{\tau} = 2.023 - 1.125 \sqrt{\frac{2r}{d}}$$

18.2 Kerb-Einfluss-Überlagerung

Möglichst keine Überlagerung der Kerben
Überlagerte Formzahl $\alpha = \alpha_1 * \alpha_2$

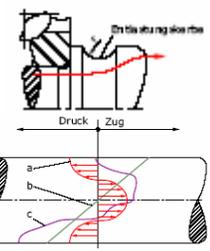


18.3 Einfluss der Kerbwirkung auf die Festigkeitsrechnung

Für ruhende Belastung bei zähem Materialverhalten	Die Spannungsspitzen infolge Kerben werden nicht berücksichtigt (Abbau durch plastisches Fließen)	$\sigma_V = \sqrt{(\sigma_{x\text{Zug}} + \sigma_{x\text{biegn}})^2 + 3\tau_{\text{tn}}^2}$
Für ruhende Belastung bei sprödem Materialverhalten	Die Kerbwirkung muss berücksichtigt werden	$\sigma_V = \left(\frac{\alpha_{\sigma\text{Zug}}\sigma_{x\text{Zug}} + \alpha_{\sigma\text{biegn}}\sigma_{x\text{biegn}}}{2} \right) + \frac{1}{2} \sqrt{(\alpha_{\sigma\text{Zug}}\sigma_{x\text{Zug}} + \alpha_{\sigma\text{biegn}}\sigma_{x\text{biegn}})^2 + 4\alpha_{\tau}^2\tau^2}$
Für wechselnde Belastung	Die Kerbwirkung muss berücksichtigt werden	Siehe „Ermüdungsfestigkeit“

18.4 Gestaltungsrichtlinien zur Minderung der Kerbwirkung

- Entlastungskerbe (sanftere Umlenkung)
- Gemässigt einbringen des Momentes
- Oberflächenspannung
- Kraftflüsse eindeutig, möglichst geradelinig und kurzer Weg
- Verengung durch Kerben verhindern
- Günstige Kerbform wählen



19 Elementare Beanspruchungsfälle

19.1 Zug-, Druck-Beanspruchung

Normalspannung $\sigma_i = \frac{F_i}{A_i}$ | Zugspannung $\sigma > 0$
Druckspannung $\sigma < 0$

19.2 Biegebeanspruchung

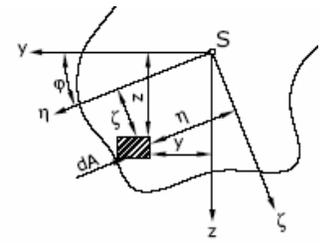
Normalspannungsverteilung infolge Biegung	$\sigma_x = \frac{M_y}{I_y} z$	Max. Normalspannung	$\sigma_{x\text{max}} = \frac{M_y}{I_y} z_{\text{max}} = \frac{M_y}{W_y}$
Widerstandsmoment	$W_y = \frac{I_y}{ z_{\text{max}} }$	Flächenmomente 2. Ordnung	$I_y = \int \int z^2 dA$ $I_z = \int \int y^2 dA$
Deviationsmoment	$I_{yz} = -\int \int yz dA$	Polare Flächenmomente	$I_\rho = \int \int (y^2 + z^2) dA$

19.2.1 Drehung des Koordinatensystems um die x-Achse

$$\eta = y \cos \varphi + z \sin \varphi \quad \zeta = -y \sin \varphi + z \cos \varphi$$

$$I_\eta = \frac{I_y + I_z}{2} + \frac{I_y - I_z}{2} \cos 2\varphi - I_{yz} \sin 2\varphi \quad I_\zeta = \frac{I_y + I_z}{2} - \frac{I_y - I_z}{2} \cos 2\varphi - I_{yz} \sin 2\varphi$$

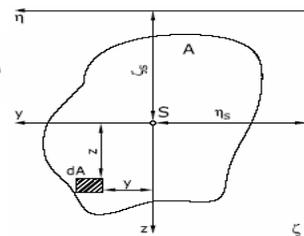
$$I_{\eta\zeta} = -\frac{I_y - I_z}{2} \sin 2\varphi + I_{yz} \cos 2\varphi$$



19.2.2 Verschiebung des Koordinatensystems in der y-z-Ebene/ Satz von Steiner

$$I_\eta = I_y + \zeta_S^2 A \quad I_\zeta = I_z + \eta_S^2 A \quad I_{\eta\zeta} = I_{yz} - \eta_S \zeta_S A$$

Querschnitt aus einzelnen Flächen:
Addition der Teilflächenmomente



19.3 Torsionsbeanspruchung

19.3.1 Rotationssymmetrische Torsionsbeanspruchung

Schubspannungsverlauf $\tau_{\varphi x} = \frac{M_T}{l_p} r$	Maximale Schubspannung $\tau_{\varphi x \max} = \frac{M_T}{l_p} r_m$ $\tau_{\varphi x \max} = \frac{M_T}{W_p}$
Widerstandsmoment gegen Torsion $W_p = \frac{l_p}{r_{\max}}$	Polare Trägheitsmoment $I_p = I_y + I_z = \int (z^2 + y^2) dA = \int r^2 dA$

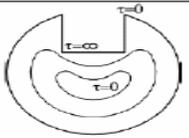
19.3.2 Nichtrotations-symmetrische Querschnitte

Membrananalogie (Seifenhautgleichnis) nach L. Pantli

- Das Profil des Torsionsstabes entspricht der Öffnungsform der Platte.
- Der Rauminhalt des Membranhügels ist proportional zur Größe des Torsionsmomentes.
- τ hat die Richtung der Tangente an die Höhenlinie im entsprechenden Punkt des Membranhügels.
- Der Betrag von τ ist proportional zum Gradienten der Membranfläche der Höhenlinien im entsprechenden Punkt.

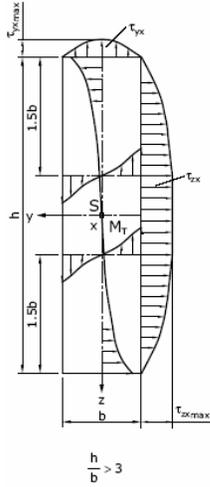
Aus diesen Analogiebeziehungen lassen sich folgende anschauliche Folgerungen ableiten:

- Die Schubspannungen sind am Profilrand tangential.
- Ausspringende Ecken werden nur wenig auf Schub beansprucht und leisten keinen Beitrag zur Übertragung des Torsionsmomentes.
- In einspringenden Ecken treten gefährliche Spannungsspitzen auf.



19.3.3 Rechteckprofile

Schubspannungsverlauf $\tau_{\max} = \frac{M_T}{l_p^*} r^* = \frac{M_T}{W_p^*} = \tau_{zx \max}$	Polare Ersatzwiderstandsmoment $W_p^* = \frac{I_p^*}{r^*}$ $W_p^* = c_2 b^2 h$
Polare Ersatzflächenmoment $I_p^* = c_3 b^3 h$	$(r^* = \frac{c_3}{c_2} \cdot b)$ $\tau_{yx \max} = c_1 \tau_{zx \max}$



siehe auch Case Radaufhängung S 80

h/b	1	1.5	2	3	4	6	8	10	∞
c1	1.000	0.858	0.796	0.753	0.743	0.743	0.743	0.743	0.743
c2	0.208	0.231	0.246	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
c3	0.140	0.196	0.229	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333

19.3.4 Offene, dünnwandige Profile mit konstanter Wandstärke

Profildicke s, (betrachten Querschnitt (nicht ganzen Körper))
 Vorgehen: Zerlege in einzelne Rechtecke mit grossem Verhältnis

Erst Näherung für τ_{\max} :

Maximale Schubspannung in

dieser $\tau_{i \max} = \frac{M_T s_i}{\frac{1}{3} \sum b_i s_i^3}$

$I_p^* = \frac{1}{3} \sum b_i s_i^3$ einem $\tau_{i \max} = \frac{M_T}{W_{Pi}^*}$

Querschnitte: $\tau_{\max} = \frac{M_T s_{\max}}{\frac{1}{3} \sum b_i s_i^3}$ $W_{Pi}^* = \frac{I_p^*}{s_i}$

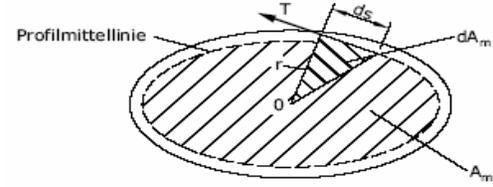
=>
=> Maximale Randschubspannung

19.3.5 Geschlossene, allgemein dünnwandige Profile

Annahmen

- Profil bleibt in Richtung der Längsachse unverändert.
- Konstantes Torsionsmoment in allen Querschnitten.
- Spannungen τ verlaufen an den Querschnittsrändern tangential und sind über die Wanddicke konstant verteilt.

Voraussetzungen:
 - keine Normalspannung in s-Richtung und x-Richtung

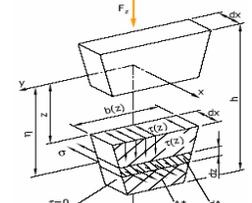


Bredt'sche Formel $\tau = \frac{T}{t} = \frac{M_T}{2 A_m t}$ Maximale Schubspannung $\tau_{\max} = \frac{M_T}{W_T}$ mit $W_T = 2 A_m t_{\min}$

Verwende immer geschlossene Profile bei Torsion

19.4 Schubbeanspruchung

Erster Überschlag: $\tau_{zx} = \frac{F_z}{A}$



Nichtschlanke Träger:

Schubspannungsverteilung $\tau(z) = \frac{F_z H_y(z)}{I_y b(z)}$ Flächmoment 1. Ordnung $H_y(z) = \int_{A^*} \eta dA$

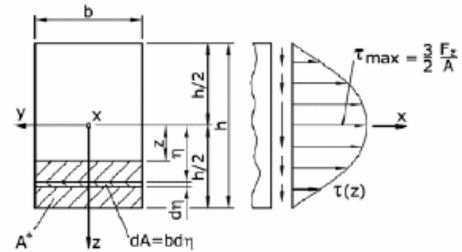
Wobei η vom Schwerpunkt ($H_y(z)$ bezüglich y-Achse), A^* von z aus bis freier Rand

Achtung: KONVENTION

19.4.1 Rechteckquerschnitte

Schubspannungsverteilung für das Rechteck

$\tau(z) = \frac{3 F_z}{2 A} \left(1 - \frac{4 z^2}{h^2} \right)$

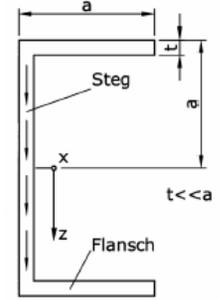


19.4.2 Kreisquerschnitt

$\tau_{zx} = \frac{4 F_z}{3 A} \left(1 - \left(\frac{z}{r_a} \right)^2 \right)$

19.4.3 Offene dünnwandige Querschnitte

Bsp U-Profil

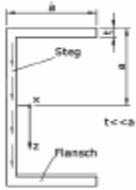


Für Rechtecke allgemein:
$$\tau_{zx} = \frac{F_z \int b(\eta) \cdot \eta d\eta}{I_y \cdot b(\eta)}$$

Trägheitsmoment:
$$I = I_{\text{Steg}} + 2 \cdot I_{\text{Flansch}}$$

$$I = \frac{t}{12} (2(a-t))^3 + 2 \left(\frac{at^3}{12} + \left(a - \frac{t}{2} \right)^2 \cdot at \right)$$

$$t \ll a \Rightarrow I = \frac{8}{12} ta^3 + 2ta^3 = \frac{8}{3} a^3 t$$



Der Flansch:

$$\tau_{zx} = \frac{F_z}{I_y} \frac{\int a \cdot \eta d\eta}{a} = \frac{F_z \cdot a}{I_y \cdot a} \int \eta d\eta$$

$$\tau_{zx} = \frac{F_z}{I_y} \frac{\eta^2}{2} \Big|_z^a$$

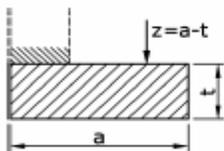
$$\tau_{zx} = \frac{F_z}{2I_y} (a^2 - z^2) = \frac{F_z a^2}{2 \cdot 8/3 a^3 t} \left(1 - \frac{z^2}{a^2} \right)$$

$$\tau_{zx} = \frac{3}{16} \frac{F_z}{at} \left(1 - \frac{z^2}{a^2} \right)$$

Eckwerte:

- $z = a \Rightarrow \tau_{zx} = 0$
- $z = a - t \Rightarrow \tau_{zx} = \frac{3}{16} \frac{F_z}{at} \left(1 - \frac{(a-t)^2}{a^2} \right) \approx \frac{3}{16} \frac{F_z}{at} \left(\frac{2t}{a} \right) = \frac{3}{8} \frac{F_z}{a^2}$

einfacher: Berechnung für $z = a - t$ mit dem Trägheitsmoment 1. Ordnung:



$$H(z) = a \cdot t (a - t/2)$$

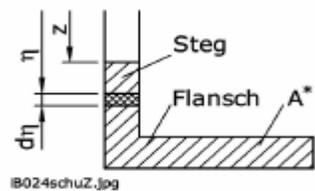
$$H(z) \approx a^2 t$$

$$\tau(z = a - t) = \frac{F_z H(z)}{I_y b(z)}$$

$$b(z) = a$$

$$\tau(z = a - t) = \frac{F_z \cdot a^2 t}{8/3 \cdot a^3 t \cdot a} = \frac{3}{8} \frac{F_z}{a^2}$$

Der Steg:



$$\tau_{zx} = \frac{F_z \int b(\eta) \eta \cdot d\eta}{I_y b(\eta)}$$

$$\tau_{zx} = \frac{F_z}{I_y} \frac{\left(a \cdot A_{\text{Flansch}} + \int \eta dA \right)}{t}$$

$$\tau_{zx} = \frac{F_z}{I_y} \left(\frac{a \cdot at}{t} + \frac{t}{t} \int_{A^* \text{Steg}} \eta d\eta \right)$$

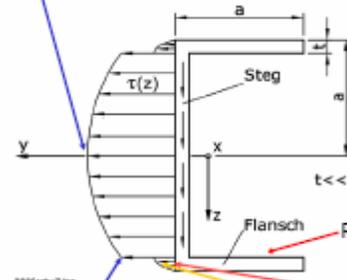
$$\tau_{zx} = \frac{F_z}{I_y} \left(a^2 + \frac{\eta^2}{2} \Big|_z^a \right) = \frac{F_z}{I_y} \left(a^2 + \frac{a^2}{2} - \frac{z^2}{2} \right)$$

$$\tau_{zx} = \frac{F_z \cdot a^2}{2I_y} \cdot \left(3 - \frac{z^2}{a^2} \right) = \frac{F_z a^2}{2 \cdot 8/3 a^3 t} \left(3 - \frac{z^2}{a^2} \right)$$

$$\tau_{zx} = \frac{3}{16} \frac{F_z}{at} \left(3 - \frac{z^2}{a^2} \right)$$

Bemerkung: exakte Integrationsabgrenzung wäre $a - t$! (vernachlässigbares t)

$$\tau_{\max}(z=0) = \frac{9}{16} \frac{F_z}{at}$$



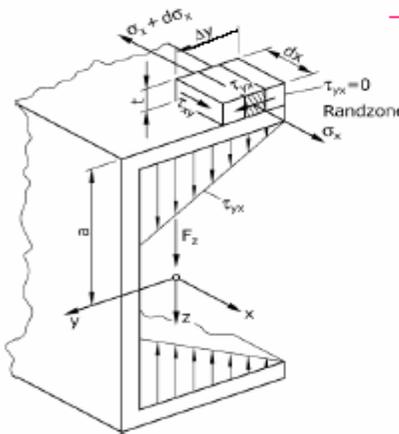
Vergleichsweise überträgt der Flansch markant weniger τ_{zx} -Schubspannungen als der Steg.

Randbedingung an Oberfläche!

$$\tau_{\text{Übergang}}(z = a - t) = \frac{3}{8} \frac{F_z}{at}$$

$$\frac{\tau_{\text{Steg}}}{\tau_{\text{Flansch}}} = \frac{a}{t}$$

$$\tau_{zx} = \frac{3}{8} \frac{F_z}{a^2}$$



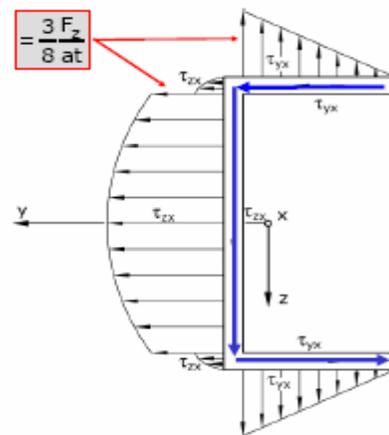
Gleichgewicht

$$\tau_{xy} t dx - d\sigma_x \Delta y = 0$$

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{\tau_{xy}}{\Delta y}$$

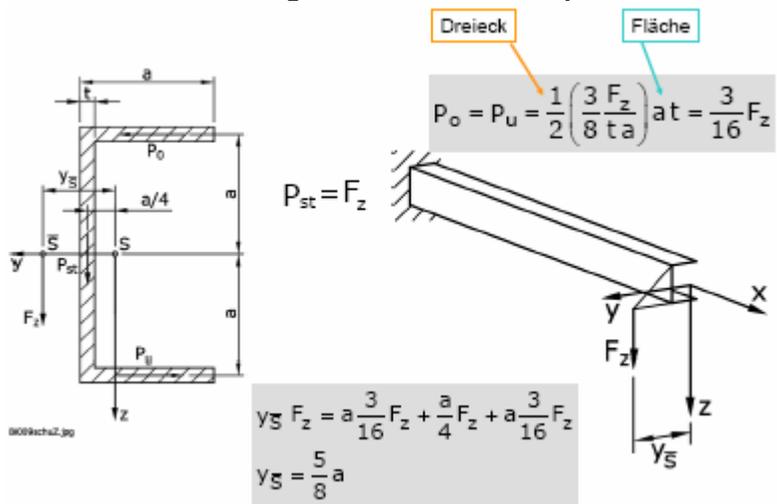
$$\sigma(\eta) = \frac{M_y}{I_y} \eta; \quad \frac{dM_y}{dx} = F_z$$

$$\tau_{xy} = \frac{F_z a}{I_y} \Delta y = \tau_{yx}$$

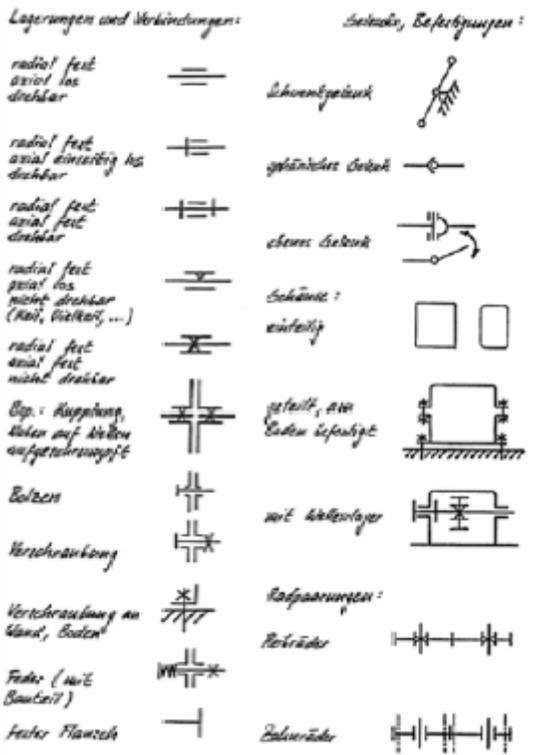


Achtung: Nur bei diesem Beispiel (Höhe = 2a; Breite = a) identisch!

19.4.4 Torsion infolge Schub/Schubmittelpunkt



Damit Schubfluss Gegenuhrzeigersinn braucht es Moment im Uhrzeigersinn => Sekundäre Torsion
 Entgegenwirken: Kraft im Schubmittelpunkt angreifen lassen.



Nicht normierte Symbole für Prinzipskizze

20 Technisches Zeichnen

20.1 Visualisieren

20.1.1 Zeichnungsarten

Art der Zeichnung	Beispiel	Charakteristik	Vinwendung
Idemrische		<ul style="list-style-type: none"> schnell nicht genormt freihand 2D und 3D real e Proportionen sehr freies Darstellungsmitel 	Ideen und Gedanken festhalten und weiterentwickeln. Zentrales Kommunikationsmittel in allen Prozessen
Prinzipische		<ul style="list-style-type: none"> schnell symbolische Darstellung, nicht genormt freihand 2D reduzierte 	Funktion und Funktionsweise systematisch dokumentieren.
Grobmaßstäbliche Handskizze		<ul style="list-style-type: none"> schnell freihand real e Proportionen bermaßt zeigt konstruktive Lösungen 	Ideen und Gedanken festhalten, weiterentwickeln und überprüfen. Kommunikationsmittel (Entwicklung und Fertigungen)
Maßstablicher Konstruktionsentwurf		<ul style="list-style-type: none"> aufwendig Maßstab, CAD exakte Masse bermaßt fertige Konstruktion 	Gestalt festgelegt, Details größtenteils erkennbar. Für detaillierte Konstruktion und die Fertigung.
Zusammenfassende Zeichnung		<ul style="list-style-type: none"> aufwendig Maßstab, CAD exakte Masse Saugruppe zeigt die fertige Konstruktion 	Darstellung von Baugruppen (abgeschlossene Konstruktion) beziehungsweise, der Funktion, Montage und Struktur (Anzahl Elemente)
Detaillzeichnung		<ul style="list-style-type: none"> aufwendig Maßstab, CAD exakte Masse bermaßt, toleriert zeigt die fertige Konstruktion 	Darstellung von Einzelteilen (abgeschlossene Konstruktion) für die Fertigungsunterlagen und Prüfung.

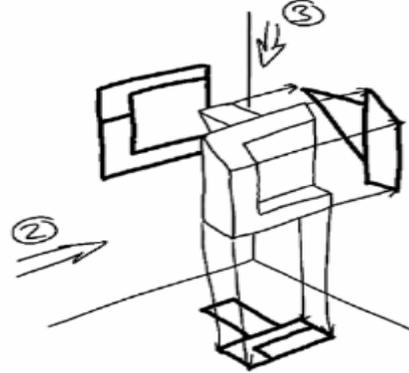
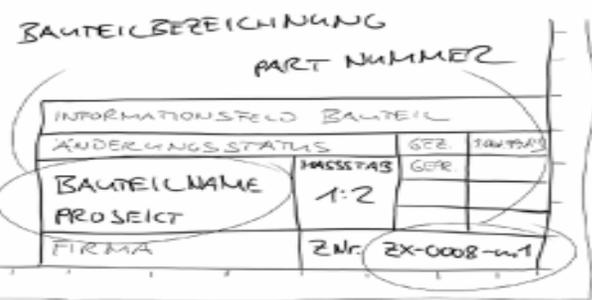
Technische Zeichnung

Genormt, enthält alle geometrischen Infos

20.1.2 Arten von Technischen Zeichnungen

Einzelzeichnung, Bauteilzeichnung, Fertigungszeichnung, Zusammenstellzeichnung, Baugruppenzeichnung (Bsp Schweisszeichnung)

20.1.3 Schriftfeld

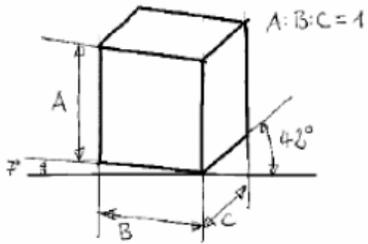


Europäische Projektion

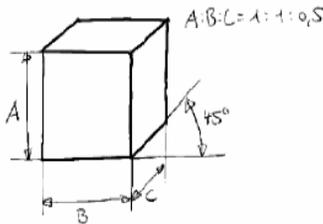
20.2 Darstellungsprinzipien

20.2.1 Projektionsarten

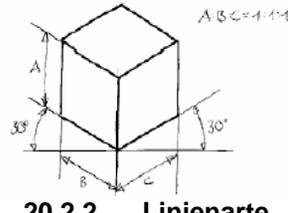
Dimetrische Projektion



Dimetrisch schiefe Projektion



Isometrische Projektion



20.2.2 Linienarten

Linienabstand minimal 0.7 mm

Volllinie breit: Sichtbare Umriss und Kanten

Volllinie schmal: Fiktive Kanten, Masslinien, Masshflslinien, Schraffurlinien, Hinweislinien, Bruchlinien

Strichlinie schmal: Verdeckte Umriss und Kanten

Strichpunktlinie schmal: Mittellinie, Symmetrielinie

Strich Zwei Punkt Linie: Angrenzende Bauteile, Bauteile vor der Schnittebene, Biegelinie in der Abwicklung

Strichpunktlinie schmal an den Enden Volllinie breit: Kennzeichnung der Schnittebene und Schnittverlauf

Beachte: Unsichtbare Kanten entweder komplett darstellen oder komplett weglassen.

Schnittart	Bauteil (geschnitten dargestelltes 3D Teil)	Darstellung des Schnittes auf der technischen Zeichnung	Bemerkungen
Vollschnitt			<ul style="list-style-type: none"> Bauteil komplett geschnitten Bauteile mit viel unsichtbarer Geometrie bei rotationssymmetrischen Teilen kein Schnittbezeichnung erf.
Teilschnitt			<ul style="list-style-type: none"> wenig unsichtbare Geometrie an einem Bauteil einfach, erfordert keine zusätzliche Ansichten keine Schnittbezeichnung erforderlich
Halbschnitt			<ul style="list-style-type: none"> nur für rotationssymmetrische Teile sichtbare und unsichtbare in der gleichen Ansicht darstellbar keine Schnittbezeichnung erforderlich <p>Nach DIN muss der Schnittbereich unterhalb oder rechts von der Mittellinie liegen, nach Schweizer Norm ist auch die dargestellte Variante zulässig</p>
gedrehter Schnitt			<ul style="list-style-type: none"> eine schräge Schnittebene wird in die Hauptebene des Schnittes gedreht bei rotationssymmetrischen Teilen keine Schnittbezeichnung erforderlich
Schnitt mit mehreren Ebenen			<ul style="list-style-type: none"> Darstellung mehrerer Schnittebenen in der gleichen Ansicht der Schnittverlauf muss immer angegeben werden Versatz der Schraffur am Schnittebenen Übergang
geklappte Querschnitte			<ul style="list-style-type: none"> zum einfachen Darstellen von Profilquerschnitten Kanten schmal wenn Querschnitt im Bauteil geklappt dargestellt keine Schnittbezeichnung erforderlich

Schnitte von Gewinden: → Siehe VSM S. 41
andere Materialien als Stahl → Siehe VSM S. 32 unten

20.2.3 Darstellungskonvention

Vollwellen, Achsen, Bolzen, Stifte, Schrauben werden **nicht geschnitten**
 Hohlwellen, Hülsen, Achsen mit Bohrung dürfen geschnitten werden

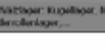
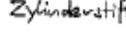
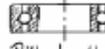
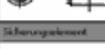
20.3 Formelemente

Geometrisch abgeschlossene Bereich eines Bauteils, der eine spezifische Funktion erfüllt.

Bsp: Freistich, Fasen, Gewinde, Rändel, Kordel

20.4 Maschinenelemente

Einzelteile, Komponenten, Baugruppen. Bsp:

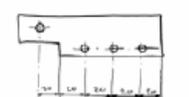
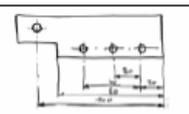
 Feder	 Gabelverbindungen	 Lobare Verbindungen	 Schrauben, Mutttern, Scheiben, Bolzen	 Stifte und Bolzen
 Nichtbearbeiteter, nichtbearbeiteter, nichtbearbeiteter	 Drehader, Drehwelle, abgetriebene	 Unlösbare Verbindungen	 Nieten	 Schweißen, Löten, Kleben
 Rille, Legeteiler	 Trennring	 Hohlmannniete	 V-Naht	
 Dichtung (O-Ring)	 Sicherungskegel			
 Schwungrad	 Schwungrad			

20.5 Bemessung

Nach folgenden Punkten: Funktion (wie muss bemast werden, damit die Funktion erfüllt werden kann?); Fertigung (wie, damit es gefertigt werden kann); Prüfung (wie, damit es Vermessen werden kann (funktionsrelevante und fertigungsrelevante Masse))

Bedeutung	Beispiel	Hilfsmaß	(50)	Kugel-Radius (Spherical radius)	SR50
Durchmesser	∅25	Prüfmaß	50±0.02	Schlüsselweite	SW13
Quadrat	□25	Rohmaß	[50]	Dicke (thickness)	l = 2 (vgl. TZ3.12)
Radius	R25	Bogenlänge	50	Tiefe oder Höhe	h = 5
Kugel Durchmesser (Spherical diameter)	S∅25	nicht maßstäbliches Maß	50	theoretisch genaues Maß	50
		Verjüngung	1:10		

20.5.1 Bemessungsart

 Parallelbemessung	Bezugskante; hoher Platzbedarf; mässige Übersicht; vermeiden wenn Masslinien nahe beieinander	Kettenbemessung		Fehler bei Fertigung addieren sich; vermeiden
 Koordinatenbemessung	Spez. Darstellungsform; mit Bezugspunkt; geringer Platzbedarf; zweckmässig für NC und CNC;	Kombinierte Bemessung		Am häufigsten; für funktions- und fertigungs-gerechte Bemessung erforderlich

20.5.2 Prüfung der Bemessung

Bezugskante	Sinnvolle Bezugsfläche? Zuerst bearbeitet?
Wichtige Masse	Direkt der Zeichnung zu entnehmen? Nach ihrer Wichtigkeit?
Sichtbare Kanten	Nur sichtbare Kanten Bemast?
Massanordnung	Nur dort, wo sichtbar und unverzerrt (Keilnut!); Masse für eine Bearbeitungsfolge beieinander
Kettenmasse	Würden unnötige Kettenmasse vermieden
Unwichtige Masse	Weggelassen falls sie sich ergeben? Oder wenn sie unwichtig sind?
Überbemessung	Vermieden?
Toleranzen/Passungen	Alle nötigen Angeben? Doppelpassungen vermieden?
Haupt- & Anschlussmasse	In Zusammenbauzeichnung nur Haupt und Anschlussmasse drin, aber vollständig?
Durchmesser	Durchmesserzeichen vor Masszahl
Radial	R vor Masszahl

20.6 Toleranzen

20.6.1 Masstoleranzen

Funktionsmasse werden toleriert, Nichtfunktionsmasse: Allgemeintoleranzen
 Nennmass = Mindestmass + unteres Abmass = Höchstmass – oberes Abmass
 Iso-Toleranzen: INA s. 186

20.6.2 Form und Lagetoleranzen

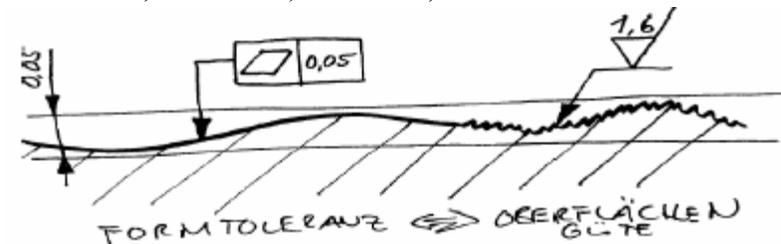
S172 INA

Beachte Bezugsselement:

Oberfläche ↔ Achse

20.6.3 Oberflächen

Ra: Mittenrauhwert, arithmetisch; VSM S.83, INA S 166



20.7 Stücklisten und Zusammenstellzeichnungen

Stückliste: beinhaltet alle Informationen zu einer Baugruppe & der darin enthaltenen Teile, sie definiert, wie oft ein Bauteil verwendet wird
 Zusammenstellzeichnung: die zeichnerische Darstellung einer Baugruppe
 Man unterscheidet:

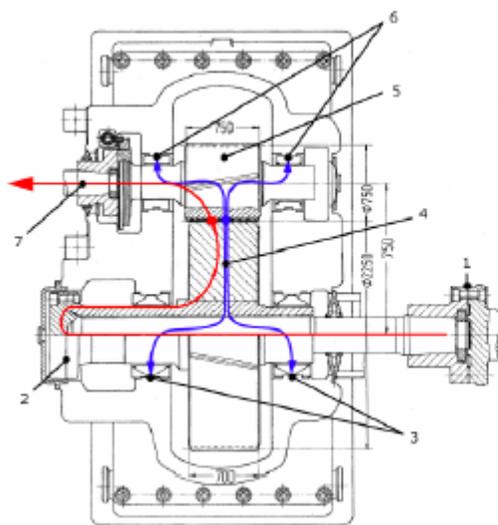
- Baukastenstückliste: tabellarisch, auf Zeichnung
 - Strukturstückliste: meist in PDM, wenig verbreitet
- Siehe VSM S. 232 – 239

21 Tipps

Verschraubung : VSM41-42, 88-89, 123-131

21.1 Fehlersuche

Montage	Gestaltungsfehler
<ul style="list-style-type: none"> • Zahnrad nicht montierbar • Lager nicht montierbar • Einpressen nicht möglich, da Luft nicht entweichen kann • Schrauben können nicht angezogen werden • Schweissnaht nicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 feste Lager nicht erlaubt (Fest- oder Loslager oder separate Fixierung für jede axial Richtung) • Zwei Auflageflächen stützen gleichzeitig auf, kein definierter Anschlag • Innenring des Wälzlagers darf nicht auf das Gewinde gestützt werden • Passfeder kreuzt mit einem anderen Teil • Nicht konstante Wandstärke (Lunkergerfahr vom Giessen her) • Einsatzgehärtet nicht möglich mit GG25 • Das Gewinde muss länger als die Schraube sein • Der Schaft ohne Gewinde kann nicht in das Gewinde eindringen • Zentrierabsatz fehlt • Abdichtung fehlt • Schmierung fehlt oder ist gar nicht möglich, weil der Weg versperrt ist • kein Freistich bei Lager • Spiel bei Passfeder fehlt • Nicht definierter Anschlag der Scheibe auf Nabe oder Welle • Bei Auflager muss eine Seite frei laufen können • Zwischen Labyrinthhaussenteil und - hülse braucht es Spiel
Fehler in Skizze	<ul style="list-style-type: none"> • Passung nicht angegeben; Spiel • Falsche Passung • Mittellinien fehlen • Gewinde nicht eingezeichnet



Die Antriebswelle ist mit einer starren Kupplung mit der Eintrittswelle verbunden (1). Diese Welle besteht aus einer inneren Vollwelle und einer äusseren Hohlwelle. Diese beiden Wellen sind nur links am Ende miteinander verbunden (2). Die Hohlwelle ist beidseitig in der Nähe des grossen Zahnrads gelagert (3). Das grössere Zahnrad (4) überträgt das Torsionsmoment auf das kleinere Zahnrad (5) oben. Beide sind schrägverzahnt. Die obere Welle ist auch zweifach gelagert (6) und links geht das Torsionsmoment über eine Konusverbindung (7).

Kräftefluss des Torsionsmomentes

Durch die Kraftübertragung des Torsionsmoments über eine Kraft zwischen dem grossen und kleinen Rad ergeben sich weitere Kraftflüsse

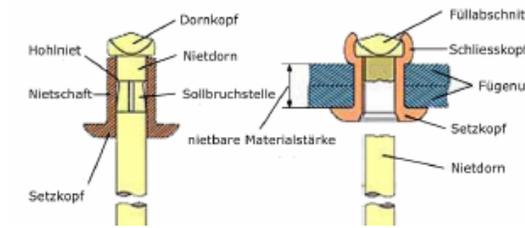
21.2 Definitionen

Marktleistung: Sammelbegriff für Verkaufsaktivitäten; Verkauf von Produkten, Beratung, Garantie, Service

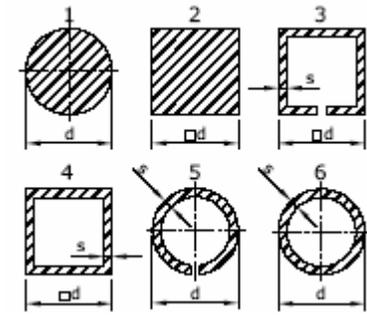
Physikalischer Effekt vs Wirkprinzip: Wirkprinzip konkreter, baut auf physikalischen Effekten auf, durch Geometrie, Werkstoff, ... ergänzt

Stufenwerkzeug(Folgewerkzeug): Werkzeug, welches im Takt mehrere Umform- (und z.T. Strang-) -operationen vornehmen kann.

Blindniet: Nietstelle nur von einer Seite zugänglich. Gegenkraft wird über einen Dorn mit einer Sollbruchstelle aufgebracht

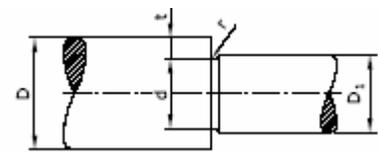


21.3 Aufgaben



d = 10, s = 1

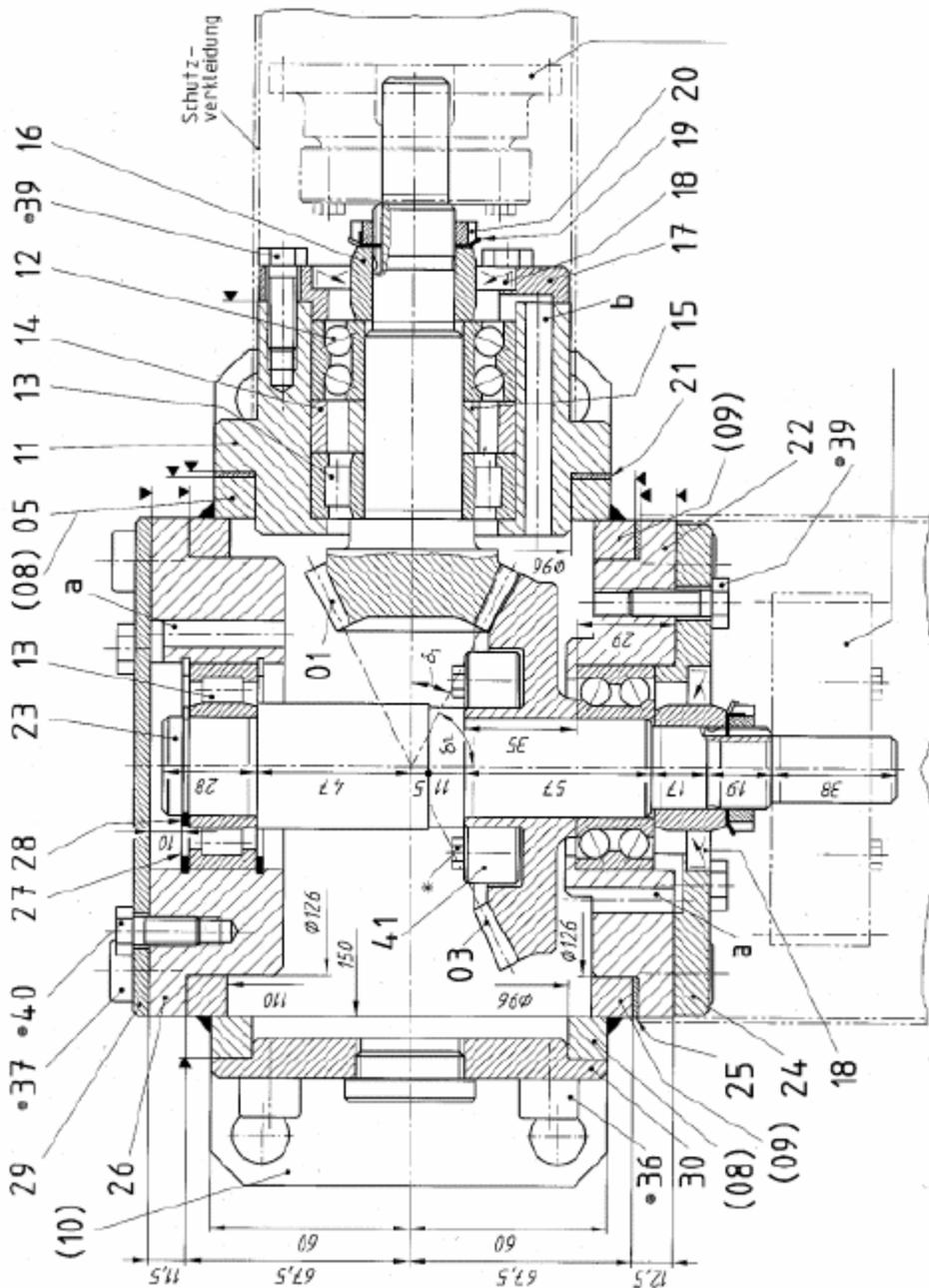
	W_T	W_T	Fläche A	Verhältnis	Rang
1	$\frac{d^3\pi}{6}$	$\frac{10^3\pi}{6} = 196\text{mm}^3$	78.5	2.5	3
2	$0.208 \cdot d^3$	$0.208 \cdot 10^3 = 208\text{mm}^3$	100	2.08	4
3	$\frac{1}{3}s^2 \sum b_i$	$\frac{1}{3}1^2 [2 \cdot (10+8)] = 12\text{mm}^3$	36	0.33	6
4	$2 A_m \cdot s$	$2 \cdot 9^2 \cdot 1 = 162\text{mm}^3$	36	4.50	2
5	$\frac{1}{3}s^2 \cdot U$	$\frac{1}{3}1^2 \cdot 9\pi$	28	0.33	5
6	$2 A_m \cdot t$	$2 \cdot \frac{9^2\pi}{4} \cdot 1 = 127\text{mm}^3$	28	4.53	1



Formzahl $\alpha_{\text{Freistich\&Absatz}}$ Bestimmen:
Bestimme D, d, r (ergibt sich D1, t) und setze diese bei α_{Absatz} und α_{Rundnut} ein (gleiche Buchstaben)

22 Cases

22.1 Materialbestimmung



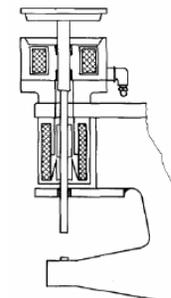
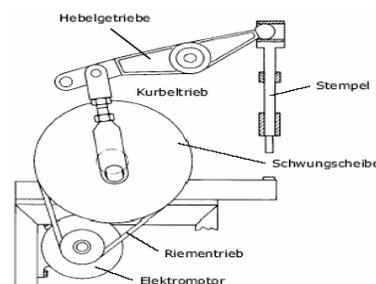
Position	Material		Eigenschaften
01, 03	Nitrierstahl	30CrMoV9	$\sigma_s = 1050 \text{ N/mm}^2$ (vergütet) $\sigma_B = 1250\text{--}1450 \text{ N/mm}^2$ $\epsilon_B = 9$ Einschnürung 35% Kerbschlagzähigkeit 1020 J
06, 07, 08, 09, 10, 21, 25, 30	allg. unleg. Baustahl	S235JG2 (St37)	$\sigma_s = 235 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_B = 360 \text{ N/mm}^2$
11, 14, 15, 16, 17, 22, 24, 26, 29	allg. unleg. Baustahl	S355JO (St50)	$\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_B = 510 \text{ N/mm}^2$
23	Vergütungsstahl	C60	$\sigma_s = 355 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_B = 510 \text{ N/mm}^2$ $\epsilon_B = 11$ Einschnürung 20%
32	Kupfer-Zink-Leg	CuZn39Pb3	Kerbschlagzähigkeit 520 J
diverse Schrauben	Automatenstahl	9SMnPb28	$\sigma_s = 440 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_B = 380\text{--}540 \text{ N/mm}^2$

22.2 Rückruf Mercedes

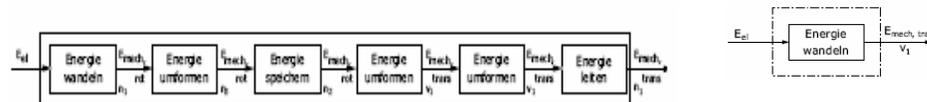
		Analyseteil	5 Personen à 3 Arbeitstage	15 600	
Rückruf-Schreiben (Papier, Versand)	à CHF 3.-	1 500 000			
Arbeitsaufwand - Werkstatt	à CHF 90.-/h	15 000 000	Überarbeitung	2 Personen à 2 Wochen	10 400
Material	à CHF 5.-	2 500 000			
Zwischentotal		19 000 000			
Unvorhergesehenes, Diverses	20 %	3 800 000			
Total		22 800 000	Total	43 200	

Kosten FMEA

22.3 Funktionsanalyse



Stanzmaschine
alt =>
Linearmotor, oder
Elektromagnet



22.4 Kostenrechnung

Material	Gehäuse			9 500.-	
	Rad			1 200.-	
	Ritzelwelle				
	Radwelle				
	Lager				
	Dichtung, Deckel, Rohrleitungen				
	Summe			17 200.-	
MGK 12%				2 064.-	
Bohrerei	Gehäuse	8h	à CHF 80.-	640.-	
Dreherei	Rad	5h			
	Ritzelwelle	7h			
	Radwelle	6h			
	Summe			1 620.-	
Abwälzfräse	Rad	12 h			
	Ritzel	6 h			
	Summe	18 h	à CHF 80.-	2 520.-	
Konstruktion		40 h	à CHF 120.-	4 800.-	
Montage			à CHF 80.-	1 600.-	
Herstellkosten					
	VVGK (18% + 12% = 30%)			9 133.-	
	Selbstkosten			39 577.-	
	Gewinn			12 423.-	
	Verkaufspreis ab Werk			52 000.-	

22.5 Kommunikation

Die folgenden Kommunikationselemente könnten geprüft werden:

- E1: Kosten und Zeitinformation des Projektes
- E2: Stand und Änderung innerhalb der Anforderungsliste
- E3: Konzeptionelle Lösungen; Ideen mit Potenzial
- E4: Projekt-Entscheidung, Bewertungen
- E5: Konkurrenz-, Marktinformationen
- E6: Projektstand, Problemstellung, Absprache

Die Empfängergruppen sind:

- G1: Lenkungsausschuss
- G2: Key-Customer
- G3: Vertriebsorganisationen Europa
- G4: Unternehmen allgemein; wichtige Lieferanten Vertriebsorganisationen Weltweit
- G5: Team-intern

Die Kanäle könnten sein:

- K1: Review-Meeting
- K2: Projekt-Portal
- K3: News-Letter
- K4: Wochen-Meeting; Traktanden, Protokoll

Die Periodizität kann direkt zu den K-Kanälen zugeordnet werden:

1. Review-Meeting:
 - Ende Konzeptprozess
 - Ende Entwurfsprozess
 - Ende Dokumentationsprozess
2. Projekt-Portal:
 - Update alle 2 Wochen; e-mail an Empfänger-Gruppen mit Hinweis
3. News Letter:
 - alle 2 Monate bzw. terminiert auf Review-Meeting
4. Wochenmeeting:
 - jeden Mittwoch, nachmittags 16.00 Uhr.

22.6 Case Festplatte

Gehäuse

- Druckguss, entgratet
- Funktionsflächen gefräst
- Gewinde geschnitten
- Werkstoff: Aluminium



Motor

- Drehteil, aus Druckguss oder Strangpressprofil
- Bohren
- Gewindeschneiden
- Werkstoff: Aluminium



Deckel

- Stanztteil, alle Verfahren in einer Maschine vereint
- Scherschneiden
- Prägen
- Sicken
- Tiefziehen
- Werkstoff: Stahl



Magnet

- Stanztteil
- Scherschneiden
- Biegen
- Magnet geklebt
- oder Fließpress-/Stanztteil, mit 2 Muttern als Abstandshalter
- Werkstoff: Stahl



22.7 Case Kombizange

Werdgang einer Kombizange

Das Ausgangsmaterial wird in etwa 6 m langen, rechteckigen Stangen angeliefert, die einen Querschnitt von 26 x 10 mm haben.



Unter einer Exzenterpresse mit entsprechenden Schnittwerkzeugen werden die Stangen in Stücke geschnitten.



Diese entsprechen in ihrer Länge der daraus zu fertigenden Zange. Die Stücke werden in Schmiedeöfen mit Gas- oder Ölföhrung auf etwa 1200 ° C, hellgelb glühend, erhitzt, vorgebogen, und unter Fallhäm mern im Gesenk geschmiedet.



Für das Schmieden werden Häm mern mit einem Bärgewicht zwischen 350 und 1250 kg eingesetzt. Ein Fallhammer besteht aus der Schabotte, dem Bär und den Führungen (Stangen). Die Schabotte ist ein Stahlklotz, der auf einem festen Betonfundament ruht. Ihr Gewicht beträgt etwa das 15- bis 20-fache des Bärgewichtes. Auf der Schabotte wird das Untergesenk befestigt. Zwischen den Stangen wird der sogenannte Bär (ebenfalls ein Stahlklotz) hochgezogen, der an der Unterseite das Obergesenk trägt.

Das glühende Stahlstück wird zwischen das Untergesenk und das um ca. 1 - 2 m angehobene Obergesenk gehalten und der Bär fallengelassen.

So wird das Stahlstück zwischen dem Ober- und Untergesenk in die Form eingequetscht und füllt sie aus. Dabei drückt sich das überflüssige Material, das den Rohling später als Grat umgibt, zwischen den Gesenken nach außen und bildet den Grat.



Unter einer 20- bis 30-t - Presse wird das Schmiedestück entgratet.



um den Rohling zu erhalten.



Anschließend wird das Nietloch in den Rohling gebohrt und für den Nietkopf angesenkt. Gelenk, Profil der Backen und die Rückseite der Schneiden werden gefräst.



Die beiden Zangenhälften werden aufeinandergelegt, vernietet und gerichtet.



Die Köpfe der Zangen werden von Maschine und Hand grob in Form geschliffen.



Die Feinbearbeitung erfolgt erst nach dem Härten.

Nebst Material und Verarbeitung bestimmt der Härteprozess die Qualität eines Werkzeuges. Bei einer Qualitätszange sollen Griffpaar, Gelenk und Greifbacken zäh, verschleißfest und federnd sein. Die Schneiden dagegen hart, damit sie auch das Durchkneifen von harten Drähten ermöglichen. Um der Zange diese Eigenschaften zu verleihen, wird diese zuerst erhitzt (800 - 900 Grad Rotglut) und dann in Öl abgeschreckt. Danach ist sie zwar hart, aber zu spröde. Deshalb wird sie anschließend auf einige hundert Grad erwärmt und 1-2 Stunden auf dieser Temperatur gehalten - sie wird "angelassen". Dadurch fällt die Härte zwar etwas ab, die Zange erhält aber die richtige Zähigkeit.

Um die besondere Härte der Schneiden zu erreichen, werden diese nach dem Anlassen mittels eines Hochfrequenzstromes örtlich induktiv erhitzt, in Öl abgeschreckt und erneut angelassen. Diesmal jedoch bei einer niedrigeren Temperatur als vorher.



Nach dem Härten erfolgt die Endbearbeitung der Zangenoberfläche. Die gebräuchlichsten Ausführungen sind:

- blanker, feingeschliffener Kopf mit schwarzen Griffen,
- die ganze Zange fein geschliffen und über Nickel verchromt.

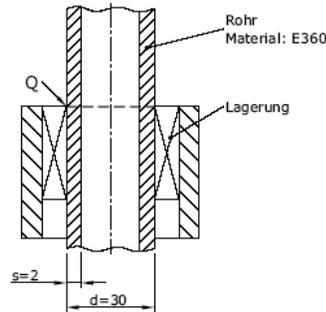
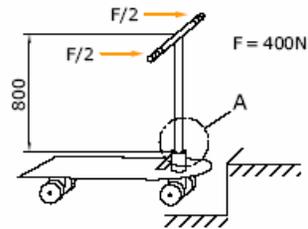


In Aller Regel werden die Zangen mit Griffhüllen versehen, z. B.:

- Mit einem Kunststoffüberzug, der im Tauchverfahren aufgebracht wird,
- oder starkwandigen Kunststoffhüllen.



22.8 Case Spannungstensor



$$\sigma_x = \frac{M_B}{W_B} = \frac{400 \cdot 800}{\frac{\pi \cdot 28^2 \cdot 2}{4}} = 260 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{mit } W_B = \frac{\pi d_m^2 \cdot s}{4}$$

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A} = \frac{E}{28 \cdot \pi \cdot 2} = 2.3 \text{ N/mm}^2 = 0$$

vernachlässigbar

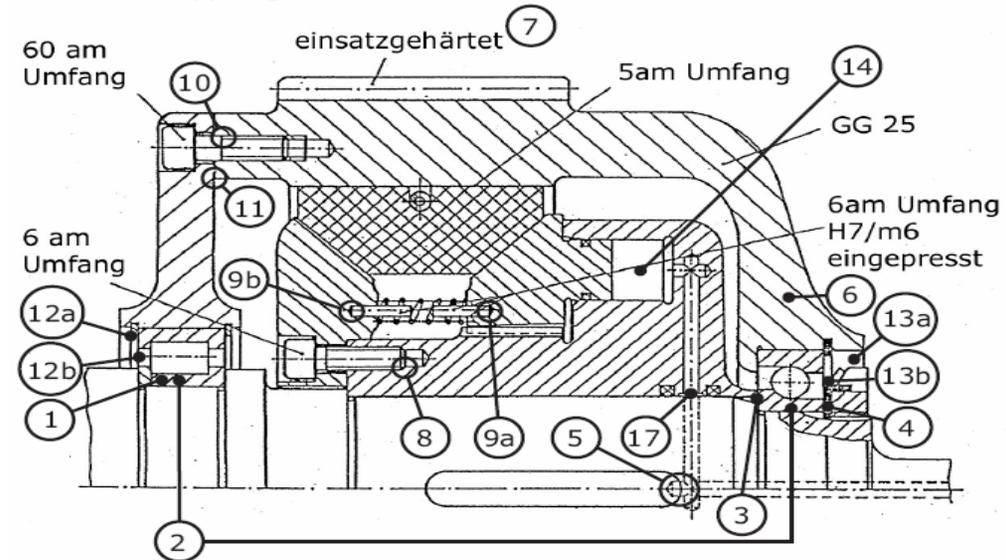
schub- und Gestaltänderungshypothese

$$\sigma_v = \sigma_x = 260 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$$

$$S_F = \frac{\sigma_F}{\sigma_v} = \frac{360}{260} = 1.38$$

Ist ok

22.9 Case Kupplung, Fehler erkennen

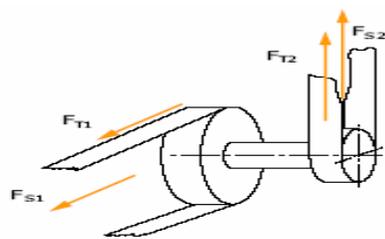


Nr.	Beschreibung des Fehlers
1	Lager nicht montierbar!
2	2 feste Lager nicht erlaubt (Fest- und Loslager oder separate Fixierung für jede axiale Richtung)!
3	Zwei Auflageflächen stützen gleichzeitig auf; nicht erlaubt!
4	Innenring des Wälzlagers darf nicht auf das Gewinde gestützt werden!
5	Passfeder kreuzt mit O-Ring!
6	Nicht konstante Wandstärke, Lunkergerfahr!
7	Einsatzgehärtet mit GG 25 nicht möglich!
8	Das Gewinde muss länger als die Schraube sein!
9a	Einpressen nicht möglich, Luft entweicht nicht (rechts): m6/H7 ist übliches Übergangssitz für Stifte; mit leichter Presskraft ffügbar; Bsp: Durchmesser 6mm: Stift: +4/+12 und Bohrung: 0/+12, damit maximales Spiel +8 und maximales Übermass +12
9b	Passung nicht angegeben; Spiel?
10	Das Teil ohne Gewinde kann nicht in das Gewindeloch eindringen!
11	Zentrierungsabsatz fehlt!
12a	Abdichtung fehlt!
12b	Schmierung fehlt!
13a	wie 12a°
13b	wie 12b
14	Mittellinie Zylinder

22.10 Case Riemen

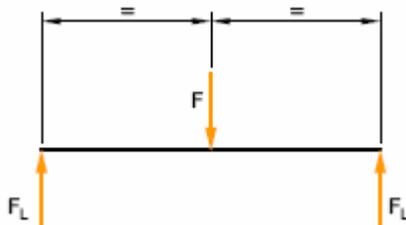
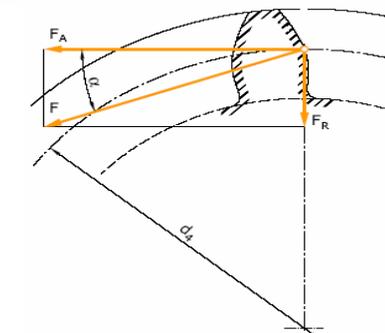
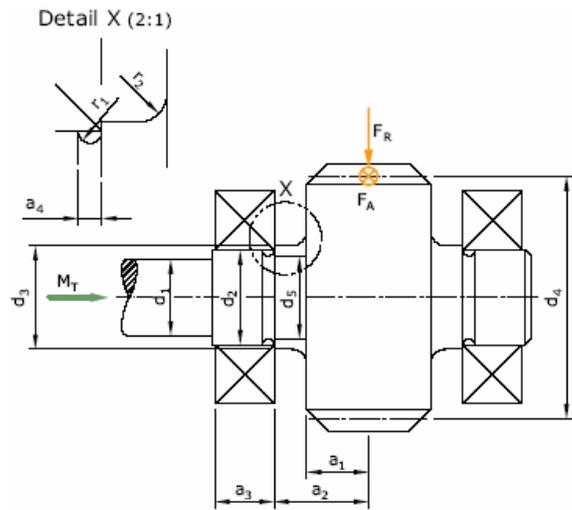
Fs: Normalenkomponente um Kraft durch Reibung zu Übertragen, $F_s = f(M_T, D)$

Vorgehen: $M_T \Rightarrow F_{T1}$ (Syst trennung Rad)
Dann nur Stab betrachten



22.11 Case Kerbwirkung

$\alpha = 20^\circ$



Spannungen: σ_x τ_T τ_Q berechnen

Geometrie Querschnitt I:

- D = 34 mm (= d3)
- D1 = 30 mm (= d2)
- d = 26 mm (= d5)
- $t = (D - d) / 2 = 4$ mm
- r = 2 mm (= r1)

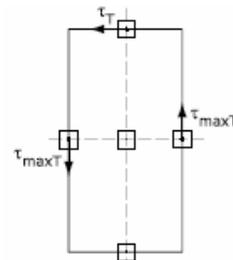
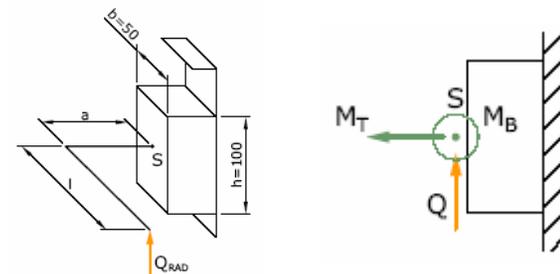
$$\alpha_{\sigma, \tau} = 1 + \frac{1}{\sqrt{A \frac{r}{t} + 2B \frac{r}{d} \left(1 + 2 \frac{r}{d}\right)^2 + C \left(\frac{r}{t}\right)^2}} \cdot \frac{d}{D}$$

Formzahl Absatz mit Freistich ist Kombination aus Formzahl Absatz, Formzahl Rundnut.
Für Normalspannung $\alpha_{\sigma F}$ für Schubspannung $\alpha_{\tau F} = 1,04 \cdot \alpha_{\tau A}$

$$\alpha_{\sigma F} = (\alpha_{\sigma R} - \alpha_{\sigma A}) \cdot \sqrt{\frac{D_1 - d}{D - d}} + \alpha_{\sigma A}$$

22.12 Case Radaufhängung

Ges: Belastung Vierkantprofil
(Schub infolge Querkraft,
Normalkraft infolge Mb)
Schub infolge Torsion



$$\tau_{\max T} = \frac{M_T}{W_p} = \frac{M_T}{c_2 \cdot b^2 \cdot h} = \frac{20\,000\,000}{0.246 \cdot 50^2 \cdot 100} = 325 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_T \text{ oben: } \tau_T = c_1 \cdot \tau_{\max T} = 0.796 \cdot 325 = 259 \text{ N/mm}^2$$

Beachte Verhältnis h/b -> c1, c2

23 Mechanikformeln