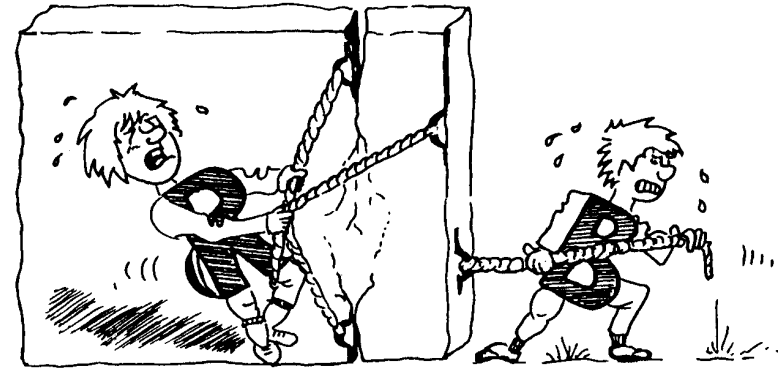
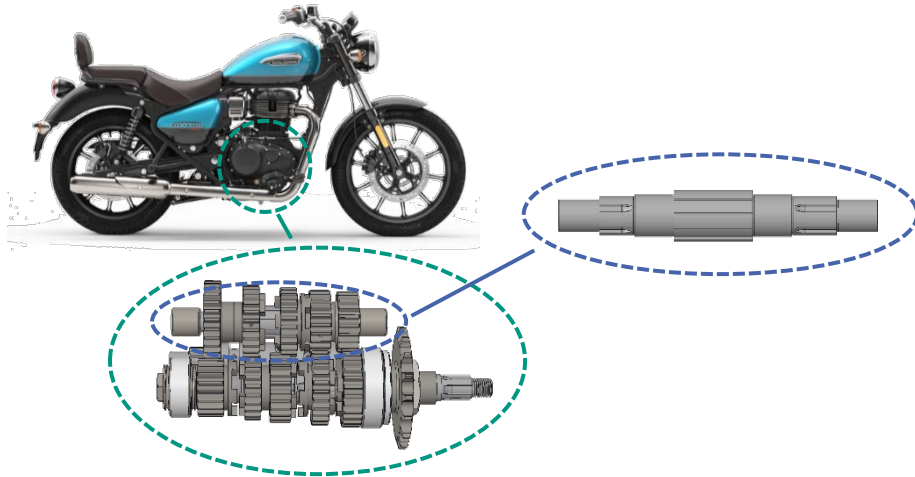


Dimensionierung I – Einführung und Grundlagen

Vorlesung Maschinenkonstruktionslehre C – WS25/26

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen



Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



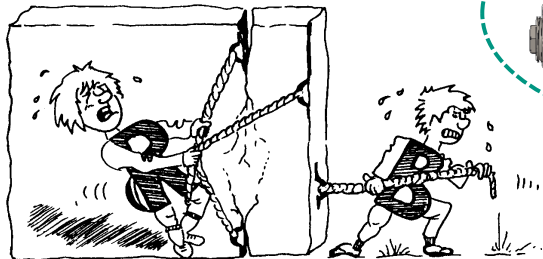
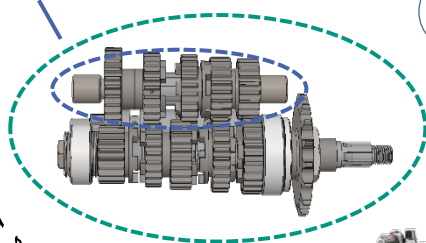
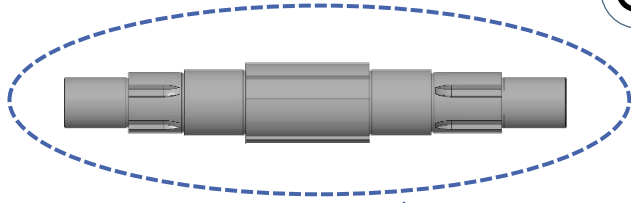
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung



Zusammenfassung

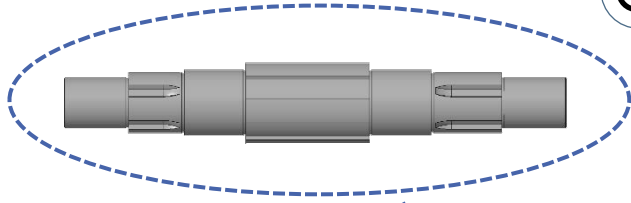


Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



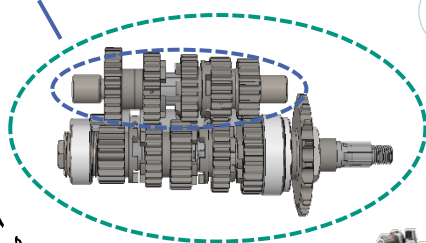
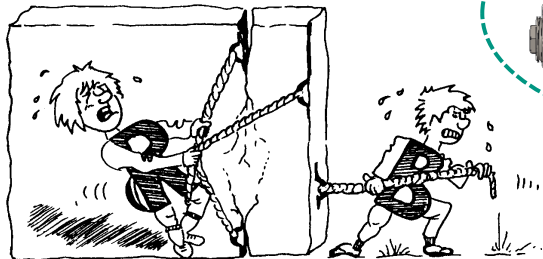
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung



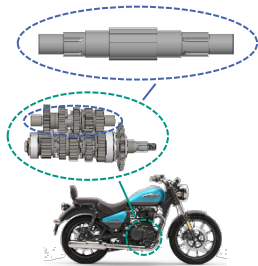
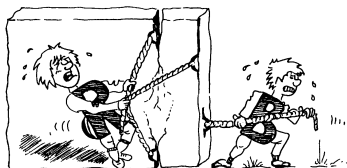
Zusammenfassung



Dimensionierung – Lernziele und Einleitung

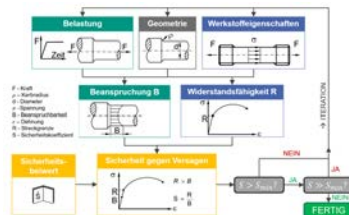
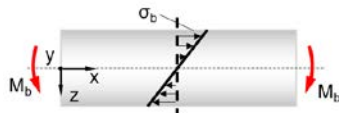
Übersicht Vorlesungen Dimensionierung

Vorlesung 1



Einführung und Grundlagen

Vorlesung 2

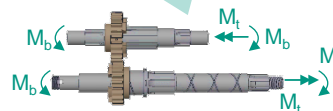


Ermitteln der Grundgrößen der Dimensionierung

Vorlesung 3

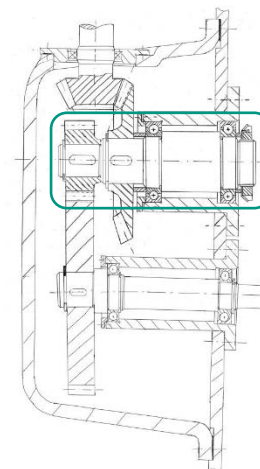


$$K_{\sigma} = \left(\frac{\beta_{\sigma}}{K_2} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \cdot \frac{1}{K_1}$$



Dimensionieren mit Einflussfaktoren

Übung



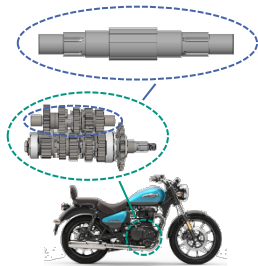
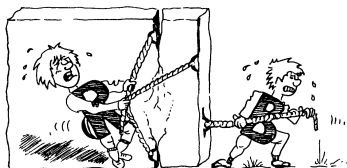
Dimensionieren nach DIN 743



Dimensionierung – Lernziele und Einleitung

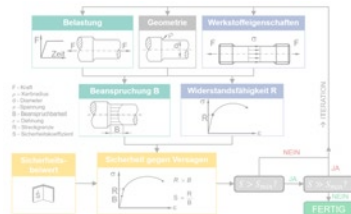
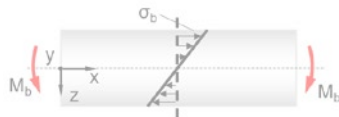
Übersicht Vorlesungen Dimensionierung

Vorlesung 1



Einführung und Grundlagen

Vorlesung 2

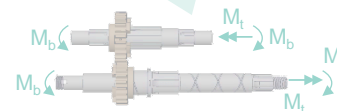


Ermitteln der Grundgrößen der Dimensionierung

Vorlesung 3

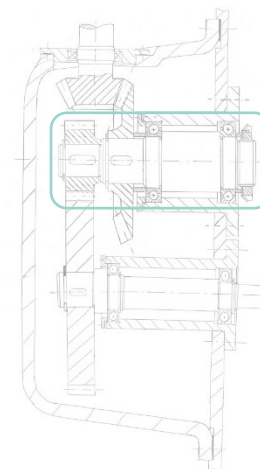


$$K_{\sigma} = \left(\frac{\beta_{\sigma}}{K_2} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_V} \cdot \frac{1}{K_1}$$



Dimensionieren mit Einflussfaktoren

Übung



Dimensionieren nach DIN 743



Lernziele der Vorlesung

Dimensionierung I - Einführung und Grundlagen

Problem

Für eine zielgerichtete Dimensionierung sind geeignete **Grundlagen** und **Definitionen** notwendig.

Ziele

- **Sicherheit** und **Wirtschaftlichkeit** über die **Dimensionierung** in Relation setzen können
- Den Begriff **Versagen** kennen und erklären können
- Die **Grundgrößen** und **Grundgleichung** der Dimensionierung nennen können
- Unterschiedliche **Maßnahmen** zur Erreichung der Mindestsicherheit kennen
- **Sicherheitsfaktoren** definieren und Zahlenwerte für Beispielsysteme zuordnen können
- Den Hintergrund von **Modellierung** in der Dimensionierung kennen und Beispiele nennen können

Fazit

KonstrukteurInnen müssen wissen, warum und wie ein Bauteil oder System **richtig dimensioniert** wird. Innerhalb der gegebenen Definitionen stehen unterschiedliche **Strategien und Methoden** zur Verfügung, um die erforderliche **Mindestsicherheit** zu erreichen.

Dimensionierung – Einführung

Versagen Systeme, kann dies fatale Folgen haben...

■ ICE Unglück nahe Eschede, 03.06.1998

- Monoblockräder wurden durch gummigefederte Räder ersetzt um Vibrationen zu verringern
- Bruch eines gummigefederten Radreifens wegen Materialermüdung
- Folgen: 101 Tote, 105 Verletzte



- Maßnahmen:
Rückkehr zu Monoblockrädern statt gummigefederter Räder, Verbesserung der Wartung (kürzere Intervalle und angepasste Messtechnik), Korrektur von Verschleißgrenzen der Räder, keine Weichen mehr vor Brücken

Kernaussage

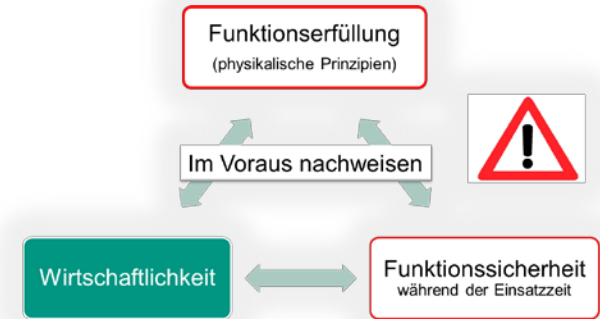
Sind Systeme **nicht ausreichend dimensioniert**, kann dies **fatale Folgen** haben
KonstruktionsingenieurInnen müssen **so dimensionieren**, dass Systeme **nicht versagen**.



Dimensionierung – Einführung

„So sicher wie nötig“ – nicht: „So sicher wie möglich“

- Systeme können **nicht beliebig robust** und **stabil** konstruiert werden, um diese so sicher wie möglich zu gestalten
- Oft existieren Anforderungen, die dem „so sicher wie möglich“ widersprechen:
 - **Wirtschaftlichkeit**
 - Ressourceneffizienz
 - Leichtbau



Dimensionierung ist der Prozess der Festlegung der wirtschaftlich optimalen **Bauteilgestalt**, der **Werkstoffe** und der **Werkstoffbehandlungen** zur **Erfüllung der Funktionssicherheit** im Nutzungszeitraum unter den Randbedingungen des Anwendungsfalles.

Kernaussage

„So sicher wie nötig“ – nicht: „So sicher wie möglich“

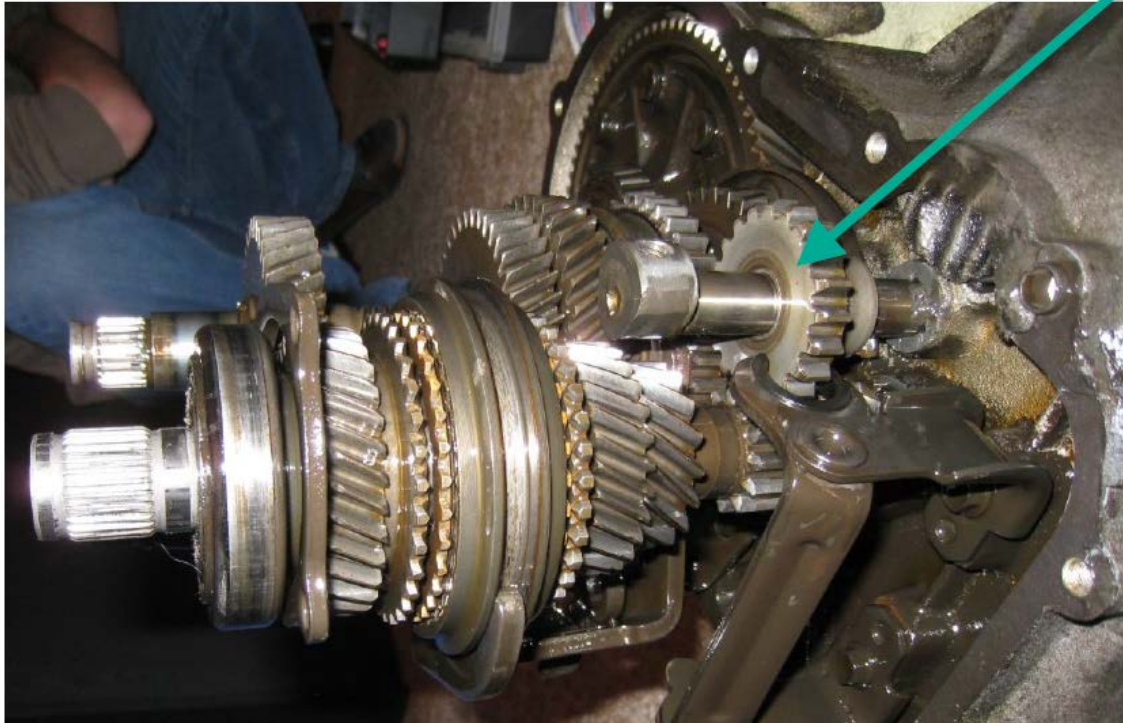
Dimensionierung – Impulsbeispiele

Ist der Seitenschneider “richtig” dimensioniert?



Dimensionierung – Impulsbeispiele

Rückwärtsgang – „So sicher wie nötig“



- Direkte Schaltgabel auf Zahnrad, keine Schaltmuffe
- Keine Synchronisierung, da nur im Stillstand geschaltet wird
- “Gleitlager” direkt auf Achse, keine Nadellager, keine Welle
- Geradverzahnung, keine Schrägverzahnung

Dimensionierung – Impulsbeispiele

Dimensionierung muss im Systemkontext betrachtet werden

- Bolzensetzgerät mit Kunststoffmagazin
- Erste Produktgenerationen zeigen Risse am Ansatz des Magazins
- Lösung besteht aus einem leicht beweglich befestigten Magazin
- Neu eingeführtes Problem: Bolzen im Magazin fallen aus ihrer Halterung

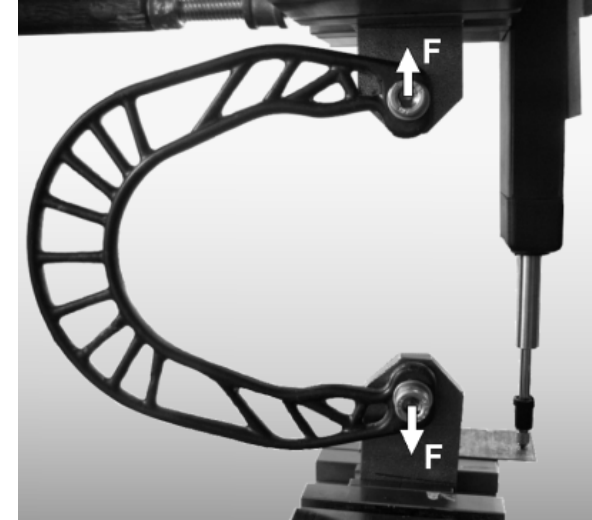


Kernaussage

Bei der Dimensionierung von Komponenten eines Systems müssen alle relevanten Wechselwirkungen der Komponenten berücksichtigt werden

Dimensionierung – Impulsbeispiele

Brake Booster – Faserverbund mit Tailored Fiber Placement



- Die Optimierung der Geometrie mit angepasstem Faserverlauf erhöht die **Steifigkeit** des Brake Boosters, gleichzeitig steigen die **Fertigungskosten** enorm. Dadurch ist der Einsatz des optimierten Brake Booster **nicht bei jedem Fahrrad sinnvoll**.
- In der Dimensionierung müssen stets die jeweiligen **technischen** und **wirtschaftlichen Anforderungen** des Produktprofils berücksichtigt werden

Dimensionierung – Einführung

Erfahrungswissen kann zur ersten Abschätzung genutzt werden

- In vielen Konstruktionen ist vieles zunächst nur **abgeschätzt** auf Basis der gemachten **Erfahrungen**
→ wichtigste Methode in der Praxis
- In der Praxis ist es **nicht möglich**, alle Bauteile **vollständig zu berechnen**. Daher müssen KonstruktionsingenieurInnen **kritische Bauteile identifizieren** und **diese dimensionieren**
- Erfahrung = Summe der gemachten Fehler, nicht der möglichen!
→ **Vorsicht beim Abschätzen!**
- Um das **Risiko von Fehlern zu reduzieren**, versucht man bei neuen Produktgenerationen nah an bereits eingeführten Generationen zu bleiben, um damit **Erfahrungswissen** nutzbar zu machen.
→ Vorsicht: Oft ändern sich **Randbedingungen**, die bei der Dimensionierung berücksichtigt werden müssen



Nutzung von Erfahrungswissen und Referenzen
(z. B. Vorgänger- oder Wettbewerbsprodukte)

Quelle: <https://mbpassion.de/2020/10/mercedes-benz-s-klasse-generation-s/>



Dimensionierung – Einführung

Dimensionierung beginnt mit überschlägiger und analytischer Berechnung

Werkzeuge zur Dimensionierung

Überschlägige Berechnungen:

Werden häufig zur ersten Dimensionierung genutzt.

- Wellendimensionierung
- Schraubendimensionierung
- Dimensionierung von Passungen

Analytische Berechnungen:

Dienen zur Berechnung von Spannungen und Verformungen einzelner Bauteile.

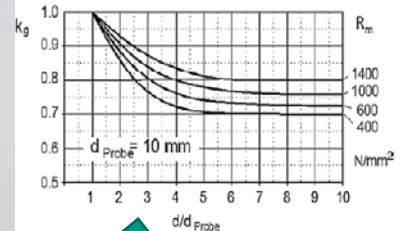
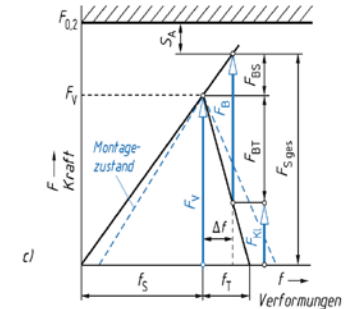
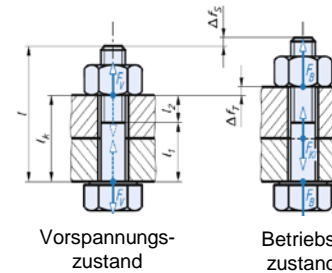
Empirische Untersuchungen/Testing:

Kann zur Berücksichtigung von Einflussgrößen genutzt werden.

- Kerbwirkung
- Oberflächenfaktoren
- Geometrischer Größeneinflussfaktor

Weitere Dimensionierungswerkzeuge:

- Erfahrungswissen und Referenzen
- Rechnergestützte Methoden

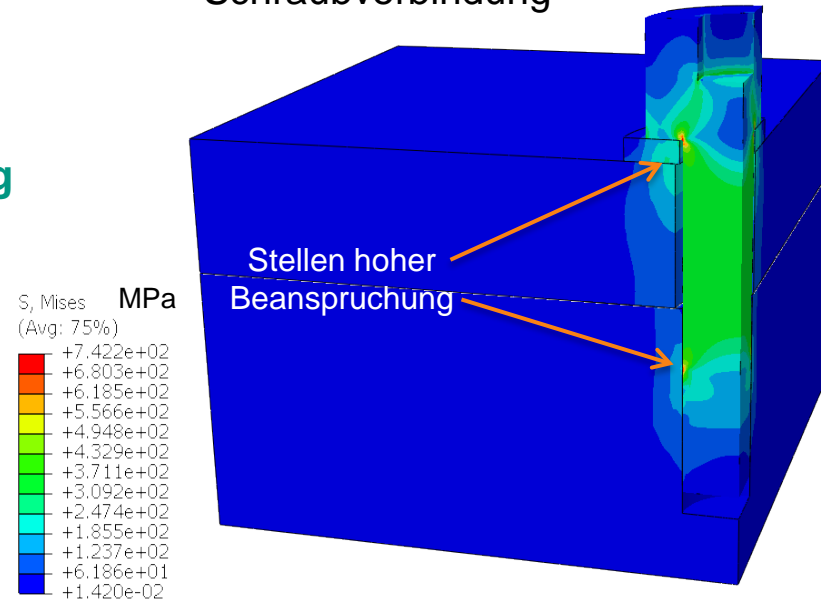


Dimensionierung – Einführung

Einsatz rechnergestützter Methoden sobald ein Modell existiert

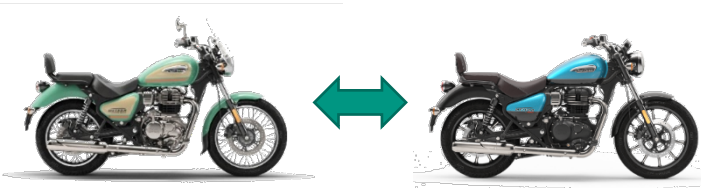
- Sobald ein technisches System als **Modell** abgebildet werden kann (bspw. math. Modell oder als 3D-Modell) können **rechnergestützte Methoden** für die Dimensionierung genutzt werden
- Herausforderungen sind speziell die **Vorbereitung** sowie die **Auswertung**
- Vorteil ist die **Einsatzmöglichkeit** bei nicht-standardisierten Systemen
- Beispiel für eine rechnergestützte Methode ist die Simulation mit der **Finite-Elemente-Methode (FEM)**

Bsp.: FEM-Simulation einer Schraubverbindung

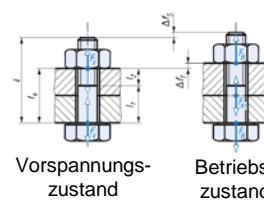


Dimensionierung – Einführung

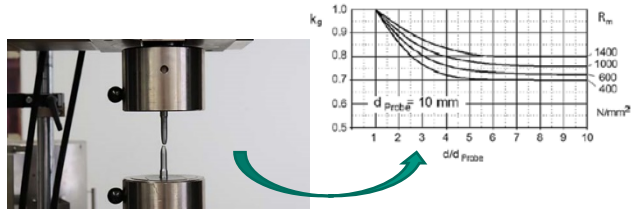
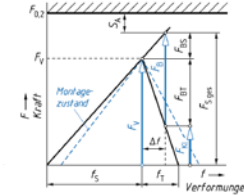
Welches ist das richtige Dimensionierungswerkzeug?



Erfahrungswissen und Referenzen

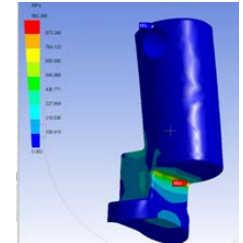


Analytische Methoden und überschlägige Berechnungen
(z.B. Schraubendimensionierung)



<https://www.tuev-nord.de/de/werkstoffpruefung/zerstoernde-werkstoffpruefung/zugversuch/>

Empirische Methoden
(z.B. durch Prüfstände)



Rechnergestützte Methoden
(z.B. FEM-Analyse eines Bauteils)

Kernaussage

Um das zur Problemstellung **passende Werkzeug** der Dimensionierung **auswählen** und **effizient anwenden** zu können, müssen wir zunächst die **Grundlagen der Dimensionierung** verstehen



Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



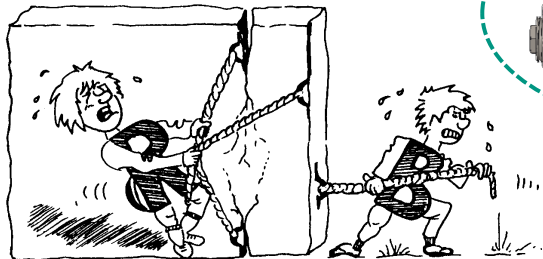
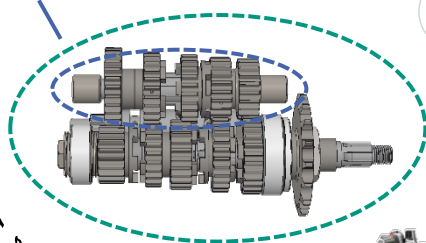
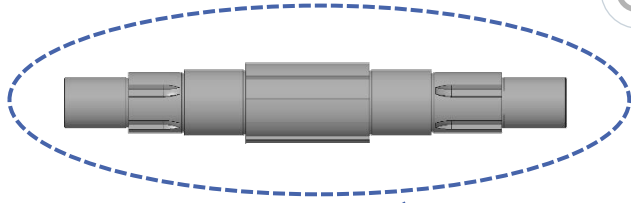
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung



Zusammenfassung



Versagen = Verlust der Funktionsfähigkeit

Verlust der Funktionsfähigkeit kann erfolgen, wenn:

- die Beanspruchung bis zur Beanspruchbarkeit ansteigt oder die Beanspruchbarkeit auf die Größe der Beanspruchung absinkt (**Bruch**)
- eine minimale oder maximal erlaubte **Temperatur** unter- bzw. überschritten wird
- sich ein Bauteil über definierte Grenzen hinaus **verformt** oder **knickt**
- der **Verschleiß** größer als die Verschleißgrenze ist
- **Korrosion** die Funktionsfähigkeit beeinträchtigt



<https://www.sport1.de/news/motorsport/formel1/2020/08/formel-1-pirelli-erklart-defekte-reifen-nach-silverstone-rennen>



Dimensionierung – Versagen

Versagen von Systemen kann auf verschiedene Arten eintreten

■ Mehrere **Versagensarten** aus Sicht der Festigkeitslehre möglich

- Unzulässige Verformung
- Bruch
- Knicken

■ Versagen durch unzulässige Verformung führt tendenziell zu **geringer Gefährdung** durch technische Systeme

- Kann als „**Signalgeber**“ genutzt werden, dass das System nicht mehr sicher ist

■ Bruch und Knicken häufig **spontan** und daher **gefährlicher**

- **Vorstufen** für Versagen sind Anriss, Korrosion/Verschleiß oder plastische Verformung
 - Anrisse werden **teilweise zugelassen** und in der Dimensionierung berücksichtigt, siehe Flugzeugbau



Gebrochener Schalthebel aus Gusseisen



Unzulässige Verformung von Kranhaken



Knicken eines Trägers



Dimensionierung – Versagen

Bruch oder Verformung können gewollt sein...

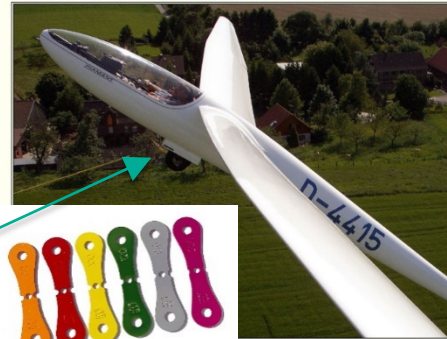
Bruch bedeutet **nicht zwangsläufig** Versagen!

Eine Sollbruchstelle **versagt** dann, wenn sie bei auftretender Überlast **nicht bricht!**



<https://de.wikipedia.org>

Sollbruchstelle



<http://img.fotocommunity.com>

Eine Crashstruktur **versagt** dann, wenn sie sich bei einem Aufprall **nicht verformt!**



Kernaussage

Bruch oder Verformung ist nicht gleichbedeutend mit Versagen, sofern dies zur Funktionserfüllung gehört.

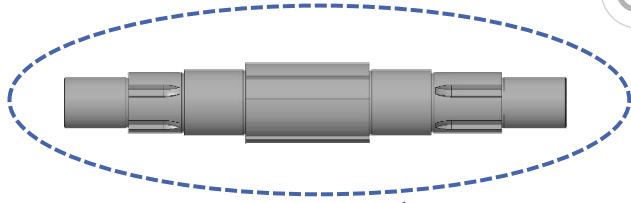


Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



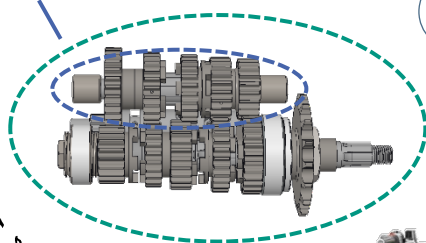
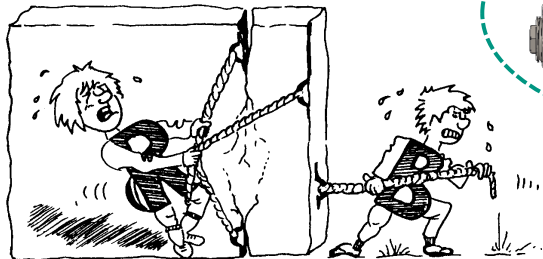
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung

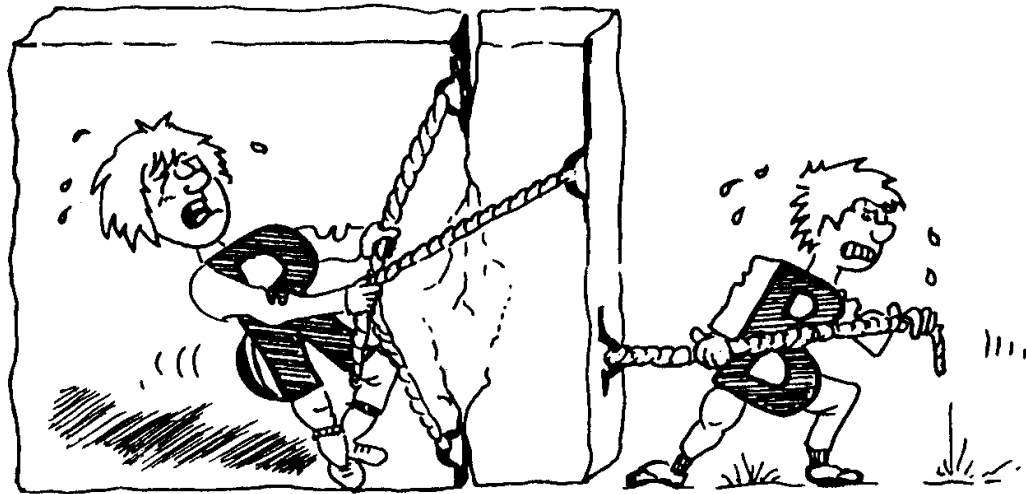


Zusammenfassung



Dimensionierung – Grundgleichung der Dimensionierung

Was sind die Grundgrößen der Dimensionierung?



Beanspruchbarkeit R („Resistance“):
Widerstand gegen die entsprechende
Beanspruchung

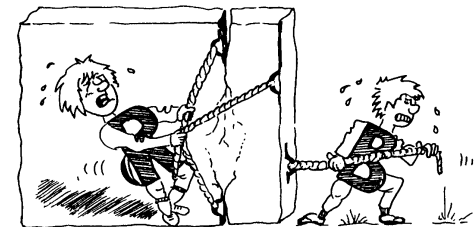
Beanspruchung B :
z. B. Kraft auf eine Fläche /
Flächenpressung

Dimensionierung – Grundgleichung der Dimensionierung

Wie hängen die Grundgrößen der Dimensionierung zusammen?

Grundgleichung der Dimensionierung

$$\frac{R}{B} = S \geq \hat{S}$$



Die **Beanspruchbarkeit** R des Bauteils muss mindestens um den durch die Norm geforderten **Sicherheitsfaktor** \hat{S} größer sein als die im schlimmsten Fall auftretende **Beanspruchung** B .

Kernaussage

$$R \geq \hat{S} \cdot B$$

Legende:

$B []$... Beanspruchung

$R []$... Beanspruchbarkeit

$S []$... Sicherheitsfaktor

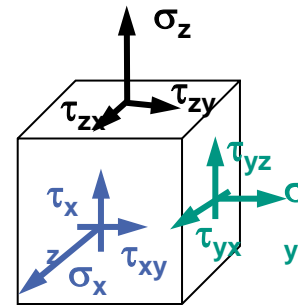
$\hat{S} []$... Geforderter Sicherheitsfaktor



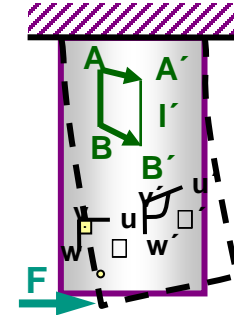
Dimensionierung – Grundgleichung der Dimensionierung

Bekannte Vorkenntnisse aus der Technischen Mechanik ...

- Wichtige Grundlagen für die Dimensionierung zur **Berechnung der Beanspruchung** sind bereits bekannt aus der **Technischen Mechanik**, z.B.
 - Berechnung von **Lagerreaktion** und **inneren Kräften** (Schnittgrößen)
 - **Spannungs-/Verformungszustand** für Grundbelastungsfälle (Zug/Druck, Biegung, Torsion, Querkraftschub)
 - Vergleichsspannungshypothesen
 - Hooke'sches Gesetz
 - Kerbformzahlen bei statischer Beanspruchung



Spannungszustände
(Normalspannung, Schubspannung)

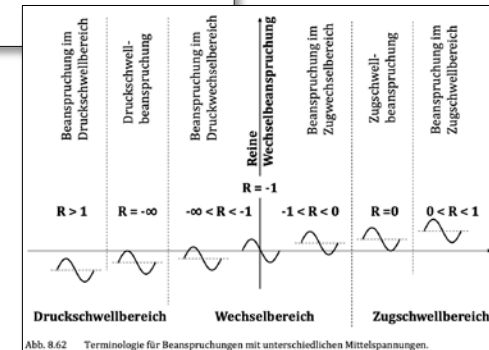
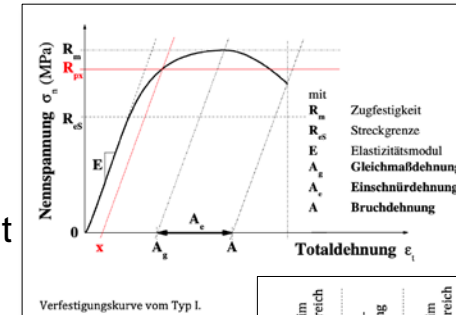


Verformungszustände
(Dehnung, Schiebung)

Dimensionierung – Grundgleichung der Dimensionierung

... und der Werkstoffkunde ...

- Wichtige Grundlagen für die Dimensionierung zur **Berechnung der Beanspruchbarkeiten** sind bekannt aus der **Werkstoffkunde**, z.B.
 - Ermittlung von **Werkstoffkennwerten** zur Beanspruchbarkeit
 - Beschreibung **dynamischer Beanspruchungen** und **Versagensmechanismen**
 - Werkstoffkennwerte für dynamische Beanspruchung
- Auf dieser Grundlage können in der Konstruktion **Werkstoffe** so ausgewählt werden, dass das System **gewünschte Eigenschaften** aufweist

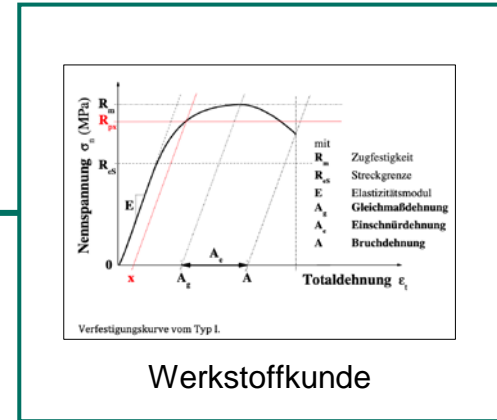
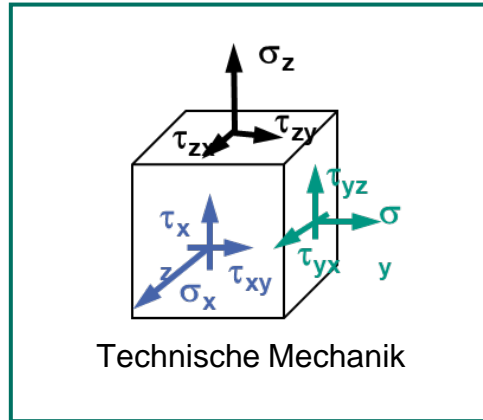


Quelle: WK I-Skript, Stand WS2019/20



Dimensionierung – Grundgleichung der Dimensionierung

... sind die Grundlage für konstruktive Maßnahmen der Dimensionierung



Schwerpunkt MKL

Konstruktive Maßnahmen kennenlernen für den Fall, wenn die Grundgleichung nicht erfüllt ist.

Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



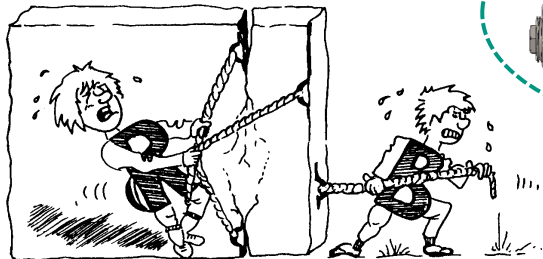
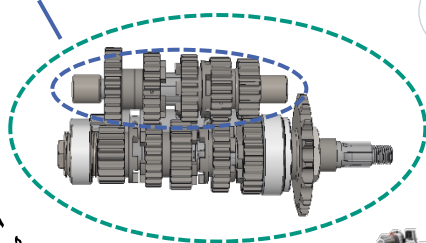
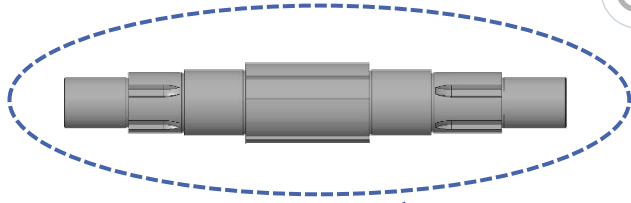
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung



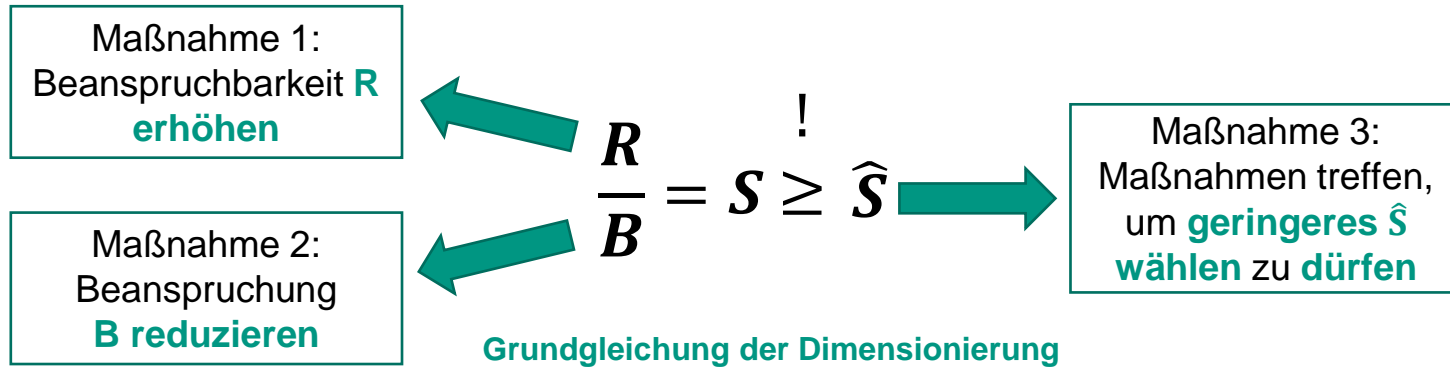
Zusammenfassung



Dimensionierung – Maßnahmen

Maßnahmen, wenn die Mindestsicherheit nicht erreicht wird

„Was, wenn $S \leq \hat{S}$?“



Kernaussage

Die **Wahl einer Maßnahme** zur geeigneten Dimensionierung **hängt von vielen Faktoren ab**, z.B. Wissen, Kostenrahmen, Bauraummöglichkeiten, funktionalen Anforderungen, u. a.

Legende:

B [] ... Beanspruchung

R [] ... Beanspruchbarkeit

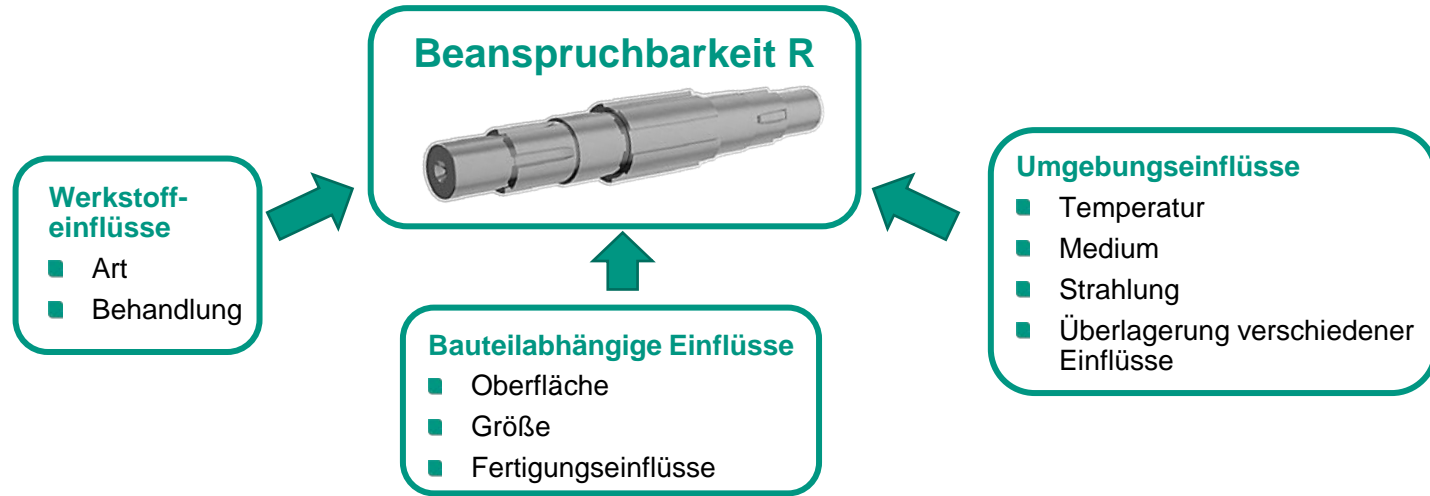
S [] ... Sicherheitsfaktor

\hat{S} [] ... Geforderter Sicherheitsfaktor



Dimensionierung – Maßnahme 1: Beanspruchbarkeit R ▲

Einflüsse auf die Beanspruchbarkeit R



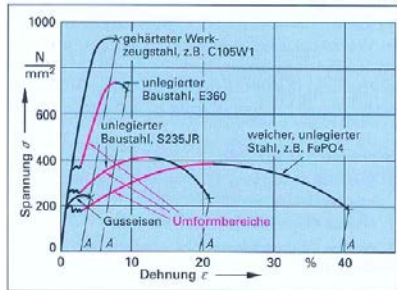
- Um die **Beanspruchbarkeit zu erhöhen**, müssen die Werkstoffeinflüsse, Umgebungseinflüsse und bauteilabhängige Einflüsse auf die Beanspruchbarkeit bekannt sein.



Beispiele für Einflüsse auf die Beanspruchbarkeit:

Werkstoffeinflüsse

- **Wärmebehandlung** beeinflusst u. a. Härte und Festigkeit
- **Faserorientierung** bei Faserverbundwerkstoffen
- Wahl des **Werkstoffs**



Umgebungseinflüsse

- Kontakt mit Meerwasser führt zu **Korrosion**
- **Hohe Temperaturen** reduzieren die Beanspruchbarkeit
- Starke Sonneneinstrahlung (**UV-Strahlung**) kann bei Kunststoffen zu Versprödung führen

Bauteilabhängige Einflüsse

- **Kerben, Bohrungen** und **scharfe Kanten** erhöhen die Spannungskonzentration
- **Oberflächenrauheit** wird bei dynamischer Beanspruchung relevant
- Zunehmende **Bauteilgröße** reduziert die erreichbare Dauerfestigkeit

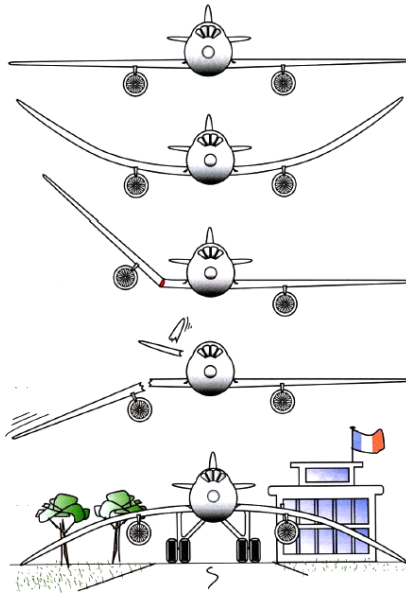
[↑](#) Vorschau auf Dimensionierung 3 [↑](#)



Dimensionierung – Maßnahme 1: Beanspruchbarkeit R ▲

Beispiel Werkstoffauswahl

Werkstoffauswahl



so wie es sein sollte...

keine ausreichende Steifigkeit...
→ E-Modul zu gering (E)

keine ausreichende Festigkeit...
→ Dehngrenze zu gering ($R_{p0,2}$)

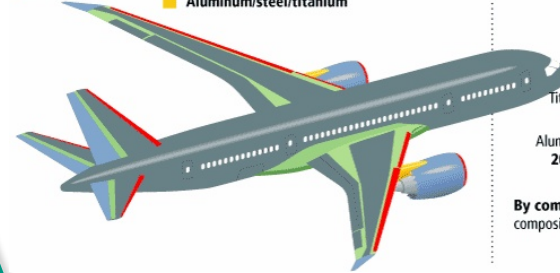
keine ausreichende Zähigkeit...
→ Bruchzähigkeit zu gering (K_{1C})

zu schwer...
→ Dichte zu hoch (ρ)

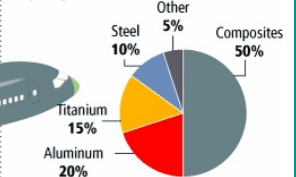


Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



Total materials used
By weight

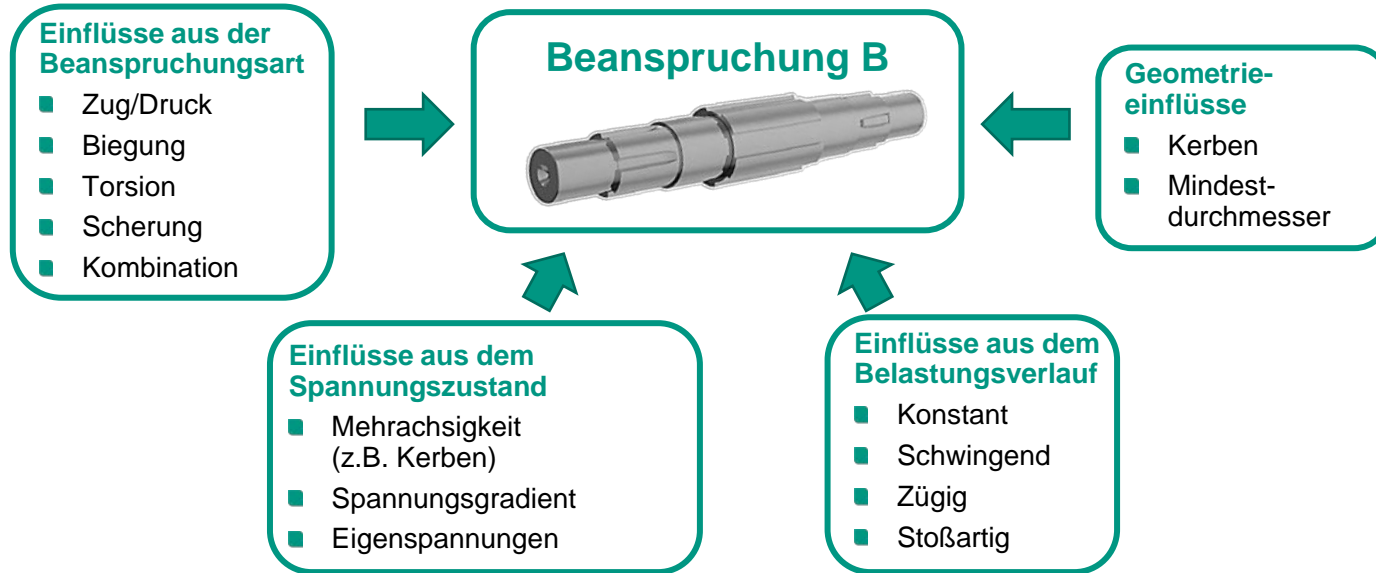


By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

Quelle: nach Ashby, 2006
Quelle: Tanasa F., Zarroaga M., 2013

Dimensionierung – Maßnahme 2: Beanspruchung B ▼

Einflüsse auf die Beanspruchung B



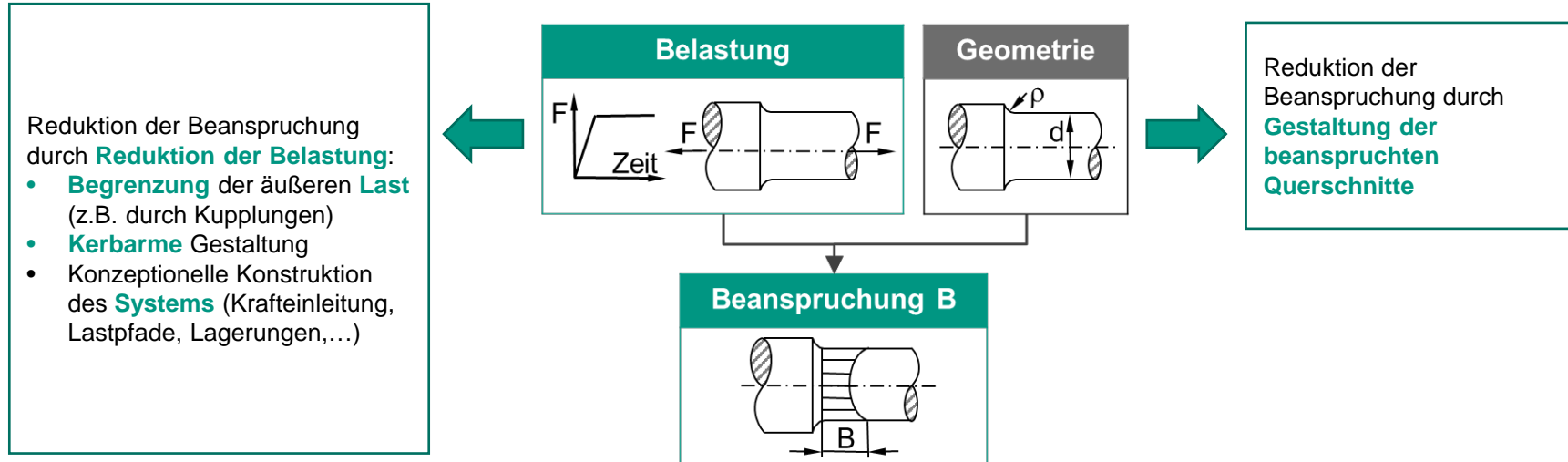
- Um die **Beanspruchung zu reduzieren**, müssen die Einflüsse aus der Beanspruchungsart, dem Spannungszustand, dem Belastungsverlauf und der Geometrie bekannt sein.



Dimensionierung – Maßnahme 2: Beanspruchung B ▼

Wie sich die Beanspruchung B zusammensetzt

- Die Beanspruchung setzt sich zusammen aus der Belastung und der Geometrie:



Dimensionierung – Impulsbeispiele

Kletterkarabiner – Maßnahme 1: Beanspruchbarkeit R ▲



Dimensionierung – Impulsbeispiele

Kletterkarabiner – Maßnahme 1: Beanspruchbarkeit R ▲

	garantierte Betriebskraft		
Masse	↔	↻	↑↓
100g	23 kN ↙ ↘ 1/4	6 kN	7 kN
70g	30 kN ↙ ↘ 1/3	10 kN	10 kN

Leichter
bei größerer
Beanspruchbarkeit ...



... durch clevere
konzeptionelle
Konstruktion!

Dimensionierung – Impulsbeispiele

Kletterkarabiner – Maßnahme 1: Beanspruchbarkeit R ▲



Geschickte Gestaltung verlegt den Kraftangriffspunkt des blauen Karabiners in Richtung des nicht-öffnenbaren Karabinerschenkels.



Beanspruchbarkeit
auf Biegung
(gelber Karabiner)



Beanspruchbarkeit
auf Zug
(blauer Karabiner)



Dimensionierung – Impulsbeispiele

Kletterkarabiner – Maßnahme 1: Beanspruchbarkeit R ▲

	garantierte Betriebskraft		
Masse	←	↻	↓
100g	23 kN $\frac{2}{3}$	6 kN	7 kN
70g	30 kN $\frac{1}{3}$	10 kN	10 kN
50g	25 kN $\frac{2}{3}$ bzw. als $\frac{1}{3}$	9 kN	9 kN

Noch leichter:
Das Verhältnis zwischen
der zulässigen Kraft bei
geschlossenem und
geöffnetem Karabiner
wurde nochmal
verbessert ...



... durch geschickte
Gestaltung des
Querschnittsprofils der
Karabinerschenkel.



Dimensionierung – Impulsbeispiele

Skilift mit Sicherheitskupplung – Maßnahme 2: Beanspruchung B



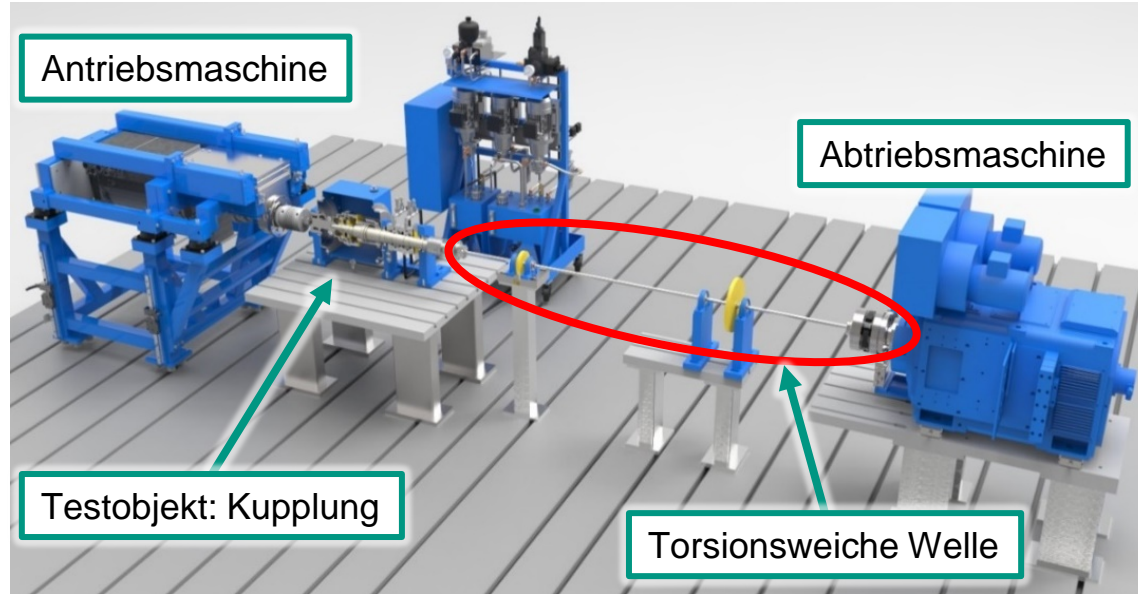
Reduktion der Beanspruchung durch
konzeptionelle Konstruktion:
Einbau einer **Sicherheitskupplung**.

Die **kritische Last** tritt beim **Anfahren** auf. Dort
wird die **Beanspruchung reduziert**, indem beim
Anfahren die **Sicherheitskupplung öffnet**.



Dimensionierung – Impulsbeispiele

Antriebsstrangprüfstand – Maßnahme 2: Beanspruchung B ▼



Reduktion der Beanspruchung
durch konzeptionelle
Konstruktion:
Einsatz einer torsionsweichen
Welle.

Die Beanspruchung der
Kupplung wird reduziert, indem
eine lange, dünne Welle
zwischen Motor und Kupplung
eingesetzt wird, welche die
torsionale Steifigkeit des **realen**
Antriebsstrangs nachbildet.

Dimensionierung – Handlungsstrategien

Maßnahme 3: Reduzierung der gültigen Mindestsicherheit \hat{S}

Anwenden von Prüfverfahren,
wie z. B.:

- Schweißnaht-Prüfung
- Farbeindringverfahren
- Lebensdauerversuche

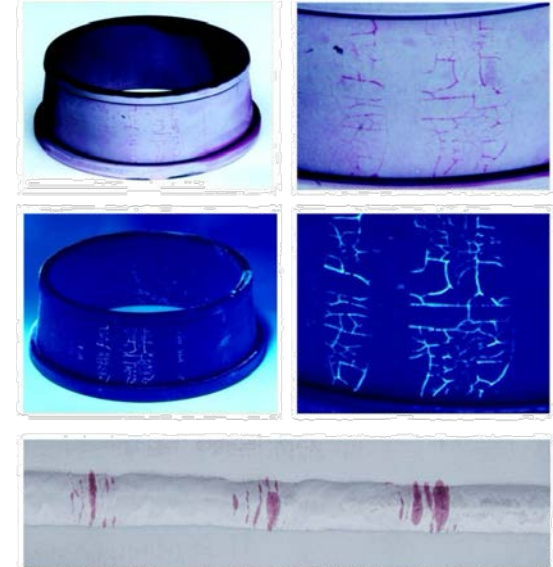


http://www.promicron.de/media/images/fe_029-schweissnaht.jpg

Eine **Erhöhung der Wartungsintervalle** führt zu einer **Reduzierung** der zu wählenden **Mindestsicherheit**.

Bsp. Flugzeug: A-Check nach 400-600 Flugstunden,
entspricht ca. zwei Monaten.

Fehlersichtbarkeit beim Farbeindringverfahren am
Beispiel einer Lagerschale und einer Schweißnaht



https://docplayer.org/docs-images/40/10071032/images/page_4.jpg



Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



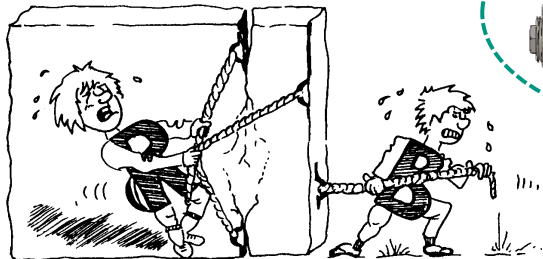
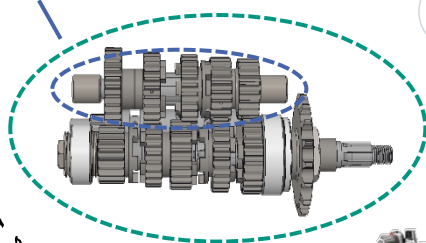
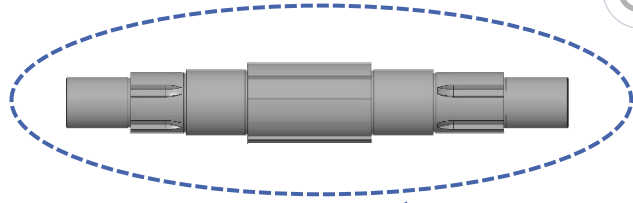
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung



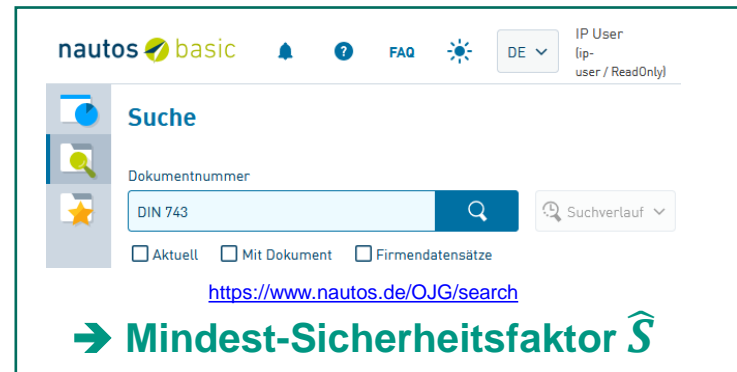
Zusammenfassung



Dimensionierung – Sicherheitsfaktor

Wie wird der geforderte Mindest-Sicherheitsfaktor \hat{S} gewählt?

- Der Wert des Sicherheitsfaktors ist ein **Maß für die Unsicherheit**, die in der Dimensionierung vorliegt.
- Die Festlegung von Sicherheitsfaktoren basiert auf **Erfahrungen**
- Gibt es einen zugänglichen **Stand der Technik** zu den Sicherheitsfaktoren bestimmter technischer Systeme, dann sind diese **rechtlich binden**. Im Schadensfall muss die **Einhaltung der Sicherheitsfaktoren** in der Dimensionierung **nachgewiesen werden können**.
- Zugängliche Quellen für den Stand der Technik für Sicherheitsfaktoren sind **Richtlinien** und **Normen**, z. B. Normen zur Dimensionierung von Aufzügen (siehe nächste Folie), Normen für Druckbehälterbau ...
- Einzuhaltende Sicherheitsfaktoren können auch **von Business-Kunden festgelegt** werden
- Falls es **keine Vorschrift** gibt, muss nach bestem Wissen und Gewissen **im Einzelfall** der Sicherheitsfaktor gewählt werden



The screenshot shows the 'nautos basic' search interface. At the top, there are navigation links for 'Suche', 'Dokumentnummer', and 'Suchverlauf'. A search bar contains the text 'DIN 743'. Below the search bar, there are checkboxes for 'Aktuell', 'Mit Dokument', and 'Firmendatensätze'. A URL is displayed: <https://www.nautos.de/OJG/search>. At the bottom, a large green arrow points to the text 'Mindest-Sicherheitsfaktor \hat{S} '.



Dimensionierung – Sicherheitsfaktor

Beispiele für Sicherheitsfaktoren

■ Aufzüge

- Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Aufzüge für den Personen- und Gütertransport – Teil 20: Personen- und Lastenaufzüge; Deutsche Fassung EN 81-20:2020 (August 2024)
 - Abschnitt 5.3.3.3.2:
Seile, Ketten und Riemen als Tragmittel müssen mit einem **Sicherheitsfaktor** von **mindestens 8** ausgelegt sein.



Aufzug Geb.10.23

■ Seilbahnen

- Sicherheitsanforderungen an Seilbahnen für die Personenbeförderung – Seile; Deutsche Fassung EN 12927:2019 (August 2024)
 - Tragseil: In Betrieb unter normalen Bedingungen: **3,15**
 - Spannseil: In Betrieb unter normalen Bedingungen: **5,00**



Wenn der Sicherheitsfaktor **nicht durch Vorschriften** festgelegt ist, muss dieser **einzelfallabhängig** festgelegt werden.

Checkliste zur Bestimmung der erforderlichen Sicherheit:

1. Welche **Folgen** hat das Versagen des Bauteils?
2. Wie genau sind die **Kräfte** bekannt?
3. Wie präzise sind die **Rechenverfahren**?
4. Was ist über die **Werkstoffkennwerte** bekannt?
 - Streuung?
 - Garantie von Mindestwerten?
 - Werkstoff-/Abnahmezeugnis?
 - Innere Spannungen?
 - Kurz- oder Langzeitversuch?
 - Verformungsverhalten (Bruchdehnung)?
5. Werkstoff- oder Halbzeug**eingangskontrolle**
 - z.B. mit Röntgen, Ultraschall



Dimensionierung – Sicherheitsfaktor

Checkliste zur Festlegung von Sicherheitsfaktoren im Einzelfall

6. Fertigungskontrolle
 - Schweißnahtprüfung (Röntgen)
 - Wärmebehandlung (Temperaturaufzeichnung)
 - Mechanische Bearbeitung
 - Oberflächengüte
7. Montagekontrolle
8. Druckprüfung (Dehnungsmessstreifen)
9. Besteht **Korrosionsgefahr** oder gibt es einen **Korrosionsschutz**?
10. Ist **Fehlbedienung im Betrieb** möglich?
11. Herrscht evtl. eine **Andere Beanspruchung** im Betrieb **als in der Rechnung** zugrunde gelegt?
12. Gibt es **Sicherheitseinrichtungen** zur **Last-** oder **Temperaturbegrenzung**?
13. Gibt es **Wärmespannungen** im Betrieb?



Dimensionierung – Sicherheitsfaktor

Berücksichtigung verschiedener Einflüsse in der Sicherheit

Sicherheitsfaktoren aus verschiedenen Anforderungen, Belastungen und Einflüssen lassen sich durch **Multiplikation** in einem **Gesamt-Sicherheitsfaktor** zusammenfassen.

Der **Einfluss einzelner Unsicherheiten** kann durch **Multiplikation** der zugeordneten **Sicherheitsbeiwerte** berücksichtigt werden.

Dies macht den Dimensionierungsprozess transparenter.

$$S = S_{\min} \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n$$

Beispiele für Sicherheitsbeiwerte:

S₁ - Unsicherheit von Lastannahmen

S₂ - Streuung von Werkstoffkennwerten

S₃ - Sicherheitsanforderung aus Maschineneinsatz
(z. B. Gefährdung von Personen)

... - ...

Legende:

S_{\min} [] ... Minimal geforderter Sicherheitsfaktor

S_n [] ... Sicherheitsbeiwert

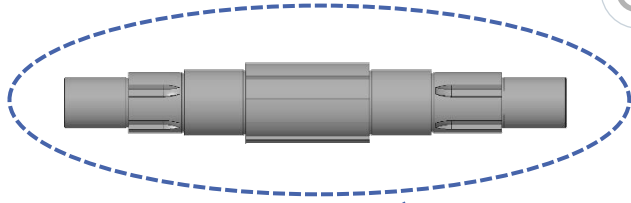


Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



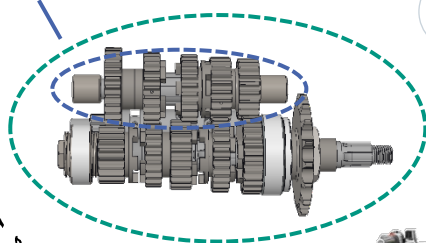
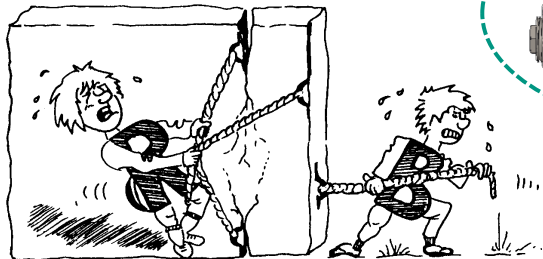
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung



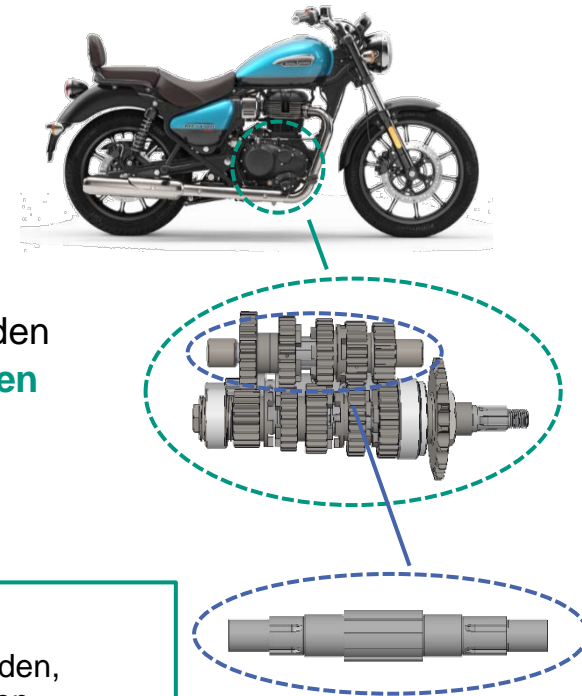
Zusammenfassung



Dimensionierung – Modellierung

Zunächst muss analysiert und modelliert werden

- Je nach **Reifegrad** der Entwicklung sowie nach **Teilsystem** kann und muss eine **unterschiedliche Modellierung** gewählt werden
 - Wenn zu Beginn noch nicht alle Daten vorhanden sind, muss eine Welle **überschlägig dimensioniert** werden
 - Ist das System ausgearbeitet, sprich **alle Daten vorhanden**, so kann die Sicherheit der zuvor entwickelten Welle **im Detail berechnet** werden
 - Eine funktionskritisches Bauteil hat **höhere Sicherheitsanforderungen** an die Dimensionierung als ein unkritisches Bauteil
- In einem Gesamtsystem muss nicht jede **einzelne Komponente** dimensioniert werden



Kernaussage

Wenn ein **Gesamtsystem** dimensioniert werden muss, dann kann es mit dem „**Divide and Conquer**“-Prinzip handhabbar gemacht werden, weil dadurch die einzelnen Dimensionierungsaufgaben **überschaubarer** werden.



Dimensionierung – Modellierung

Warum unterschiedliche Modellierung?

- **Nicht jede Komponente** kann mit analytischen Methoden oder überschlägigen Berechnungen dimensioniert werden
- Wenn die **Anforderungen** an die Dimensionierung hoch sind, muss ggf. eine **detailliertere Methode**, wie bspw. die FEM herangezogen werden

Modellierung:



Reale Geometrie:



Kernaussage

Wenn das **reale System** zu stark **von den Annahmen** der analytischen Methoden **abweicht**, dann muss eine **genauere Dimensionierung** durchgeführt werden, weil sonst der Fehler zu groß wird.



Dimensionierung – Modellierung

Beispiel: Überschlägige Wellendimensionierung

- Zu Beginn der Konstruktion einer Welle kann zunächst der **Mindestdurchmesser überschlägig** berechnet werden, da Lagerabstände oder Kräfteinleitungsstellen noch **unbekannt** sind
- Aus der Berechnung der **maximalen Biegespannung** folgt die überschlägige Berechnung des Mindestdurchmessers für biegebelastete Wellen:

$$\sigma_{b \max} = \frac{M_b \max}{W_b} \leq \sigma_{b \text{ zul}}$$



$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_b}{\pi \cdot \sigma_{b \text{ zul}}}}$$

- Dies gilt analog für torsionsbeanspruchte Wellen:

$$\tau_{t \max} = \frac{T_{\max}}{W_p} \leq \tau_{t \text{ zul}}$$



$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \tau_{t \text{ zul}}}}$$

Legende:

d [mm] ... Durchmesser

M_b [Nm] ... Biegemoment

$M_b \max$ [Nm] ... maximales Biegemoment

T [Nm] ... Torsionsmoment

T_{\max} [Nm] ... maximales Torsionsmoment

W_b [mm³] ... Biege Widerstandsmoment

W_p [mm³] ... polares Widerstandsmoment

$\sigma_{b \max}$ [MPa] ... maximale Biegespannung

$\sigma_{b \text{ zul}}$ [MPa] ... zulässige Biegespannung

$\tau_{t \max}$ [Mpa] ... maximale Schubspannung

$\tau_{t \text{ zul}}$ [Mpa] ... zulässige Schubspannung

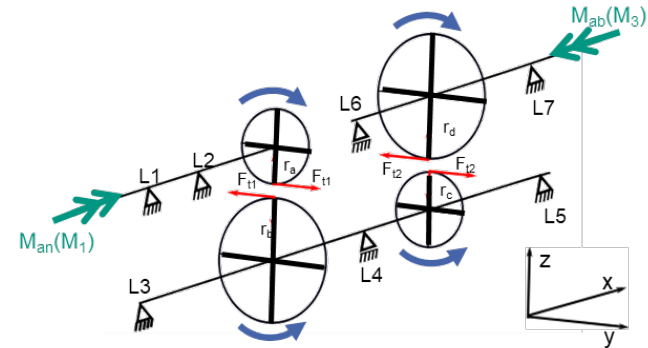
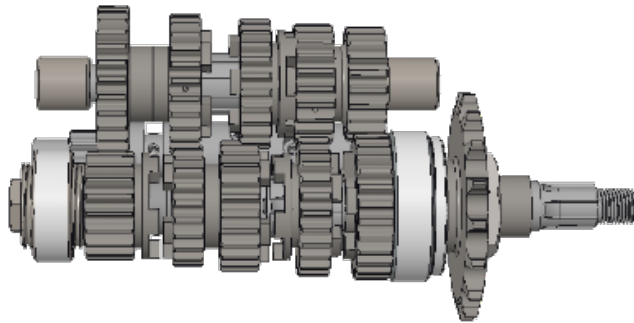
- Mit Hilfe des Ergebnisses der überschlägigen Dimensionierung kann anschließend ein erstes Konzept der Welle entwickelt werden



Dimensionierung – Modellierung

Freischnitt der Welle zur Berechnung der Lagerkräfte

- Besteht ein Entwurf bzw. eine Konstruktion lässt sich anhand einer Vereinfachung des **Getriebesystems** ein **Freischnitt** erstellen
- Aus dem Freischnitt lassen sich anschließend die **Lagerkräfte** berechnen, welche für die Berechnung von **Spannungen** und somit in der **Auslegung** der einzelnen Welle benötigt werden



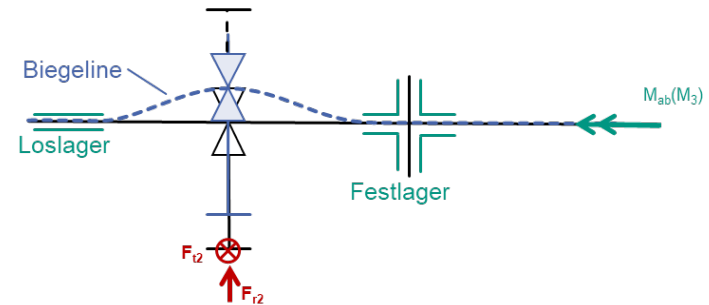
Vgl.: Vorlesung MKL B - Getriebe



Dimensionierung – Modellierung

Berechnung der Beanspruchung durch Biegung und Torsion

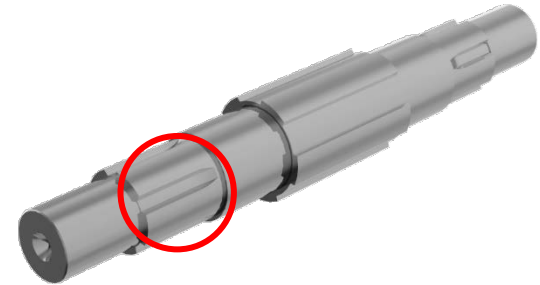
- Mit Hilfe der zuvor berechneten Lagerkräfte kann im Anschluss die **Beanspruchung** der Welle in Folge von Biegung und Torsion berechnet werden (vgl. MKL B – Getriebe)
- Auf Basis der **Grundgleichung der Dimensionierung** kann die Sicherheit der Welle gegen Versagen ermittelt werden
- Sind die Spannungen im Vergleich zur Beanspruchbarkeit **zu hoch**, muss die **Gestalt** der Welle angepasst werden



Vgl.: Vorlesung MKL B - Getriebe



- Soll eine **konzipierte Welle** dimensioniert werden, welche eine oder mehrere **Kerben** aufweist so muss dies in der **analytischen Berechnung** berücksichtigt werden
- Hierfür stehen **empirische Werte** zur Verfügung
 - Kerbformzahl α_k
 - Kerbwirkungszahl β_k
- Diese Faktoren können bei der Berechnung der maximalen Spannung zur **Ermittlung des Sicherheitsfaktors** genutzt werden
- So berechnet sich die maximale Spannung σ_{max} an der gekerbten Stelle durch:



$$\sigma_{max} = \alpha_k \cdot \sigma_{nenn}$$

Legende:

α_k [] ... Kerbformzahl

σ_{nenn} [MPa] ... Nennspannung

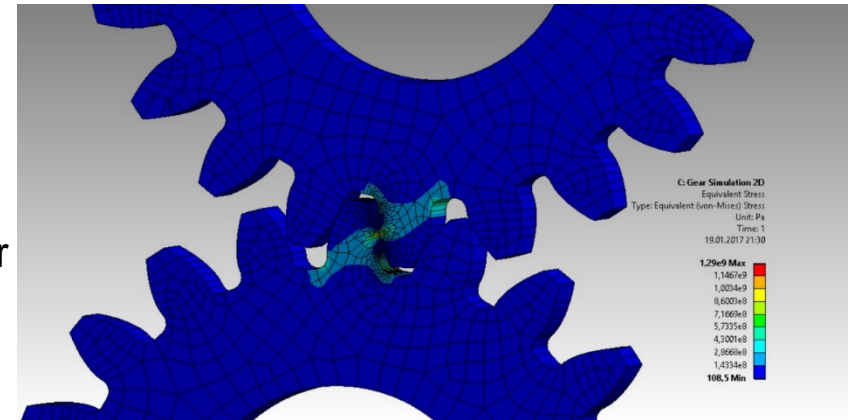
σ_{max} [MPa] ... maximale Spannung



Dimensionierung – Modellierung

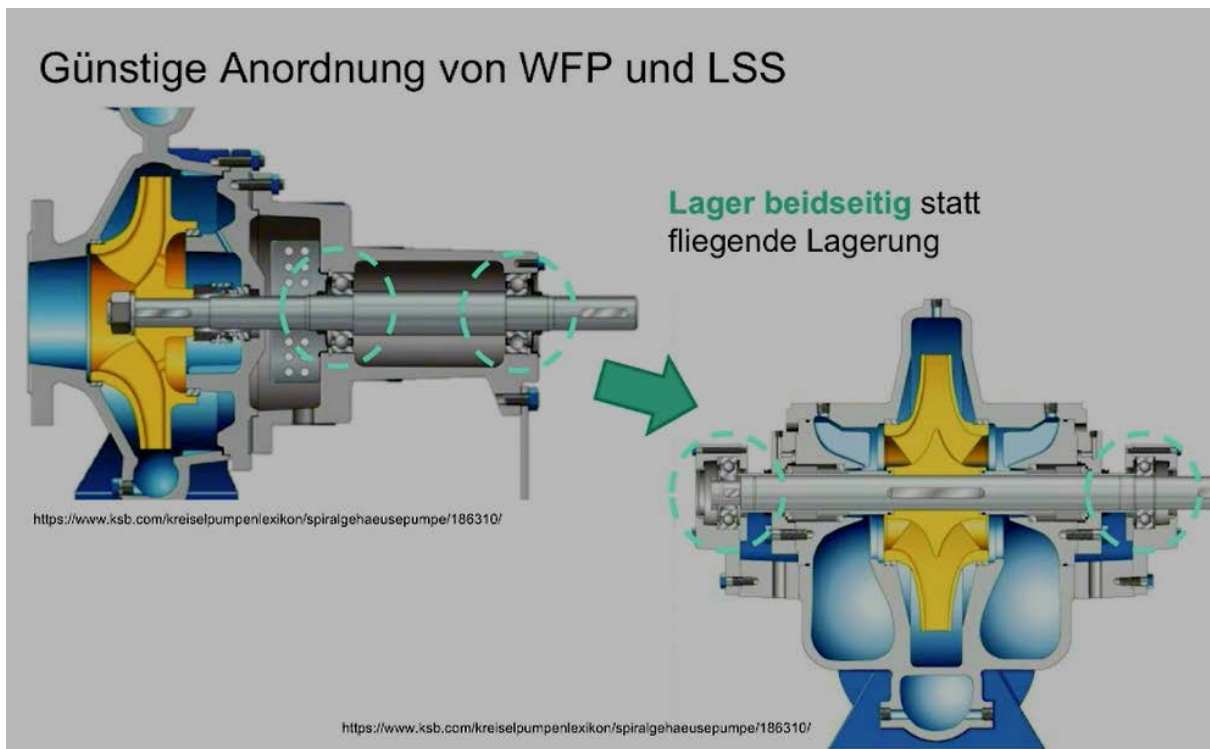
Beispiel: Zahnrad/Getriebestufe

- Eine analytische Berechnung von Spannungen in den **Flanken der Zahnräder** einer Getriebestufe würde einen sehr hohen Aufwand bedeuten
- Ist die Konstruktion des Getriebes bereits fortgeschritten und es wurde bereits ein digitales Modell erstellt, können stattdessen **rechnergestützte Methoden** zur Berechnung der Beanspruchung eingesetzt werden
- So können Belastungen mit Hilfe von Kontakten, Flächenlasten oder Punktlasten definiert werden
- Durch eine FEM-Simulation können u.a. **Spannungsverteilungen**, **Verschiebungen** oder **kritische Stellen** ermittelt und bewertet werden



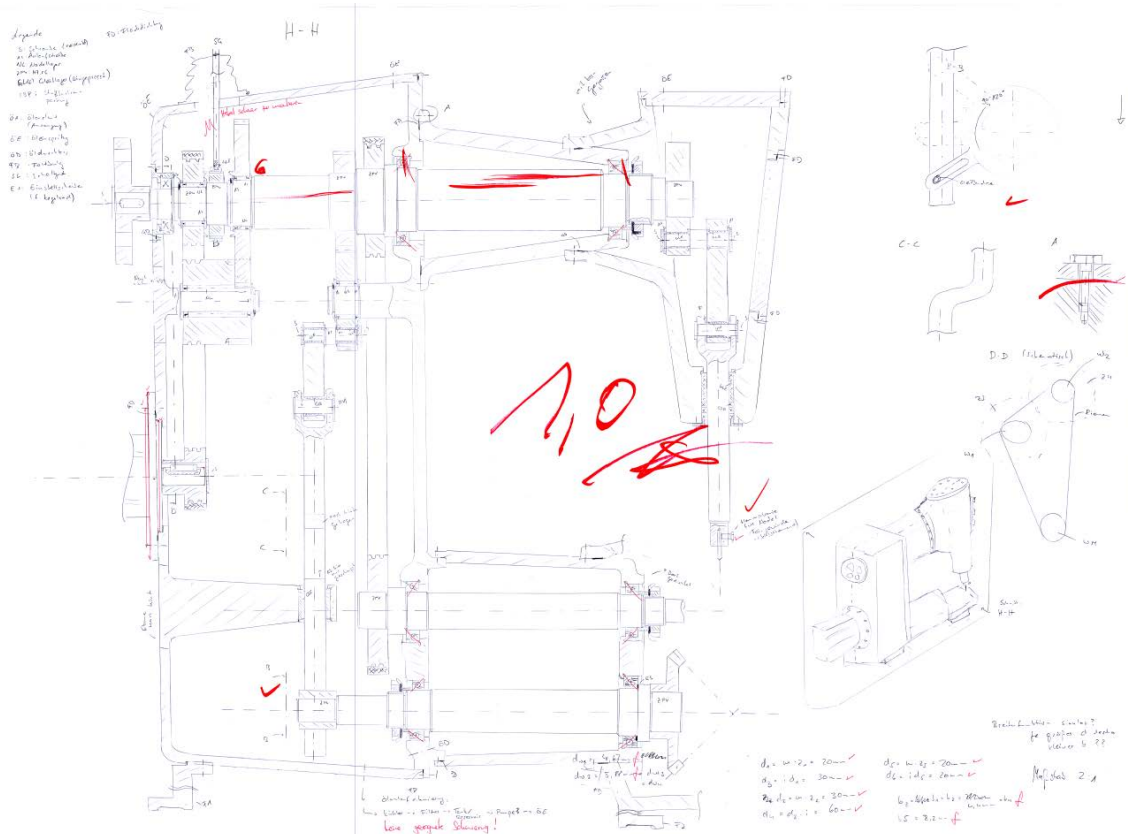
Dimensionierung – Impulsbeispiele

Lageranordnung Pumpe



Dimensionierung – Impulsbeispiele

Klausur Nähmaschine

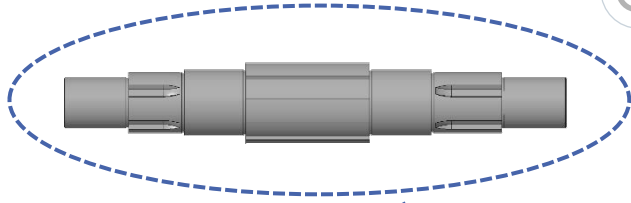


Maschinenkonstruktionslehre C – Dimensionierung I

Inhaltsverzeichnis



Einführung Dimensionierung & Lernziele



Versagen



Grundgleichung der Dimensionierung



Maßnahmen



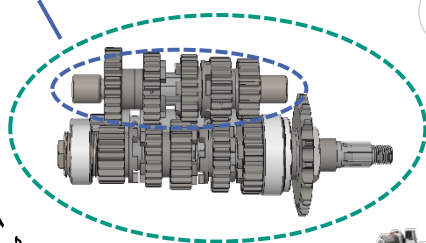
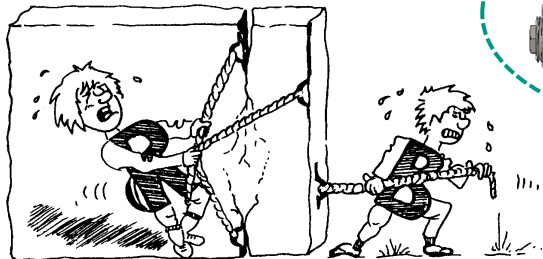
Sicherheitsfaktor



Modellierung in der Dimensionierung



Zusammenfassung



Lernziele der Vorlesung

Dimensionierung I - Einführung und Grundlagen

Problem

Für eine zielgerichtete Dimensionierung sind geeignete **Grundlagen** und **Definitionen** notwendig.

Ziele

- **Sicherheit** und **Wirtschaftlichkeit** über die **Dimensionierung** in Relation setzen können **F8**
- Den Begriff **Versagen** kennen und erklären können **F18+20**
- Die **Grundgrößen** und **Grundgleichung** der Dimensionierung nennen können **F24+25**
- Unterschiedliche **Maßnahmen** zur Erreichung der Mindestsicherheit kennen **F28**
- **Sicherheitsfaktoren** definieren und Zahlenwerte für Beispielsysteme zuordnen können **F42+43**
- Den Hintergrund von **Modellierung** in der Dimensionierung kennen und Beispiele nennen können **F48ff.**

Fazit

KonstrukteurInnen müssen wissen, warum und wie ein Bauteil oder System **richtig dimensioniert** wird. Innerhalb der gegebenen Definitionen stehen unterschiedliche **Strategien** und **Methoden** zur Verfügung, um die erforderliche **Mindestsicherheit** zu erreichen.