



# Feinwerkmechaniker

## Unterrichtsplanung für Meisterkurs

## Inhaltsverzeichnis

### Organisatorisches

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| <b>Unterrichtsplan.....</b>       | <b>3</b> |
| Inhalte.....                      |          |
| Erstellen eines Klassenfotos..... |          |
| BAFöG-Anträge.....                |          |

### Prüftechnik

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| <b>Einteilung der Prüfverfahren.....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>Übersicht über die Prüfmittel.....</b>  | <b>4</b>  |
| Messgeräte.....                            |           |
| Hilfsmittel.....                           |           |
| Lehren.....                                |           |
| Prüftätigkeiten.....                       |           |
| Messen.....                                |           |
| Lehren.....                                |           |
| Merkmale.....                              |           |
| <b>Messabweichungen.....</b>               | <b>5</b>  |
| systematische Abweichung F.....            |           |
| Messunsicherheit u.....                    |           |
| vollständiges Messergebnis.....            |           |
| <b>Messtechnische Regeln.....</b>          | <b>6</b>  |
| Bezugstemperatur.....                      |           |
| Prüfkraft.....                             |           |
| Messtechnischer Grundsatz.....             |           |
| Günstigste Punkte.....                     |           |
| Goldene Regel der Messtechnik.....         |           |
| Verteilung der Messwerte.....              |           |
| Messunsicherheit u.....                    |           |
| Verhältnis zu Werkstücktoleranz.....       |           |
| <b>Umkehrspanne = Hysterese.....</b>       | <b>6</b>  |
| <b>Messgeräte.....</b>                     | <b>7</b>  |
| Bauarten.....                              |           |
| Messschieber.....                          |           |
| Messschrauben.....                         |           |
| Messuhr.....                               |           |
| Fühlhebelmessgeräte.....                   |           |
| Feinzeiger.....                            |           |
| Einsatz nach Toleranz.....                 |           |
| <b>Messanordnungen.....</b>                | <b>8</b>  |
| Einzelmessung.....                         |           |
| Summenmessung.....                         |           |
| Differenzmessung.....                      |           |
| Vergleichsmessung.....                     |           |
| <b>Endmaße.....</b>                        | <b>9</b>  |
| Übersicht.....                             |           |
| DIN 861 / 01.80 (Parallelendmaße).....     |           |
| Parallelendmaße.....                       |           |
| Stufenendmaß.....                          |           |
| Winkelendmaße.....                         |           |
| Pyramidalabweichung.....                   |           |
| Anwendungen.....                           |           |
| Zylinderendmaße.....                       |           |
| Kugelendmaße.....                          |           |
| Berechnung von Kontrollmaßen.....          |           |
| <b>Lehren.....</b>                         | <b>12</b> |
| Einteilung.....                            |           |
| Einsatz bei steigender Abnutzung.....      |           |
| Taylor'scher Grundsatz.....                |           |
| Vergleich von Lehren und Messgeräten.....  |           |
| <b>andere Maßverkörperungen.....</b>       | <b>13</b> |
| Strichmaßstäbe DIN 2268.....               |           |
| Lichtwellenlänge.....                      |           |
| mechanische Teilungen.....                 |           |
| Verkörperungen von Geraden und Ebenen..... |           |
| <b>Elektrische Längenmessung.....</b>      | <b>14</b> |
| Analoge Erfassung.....                     |           |
| Wegaufnahme.....                           |           |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| Messeinrichtung.....                     |           |
| Merkmale.....                            |           |
| Berührender induktiver Messtaster.....   |           |
| berührungslos.....                       |           |
| Digitale Erfassung.....                  |           |
| Grundlagen.....                          |           |
| Anwendung.....                           |           |
| Messeinrichtung.....                     |           |
| Datenübertragung.....                    |           |
| Anzeige der Werte.....                   |           |
| analog.....                              |           |
| digital.....                             |           |
| elektronische Weiterverarbeitung.....    |           |
| Messeinrichtungen.....                   |           |
| <b>Optische Längenmesstechnik.....</b>   | <b>15</b> |
| Vergrößerung durch Linsen.....           |           |
| Wirkungsweise einer Lupe.....            |           |
| Wirkungsweise eines Messmikroskops.....  |           |
| Gewindeprüfung mit dem Mikroskop.....    |           |
| Feinmessokular, Okularmessschraube.....  |           |
| optische Messgeräte.....                 |           |
| Kollimator.....                          |           |
| <b>Pneumatisches Messen.....</b>         | <b>18</b> |
| Messprinzip.....                         |           |
| Einfluss der Oberfläche.....             |           |
| Berührungslose Messwertaufnehmer.....    |           |
| Berührende Messwertaufnehmer.....        |           |
| Druckbereiche.....                       |           |
| Messverfahren.....                       |           |
| Druckmessverfahren.....                  |           |
| Durchflussmessverfahren.....             |           |
| Geschwindigkeitsmessverfahren.....       |           |
| Messanordnung.....                       |           |
| Summenmessung.....                       |           |
| Differenz(druck-)messung.....            |           |
| Anwendungen und Beispiele.....           |           |
| Durchmesser.....                         |           |
| Kegel (Kegeldüsenmessdorn).....          |           |
| Paarung.....                             |           |
| Höhen.....                               |           |
| Rechtwinkligkeit.....                    |           |
| Geradheit.....                           |           |
| Parallelität.....                        |           |
| Fluchtung.....                           |           |
| Achsenabstand.....                       |           |
| Dicke.....                               |           |
| Merkmale pneumatischen Messens.....      |           |
| Kenngrößen pneumatischer Messgeräte..... |           |
| <b>Prüfung runder Formen.....</b>        | <b>20</b> |
| Rundheit.....                            |           |
| Rundheit, Koaxialität.....               |           |
| <b>Prüfung von Kegeln.....</b>           | <b>20</b> |
| Prüfgrößen.....                          |           |
| Prinzipielle Prüfverfahren.....          |           |
| Messen.....                              |           |
| Lehren.....                              |           |
| <b>Prüfung von Verzahnungen.....</b>     | <b>20</b> |
| <b>Toleranzen usw.</b>                   |           |
| <b>Toleranzen.....</b>                   | <b>21</b> |
| Zweck.....                               |           |
| Begriffe.....                            |           |
| Formeln.....                             |           |
| Toleranzangaben.....                     |           |
| Abmaßtolerierung.....                    |           |
| Allgemeintoleranzen.....                 |           |
| ISO-Toleranzsystem.....                  |           |
| Auswahl von Toleranzen.....              |           |
| <b>Passungen.....</b>                    | <b>23</b> |
| Aufgaben.....                            |           |

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| Begriffe.....                                                 |           |
| Höchstpassung.....                                            |           |
| Mindestpassung.....                                           |           |
| Passungsarten.....                                            |           |
| Spielpassung.....                                             |           |
| Übergangspassung.....                                         |           |
| Übermaßpassung.....                                           |           |
| Passungssysteme.....                                          |           |
| Einheitsbohrung H.....                                        |           |
| Einheitswelle h.....                                          |           |
| bevorzugte Toleranzen.....                                    |           |
| <b>Passungsauswahl.....</b>                                   | <b>24</b> |
| Tab B „Passungsauswahl“.....                                  |           |
| Passungsauswahl bei Wälzlager (radial).....                   |           |
| Umfangslast.....                                              |           |
| Punktlast.....                                                |           |
| Fest- und Loslager.....                                       |           |
| <b>Oberflächen.....</b>                                       | <b>25</b> |
| Wirkung auf.....                                              |           |
| Tastschnittverfahren.....                                     |           |
| Gestaltabweichungen.....                                      |           |
| Grenzwellenlänge $\lambda_c$ (Cut-Off).....                   |           |
| Oberflächenkenngrößen.....                                    |           |
| Rautiefe $R_a$ .....                                          |           |
| Maximale Rautiefe $R_{max}$ .....                             |           |
| Gemittelte Rautiefe $R_z$ .....                               |           |
| Arithmetischer Mittenrauwert $R_a$ .....                      |           |
| Vergleich $R_a \leftrightarrow R_z$ .....                     |           |
| Glättungstiefe $R_p$ .....                                    |           |
| mittlere Glättungstiefe $R_{pm}$ .....                        |           |
| Materialanteile $t_p$ .....                                   |           |
| Abbott-Kurve (Materialanteilkurve).....                       |           |
| Zusammenhang zw. den Kennwerten.....                          |           |
| Oberflächenprüfverfahren.....                                 |           |
| Erreichbare Rauheit bei der Fertigung.....                    |           |
| Einflüsse auf die Oberflächengüte.....                        |           |
| <b>Form- und Lagetoleranzen.....</b>                          | <b>29</b> |
| Formtoleranzen.....                                           |           |
| Minimum-Prinzip.....                                          |           |
| Geradheit, Ebenheit.....                                      |           |
| Neigung.....                                                  |           |
| Rundheit, Zylinderform.....                                   |           |
| Lagetoleranzen.....                                           |           |
| Richtungstoleranzen, Ortstoleranzen, Lauf-<br>toleranzen..... |           |
| Parallelität.....                                             |           |
| Winkelprüfung.....                                            |           |
| Konzentrität.....                                             |           |
| Koaxialität.....                                              |           |
| Koaxialität / Konzentrität.....                               |           |
| Rundlauf.....                                                 |           |
| Planlauf.....                                                 |           |
| Prüfung.....                                                  |           |
| Lehren.....                                                   |           |
| Zylinderformprüfgeräte.....                                   |           |
| Koordinatenmessgeräte.....                                    |           |
| Allgemeintoleranzen.....                                      |           |
| <b>Qualitätsmanagement</b>                                    |           |
| <b>Der Begriff „Qualität“.....</b>                            | <b>31</b> |
| Wozu benötigt man QM?.....                                    |           |
| grafische Darstellung.....                                    |           |
| Kernaussagen.....                                             |           |
| Definition (für QM).....                                      |           |
| Kriterien des Kunden für Qualität.....                        |           |
| Folgen mangelnder Qualität.....                               |           |
| Warum wollen Unternehmen Qualität?.....                       |           |
| Qualitätsziele für Ihr Unternehmen.....                       |           |
| <b>Kontinuierlicher Verbesserungsprozess<br/>KVP.....</b>     | <b>33</b> |



|                                                                  |  |
|------------------------------------------------------------------|--|
| PDCA-Zyklus.....                                                 |  |
| Plan.....                                                        |  |
| Do.....                                                          |  |
| Check.....                                                       |  |
| Act.....                                                         |  |
| grafische Darstellung des KVP.....                               |  |
| Spirale statt Kreis.....                                         |  |
| Multi-Loop.....                                                  |  |
| abgewinkelte Spirale mit Keilen.....                             |  |
| <b>Qualitäts(management)normen.....34</b>                        |  |
| DIN EN ISO 9000:1994 ff (veraltet).....                          |  |
| 9000 9004.....                                                   |  |
| 9001 9002 9003.....                                              |  |
| DIN EN ISO 9000:2015 ff.....                                     |  |
| DIN EN ISO 9000:2015-11.....                                     |  |
| DIN EN ISO 9001:2015-09.....                                     |  |
| DIN EN ISO 9004:2009-12.....                                     |  |
| ISO 19011:2011.....                                              |  |
| Die Kapitel der ISO 9001:2015.....                               |  |
| <b>Prozessmodelle der ISO 9001.....35</b>                        |  |
| Prozessmodell der ISO 9001:2015.....                             |  |
| <b>Q-Elemente (Teilfunktionen eines QMS)....35</b>               |  |
| Q-Planung.....                                                   |  |
| Q-Lenkung.....                                                   |  |
| Q-Sicherung.....                                                 |  |
| Q-Prüfung.....                                                   |  |
| Q-Verbesserung, Q-Förderung.....                                 |  |
| <b>Prüfmittelmanagement.....36</b>                               |  |
| Verwaltung und Überwachung von Prüfmit-<br>teln.....             |  |
| Prüfmittelüberwachung umfasst alle Tätig-<br>keiten der.....     |  |
| Zweck.....                                                       |  |
| Prüfmittelkarte / Stammkarte.....                                |  |
| Übersichtsliste.....                                             |  |
| <b>QMS einführen und zertifizieren.....37</b>                    |  |
| QMS einführen.....                                               |  |
| Zertifizierung.....                                              |  |
| Zweck, Vorteile.....                                             |  |
| Ablauf der Zertifizierung.....                                   |  |
| nach dem Zertifikat.....                                         |  |
| Begriffe.....                                                    |  |
| Audit.....                                                       |  |
| <b>Unzugeordnete Reste.....38</b>                                |  |
| Bedeutung der Einführung eines QMS (ISO<br>9000).....            |  |
| Marktstrategie.....                                              |  |
| Zukunftssicherung.....                                           |  |
| rechtliche Aspekte.....                                          |  |
| Wirkungen für den Kunden.....                                    |  |
| Qualitätshandbuch.....                                           |  |
| Qualitätsdatenbank.....                                          |  |
| Anforderungen an effiziente Betriebe.....                        |  |
| Organisation.....                                                |  |
| Kommunikation.....                                               |  |
| Leitbild.....                                                    |  |
| Kontrolle.....                                                   |  |
| <b>Statistische Prozesskontrolle</b>                             |  |
| <b>Die Normal-Verteilung.....39</b>                              |  |
| Aussagen der „Glockenkurve“.....                                 |  |
| X-Achse: Messwerte.....                                          |  |
| Y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte.....                          |  |
| Fläche: Wahrscheinlichkeiten.....                                |  |
| Parameter der Normalverteilung.....                              |  |
| Mittelwert $\mu$ bzw. $\bar{x}$ .....                            |  |
| Standardabweichung $\sigma$ bzw. $s$ .....                       |  |
| Berechnung der Parameter.....                                    |  |
| mit Tabellenkalkulationen.....                                   |  |
| mit Taschenrechner.....                                          |  |
| mit W-Netz.....                                                  |  |
| Anpassungstest nach DIN ISO 5479.....                            |  |
| <b>Gründe für statistische Prozesskontrolle<br/>(SPC).....40</b> |  |
| Verteilung einer Fertigung.....                                  |  |
| Funktionsqualität.....                                           |  |
| Kontrollierbarkeit.....                                          |  |

|                                                                 |  |
|-----------------------------------------------------------------|--|
| beliebige Fertigung.....                                        |  |
| normalverteilte Fertigung.....                                  |  |
| Schlussfolgerung.....                                           |  |
| <b>Begründung für SPC.....41</b>                                |  |
| Leitbeispiel: Fahrzeug auf Straße.....                          |  |
| Datenerfassung.....                                             |  |
| Urwertliste.....                                                |  |
| Verlaufsdiagramm.....                                           |  |
| Reduzierung der Daten.....                                      |  |
| Häufigkeitsverteilung im Histogramm.....                        |  |
| Normalverteilung.....                                           |  |
| Bewertung einer Verteilung.....                                 |  |
| <b>Inhalte von SPC.....42</b>                                   |  |
| 6-Sigma-Fertigung, 6- $\sigma$ -Fertigung.....                  |  |
| SPC:Fähigkeitsuntersuchungen.....                               |  |
| SPC: Qualitätsregelkarten.....                                  |  |
| Warn- und Eingriffsgrenzen.....                                 |  |
| Einzelmessungen.....                                            |  |
| Stichproben von kleinem Umfang.....                             |  |
| Zweispurige Regelkarten.....                                    |  |
| Vorteile von QRK.....                                           |  |
| <b>Häufigkeitsverteilung: Praktisches Bei-<br/>spiel.....43</b> |  |
| Beispiel XYZ.....                                               |  |
| Klassenbildung.....                                             |  |
| Strichliste.....                                                |  |
| Histogramm.....                                                 |  |
| Wahrscheinlichkeitsnetz.....                                    |  |
| <b>SPC: Fähigkeitskennzahlen c.....44</b>                       |  |
| Ermittlung von $c_m$ , $c_p$ , $c_{mk}$ und $c_{pk}$ .....      |  |
| Bedeutung einer Fähigkeitskennzahl c.....                       |  |
| Fähigkeitsuntersuchungen $c_m$ , $c_p$ .....                    |  |
| Maschinenfähigkeit $c_m$ , $c_{mk}$ .....                       |  |
| Prozessfähigkeit $c_p$ , $c_{pk}$ .....                         |  |
| <b>SPC: Qualitätsregelkarten QRK.....45</b>                     |  |
| Markierungen in der QRK.....                                    |  |
| Typen von QRK.....                                              |  |
| Urliste.....                                                    |  |
| Urwertkarte (x-Karte).....                                      |  |
| $\bar{x}$ -R-Karte.....                                         |  |
| $\bar{x}$ -s-Karte.....                                         |  |
| Beispiel: 5, 4, 2, 1, 2.....                                    |  |
| dynamische Regelkarten.....                                     |  |
| Bewertung von QRK.....                                          |  |
| <b>QM-Werkzeuge.....46</b>                                      |  |
| beiläufig einfließen lassen / integrativ unter-<br>richten..... |  |
| Pareto-Analyse.....                                             |  |
| Zweck.....                                                      |  |
| Verlaufsdiagramm.....                                           |  |
| Ursache-Wirkungs-Diagramm.....                                  |  |
| Zweck.....                                                      |  |
| Durchführung.....                                               |  |
| Baumdiagramm.....                                               |  |
| Zweck.....                                                      |  |
| Programmablaufplan.....                                         |  |
| Zweck.....                                                      |  |
| Streudiagramm.....                                              |  |
| Zweck.....                                                      |  |
| Durchführung.....                                               |  |
| Papierhubschrauber.....                                         |  |
| Ziel.....                                                       |  |
| Matrixdiagramm (paarweiser Vergleich).....                      |  |
| Zweck.....                                                      |  |
| Durchführung.....                                               |  |
| Strichliste und Histogramm.....                                 |  |
| Prioritätenmatrix.....                                          |  |
| Poka-Yoke.....                                                  |  |
| Preiswürdigkeitsurteil.....                                     |  |
| Zweck.....                                                      |  |
| <b>Gliederungen.....48</b>                                      |  |
| 7 Managementwerkzeuge.....                                      |  |
| Risiko-Analyse.....                                             |  |
| 7 Basiswerkzeuge / 7 Tools.....                                 |  |
| Darstellung von attributiven Daten.....                         |  |
| Zahlenliste.....                                                |  |
| Prüflisten.....                                                 |  |
| Säulendiagramm.....                                             |  |
| Paretodiagramm.....                                             |  |

|                                                                    |  |
|--------------------------------------------------------------------|--|
| Kuchen- oder Tortendiagramm.....                                   |  |
| Sankey-Diagramm.....                                               |  |
| <b>QFD (Quality Function Deployment).....49</b>                    |  |
| Aufgabe.....                                                       |  |
| Projekt durchführen.....                                           |  |
| <b>FMEA.....51</b>                                                 |  |
| Ziel.....                                                          |  |
| Prinzip.....                                                       |  |
| Arten.....                                                         |  |
| Bewertung.....                                                     |  |
| Projekt durchführen.....                                           |  |
| <b>HACCP.....52</b>                                                |  |
| <b>Rechtliche Grundlagen.....53</b>                                |  |
| Produkthaftungsgesetz.....                                         |  |
| Wofür haftet.....                                                  |  |
| Nachweispflicht.....                                               |  |
| Wer haftet.....                                                    |  |
| Dauer der Haftung.....                                             |  |
| Gewährleistung nach BGB.....                                       |  |
| Garantie.....                                                      |  |
| <b>Mathematik</b>                                                  |  |
| <b>Rechtwinklige Dreiecke.....54</b>                               |  |
| Zusammenhänge.....                                                 |  |
| Pythagoras.....                                                    |  |
| Winkelfunktionen.....                                              |  |
| Verlauf der Winkelfunktionen.....                                  |  |
| Allgemeine Winkelfunktionen.....                                   |  |
| Kontrollmaßberechnungen.....                                       |  |
| <b>Kräfte und Drehmoment</b>                                       |  |
| <b>Kraft und Beschleunigung.....55</b>                             |  |
| Newton 1: Trägheitsprinzip.....                                    |  |
| Newton 2: Aktionsprinzip.....                                      |  |
| Gewichtskraft.....                                                 |  |
| Newton 3: Reaktionsprinzip.....                                    |  |
| Prinzip von d'Alembert.....                                        |  |
| <b>Verkürzte Einführung in die Statik.....56</b>                   |  |
| Allgemeines.....                                                   |  |
| Zeichnerische Darstellung von Kräften.....                         |  |
| Vorgehensweise beim Zusammensetzen.....                            |  |
| 1. Lageplan (Freileitungsmast).....                                |  |
| 2. Kräfteplan $M_K$ : 1200 N $\approx$ 60 mm.....                  |  |
| <b>Kräfte am Punkt zeichnerisch ermitteln.57</b>                   |  |
| Zusammensetzen von Kräften.....                                    |  |
| 0. Lageplanskizze.....                                             |  |
| 1. Lageplan.....                                                   |  |
| 2. Kräfteplan.....                                                 |  |
| 3. Resultierende $F_R$ / Gegenkraft $F$ .....                      |  |
| Zerlegen von Kräften.....                                          |  |
| 4. $F_R$ auf 2 Wirklinien verteilen.....                           |  |
| Lösungsgedanke bei grafischen Lösungen.....                        |  |
| <b>Kräfte am Punkt berechnen.....58</b>                            |  |
| Zusammensetzen – systematische Lsg.....                            |  |
| 1. Lageplanskizze.....                                             |  |
| 2. Koordinatensystem festlegen.....                                |  |
| 3. Tabelle der Kräfte erstellen.....                               |  |
| 4. Kräfte in Komponenten zerlegen.....                             |  |
| 5. Komponenten addieren.....                                       |  |
| 6. Betrag $ F_R $ der Resultierenden.....                          |  |
| 7. Richtung $\alpha_R$ der Resultierenden.....                     |  |
| Zerlegen - individuelle Lösung.....                                |  |
| Rechtwinklige Dreiecke.....                                        |  |
| Beliebige Dreiecke.....                                            |  |
| Systematische Lösung – Zerlegen.....                               |  |
| 8. Kräftegleichgewichte $\sum F_x = 0$ und<br>$\sum F_y = 0$ ..... |  |
| <b>Drehmoment, Hebel.....60</b>                                    |  |
| z.B. Schraubenschlüssel.....                                       |  |
| z.B. Fahrradpedal.....                                             |  |
| Gleichgewichtsbedingungen.....                                     |  |
| z.B. Schubkarre.....                                               |  |
| z.B. Wippe.....                                                    |  |
| Kräftepaare.....                                                   |  |
| <b>Schiefe Ebene.....61</b>                                        |  |
| Kräfte.....                                                        |  |



|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Steigung in %.....                   |  |
| Hangabtriebskraft $F_H$ .....        |  |
| Normalkraft $F_N$ .....              |  |
| Bewegung.....                        |  |
| Reibwinkel.....                      |  |
| Auflager.....                        |  |
| <b>Reibung.....62</b>                |  |
| Einflüsse auf die Reibung haben..... |  |
| Normalkraft.....                     |  |
| Werkstoffpaarung.....                |  |
| Oberflächengüte.....                 |  |
| Schmierzustand.....                  |  |
| Reibungsart.....                     |  |
| Berechnung.....                      |  |
| Haft- und Gleitreibung.....          |  |
| Rollreibung.....                     |  |
| Gleit- oder Wälzlager.....           |  |

## Festigkeitslehre

|                                                   |  |
|---------------------------------------------------|--|
| <b>Festigkeitsberechnungen.....63</b>             |  |
| Kräfte ermitteln.....                             |  |
| Äußere Kräfte: Freimachen (→ Statik).....         |  |
| Innere Kräfte: Freischneiden.....                 |  |
| Beanspruchungsarten.....                          |  |
| Belastungsfälle, Lastfälle.....                   |  |
| Lastfall I: Ruhende Belastung.....                |  |
| Lastfall II: Schwellende Belastung.....           |  |
| Lastfall III: Wechselnde Belastung.....           |  |
| Überlagerte Spannungen.....                       |  |
| <b>Allzweckformel für Festigkeitslehre.....64</b> |  |
| Übersicht über die Formelgrößen.....              |  |
| <b>Festigkeitsberechnung in Kurzform.....65</b>   |  |
| Zugversuch.....                                   |  |
| Spannungs-Dehnungsdiagramm.....                   |  |
| Werkstoffkennwerte $\sigma_{lim}$ .....           |  |
| Auslegung von Bauteilen.....                      |  |
| <b>Zugfestigkeit.....66</b>                       |  |
| Allzweckformel für Zugfestigkeit.....             |  |
| Festigkeitswerte $\sigma_{Zgrenz}$ .....          |  |
| Belastungsfall 1.....                             |  |
| Belastungsfall 2.....                             |  |
| Belastungsfall 3.....                             |  |
| Sonderfälle.....                                  |  |
| Stahlseil mit Einzeldrähten.....                  |  |
| iterative Rechnung.....                           |  |
| (Rundglieder-)Kette.....                          |  |

|                                                                |  |
|----------------------------------------------------------------|--|
| Schrauben (Gewinde).....                                       |  |
| <b>Druckfestigkeit.....66</b>                                  |  |
| Allzweckformel für Druckfestigkeit.....                        |  |
| Festigkeitswerte $\sigma_{Dgrenz}$ .....                       |  |
| <b>Scherung und Flächenpressung.....67</b>                     |  |
| Flächenpressung, Lochleibung.....                              |  |
| Allzweckformel für Flächenpressung.....                        |  |
| Festigkeitswerte $p_{zul}$ .....                               |  |
| Scherfestigkeit und Schneidkräfte.....                         |  |
| Allzweckformeln für Scherung.....                              |  |
| Festigkeitswerte $\tau_{Agrenz}$ .....                         |  |
| Auswahl treffen.....                                           |  |
| Normzahlen.....                                                |  |
| Sonderfälle.....                                               |  |
| Lochleibung.....                                               |  |
| Passfedern.....                                                |  |
| Stanzen.....                                                   |  |
| Rollen- bzw. Hülsenketten.....                                 |  |
| Flyerketten.....                                               |  |
| <b>Biegefestigkeit.....68</b>                                  |  |
| Biegemoment.....                                               |  |
| Biegespannung.....                                             |  |
| Spannungsverlauf im Biegequerschnitt.....                      |  |
| Allzweckformel für die Biegefestigkeit.....                    |  |
| Festigkeitswerte $\sigma_{Bgrenz}$ .....                       |  |
| Biegetauglichkeit verschiedener Profile.....                   |  |
| <b>Max. Biegemoment <math>M_{bmax}</math> ermitteln.....69</b> |  |
| Grafische Lösung.....                                          |  |
| Freimachen (Lageskizze).....                                   |  |
| Querkraftverlauf.....                                          |  |
| Biegemomente $M_b$ aus Querkraftverlauf.....                   |  |
| Biegemomentenverlauf.....                                      |  |
| Schlussfolgerungen für KA, Abi & Co.....                       |  |
| Lösungsmöglichkeiten für $M_{bmax}$ .....                      |  |
| Rechnerische Lösung aus der Lageskizze.....                    |  |
| Freischneiden (!).....                                         |  |
| Biegemomente $M_b$ nach links oder rechts.....                 |  |
| Formeln im Tabellenbuch: unbrauchbar.....                      |  |
| <b>Torsionsspannung.....71</b>                                 |  |
| Typische Aufgabe: Seilwinde.....                               |  |
| Allzweckformeln für Torsionsfestigkeit.....                    |  |
| Festigkeitswerte $\tau_{Tgrenz}$ .....                         |  |
| Verdrehwinkel.....                                             |  |
| Torsionshauptgleichung.....                                    |  |
| Herleitung für ein Rundprofil.....                             |  |
| polares Widerstandsmoment $W_p$ .....                          |  |

|                                                             |  |
|-------------------------------------------------------------|--|
| <b>Grundlagen Gewinde.....72</b>                            |  |
| Aufgaben.....                                               |  |
| Grundbegriffe.....                                          |  |
| <b>Gewindebezeichnungen.....73</b>                          |  |
| Gewindeprofile.....                                         |  |
| Bezeichnungszusätze.....                                    |  |
| Toleranzklassen der Gewinde.....                            |  |
| Ausführung.....                                             |  |
| <b>Gewindekenngrößen und ihre Wirkungen. 74</b>             |  |
| Gewindekenngrößen.....                                      |  |
| Einfluss des Steigungswinkels ✓ beim Spannen.....           |  |
| Einflüsse auf vorgespannte Schraubenverbindungen.....       |  |
| Steigungswinkel ✓.....                                      |  |
| Flankenwinkel ✓.....                                        |  |
| Profil und Gangzahl.....                                    |  |
| Befestigungsgewinde.....                                    |  |
| Bewegungsgewinde.....                                       |  |
| <b>Fertigungsverfahren für Gewinde.....75</b>               |  |
| Übersicht.....                                              |  |
| - Schneiden, -Bohren.....                                   |  |
| - Drehen.....                                               |  |
| - Schleifen.....                                            |  |
| - Fräsen.....                                               |  |
| Gewindeformen.....                                          |  |
| Gewindeurformen.....                                        |  |
| Gewinde drehen.....                                         |  |
| Gewinde bohren.....                                         |  |
| <b>Gewindeprüfung.....78</b>                                |  |
| geometrische Bestimmungsgrößen.....                         |  |
| Lehren.....                                                 |  |
| Flankenmessschraube.....                                    |  |
| Dreidrahtmethode.....                                       |  |
| Messmikroskop.....                                          |  |
| <b>Verspannungsschaubild bei Schraubverbindungen.....79</b> |  |
| Verhalten einer Schraubverbindung beim Anziehen.....        |  |
| Verspannungsschaubild einer Schraubverbindung.....          |  |
| Was macht Teile kaputt?.....                                |  |
| Trick: Dehnschrauben.....                                   |  |
| Vergleiche: Bungeespringen.....                             |  |
| <b>Literaturverzeichnis.....80</b>                          |  |

## Organisatorisches

|    |     |                                  |
|----|-----|----------------------------------|
| SW | LPE | Unterrichtsplan                  |
|    |     | Inhalte                          |
|    |     | Erstellen eines Klassenfotos     |
|    |     | BAFöG-Anträge                    |
|    |     | – Aufzeichnen, welches BAFöG Amt |
|    |     | –                                |

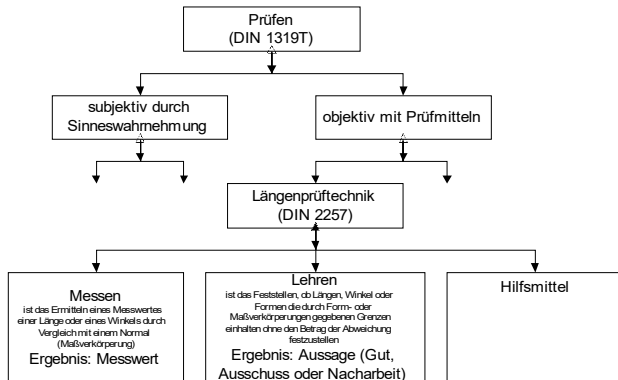
Bemerkungen

MVK\_SVP.odt



## Prüftechnik

## Einteilung der Prüfverfahren



Bezugstemperatur: 20°C (DIN 102)  
Messkraft: Formänderung, Kippen  
Abnutzung des Messzeuges  
Abweichung des Messgerätes: Form und Lage der Messschnäbel, Skalen, Übersetzung.  
Ablesefehler: Parallaxe, undeutliche Skale, falsche Einheit, Skalenteilung (log. Teilung),  
Übung, Sehschärfe, Schätzung, Aufmerksamkeit  
Umwelt: Spannungsschwankungen, Erschütterungen, Beleuchtung, magnetische + elektrische Felder)  
sonstiges: Grat, Schmutz, Kippfehler

## DIN 1319T1

1) *Ültg: Welche grundsätzlichen Methoden stehen dem Prüfer eines Abschlussprüfungsstückes zur Verfügung?*

Quellen: DIN Buch 11, Beuth Verlag Köln; Reichard Fertigungstechnik, 9. Auflage  
„Durch subjektive Sinneswahrnehmung oder objektiv mit Prüfmitteln feststellen, ob ein Prüfgegenstand erwartete Eigenschaften oder Maße einhält.“ (DIN 1319T1)  
Viele wichtige Sachen werden ausschließlich subjektiv geprüft: Oberfläche und Fahrverhalten eines Kfz, Lebenspartner u.v.a.m.  
In der Längenprüftechnik ist Prüfen das Feststellen, ob Prüfling der geforderten geometrischen Form entspricht, die durch Längen und Winkel gegeben ist (DIN 2257).  
Geprüft wird vor, während und nach der Fertigung. Immer soll es möglichst früh nach dem Fertigungsschritt sein, damit man die Fertigung ohne lange Totzeit korrigieren kann.  
Definitionen von Messen und Lehren gekürzt nach DIN 2257T1 11.82

Diagramm neu, aus DIN 2257 T1 einarbeiten: Lehren und Maßverkörperungen, Bild gesondert abspeichern  
Einarbeiten: [EuroWzm] S.204

2) *Ültg Welche Fehler können dem Prüfer des Abschlussprüfungsstückes beim Prüfen unterlaufen?*

TA nicht mitschreiben lassen, die genannten Fehler später zuordnen lassen

Definition Messunsicherheit → [Dutschke 1996]

MVK\_TA.odm

## Übersicht über die Prüfmittel

Zeitbedarf: ca 90'

## Messgeräte

Wie prüft man die Länge eines Zylinderkopfes?

## Anzeigende Messgeräte

- Messschieber
- Messschraube
- Messuhr
- Feinzeiger
- Universalwinkelmesser

## Maßverkörperungen

- Maßstab
- Endmaße
- Fühlerlehren

## Hilfsmittel

Wie misst man die Dicke einer Platte mit Messuhr?

- Messständer
- Prismen
- Taster

## FO, TA Skizze Messanordnungen

Messplatte als Unterlage, Messständer für Messuhr, Prisma für Rundheitsmessungen, Rundheitsmesstisch, Taster usw.

## AM Zylinderkopf, Nw o.ä.

1) *Woher weiß der Mann am Fließband im VW-Werk in Pamplona, dass der Zylinderkopf zum Motorblock passt?*

2) *Teilziele: Messgeräte, Lehren, Hilfsmittel, Prüftätigkeiten*

## Lehren

Messen von 1000 Bohrungen ist umständlich, einfacherer Weg?

## Grenzlehren

- Grenzhordorn
- Grenzrachenlehre
- Gewindegrenzlehren
- Kegellehren

## Formlehren

- Haarlineal
- Radienlehre
- Drehmeißellehren
- Gewindelehren
- Winkellehren
- Lehringe

## AM verschiedene Prüfmittel

## AM Grenzlehren und Bohrplatte

Herkunft des Wortes Grenzrachenlehre



- 3) *Wie prüft man die Ebenheit des Zylinderkopfes? Lichtspaltverfahren!*  
4) *Wie prüft man Messschieber, genaue Kolben, Ventilspiel usw.?*

Unterschied zwischen Messen und Lehren: Welche Tätigkeiten werden durchgeführt? Wieviele Maße kann man mit einem Prüfgerät prüfen?

## Messen

ist das Vergleichen des Prüflings mit einem Messgerät.

Das Ergebnis ist ein Messwert.

Ein Messgerät kann innerhalb ihres Messbereiches alle Maße im Messbereich messen

## Prüftätigkeiten

## Merkmale

- + Messwert
- + SPC-fähig
- + vielseitig
- komplizierter
- + für Einzelstücke billiger

## Vertiefung

## Lehren

ist das Vergleichen des Prüflings mit einer Lehre

und Feststellen, ob eine vorgeschriebene Grenze überschritten wird.

Ergebnis ist die Aussage Gut, Ausschuss oder Nacharbeit

Eine Lehre kann nur ein Maß mit einer Toleranz lehren..

- + Aussage
- + einfache Handhabung
- kein eindeutiges Ergebnis (Taylorscher Grundsatz)

AB Übungsfragen zu Prüfmitteln

**Messabweichungen**

**systematische Abweichung F**  
bleiben bei wiederholter Messung nach Betrag und Größe gleich

bekannte

unbekannte

rechnerisch korrigieren:

$$Meg = Mw - F$$

Sollanzeige = Istanzeige - Fehler

**messtechnische Regeln beachten (s.u.)**

Messtechnischer Grundsatz, günstigste Punkte, Bezugstemperatur, Messkraft

Kalibration

**Messunsicherheit u**  
sind zufällig

**Mehrfachmessung**

**Jedes Messergebnis enthält Messunsicherheiten oder**

**Wer misst, misst Mist**

$$u \leq \frac{T}{10} \dots \frac{T}{5}$$

T: Werkstücktoleranz

u: Messunsicherheit des Prüfmittels

**z.B.**

Messschieber mit Rundskale;  $Skw = 10\mu m$ ;  
 $u = \pm 20..60\mu m$  (DIN862) → darf Werkstücktoleranzen ab  $\pm 20..60\mu m * 5 = 0,2..0,6mm$  prüfen

**Abweichungen sind erst Fehler, wenn zugelassene Grenzen überschritten werden.**

**vollständiges Messergebnis**

$$Y = y \pm U$$

**Vertiefung****(DIN2257)**

Prüfabweichungen? „Mess“-Abweichungen treten auch bei Lehren auf.

5) *Überschrift vorgeben, Bedeutung?*

6) *Ordnen Sie die vorher genannten Messfehler zu.*

Unbekannte systematische Messabweichungen werden wie Messunsicherheiten behandelt, weil man nichts Besseres mit ihnen anzufangen weiß. Man kann sie aus den Fehlergrenzen der Messeinrichtung oder durch genauere Messung abschätzen.

**Wie geht man damit um?**

**Wie vermeidet man sie?**

Meg = Messergebnis = korrigierter Messwert  
Mw = Messwert = von Messgerät abgelesen  
F = Fehler (auch: Korrektur), Vorzeichen beachten  
Die Unsicherheiten des Meg sind größer als die des Mw, weil auch die Korrektur eine Unsicherheit enthält. Z.B. sind bei Temperaturkorrektur die exakten Temperaturen nicht bekannt.  
Kalibrieren = Vergleichen mit einem Normal erheblich geringerer Abweichung (Vergleich von Armband- und Bahnhofsuhr)  
Justieren = Korrektur einer Abweichung (Bahnhofs-uhr stellen)  
Eichen = Kalibrieren soll nicht verwendet werden, weil es zu Verwechslungen mit der gesetzlichen Bedeutung kommen kann.  
Die Messunsicherheit eines Messgerätes kann durch Messreihen oder aus der DIN oder aus Herstellerangaben angenähert werden.

Deshalb ist der Ausdruck Messfehler nicht sinnvoll.

Ab [EuroTabM46] S.274 ist das Thema im TabB angekommen – nach 20 Jahren :-)

Neue Nomenklatur:  $y = Mw$ ;  $Y = Meg$ ;  $U = u$

*Messunsicherheiten\_AB (auch als Einleitung möglich)*

*FO Beispiel für Messabweichung*

*Pruefen\_TA\_Messabweichungen.odt*

*Seitenumbruch*





## Messtechnische Regeln

### Bezugstemperatur

beträgt 20°C

### Prüfkraft

- Herstellerangaben beachten
- Auswirkung auf Prüfling beachten

### Messtechnischer Grundsatz

(=Abbesches Komparatorprinzip)

Prüfling und Maßverkörperungen sollen fluchten, damit Kippfehler vermieden werden.

### z.B. Parallaxe

ist eine Folge des nicht eingehaltenen messtechnischen Grundsatzes.

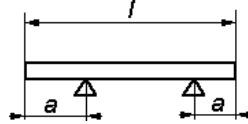
### Vertiefung

Ist der messtechnische Grundsatz eingehalten bei: Stahlmaßstab, Bügelmessschraube, Messuhr, Tiefenmessschieber, Messschraube mit Messschnäbeln?  
Warum legt DIN 862 (Messschieber) für Innen-, Außen- und Tiefenmaße unterschiedliche Messunsicherheiten fest? Weil der messtechnische Grundsatz unterschiedlich betroffen ist. Die geringste Messunsicherheit ist für Außenmaße (!) festgelegt.

### Günstigste Punkte

optimaler Abstand a der Auflagerpunkte minimiert die Durchbiegung:

$$a \approx \frac{2}{9} \cdot l$$

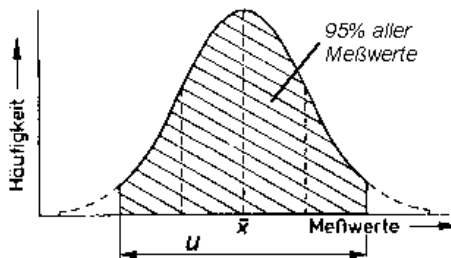


### Goldene Regel der Messtechnik

(DIN 2257)

### Verteilung der Messwerte

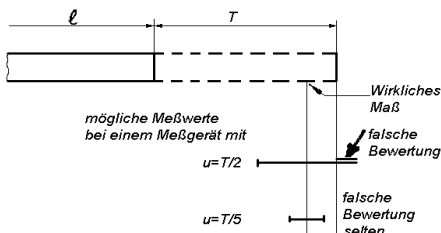
eines intakten Messgerätes



### Messunsicherheit u

enthält 95% aller Messwerte

### Verhältnis zu Werkstücktoleranz



deshalb:  $u \leq \frac{T}{10} \dots \frac{T}{5}$  DIN 2257 T2 /08.74

T: Werkstücktoleranz nach Zeichnung

u: Messunsicherheit u des Prüfmittels

### Umkehrspanne = Hysterese

Das Umkehrspiel entspricht einer Hysterese und tritt nicht nur bei Prüfgeräten auf, sondern auch bei anderen Maß-relevanten Teilen, z.B. bei Spindeln im Vorschub von CNC-Maschinen. Dort werden die Abweichungen softwaretechnisch kompensiert.

Quelle: DIN 102 /10.56

Herstellerangaben dürfen auch nicht überschritten werden: bei größeren Rachenlehren beträgt die Aufbiegung bis 50% der Toleranz, sie „gehört dazu“..  
Beispiele, die niedrige Prüfkraft erfordern: Grünlinge, Foliendicken

### AM rundes Teil mit den äußersten Spitzen der Messschenkel eines Messschiebers messen

- 1) Welchen Fehler mache ich? Durch Spiel (nicht vermeidbar) und Hebelarm (gering zu halten) entsteht Kippen = Messabweichung.
- 2) Wird der Messwert größer oder kleiner? Handelt es sich um einen systematischen Messabweichung oder eine Messunsicherheit?



### FO Parallaxe

Vermeidung der Parallaxe durch Glasmaßstäbe mit Stricheinteilung auf der Unterseite (kratzempfindlich, deshalb meist gekapselt); Stricheinteilung auf abgeschrägter Kante (z.B. Stahlmaßstab); Maßstab und Prüfling in einer Ebene (Skalentrommel und Skalenhülse, Messschieber); erzwungene Blickrichtung (Lupe, Spiegel).  
Physiker Ernst Abbe (wie Ebbe) 1840-1905 schuf mit dem Mechaniker Carl Zeiss und dem Glaslieferanten Otto Schott die Grundlagen der Optik und wurde ihre Teilhaber.

- 3) Ein Welche Bedeutung haben die Markierungen bei Endmaßen > 100mm?

$a=0,22031 \cdot l$  (Besselsche Punkte): Stricheinteilung auf neutraler Faser, z.B. Innenmessschraube (Friedrich Wilhelm Bessel, 1784-1846, Astronom, Mathematiker, Geodät)  
 $a=0,2232 \cdot l$ : Stricheinteilung auf der Oberfläche, z.B. Maßstäbe  
 $a=0,211 \cdot l$ : für parallele Enden, z.B. Endmaße  
Vtfg TA (HTFT1-9 S13)

Eine genügend große Anzahl von Messwerten mit demselben Messgerät und demselben Prüfling ergibt wegen der zufälligen Messunsicherheiten eine Verteilung, die der Einfachheit halber als eine Glockenkurve (= Gauß'sche Normalverteilung) angenommen wird. Für kleinere Stichproben wird auch die t-(Student-)Verteilung verwendet. Die Fläche unter der Kurve repräsentiert Wahrscheinlichkeiten.

Die Messunsicherheit u wird auf ein Vertrauensniveau, üblicherweise 95%, in besonderen Fällen auch 99% oder  $\pm 3s$  ( $P=99,7\%$ ), bezogen. Zahlenangaben verschiedener Vertrauensniveaus sind nicht vergleichbar, weil die zugrunde liegende Verteilung nicht bekannt ist. Sie wird durch die Fehlergrenzen, die i.d.R. weiter sind, angenähert oder durch Versuche ermittelt.

Dann gilt  $u = \frac{1,96 \cdot \sigma}{\sqrt{n}}$  (Wiederholungsaufgabe für die Techniker)

(Garantie-)Fehlergrenzen eines Messgerätes sind Grenzwerte der Messabweichung und werden z.B. vom Hersteller angegeben. Sie sind i.A. größer als die Messunsicherheit, weil zu den zufälligen noch systematischen Messabweichungen dazukommen. Vereinfachend wird die Messunsicherheit oft durch die Fehlergrenzen angenähert.  
Ich vernachlässige diese speziellen Probleme und verwende den Begriff Messunsicherheit.

### 5% der Messwerte liegen außerhalb u.

Begriffe siehe DIN 2257 T2 und QZ 10/96 S.1156

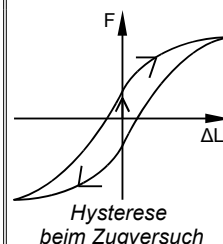
### FO Werkstücktoleranz - Messunsicherheit

enthält Erklärungen der Begriffe Messunsicherheit, Vertrauensbereich, Fehlergrenzen, Abweichungsspanne usw. Für die Zukunft ist damit zu rechnen, dass die Vereinbarung bzw. Angabe von Toleranzen in der Kunden-Lieferanten-Beziehung novelliert werden, für den Hersteller werden sie um die Messunsicherheit eingeeengt, für den Abnehmer erweitert. Bei korrekter Anwendung muss Messergebnis plus Messunsicherheit innerhalb der Maßtoleranz liegen. Die goldenen Regel der Messtechnik bezweckt deshalb, dass die Fertigungstoleranz nicht allzusehr von der Messunsicherheit eingeeengt wird.

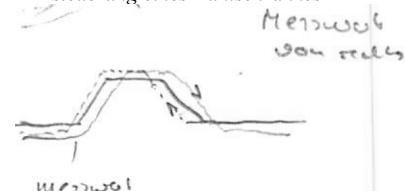
DIN EN ISO 14252-1 Messunsicherheit / Fertigungstoleranz

Ab [EuroTabM46]S.274 ist das Thema im TabB angekommen – nach 20 Jahren :-)

Das Thema wird im TabB sogar grafisch dargestellt, berücksichtigt aber keine Wahrscheinlichkeiten.



- 1) Hysterese vgl. Zugversuch oder Temperatursteuerung eines Kühlschranks





### Messgeräte

#### Bauarten

##### Messschieber

Der Schieber mit dem Nonius ist auf dem Maßstab gleitend angeordnet. Der Nonius ist ein Hilfsmittel zum Ablesen von Zwischenwerten, erhöht aber nicht die Genauigkeit. Deshalb und wegen der zusätzlichen Ungenauigkeiten des Schiebers haben Prüfmaßstäbe geringere Messunsicherheiten.

Da die Messschnäbel den messtechnischen Grundsatz verletzen, müssen die Prüflinge möglichst nahe am Maßstab liegen. Wegen der unterschiedlichen Situation hinsichtlich des messtechnischen Grundsatzes sind die zulässigen Messunsicherheiten laut DIN für Innen-, Außen- und Tiefenmessung unterschiedlich; und zwar für die Außenmessung am geringsten, vermutlich weil es die häufigste Anwendung ist.

Es gibt Bauarten mit Messbereich bis 2000mm, mit oder ohne Spitzen, Tiefenmesseinrichtung, mm- oder inch-Teilung, gerundete Messflächen für Innenmessung, Klemmschraube, Feinverstellung oder als Höhenreißer. Tiefen-, Zahn-, Nuten-, Lochabstands-, Schwindmaß-messschieber (Modellbau), mit Rundskale oder Ziffernanzeige. Eine Rundskale ermöglicht das Prüfen von Grenzabmaßen durch Verstellung des Skalenblattes.

##### Messschrauben

Maßverkörperung: geschliffenes Gewinde meist mit 0,5mm Steigung, übersetzt axiale in Drehbewegung.

- Messbereich 25mm
- Messtechnischer Grundsatz ist erfüllt.
- gleichbleibende Messkraft (5..10N) durch Ratsche oder Feinzeiger, der Verformung misst.
- Einbau-, Bügel-, Gewinde- (mit Wechseleinsätzen zum Messen von Kern und Flanken/Ε), Zahnweiten-, Tiefen- (mit auswechselbaren Messspindeleinsätze)
- Innenmessschrauben: mit Verlängerungsmöglichkeit Besselsche Punkte bei horizontaler Gebrauchslage. 3-Punkt-Berührung zur selbstständigen Zentrierung ohne Verletzung des messtechnischen Grundsatzes, da axiale Spindelbewegung durch einen Kegel umgelenkt wird (stufenförmiges Messgewinde Hengst86/87 S31/14). Schnäbel verletzen den Grundsatz.
- Höhenmessschrauben auf Anreißplatten befestigt haben auf der Messspindel alle 25mm einen Messteller, sodass der Messbereich größer als der Messspindelweg sein kann.
- parallaxefreie Ablesung durch kegelige Kanten der Skalenhülse.
- Ablesegenauigkeit 1/1000mm (Vgl. Hengst86/87 S31/5: unterschiedliche Genauigkeiten an Mikrometer (0,003mm) und Fühlhebel (0,001mm)).
- Genauigkeit nach DIN je nach Messbereich höchstens 4µm.
- Innenmessschrauben mit 2-Punktberührung ab  $\varnothing$ 25mm (Hahn&Kolb - Katalog 1990 S31/26)
- Innenmessschrauben mit 2-Punktberührung und Messschenkel für geringe Durchmesser, verletzen messtechnischen Grundsatz.
- Innenmessschrauben mit 3-Punktberührung verletzen messtechnischen Grundsatz
- AM Prüfung einer Bügelmessschraube nach DIN 863 T1

##### Messuhr

- Übersetzung durch Zahnstangen u.ä. und Zahnräder
- Kreisskalen mit 0,01mm (0,1mm und 0,001mm nicht genormt) und Umlaufzählkala
- Anforderungen: drehbares Zifferblatt, einzeln verstellbare Toleranzmarken, auswechselbarer Messeinsatz, kleine konstante Messkraft, Stoßschutz, Abweichung in genormten Grenzen
- Messunsicherheit durch Zahn-, Lagerspiel, Umkehrspanne

##### Fühlhebelmessgeräte

- winkelbeweglicher Messeinsatz (EuroM50 S17 B2)
- abgelesener Messwert vom cos abhängig, deshalb möglichst klein wählen

##### Feinzeiger

- Übersetzung durch Hebel, Zahnradsegmente, tordierte Federbänder, Lichtstrahlen ermöglicht keine volle Zeigerumdrehung
- genaueste mechanische Messgeräte, kleine Umkehrspanne
- Vergrößerung 1000:1 bis 1000000:1 (optisch ?)
- kleiner Messbereich wg. großer, nichtlinearer Übersetzung: nur für Differenzmessung
- Zubehör: Feineinstellung, 2 verstellbare Toleranzmarken, auswechselbaren Tasteinsatz, Messkraft < 1,5N
- Bezeichnung Feinzeiger DIN 879-1: Skt. (50µm .. 0,5µm) 1µm

##### Einsatz nach Toleranz

1)

*AB Erstellen eines Prüfplanes*

*AB Messgeräte*

*AB Messgrößenaufnehmer*

2)

*Quelle : DIN 862*

**Quelle: DIN 863**

*FO Fühlhebelmikrometer mit Feinzeiger zur Einhaltung der Messkraft oder als anzeigende Rachenlehre mit fixiertem Klemmhebel.*

DIN 878

DIN 2270

DIN 879 T1

auch: Puppitaster

*[EuroTabM46] S.274 „Prüfmittel“ (AB Messgeräteinsatz nach Toleranz)*

**Pruefen\_TA\_Messgeraete.odt**

Seitenumbruch

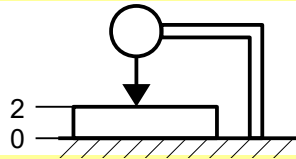


## Messanordnungen

ca. ??' Zeitbedarf

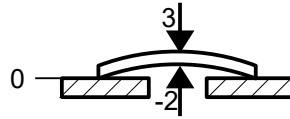
## Einzelmessung

Formfehler verfälschen die Messung



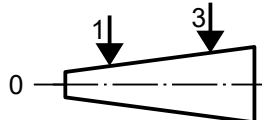
## Summenmessung

$$3\text{mm} + (-2\text{mm}) = 1\text{mm}$$



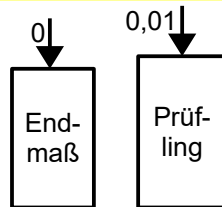
## Differenzmessung

$$3\text{mm} - 1\text{mm} = 2\text{mm}$$



## Vergleichsmessung

oder Unterschiedsmessung



## FO Messanordnungen [Reichard 1993]

## 1) Messung mit Anschlag und Messgrößenaufnehmer?

- Überlagerungen von Einzelfehlern können das Messergebnis verfälschen (Parallelität beeinflusst Dicke, Rundheit beeinflusst Ø).

## 2) Einzelmessung ist sinnvoll bei Blechen, nicht akzeptabel bei Tellerfedern oder Wellblech?

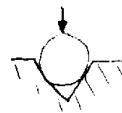
Betrachte die Bewegungsrichtung des Messbolzens einer Messuhr

Gilt auch für rechte Winkel o.ä.

Strenggenommen zählt die Vergleichsmessung nicht zu den Messanordnungen, ich nehme sie aber hier auf, weil mir die Unterscheidung zu spitzfindig ist.  
Wird auch beim Kalibrieren von Endmaßen mit genaueren Endmaßen verwendet. Kalibrieren = Abweichung prüfen. Justieren = Abweichung korrigieren. Eichen ist ein juristischer Begriff.

## Vertiefung

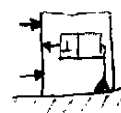
Ordnen Sie zu



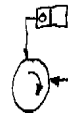
Einzel



Summen



Differenz



Einzel

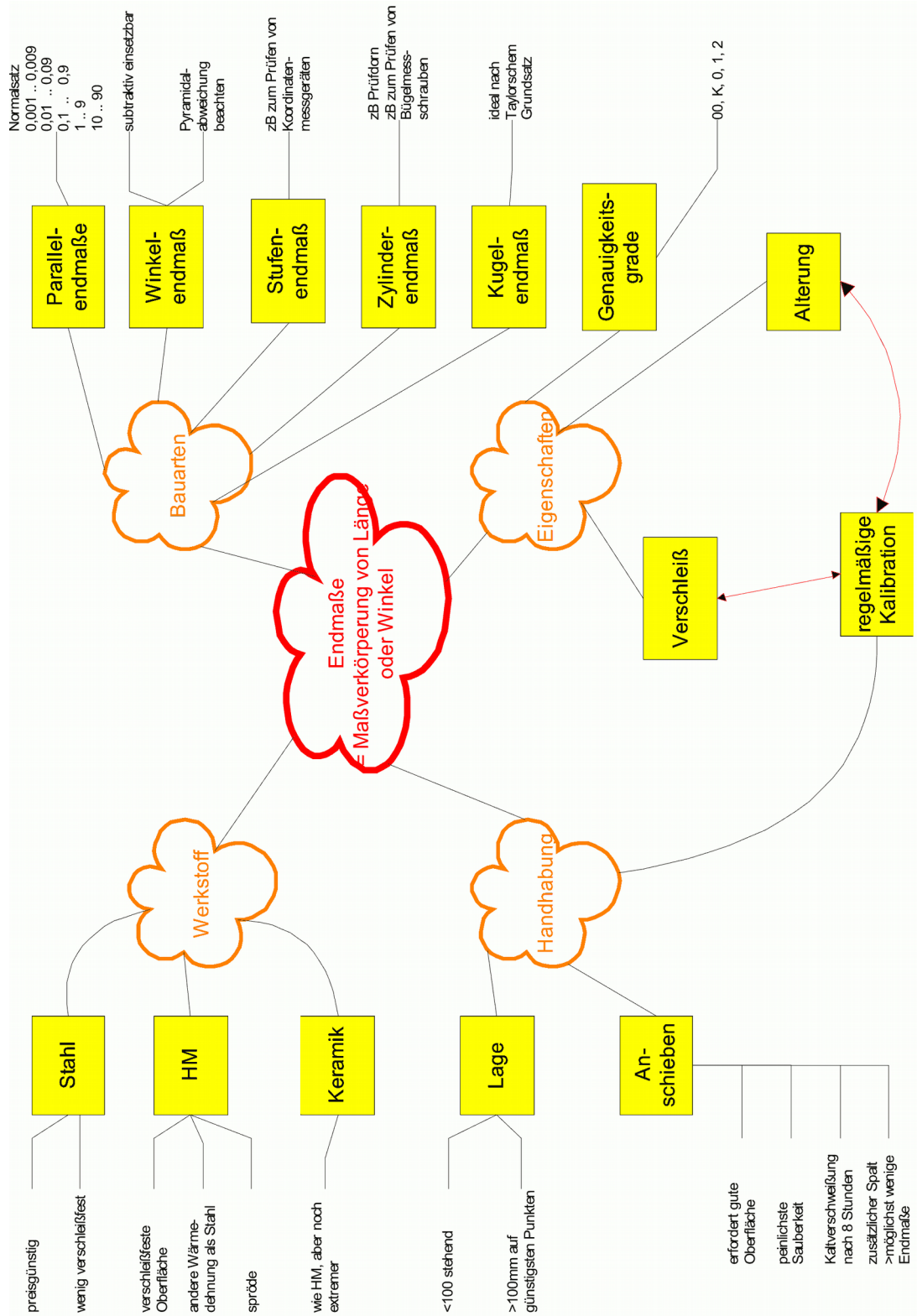




**Endmaße**  
= mechanische Maßverkörperungen

- 1 Was wissen Sie denn über Endmaße?
- 2 Regie

**Übersicht**



**Vertiefung**



## DIN 861 /01.80 (Parallelendmaße)

ca. 90' Zeitbedarf

verkörpern das Maß durch die Lage zweier Flächen

Vorspann: Titel, Ausgabedatum; Inhaltsverzeichnis; 1 Geltungsbereich; 2 Begriffe

### 2.1 Parallelendmaß

- Maßverkörperung der Länge
- Oberfläche muss Anschieben ermöglichen

- Messung erfolgt mit einer Anschubplatte je Block
- 2.2 Benennung der Flächen; eine Fläche ist mit Nennmaß beschriftet
- 2.3 Länge  $l_0$ ; toleriert mit max.  $l_0 = f_{\text{unten}}, f_{\text{oben}} < l_0$
- 2.4 Mittenmaß  $l_m$
- 2.5 Abweichung  $f_a$  von der Ebenheit, toleriert mit  $f_a < l_0$
- 2.6 Abweichungsspanne  $f_s$ , toleriert mit  $f_s < l_0$ . Entspricht Ebenheit der Maßfläche:  $f_s > f_a$
- 2.7 Anschubbareit wird hier definiert, nicht gefordert.
- 3 Grundlagen; 3.1 Definition des Meters ist veraltet; 3.2 Übertragung des Maßes per Lichtinterferenz (s.u.); 3.3 Bezugstemperatur 20°C; 1013,25 hPa (=mbar), vernachlässigbar
- 3.4 Lage

- Nennmaß < 100mm: senkrecht
- > 100mm: waagrecht auf 2 günstigsten Punkten

- 4 Maße, Werkstoffeigenschaften und Kennzeichnung
- 4.1  $l_n > 100$ mm: mit Verbinderböhrungen; Lagetoleranz Symmetrie
- 4.2 Werkstoffeigenschaften

- 4.2.1 Stahl oder vergleichbarer Werkstoffe
- HM oder Quarz: massiv oder Deckendmaße
- 4.2.2 Längenausdehnungskoeffizient beachten
- 4.2.3 Härte soll > 800 HV

### 4.2.4 Alterung bewirkt Längenänderung

Bei einem Nennmaß von 100mm darf die Längenänderung nach 5 Jahren:  $\approx 0,35\mu\text{m}$

regelmäßige Kalibration

- 4.3 Kennzeichnung: Nennmaß auf Seiten- oder Messflächen; Herstellerzeichen
- günstigste Punkte bei Nennmaß  $l_n > 100$ mm
- Genauigkeits- und Kalibriergrad kann angegeben sein
- Identifizierungsnummer muss angegeben sein, wenn Kalibrierscheine erstellt werden.
- 5 Genauigkeitsanforderungen; 5.1 Allgemeine Angaben
- -Genauigkeitsgrade 00, K, 0, 1 und 2
- -00 für das Messlabor
- K zum Kalibrieren anderer Endmaße: geringere Maßhaltigkeit wird durch Kalibrieren ausgeglichen

- 5.2 Toleranz für Ebenheit  $f_a$ , wirkt sich durch den Anschubspalt auf das Maß aus.
- 5.3  $t_0$ ; Toleranz des Mittenmaßes  $l_m$ , entspricht der Parallelität zur anderen Messfläche.
- 5.4 Zulässige Abweichung  $t_0$ , vom Nennmaß an beliebiger Stelle (Grenzmaße der Maßtoleranz).
- 5.5 Messflächen: nicht wichtig
- 5.6 Seitenflächen: grob in Ebenheit, Parallelität und Rechtwinkligkeit toleriert. Nicht wichtig.
- 6 Prüfung
- 6.1 Allgemeine Angaben: ein Endmaß wird interferentiell gemessen, weitere Endmaße kann man per Unterschiedsmessung prüfen
- 6.2 Interferenzmessverfahren
- 6.2.1 Gemessene Länge: Messung mit einem Anschubspalt, Länge  $l_m$  in der Mitte messen, Abweichung  $f_a$ ,  $f_s$  aus  $l_{\text{max}}$  und  $l_{\text{min}}$  ermitteln
- 6.2.2 Anschubplatte: soll aus gleichem Werkstoff wie die Endmaße sein, da sonst mir unbekannte Korrekturen erforderlich sind. Ebenheitstoleranz der Anschubplatte ist mindestens doppelt so genau wie Endmaßfläche
- 6.2.3 Anschubprüfung: Messfläche des Endmaßes wird mit einer Planglasplatte (Ebenheit < 0,1µm) geprüft. Es dürfen keine Interferenzstreifen zu sehen sein.
- 7 Berechnungsgrundlagen für Tabellen (nicht wichtig)
- Erläuterung: ISO 3650-1978 weitgehend gleich, lässt aber etwas größere Abweichung zu.

### verschiedene Maße

werden durch Anschieben möglichst weniger Einzelblöcke kombiniert

### Anwendung von Endmaßen

Übertragung des Maßes durch Antasten oder mittels Zubehör, z.B. Endmaßhalter mit Messschnäbeln oder Höhenreißer.

### 1) Ein: Urmeter2)

Maßverkörperungen (früher: Normal) stellen Teile oder Vielfache einer Längeneinheit Ausgangsgrößen dar

AB DIN 861 „Endmaße“

FO Fragen zu Parallelendmaßen

Gruppenarbeit oder HA, anschließend durchsprechen und TA.

wichtigste Längenmaßverkörperung, da sie genau herzustellen und zu vermessen sind.

**Wenn Endmaße längere Zeit angeschoben bleiben, tritt Kaltverschweißung auf.**

Querverweis: Die Definition des Meters ist 1983 geändert worden: Meter [m] = c · s / 299792458

Korrektur veraltet für Korrektur (Duden Band 1, 21. Auflage)

Hartmetall und Quarz wegen der Verschleißfestigkeit, (Hengst86/87). Es gibt Endmaße aus Voll-HM oder -Quarz und Deckendmaße mit 1 oder 2mm Dicke aus diesen Werkstoffen die als letztes auf die Kombination angeschoben werden.

Verschleiß von HM beträgt ca. 1/50..1/100 dessen von Stahl.

Laut TabB beträgt ist die Längenausdehnung von HM ca. 5-mal größer als die von Stahl (EuroTabM37 S96: Stahl ca. 0,0000115/K; HM: 0,00006/K = 5° Stahl). Die Angaben für HM schwanken aber stark, vermutlich weil es HM mit verschiedenen Zusammensetzungen gibt.

Querverweis: 1m Stahl dehnt sich bei  $\Delta T = 10\text{K}$  um 1 Zehntel mm.

Die niedrige Längenausdehnung von Quarz ist beim Prüfen von Werkstücken aus Stahl eher ein Nachteil, weil sich die Ausdehnungen von Werkstück und Endmaß nicht kompensieren.

- z.B. durch Gefügeänderung; andere Ursachen: Hinweis auf Lagerung
- Genauigkeitsgrade s.u.
- Größenordnung < 0,1 µm pro Jahr

Die Endmaße des Kalibriergrades sind ca. um die Hälfte billiger als die des Genauigkeitsgrades 00. Die Preisdifferenz rührt daher, dass ihr Nennmaß zwar weit toleriert ist, und ihr genauer Wert vom Nennmaß abweichen kann, aber die Abweichung im Kalibrierschein angegeben wird.

Ebenheit von K und 00 sind gleich

FO Toleranzklassen

[Hengst86/87 S38/1; HTFT1-9 S199]

- Fehler in HTFT1-9 S19: Abweichung  $l_0$  von  $l_n$  darf ( $t_0 + t_s$ ) nicht überschreiten. Streiche  $t_s$ .

FO Begriffe Endmaße

Alle Maße gelten mit einem Anschubspalt. Ein Anschubspalt hat bei sachgemäßer Reinigung ca. 0,03µm [Klingenberg] und ist deshalb praktisch meist ohne Bedeutung. Der kleinste Anschubspalt tritt erst nach ca. 1 Stunde auf [Europa: Messen und Prüfen, 1948].

? Schärfen als geforderte Ebenheitstoleranz

6.2.4 Korrekturen: Details siehe Beschreibung Interferometer

6.2.5 Kalibrierschein: für Genauigkeitsklasse K, mit  $l_m$ ,  $f_s$ , welche Seite war angeschoben, Längenausdehnungskoeffizient

6.3 Unterschiedsmessung: die Länge wird mit Normal (siehe 6.2) verglichen. Dabei sind verschiedene Verfahren mit mechanischen Messbolzen zulässig (z.B. nicht pneumatisch); senkrecht oder waagrecht je nach Länge; Abweichungsspanne kann ohne Normal an 4 bestimmten Punkten gemessen werden. Korrekturen der systematischen Fehler, Temperaturen, Längenausdehnungskoeffizienten, Verformungen durch Messkraft.

### nicht durchgehen

FO Normalsatz

Ein Normalsatz mit 45EA ermöglicht das kombinieren jeden Maßes von 3..102,999mm in µm-Schritten mit max. 5 Endmaßen.

Anschlusslängen sind bis 3m, andere Sätze und Einzelstücke erhältlich

AB Anwendung von Endmaßen

FO Prüfen einer Grenzrachenlehre

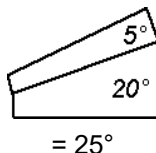


## Parallelendmaße

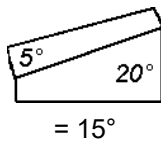
- Maßverkörperung der Länge bis 3000mm
- kombinierbar durch Anschieben
- mit einem Normalsatz aus 45 Stück sind alle Maße von 3 .. 100mm in Schritten von 1µm mit max. 5 Blöcken kombinierbar.

## Stufenendmaß

## Winkelendmaße

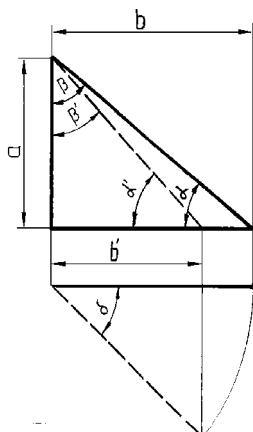


= 25°



= 15°

## Pyramidalabweichung



$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \quad (1)$$

$$\tan \alpha' = \frac{a}{b'} \quad (2)$$

$$b' = b \cdot \cos \delta \quad (3)$$

(3) in (2)

$$\tan \alpha' = \frac{a}{b \cdot \cos \delta} \quad (4)$$

(1) in (4)

$$\tan \alpha' = \frac{\tan \alpha}{\cos \delta} \quad (5)$$

$$\tan \beta = \frac{\tan \beta'}{\cos \delta}$$

**z.B.:** Winkelverkörperung durch ein Winkelendmaß

Geg: Ein Winkelendmaß mit einem verkörperten Winkel von  $\alpha = 45^\circ$  wird um  $\delta = 3^\circ$  verdreht.

Ges: Die scheinbaren Winkel  $\alpha'$  und den Fehler  $\Delta\alpha = \alpha' - \alpha$ .

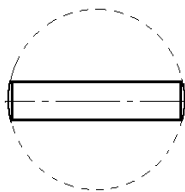
## Anwendungen

Winkelverkörperungen, z.B. Winkelendmaß; Teilkreisprüfungen mit Spiegelpolygonen; Gewindeprüfung mit der Dreidrahtmethode oder unter dem Messmikroskop; Sinuslineal.

## Zylinderendmaße

Lehrdorn, Messdraht, Lehrdorn, Flachlehrdorn, Prüfstift, Messscheibe, Messstab, Leerring

## Kugelendmaße



kein Verkanten möglich (Taylorscher Grundsatz)

## Vertiefung

## Berechnung von Kontrollmaßen

M2

Ültg: Wie prüft man Lehren? - Prüflehren oder Parallelendmaße aus Stahl, HM oder Quarz

Oberflächen sind so genau, dass sie aneinander haften. Sie müssen sorgfältig gepflegt werden und dürfen nicht zu lange angeschoben bleiben (Kaltverschweißen).

- Genauigkeit 1: Messunsicherheit < 1µm, ca. 1000,-DM
- Zusammensetzung eines Normalsatzes: 1,001 .. 1,009mm; 1,01 .. 1,09mm; 1,1 .. 1,9mm; 1 .. 9mm; 10 .. 90mm

AB Anwendung von Endmaßen

FO Prüfen einer Grenzrachenlehre

Nicht genormt, für die Überwachung von Koordinatenmessgeräten (Dutsche: Fertigungsmesstechnik) FTMKO, Mbm

Sätze vorgeben und kombinieren lassen

Die Sätze von Winkelendmaßen sind kleiner als die von Parallelendmaße, weil Winkelendmaße auch subtraktiv verwendet werden können

AM Geodreieck (Tafel) schwenken

AB Pyramidalabweichung

kombinierte Winkelendmaße müssen parallel stehen, da sich sonst der dargestellte scheinbare Winkel ändert (Pyramidalabweichung)

Der scheinbare Winkel  $\alpha'$  wird nie kleiner als der verkörperte Winkel  $\alpha$ , bzw.  $\beta'$  nie größer als  $\beta$ . Mathematisch ergibt sich dies aus der Tatsache, dass bei einem Kippen  $\delta > 0$  der  $\cos \delta < 1$  wird, sodass der Bruch in Gleichung (5) größer und in Gleichung (6) kleiner als sein Zähler wird.

$\alpha, \beta$  = verkörperter Winkel

$\alpha', \beta'$  = scheinbarer Winkel

$\delta$  = Kippwinkel der Winkelverkörperung

$$\text{Lsg: } \alpha' = \arctan\left(\frac{\tan \alpha}{\cos \delta}\right) = \arctan\left(\frac{\tan 45^\circ}{\cos 3^\circ}\right) = 45,04^\circ$$

FO Spiegelpolygon

FO Dreidrahtmethode

FO Sinuslineal

FO Zylinderendmaße

Anwendung z.B. Prüfung von Bügelmessschrauben.

Kugelendmaße sind ideal zum Prüfen von Messschrauben, da zwischen den planparallelen Messflächen kein Verkanten möglich ist. Tatsächlich schreibt die DIN für Bügelmessschrauben aber Zylinderendmaße vor, vermutlich aus Kostengründen.

- braucht nicht zu fluchten wie z.B. Flachlehrdorne.
- höhere Messkraft durch die Punktlast

AB Anwendungen von Endmaßen

Mbm

FO Prüfung runder Formen  $\Rightarrow$  Mathematik

Stufenendmaß  $\rightarrow$  [Pfeifer 1996] S.175

**Lehren****Einteilung****Profillehren (z.B. Haarlineal), Formlehren**

Prüfung nach dem Lichtspaltverfahren ab ca. 2µm; z.B. Winkel, Schmiegen, Radienlehren, Gewindedrehmeißellehren, Gewindekämme, Sonderlehren

**Maßlehren (z.B. Fühlerlehre)**

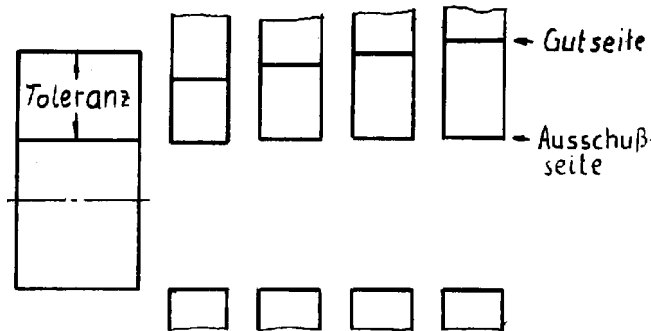
Teile eines Lehrensatzes mit zunehmenden Maßen; z.B. Endmaße, Fühlerlehren (Spione), Prüfstifte

**Grenzlehren (z.B. Grenzlehrdorn)**

Gut- und Ausschusslehre, nicht immer in einem Körper; Messkraft = Gewicht; Rachenlehre 100 weitet 7,5µm auf

**Paarungslehren (z.B. Gewindelehren)**

prüfen Paarung, wenn Maßlehren gut zeigen (zB Nuten von Führungen)

**Einsatz bei steigender Abnutzung**

Arbeitslehre X

Revisionslehren X

Abnahmelehren X

neue Lehren in die Fertigung

**Taylorischer Grundsatz****bei Paarungslehren****Die Gutseite prüft alle Größen gemeinsam,**

denn bereits ein Fehler in Maß oder Form verhindert die Paarung von Gutlehre und Werkstück.

**Die Ausschussseite muss jede Größe einzeln prüfen,**

denn bereits ein gutes Maß / Form oder ein anderes schlechtes Maß / Form kann verhindern, dass Werkstück und Ausschusslehre paaren. Dadurch wäre ein gutes Werkstück vorgeläuscht.

Bild von idealen Grenzlehren (Dorn- und Rachenlehre) [Perthen S.I-03]

**Vertiefung**

- Warum ist die Ausschussseite eines Grenzlehrdornes kürzer als die Gutseite? (Taylorischer Grundsatz)
- Warum sind Grenzlehrdorne besser zum Prüfen von Nutbreiten als zum Prüfen von Bohrungsdurchmessern geeignet?
- Warum sollen Messschrauben laut DIN mit Zylinderendmaßen geprüft werden? (Entsprechen besser dem Taylorischen Grundsatz als Parallelendmaße)
- Welche Endmaße wären für die Prüfung von Messschrauben noch besser geeignet? (Kugelendmaße, zu teuer)
- Warum sind beim Lehren von Innendurchmessern Lehrdorne besser als Gutlehre, Flachlehrdorne oder Kugelendmaße aber besser als Ausschusslehre geeignet?

**Vergleich von Lehren und Messgeräten**

- + schneller als Messen
- - Keine statistische Prozesskontrolle möglich (Änderung der Fertigung werden erst erkannt, wenn Ausschuss vorliegt.)
- - Lehre prüft nur ein Maß (großer Lehrpark erfordert Geld, Lagerplatz und Verwaltungsaufwand)
- - größerer Verschleiß (Prüfflächen von Lehren werden über das Werkstück geschoben, Messgeräte werden berührungsfrei eingeführt.)
- - keine Datenübertragung an PC

Profillehren: formideale Gegenlehren  
Profillehren sind nur 2D, Formlehren 3D

Skalant

Ein Mechaniker prüft in der Fertigung, QA bei der Ausgangskontrolle und Kunde bei Abnahme. Wer bekommt welche Lehre?

Neue Lehren bei der Endkontrolle würde die Toleranz zu sehr einschränken.

**Herstelltoleranzen nach DIN 7162, 7163, 7164****Lehrentypen nach DIN 7150 T2 steigender Abnutzung**

Lehren nutzen bei der Verwendung an der Gutseite ab, an der Ausschussseite kaum. Im Bild ist eine Welle mit ihrem Toleranzfeld dargestellt, rechts daneben 4 Lehren mit steigender Abnutzung der Gutseite. Die Ausschussseite nutzt kaum ab, da sie selten über das Werkstück geführt werden muss. Die neue Lehre mit der engsten Toleranz links muss in der Fertigung eingesetzt werden und heißt deshalb Arbeitslehre. Wenn sie in der Nachkontrolle eingesetzt würde, könnte Werkstücke ausgesondert werden, die in der Fertigung für Gut befunden wurden und auch gut sind. Besser ist es, sie in der Fertigung einzusetzen, weil der Fertigungsprozess nachgeregelt werden kann und deshalb nicht viel Ausschuss wegen der engen Toleranz zu erwarten ist.

Für die weiteren Lehren gilt entsprechendes, sie heißen Revisionslehren und Abnahmelehren. Die Lehre, die gerade noch in der zulässigen Werkstücktoleranz liegt, muss in der Endabnahme eingesetzt werden.

Die äußerst rechte Lehre liegt außerhalb der Werkstücktoleranz und gehört in den Abfall.

Arbeitslehren: in der Fertigung

Revisionslehren: Ausgangskontrolle

Abnahmelehren: Eingangskontrolle des Abnehmers, muss die volle zulässige Lehrenabnutzung akzeptieren

Sonst Lehren häufig mit HM-Plättchen

Plättchen nachstellbar mit Gießharz befestigt: (Hahn&Kolb 1990 S32/7)

Prüfungslehren zum Prüfen der Lehren sind nach Reichard9 S.43 in DIN 2257T1 enthalten, aber in der Fassung von 1982 habe ich sie nicht gefunden.

AB, Ültg

1) Innenkegel innerhalb der Toleranz mit Kegelhrenzlehrdorn?

2) Innenkegel mit Untermaß an einer Stelle  $\rightarrow$  Gutseite dringt nicht ein  $\rightarrow$  Innenkegel ist zu klein?

EuroM50 S24 B2

FO Taylorischer Grundsatz beim Kegelhrenzlehrdorn

3) Innenkegel mit Übermaß an einer Stelle  $\rightarrow$  Ausschussseite dringt nicht ein  $\rightarrow$  Innenkegel scheint i.O.

4) Innenkegel mit Maß innerhalb der Toleranz an 1 oder 2 Stellen  $\rightarrow$  Ausschussseite dringt nicht ein  $\rightarrow$  Innenkegel scheint i.O.

Zum Behelf kann man eine mit Kreide gefärbte Kegellehre im Kegel drehen und anhand der Verwischung feststellen, wo der Kegel nicht an der Lehre anliegt. Doch diese Methode erfordert Erfahrung, Zeitaufwand und Verschleiß der Lehre.

Taylorischer Grundsatz: Brit. Patent 6900 vom 01.04.1905

EuroM52 S17 B2

- Warum hat die Ausschussseite einer Gewindelehre nur wenige Gewindegänge und verkürzte Flanken? (Gutseite entspricht dem Mindestmaß des (Innen-)Gewindes. Ausschussseite entspricht dem Höchstmaß, hat aber verkürzte Flanken (gegen Fehler im Flankenwinkel) und wenige Gewindegänge gegen Steigungsfehler.)
- Warum ist das Lehren von Gewinden trotz seiner Problematik weit verbreitet? (Mit Abstand einfachstes Verfahren.)
- Warum müssen Lehren im Verhältnis zum Prüfteil etwa zehnmal genauer hergestellt werden?
- Warum entsprechen Flachlehrdorne dem Taylorischen Grundsatz für Ausschusslehren besser als Messscheiben?

Messscheiben verkörpern neben dem Maß auch eine Rundheit.

Bei der statistischen Prozesskontrolle werden die Messergebnisse einer Serienfertigung überwacht. Wenn sich die Messergebnisse ändern, auch wenn sie noch innerhalb der Toleranz liegen, ist dies ein Hinweis auf Veränderungen im Produktionsprozess. Man kann die Ursachen für die Änderung erforschen und beheben bevor Ausschuss produziert wird. Da Lehren nur eine Aussage (Gut, Ausschuss, Nacharbeit) geben, ist mit ihnen keine statistische Prozesskontrolle möglich.

Sonderanfertigung von Lehren für ungewöhnliche Maße erfordert zusätzlich Zeit, die bei eiligen Aufträgen fehlen kann.



## andere Maßverkörperungen

### Strichmaßstäbe DIN 2268

Maßverkörperung: Abstand zweier Striche zum Messen von Längen [m] oder Winkel [°].

z.B.

- Prüfmaßstäbe nach DIN 865 /83
- Arbeitsmaßstäbe nach DIN 866 /83

Auch zum automatischen Ablesen

- optische oder induktive Teilungen an NC-Maschinen
- elektronischen Feinzeigern (Langwegmesstaster)
- 3-D-Koordinatenmessmaschinen usw.
- kapazitive Teilungen an Messschiebern mit Digitalanzeige.

### Lichtwellenlänge

Messunsicherheit bis ca. 0,1 µm

- z.B. Planglasplatte, Interferometer, Endmaßprüfung

### mechanische Teilungen

- Gewinde (Bügelmessschraube)
- Zahnstangen (Messschieber mit Rundskale, Messuhr)
- Winkel, Haarwinkel
- Messsäulen
- Teilkreise
- Spiegelpolygone

### Verkörperungen von Geraden und Ebenen

- Flach- oder Haarlineale DIN 874
- Prüfplatten DIN 876
- Planglasplatten DIN 58161
- Planparallelglasplatten

5 Regie  
6 Regie

DIN 2268 Längenmaße mit Teilung gilt für Strichmaßstäbe, Messspindeln, Interferenzfelder und definiert Toleranzen, Teilungsfehler usw. und ist qualvoll zu lesen.  
Maßgebend im Wortsinne für einen Strich ist seine Mittellinie. Mehrere Messung an verschiedenen Stellen und Mittelung verringert Messunsicherheit. Das Auflösungsvermögen des normalen Auges beträgt 0,07mm aus 250mm Abstand. Wegen Ermüdung ist der praktische Strichabstand mindestens 0,8mm, bzw 0,8/Vergrößerung einer Lupe.

Prüfmaßstäbe dienen zum Prüfen von Arbeitsmaßstäben.

**Maßstäbe auf Prüfplatten (DIN 876) oder auf Besselschen Punkten auflegen.**

**Da der Nonius eines mechanischen Messschieber nur eine Ablesehilfe für Zwischenwerte ist, haben Messschieber dieselbe Messunsicherheit wie Maßstäbe**

*AM Maus*

*AM, FO Glasmaßstab*

Optische Teilungen arbeiten mit Durchlicht (Glasmaßstäbe) oder Auflicht (Stahl, weniger empfindlich). Alle Teilungen können Zwischenwerte analog ablesen.

Die Lichtwellenlänge  $\lambda$  kann durch Lichtinterferenz mit einer Genauigkeit von  $\lambda/2$  sichtbar gemacht werden. Die Wellenlänge  $\lambda$  von Tageslicht beträgt ca 0,3µm. Andere Wellenlängen können durch Laser, Prismen, Spektrallinien usw. erzeugt werden. Bis 1983 war ein Meter durch die Wellenlänge eines Krypton-Isotopes definiert, jetzt gilt: Meter [m] =  $c / 299792458$  s.

$c = f \cdot \lambda$ ; (Ausbreitungsgeschwindigkeit = Frequenz · Wellenlänge).

Spiegelpolygone sind Flächenkreisteilung mit meist 4, 8, 12, oder 36 Flächen. Sie werden auf der Achse des Prüflings befestigt und mit Rändelschrauben parallel ausgerichtet wegen der Pyramidalabweichung. Durch halbdurchsichtigen Spiegel wird Licht auf das Polygone geworfen und auf eine Strichplatte reflektiert. Die Lage der Reflexion auf der Strichplatte bestimmt den Drehwinkel. Anwendung zum Einstellen und Messen von Winkeln an Teilkreisen, Lochscheiben, großen Zahnrädern, Drehtischen usw. Sie werden selbst durch Kollimatoren geprüft. In allen Fällen muss die Pyramidalabweichung beachtet werden.

*FO Spiegelpolygon*

*FO Anwendung von Endmaßen (Messsäule)*

**Lineale haben keine Maßstäbe!**

Flachlineale mit Ebenheitstoleranz, Haarlineale mit Geradheitstoleranz, Genauigkeitsgrade 00..2

aus GG oder Hartgestein. Verwendung als Bezugsebenen zum Anreißen, Tuschieren, Messen oder als Bezugskanten

zur Ebenheitsprüfung, z.B. bei Anschubflächen von Endmaßen.

*Interferenzmuster ⇒ Reichard 9 S.47.*

zur Prüfung der Parallelität von Ebenen, z.B. bei Messflächen von Bügelmessschrauben.





## Elektrische Längenmessung DIN 32876 T1

### Analoge Erfassung

#### Wegaufnahme

kapazitiv, induktiv oder "ohmsch"

#### Messeinrichtung

Aufnehmer, Messgerät, Stromquelle

#### Merkmale

- Einsatz wie Feinzeiger und Messuhr
- Anzeige vom Messtaster getrennt
- variable Empfindlichkeit durch el. Verstärkung
- Messtaster können gekoppelt werden
- positive Polarität: positive Anzeige bei hineingehendem Messbolzen. Negative P.: umgekehrt.
- Verarbeitung der Messwerte durch Computer

### Berührender induktiver Messtaster

#### (Standardverfahren)

- Messkraft bis unter 0,02 N, Auflösung bis 0,01µm, zB. für Vergleichsmessung von Parallelendmaßen.
- Prinzip vgl. Trafo: Lage des beweglichen Eisenkerns bestimmt induzierte Spannung in Sekundärspule.
- Frequenz beeinflusst Messung, deshalb verschiedene Hersteller schlecht kombinierbar.
- Sinusförmige Kennlinie, verwendet wird der annähernd lineare mittlere Bereich.
- kann ohne Justierung eingesetzt werden

### Digitale Erfassung

#### Grundlagen

- Verschiebung des Aufnehmers vor (opto-)elektron. inkrementaler oder codierter Maßverkörperung
- Prinzip: opto-elektronisch (Durch- oder Auflicht), kapazitiv (Messschieber), induktiv oder magnetisch
- Teilung bis 5µm, Auflösung bis 1µm (beide optisch)
- inkremental: Signale > AD-Wandlung > Vor-Rückwärtszähler. Keine Zuordnung von Position zu Messsignal, sondern Verschiebung wird gezählt, Messwert mit Ausgangsposition errechnet. Referenzpunkt und Richtungsermittlung nötig. Elektronische Interpolation ermöglicht höhere Auflösung als Teilung.
- codierte Maßverkörperung: unveränderliche Signalkombination für jede Position (Binär-, Greycode)

#### Messeinrichtung

- Maßverkörperung, Aufnehmer, A/D-Wandler, Vor-Rückwärtszähler (Decodierer), eventuell el. Interpolation, Signalleitungen, Energieversorgung

### Anzeige der Werte

#### analog

- Rundskale
- Langskale (quasi-analog)
- Plotter

#### elektronische Weiterverarbeitung

- Regelung
- statistische Auswertung
- Speicherung

### Messeinrichtungen

- bestehen aus Messgrößenaufnehmer, Messumformer, Messverstärker, Messumsetzer, Messwertausgabe
- Symbole HTFT1-9 S15
- Messgrößenaufnehmer nimmt Messgröße auf (zB Taster, pneumatischer Messdorn, Amboß, Messspindel, Fühler). M. entfällt, wenn die Messgröße gleichzeitig Messsignal ist, zB Spannungsmessung.
- Messumformer bringt das Signal in eine andere physikalische Form, beide Formen werden im Symbol angegeben
- Messverstärker verstärkt die eingehenden Signale, in mechanischen Systemen durch Übersetzung oder optische Vergrößerung.
- Messumsetzer (A/D- oder D/A-Wandler)
- Messwertausgabe
  - direkt (sichtbar) durch Anzeiger (Skalen-, Ziffernanzeige), Schreiber, Drucker, Zähler
  - indirekt zur weiteren Bearbeitung der Messsignale (zB Regler) oder auf Datenträger (Lochkarten, Lochstreifen, Magnetband, Diskette, RAM)
  - können mit Signalgebern oder Grenzwertgebern ausgerüstet sein (Sortieren, Fertigungswechsel, Warnung, vereinfachte Anzeige)

7 Regie  
8 Regie

Axialmesstaster: Messbolzen und Messumformer fluchten, Messtechnischer Grundsatz ist eingehalten

- Parallel geführter Messtaster, Fühlhebelsmesstaster

Messaufnehmer: Austauschbarkeit in einer Gerätefamilie ist Norm. Messunsicherheiten von Taster und Messgerät müssen addiert werden (Beiblatt DIN 32876 T1, Pythagoras). mechanische Anschlussmaße sollen denen der Messuhr, Feinzeiger oder Fühlhebelsmessgerätes entsprechen. Abweichungsspannen und mechanische Grenzfrequenz müssen angegeben werden.

Prüfung bis u +/- 0,5µm mit kalibrierten Endmaßen, darunter per Laserinterferenz

Beiblatt zu DIN 32876 T1

[Medien](#)

### berührungslos

- vernachlässigbar kleine Messkräfte
- Messen an sehr schnell bewegten Objekten
- induktiv für ferromagnetische Stoffe
- Wirbelstromverlustprinzip für el. leitenden Stoffe
- kapazitiv geht über Dielektrizitätskonstante
- gegenseitige Beeinflussung vermeiden
- berührungslos: ist abhängig von Werkstoff, Form des Werkstückes und Dielektrikum; muss justiert werden.

DIN 32876 "Elektrische Längenmessung", T2 "digital"

### Anwendung

#### (meist inkremental)

- NC-Maschinen
- Langwegmesstaster: mechanisch-berührend, für lange Wege, Anwendung wie Axialmesstaster
- Koordinatenmessmaschinen
- Höhenmeseinrichtungen: Messständer, oft kombiniert mit induktiv-analoger Messung
- Messschieber (kapazitiv)
- Winkelmessung (zB Knickarmroboter)

### Datenübertragung

- serielle Schnittstelle DIN 66348
- parallele Schnittstelle (BCD) DIN 66349

#### digital

- Ziffernanzeige
- Drucker





## Optische Längenmesstechnik

(überarbeiten)

### Vergrößerung durch Linsen

#### Grundlagen der

optische Sammellinse

-  $1/f = 1/g + 1/b$  (f: Brennweite, b: Bildweite, g: Gegenstandsweite, Objekt)

Objekt zwischen Linse und Brennpunkt

- 1 Lichtstrahlen divergieren vor der Linse weniger als dahinter. Das Auge nimmt ein virtuelles Bild des Objektes wahr, das hinter dem Objekt liegt und größer ist. Trotz der scheinbar größeren Entfernung erscheint das Bild größer, da der Sehwinkel größer wird.
- 2 Die relative Vergrößerung nimmt mit dem Abstand des Auges von der Linse zu. Der Sehwinkel wäre aber am größten, wenn sich das Auge direkt vor der Linse befände, dort kann es aber nicht akkommodieren.
- 3 Je weiter der Objekt von der Linse entfernt ist, desto weniger divergieren die Lichtstrahlen vor der Linse, das Auge kann näher an die Linse, die Vergrößerung wird immer besser.

#### Wirkungsweise einer Lupe

- ? Wirkung einer Sammellinse beim Brennen mit Sonnenstrahlen
- TA Brennen mit Lupe und Sonnenlicht
- ankommende parallele Strahlen werden durch eine Sammellinse in der Brennebene gesammelt (fokussiert) und umgekehrt.
- Abstand Brennebene - Lupe = Brennweite f.
- Schnittpunkt Brennebene - opt. Achse = Brennpunkt
- ? Entfernung Gegenstand - Lupe bei maximaler Vergrößerung
- Brennweite f
- TA Gegenstand (Objekt) in Brennebene einer Lupe
- Die Lupe richtet das vom Objekt in der Brennebene ausgehende Licht parallel. Die Größe des Abbildes erscheint unabhängig von der Entfernung des Auges.
- ? Vorteil der Lupe gegenüber bloßem Auge
- Mit Lupe kann der Abstand Auge - Objekt bis zur Brennweite der Lupe gesenkt werden (entspannt)
- Mit bloßem Auge ist die deutliche Sehentfernung mindestens ca 250 mm (angestrenzte Pupille)
- Merke Eine Lupe vergrößert nicht wirklich, sondern ermöglicht mit entspanntem Auge eine größere Annäherung an das Objekt

#### Wirkungsweise eines Messmikroskops

#### Vertiefung

9 Regie

10 Regie

AM Lupe, mech. Messschieber, Gewinde, OH-Projektor, Krepp

Grundlage: Tritt ein Lichtstrahl von einem optisch dünneren (Lichtgeschwindigkeit  $c_1$ ) in ein dichteres Medium ( $c_2 < c_1$ ), so wird er gebrochen. Für die Winkel gilt:  $\sin \alpha / \sin \beta = c_1 / c_2$ . Die Brechzahl  $n$  bezieht sich auf  $c_1 = c_{\text{Luft}}$ .

Objekt im Brennpunkt.

- 4 Im Brennpunkt ist der Sehwinkel so groß, als wenn man den Objekt vor das Auge im Abstand der Brennweite legen würde. In diesem Abstand kann das Auge nicht scharf stellen. Die Lupe vergrößert also nicht, sondern sie ermöglicht dem Auge, aus scheinbar kürzerer Entfernung scharf zu sehen.
  - 5 Die Vergrößerung  $V$  einer Lupe berechnet man deshalb aus der Brennweite  $f$  wie folgt:  $V = 25\text{cm} / f$  (25cm ist normalerweise die kürzeste Sehweite, die ein Auge scharf stellen kann). Maximale Vergrößerung: 20fach wegen Linsenfehler.
- Objekt hinter dem Brennpunkt
- 6 Vor der Linse divergieren die Strahlen nicht mehr, sondern sie konvergieren. Dies kann das Auge nicht ausgleichen. Wenn sich das Auge zwischen Brennpunkt und Linse befindet, erscheint das Bild unscharf.
  - 7 Die konvergierenden Strahlen treffen sich in der Bildebene und erzeugen ein reelles Bild. Dieses Bild kann vom Auge mit oder ohne Mattscheibe gesehen werden, es ist aber seitenverkehrt auf dem Kopf.
  - 8 Bei optischen Systemen wie Mikroskop oder Fernrohr schaut man durch vergrößernde Linsen in die reelle Ebene.
  - 9 In die reelle Ebene können Strichmaße eingeschwenkt werden.

Ein - Ablesen von mechanischen Messschiebern zB mit 1/50-Nonius wird durch Lupe vereinfacht

- Vergrößerung  $v = 250\text{mm} / f$

Wdhg ? Brennweite einer Standlupe mit Aufschrift 6x

-  $f = 250\text{mm} / 6 = 41\text{mm}$

? Für mich haben alle Lupen eine kleinere Vergrößerung als angegeben. Warum ?

- kurzsichtig, deutliche Sehentfernung  $< 100\text{mm}$

- die Lupe oben für mich hat  $v = 100 / 41 = 2,5$

? Anwendung von Lupen (Bez Hengst87)

- TA - Ableshilfe ermöglicht kleinere Teilung von Strichmaßen (vgl Din 2271) (zB mit Haftmagneten für Messschieber 9,86DM)
- Oberflächenprüfung: Mikrolupe mit Beleuchtung: 68DM
- Messlupe mit Skale; Meß 15mm, Teilung 0,1: 80DM
- Messlupen mit Strichplatten (Muster, Winkel, Längen)
- typische Vergrößerung 4 .. 10fach, darüber Linsenfehler

Erkl nur bei Fragen

FO Verhältnisse, wenn Objekt zwischen Brennebene und Linse ist

- Divergenz der Strahlen wird verringert, dadurch kann das Auge näher ans Objekt = Vergrößerung (so)
- Vergrößerung wird verringert, weil das Objekt weiter entfernt scheint (virtuelles Bild)

Ültg Verhältnisse, wenn Objekt jenseits der Brennebene liegt

AM - (nah und unscharf) oder (fern und lagevertauscht)

? Erklärung

TA Strahlengang mit Objekt außerhalb der Brennweite

- Zwischen Objektiv und reellem Bild konvergieren die Strahlen: unscharf für das menschliche Auge

- Objekt in reelles Bild lagevertauscht projiziert.

- Jenseits des reellen Bildes divergieren die Strahlen, es kann betrachtet werden

? Anwendung

TA - Mattscheibe (Projektor, Reichard9 S32, großes Bild, für mehrere Personen, ermüdungsfrei, Formvergleich mit Zeichnungen, Mustern und Gegenleihen möglich, Nachzeichnen möglich, Microfiche)

- Leinwand (zB OH-Projektor, Kopfstand wird durch Spiegel korrigiert, Seitenverdrehung ist sinnvoll)

- lagerichtige Betrachtung durch Okular mit Brennebene im reellen Bild (zB Mikroskop, Fernrohr: Vergrößerung  $v = v_1 \cdot v_2 = f/f$ ).

? Aufbau Messmikroskop

TA - Strichmarke können in reelle Ebene geschwenkt werden (zB Revolverokular mit Gewindeprofilen Reichard9 S30, Strichkreuze, Koordinaten)

- Objekt wird auf verschieblichen Messtisch gespannt.

- Kreuz- oder Rundmesstisch (meist kombiniert) mit Feinmessspindeln kombiniert mit Endmaßanschläge in 25mm-Schritten oder Impulsmaßstäbe

- Bewegungen des Messtisches können je nach Messsystem angezeigt werden, auch im Mikroskop.

? Aperturblende einzeichnen. Vor- und Nachteile

FO, Erkl Apertur-Blende

Demo Gewinde auf OH-Projektor, Lochblende im Brennpunkt 2

- Nachteil: Lichtstärke (vgl Kamera)

- Lochblende im Brennpunkt des Objektivs (Richtung reelles Bild) lässt nur Strahlen durch, die parallel zur optischen Achse in das Objektiv fielen.

- Da deren Richtung unabhängig von der Entfernung zum Objektiv ist, ändert sich die Vergrößerung nicht mit der Entfernung (zB beim Scharfstellen, Unschärfe im reellen Bild gleicht Okular aus)).

- Apertur-Blende muss vergrößert werden, wenn das Objekt größer als das Objektiv ist. Dies führt zu Größenverzerrungen (systematische Messabweichung).



## Gewindeprüfung mit dem Mikroskop

- ? Wie können Gewinde im Mikroskop geprüft werden
- Demo OH-Projektor, verschiedene FO und Modelle
- Schraube in Objektebene (auf OHP), von hinten beleuchtet: Schattenbildverfahren
  - Umriss liegt meist außerhalb Objektebene (wg  $\phi$  und wg Scharfstellung durch Betrachter) und ist deshalb größenverzerrt. Ausgleich beim Messmikroskop durch Apertur-Blende, beim OH-P. durch scharf stellen.
  - Lehren: Gewindeprofile im Revolverokular in die reelle Ebene bringen (Reichard9 S30) Reelle Ebene beim OH-P. ist die Leinwand. Dies ist umständlich, deshalb Gewindeprofile und Papiergewinde auf OH-Platte.
  - Vergleich Schattenbild mit Strichmarken (meist viele M und Whitworth-Gewinde)
  - Messen Strichkreuz in reeller Ebene. OVL-FO. Punktwises Vermessen des Gewindes durch Verschieben des Messtisches. Berechnung der Maße aus Koordinaten.
  - oder Ablesen der Koordinaten auf der Strichplatte leichter auf OH-P. darzustellen)
- ? Welche Maßen des Gewindes können gemessen werden
- Außen $\phi$ , Kern $\phi$  und Steigung
  - Flanken $\phi$  kann nicht gemessen werden.
  - Gewinde muss um Steigungswinkel geneigt werden, da sonst die Schattenbild und Axialschnitt des Gewindes nicht identisch sind bzw nicht sichtbar (Vgl FO Flachgewinde, Gewinde mit großer Steigung, Vgl Gewinde auf OH-P. leicht anheben: Bild wird symmetrisch). Dazu sind Mikroskopständer und Beleuchtung schwenkbar

## Feinmessokular, Okularmessschraube

## optische Messgeräte

### Kollimator

- Bez Reichard9, S33  
Richtungsprüfung
- Bilder Bez HTFT1-9 S34
- BI Kimme und Korn (Vgl: Gewehr)
- Strichmaßstab steht auf der Führungsbahn und wird angepeilt
  - Höhenabweichung, aber keine Neigung feststellbar
  - Maßstab schwer erkennbar, Auge stellt keine drei Punkte gleichzeitig scharf.
- BII Fluchtferrohr (Vgl: Zielfernrohr)
- Kreuzstrichplatte statt Kimme und Korn
  - leichter abzulesen als Kimme und Korn, prinzipielle Probleme bleiben erhalten.

## Vertiefung

Ültg gehört zu genauesten Verfahren, wird wg Preis nur für Mess- und Präzisionsgewinde angewandt

- ? Um wieviel muss das Gewinde angehoben werden (M30\*100)
- FO Flachgewinde, rechtwinkliges Dreieck einzeichnen
- Hypothenuse: gewünschter Blick parallel zu Flanken
  - Lange Kathete: Blickrichtung radial auf das Gewinde, Länge: Kern\_ \*  $\frac{1}{\sin \phi}$  = 25,71 \*  $\frac{1}{\sin 80,77^\circ}$  = 80,77mm. Kurze Kathete: Steigung P = 3,5mm
  - Um Steigungswinkel  $\phi = \arctan(P/(\text{Kern}_\phi)) = 2,5^\circ$
- ? Wie misst man Flanken\_ und Flankenwinkel
- Bez Anordnung und Formeln Reichard9 S59
- je eine linke und rechte Flanke messen und mitteln, um Abweichungen zwischen Gewindeachse und Koordinatenachse auszugleichen.
  - Flankenwinkel  $\alpha_1$  wird korrigiert:  $\tan \alpha_1 = \tan \alpha / \cos \phi$  wg Pyramidalabweichung (s. TZ Winkellendmaße)
- ? Vereinfachung durch Achsenschnittverfahren
- FO Messschneiden fahren an Messflächen des Prüflings
- Ablesen der Markierungen auf Messschneiden: Aufliegt
  - Schwenkung entfällt, da Messschneiden in Höhe der Gewindeachse liegen (Reichard9 S30 B1)
- Vtfg TA
- ? auch für: Gewinde, Kegel, Zylinder, Strichmaße
- Bez Reichard9 S37, Techniklexikon "Okularmessschraube"
- FO Okularmessschraube (Techniklexikon)
- nicht die Projektion, sondern die Markierung wird durch Drehung parallel verschoben (spiralförmige Anordnung).
- Buch Feinmessokular (Reichard9 S37)
- Strichmaßstab wird in eine Strichplatte projiziert. Mit der Strichplatte wird eine Planglasplatte verdreht und die Projektion parallel verschoben, bis er in eine Markierung passt. An Markierung und Winkelteilung wird der Messwert abgelesen.
- Ein Drehmaschine wird eingerichtet, dabei Fluchtung der Führungsbahn soll geprüft werden
- Strecken fluchten, wenn sie eine Gerade als gemeinsame Achse haben, entspricht Geradheit. (zB die Mittelachsen mehrerer Lager, die Führungsbahn in sich)
- Strecken sind gerichtet, wenn sie eine gemeinsame Achse haben, entspricht Parallelität.
- BIII Kollimator (praktisch ausgeführt)
- von hinten beleuchtetes Strichkreuz als Ziel. Eventuell wird das Strichkreuz nur in die Glasplatte projiziert.
  - Höhen- und Seitenabweichung feststellbar
  - Neigungen in keiner Ebene feststellbar
  - Fluchtferrohr wird auf Strichkreuz des Kollimators ausgerichtet und fokussiert
- BIV Fluchtungsferrohr mit Planplattenvorsatz (praktisch vorgeführt)
- Vor dem Fluchtungsferrohr werden zwei planparallele Glasplatten angebracht, die um die horizontale, bzw. vertikale Achse drehbar sind.
  - Durch Drehung der Glasplatten wird man das Strahlenbündel parallel versetzt und auf die Mitte des Kollimationsstrichkreuzes gerichtet. Durch Ablesen der Plattenkipung kann man Fluchtungsabweichung feststellen (wenige mm ?)
- Vtfg Anwendung
- Maschinenführungen, Lagerbohrungen, Rohren

Pruefen\_TA\_optisch.odt

## TZ optische Messgeräte, Richtungsprüfgeräte

- Ein Prüfung von Kreisteilungen mit Spiegel-Polygon als Maßverkörperung, dabei muss nicht Fluchtung gemessen werden, sondern Richtungsabweichung des Spiegels
- stellt Winkelabweichung von der Bezugsachse fest
- Strecken sind gerichtet, wenn sie parallel verlaufen
- Messung der Abweichung von einer Bezugsgerade
- Richtungsprüfung einer Schlittenführung, Draht als Bezugsgerade (DIN 8606, HTFT1-9 S33 B1)
  - parallel zum Schlitten wird ein Draht gespannt
  - auf dem Schlitten fährt ein Mikroskop und wird auf den Draht fokussiert
  - Mikroskop vermisst in verschiedenen Stellungen auf dem Schlitten die Lage zum Draht, Abweichungen von der Gerade können so festgestellt werden.
  - Verwindungen des Schlittens mit gleichzeitiger seitlicher Abweichung führen zu unscharfer Abbildung des Drahtes (?)
- BV Richtungsmessung mit Kollimator
- Wdhg -Vgl: Brennglas (Strahlenrichtungen sind umkehrbar)
- Alle Strahlen, die parallel zur optischen Achse des Kollimators auf diesen eintreffen, werden in dessen Brennpunkt fokussiert. Wenn Strahlen parallel, aber geneigt zur optischen Achse treffen, werden sie abseits vom Brennpunkt des Kollimators in der Brennebene fokussiert. Wenn in der Brennebene ein Strichkreuz angebracht ist, lassen sich Neigungen zur optischen Achse feststellen.
- Fluchtferrohr wird nicht auf Kollimator fokussiert, sondern ins Unendliche gestellt, der Strahl wird im Kollimator fokussiert.
  - Parallelverschiebung wird nicht angezeigt
  - Neigung wird unabhängig von der Entfernung angezeigt.
- Demo Fernglas als Fluchtferrohr, OHP als Kollimator
- BVI Autokollimator
- Kollimator und Fluchtferrohr sind integriert
  - im Ziel steht ein Spiegel
- Vtfg Anwendung
- Messen von Neigungsänderung an Führungsbahnen
  - Prüfen von Kreisteilung mit Spiegel
  - Prüfen von Flächenparallelität
  - Prüfen der Winkelstellung von Werkstücken und Planscheiben
  - allgemeine Richtungsprüfungen (zB Artillerie)

## TZ opto-elektronische Messgeräte

### Durchlichtmessverfahren

- HTFT1-9 S35 Bx
- Prüfling wird in den Strahlengang einer Laserlichtquelle gebracht
- Laser, weil dieser paralleles Licht erzeugt.



- Ein Scanner verschiebt den Strahl schnell parallel, seine Intensität wird von Fotozellen (Diodenarray) gemessen. Die Hell-Dunkel-Grenze markiert die Kontur des Prüflings.
- Genauigkeit  $1\mu\text{m}$  bei  $Meb\ 1\text{mm}$

Auflichtmessverfahren

- HTFT1-9 S35 Bx
- Auf den Prüfling wird schräg ein Laserstrahl aufgebracht.
- Der Laserstrahl wird durch Änderung des Abstandes oder des Reflexionswinkel Versetzt.
- Bei relativen oder absoluten Maxima und Minima des Abstandes ist der Reflexionswinkel 0 und ändert seine Steigung.
- Wenn der reflektierte Laserstrahl seine Richtung wechselt, kann der Abstand gemessen werden.
- Genauigkeit  $5\mu\text{m}$  bei  $Meb\ 1\text{mm}$ , ausreichend für die Regelung der Werkzeughinstellung.

Wegmessung durch Interferenz

- HTFT1-9 S35 Bx
- Ein Laserstrahl wird durch einen Strahlteiler geschickt. Ein Teil wird von einem feststehenden Spiegel reflektiert, der andere von einem beweglichen (zB auf einem Schlitten). Beide Strahlen werden wieder zusammengeführt. Je nach Phasenlage addieren sich die Helligkeiten oder löschen sich aus (Interferenz). Hell-Dunkel-Wechsel zeigt somit Abstandsänderung an.
- Wenn sich der Schlitten bewegt, kann ein Computer die Hell-Dunkel-Phasen zählen und den Weg des Schlittens aus der bekannten Wellenlänge des verwendeten Lichtes berechnen.
- Messgeschwindigkeit nicht über  $0,3\text{m/s}$

Oberflächenrauheit durch Interferenz mit Scanner

- HTFT1-9 S35 Bx
- Prinzip wie oben
- Ein Scanner richtet viele Strahlen auf eine Oberfläche (zB Folie), die sich quer zum Strahl bewegt.
- Interferenz kann nicht die Richtung einer Abstandsänderung anzeigen, aber zu schneller Hell-Dunkel-Wechsel deutet auf Unregelmäßigkeiten.

## TZ Vorteile der optischen Messtechnik

### ? Warum wird Licht eingesetzt

Bez Reichard9 S30: Vorteile

- Berührungs- und messkraftfreie Messung
- optische Strahlen sind gerade, masse- und trägheitslos (lange Wege sind möglich)
- Strahlengänge können ohne Schaden durchgegangen werden (da lacht der Laserstrahl)
- durch Einschwenken optischer Systeme lassen sich verschiedene Vergrößerungen erreichen
- Umkehrspannen entfallen

Erl Effekte aus Relativitäts- und Quantentheorie vernachlässigt

## TZ Wegmesssysteme, Maßverkörperungen

Bezifferte Strichteilungen

- HTFT1-9 S37 B2
- Strichmaße in  $[\text{mm}]$  oder  $[\text{°}]$  auf Glas oder polierten Stahlmaßstäben wird in Betrachtungsoptik projiziert.
- in der reellen Ebene liegt eine Strichplatte mit Einfanggabeln und eine drehbare Strichplatte, an die eine Planglasplatte gekoppelt ist.
- Die drehbaren Strichplatte wird gedreht, bis die kippende Planglasplatte einen Teilstrich des Maßstabes in eine Einfanggabel projiziert. Die Einfanggabel entspricht der Zehner-Teilung, die Tausendstel werden am Rand der drehbaren Strichplatte abgelesen.

## TZ Wegmesssysteme, digitale und analoge Messverfahren

analoge Messverfahren

- fortlaufende Änderung des Messwertes bewirkt stetige Änderung einer andern physikalischen Größe.
- technisch einfacher herzustellen und zu beherrschen
- unterliegt der Ungenauigkeit analoger Systeme (zB Alterung, Fertigungstoleranzen)
- für digitale Steuerung ist ein A/D-Wandler notwendig.



## Pneumatisches Messen

ca. 90' Zeitbedarf

### DIN 2271 T1 - T4 (September 1976): lesbar, aussagekräftig

#### AM Kompressor

- 1) **Wie kann ich mit dieser Anlage eine Länge messen?**  
Vorher: Kessel füllen, Luftschlauch zudrücken, Druckregler auf 1bar einstellen. Nachher Schlauchende mit abfließender Luft gegen eine Oberfläche halten, Manometer zeigt 0 ... 1 bar abhängig vom Abstand. Gewicht der zusätzlichen Luft im Kessel: Kesselinhalt 9l/bar \* Kesseldruck 8bar \* Dichte Luft 1,3kg/m³ = 93,6g
- 2) **Schildern Sie das Messprinzip**

#### Messprinzip

Druckluft strömt durch eine Messdüse auf eine Prallplatte, die Annäherung der Platte verringert den Austrittsquerschnitt und wirkt als Drossel. Dadurch sinken Strömungsgeschwindigkeit und Volumenstrom und steigt der Druck (ohne Widerstand baut sich kein Druck auf). Bei runder Düse darf der Abstand zur Prallplatte höchstens 1/4 des AustrittsØ der Düse betragen

#### Einfluss der Oberfläche

Rauheit der Prallplatte ab Rz = 3 [Millipneu] ... 5 [DIN] µm beeinflusst den Volumenstrom und verfälscht das Messergebnis. Dies soll mit berührenden Messwertaufnehmern (Messkraft < 0,2N, Feinzeiger 0,4 ... 3N) oder durch Vergleichsmessung mit einem solchen ausgeschlossen werden.

Ein Hersteller hat ca. 1990 ein Gerät zur pneumatischen Rauheitsmessung [Sander], meine Rückfrage ca. 1994 ergab aber, dass diese Geräte nicht mehr angeboten werden.

#### FO Kontaktmessung / AB Anzeigende Messgeräte

- 3) **Welche Messdüse ist für die Dickenmessung von Videobändern besser?**

#### Berührungslose Messwertaufnehmer

Prallplatte ist die Oberfläche des Prüfgegenstandes, deshalb Einfluss der Oberfläche etwa ab Rz=5µm; selbstreinigend; sehr kleine Messkraft (nach DIN: vernachlässigbar)

#### Unempfindlich: besonders für die Fertigung

Bauarten nach DIN 2271 T2 (dort auch Bilder): Düsenmessdorne (Bild 1); Düsenmessringe und -rachen (Bild 2); Düsenmesstaster (Bild 3);

- 4) **Wie schaltet man den Oberflächeneinfluss aus?**

#### Berührende Messwertaufnehmer

Mechanisches Antasten durch Tastelement bewirkt Spaltänderung zwischen Messdüse und Prallplatte: kleinere Messunsicherheit; kein Einfluss der Oberflächen; besser in Ecken; Messkraft < 0,2 N (nach DIN)

Bauarten nach DIN 2271 T2 (dort auch Bilder): Kugelkontaktmessdorn oder -ring (Bild 4); Kugel ist gleichzeitig Tastelement und Prallplatte; Hebelkontaktmessdorn oder -ring (Bild 5); Tastelement ist an Blattfeder oder Hebel beweglich; Kontaktmesstaster (Bild 6): Anwendung auf Messtischen, Messbügeln usw. wie ein Feinzeiger

#### Druckbereiche

Druckluftquelle muss genügend Luft fördern können.

Filter sind notwendig, weil Staub, Öl und Wasser in der Druckluft nicht nur die Düsen beschädigt, sondern auch die Kennlinien beeinflusst.

Druckregler: Normal ist Hochdruck > 0,5 bar (z.B. Elpneu 3,5...10 bar); Niederdruck < 0,1 bar ist sehr empfindlich und stellt hohe Anforderungen an den Messaufbau, senkt aber die Messkräfte unter 0,2N. Zwischen 0,1 und 0,5 bar neigt Druckluft zu Turbulenzen und ist nicht beherrschbar.

Messeinheit siehe Messverfahren

Messleitungen können lang sein, wenn der Querschnitt ausreicht. Allerdings sind Teile verschiedener Hersteller kaum kombinierbar, weil alle Teile aufeinander abgestimmt sein müssen.

#### Leitungen: besonders für unzugängliche Stellen

### Messverfahren

Vers. Simulation des Durchflussmessverfahrens durch Spannungsteiler (⇒AB)

#### Druckmessverfahren

(DIN 2271 T1 Bild 3) Eine Vordüse setzt die Durchflussänderung in Druckänderung um. Es wird für Differenzmessung (Reichard9 S28) oder ohne Brücke für Einzel- und Summenmessung (Manometer: Bezug ist Atmosphärendruck) angewendet.

Der lineare Bereich der Kennlinie schränkt den theoretischen Meß ein. Da die Spaltweite nicht gegen 0 gehen darf, sind Messdüsen im Alter meist etwas zurückgesetzt, wobei diese Maßnahme mit Unempfindlichkeit begründet wird.

Die Anzeige erfolgt in Langskalen (Flüssigkeitsmanometer) oder Rundskalen (DIN2271 T2 B9,10; Messuhren mit Druck-Weg-Umsetzer ermöglichen elektrische Kontakte). Zur Anpassung von Meß und E muss man Messdüse, Vordüse und Skale auswechseln (DIN2271 T3). Die Übersetzung (z.B. Elpneu 250...20000fach) ist höher wegen der Brückenschaltung (vgl. Elektronik)

Der Druck kann auch elektrisch (z.B. DMS, Piezo) gemessen werden und ermöglicht Regelung und Steuerung. Wegen der leichten Ablesbarkeit wird häufig in Langskalen (LED-Ketten) angezeigt (z.B. Differenzdruckmesser Elpneu1861 und 1862).

#### Durchflussmessverfahren

(DIN 2271 T1 Bild 2,7,8) Schwebekörper schwebt in einem Rohr mit nichtlinear steigendem InnenØ. Es wird in Reihenschaltung (DIN2271 T1 Bild 5) für Summen und Einzelmessung angewendet. Die Anzeige in Langskalen (Reichard9 S28) ist nach Baukastenprinzip kombinierbar (Mehrsäulengeräte) und ermöglicht leichtes Ablesen vieler Messstellen. Zur Anpassung von Messbereich Meß und Empfindlichkeit E muss Messdüse, -rohr und Skale ausgetauscht werden. Die Übersetzung ist etwa halb so groß wie Zeiger-Messgeräte (z.B. Elpneu 125...10000fach, Messunsicherheit > 0,2µm)

#### Geschwindigkeitsmessverfahren

FO DIN 2271 T1 Bild 3

Die Geschwindigkeitsänderung wird durch eine Venturi-Düse in Druckänderung umgewandelt und gemessen (1. Hauptsatz).

### Messanordnung

#### Summenmessung

wird einfach durch Parallelschaltung von Messdüsen (DIN2271 T1 Bild 8) realisiert. Dies ermöglicht das Messen von InnenØ ohne Zentrieren in sehr tiefen Bohrungen. Allein oder in Verbindung mit der Differenzmessung sind viele Messpunkte möglich, sodass

#### kleine robuste Düsen, einfache Schaltung: besonders für Form- und Lagemessung geeignet

#### Paradebeispiel ist die Tiefbohrung

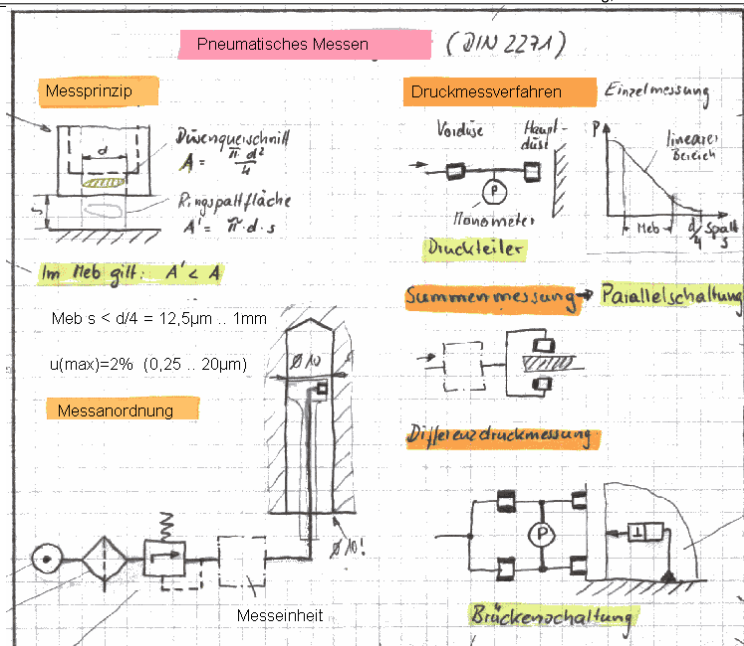
Millipneu bietet Düsenmessdorne ab Ø3, Meß = 100µm, u=2µm für 20mm Tiefe an. Die Tiefe ist prinzipiell kaum begrenzt (Sonderausführungen).

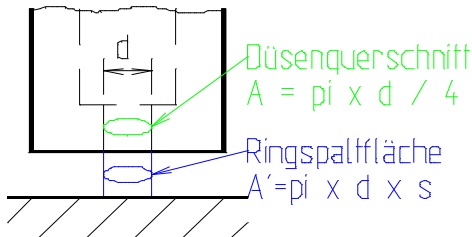
Weil Differenzdruckmessung hier nicht gezeigt, aber leicht durch eine elektrische Brückenschaltung simuliert werden kann, diese wiederum in der Messtechnik sehr wichtig ist und obendrein Ähnlichkeiten zwischen Pneumatik und Elektrik aufgezeigt werden können, sollte dieser Zusammenhang durch einen Versuch demonstriert werden.

Vers. Simulation des Durchflussmessverfahrens durch Spannungsteiler (⇒AB)

#### Differenz(druck-)messung

wird in einer Brückenschaltung realisiert und ermöglicht so genauere Messungen (Vgl. Wheatstone-Brückenschaltung, z.B. in induktiven Messtastern).





Im Messbereich gilt:  $A' < A$

## Anwendungen und Beispiele

Erläuterung zu DIN 2271 T4: "...Beispiele ... (sind) nur Denkanstöße ..., denen eine detaillierte Beratung mit den Geräteherstellern folgen muss"

### Durchmesser

### Kegel (Kegeldüsenmessdorn)

#### Paarung

#### Höhen

#### Rechtwinkligkeit

#### Geradheit

#### Parallelität

#### Fluchtung

#### Achsenabstand

#### Dicke

#### Vertiefung

AB Messbeispiele mit Pneumatik

Messdüsen, -leitungen, -geräte anordnen lassen für

### Merkmale pneumatischen Messens

- Toleranz muss dem Messbereich angepasst sein
- Messfläche mindestens so groß wie der Düsenaustritt
- ab  $R_z > 5 \mu\text{m}$  (Millipneu  $R_z > 3 \mu\text{m}$ ) ist Vorkorrektur durch Vergleich mit Kontaktmesswertaufnehmer nötig
- Form-, Lage- Längen-, Einzel-, Summen-, Differenz- und Paarungsmessungen sind auf engem Raum möglich
- unempfindlich gegen magnetische, elektromagnetische und radioaktive Felder; explosionsicher
- Einstellzeit ist relativ lange (Wirtschaftlichkeit)
- schwierige Messwert-Weiterverarbeitung
- Austrittsfläche und Bohrungen der Messdüse dürfen nicht beschädigt werden
- Luftschläuche gehören zur Messkette und dürfen nicht zu lang sein ( $< 3\text{m}$  wenn möglich)
- geringe Größe der Messgrößenaufnehmer, sie können nah beieinander angeordnet werden.
- unempfindlich, deshalb Messung in Produktionsräumen möglich
- meist berührungsloses Messen, deshalb während der Fertigung möglich
- starke Vergrößerung möglich
- mit elektrischen Anpassen ist Regelung möglich
- unübertroffen für Bohrungs- und Formmessungen (Bohrungen ab  $\varnothing 1\text{mm}$ , sehr tief möglich)

Reichard9 S29 Bild 2 (siehe auch DIN 2271 T4); auch mit berührenden Messwertaufnehmern möglich; Anzeige der gezeichneten Säulen erscheint zufällig

- 2 oder mehr Messdüsen auf \_ (Vgl. Prisma)
- Summenmessung: Versatz von Messgerät und Werkstück im linearen Bereich beeinflusst Messung nicht
- mehrere Messungen in verschiedenen Stellungen erforderlich: Drehen des Messdornes
- Kanäle im Messdorn zum Ableiten der Luft notwendig
- Tiefe der Bohrung spielt keine Rolle
- nach DIN ab  $\varnothing 1\text{mm}$ ; Elpneu ab  $\varnothing 3\text{mm}$
- Kalibrierung mit Einstellringen für pneumatische Messgeräte (DIN 2250)
- 2 oder mehr Messdüsen auf \_, 2 oder mehr Ebenen
- Drehen des Messdornes für mehrere Messungen
- Differenzmessung: mehrere Anzeigen müssen gleich sein. Differenzanzeige mit Rundskalene geeigneter.
- Vorteil der pneumatischen. Messung: viele Messungen auf engstem Raum möglich (vgl. Taylorsches Prinzip)
- Summenmessung: große Nabe (viel Luft), große Achse (wenig Luft): Paarung stimmt, Anzeige ist gut (vgl. Feinzeiger)

- Summenmessung, Dorn drehen
- kombinierbar mit anderen Messungen, z.B. Kegel oder
- Anordnung: Messdüsen haben bei Abweichung des Prüflings gleichzeitig engen (offenen) Spalt
- Drehen des Messdornes um  $90^\circ$  erforderlich
- mehrere Anzeigen auf einer Seite erkennt auch Biegungen höheren Grades. Anzeigen müssen gleich sein
- doppelte Anordnung erspart Drehen des Messdornes; dies Prinzip ist auch bei Geradheit u.a. möglich
- wenn beide abweichen, Prinzip wie Paarungsmessung
- Fluchtung, wenn alle Spaltweite gleich sind
- Definierte Lage erforderlich: Kontakte oben
- Drehen erforderlich

Summe der Spaltweite muss gleich sein

Summenmessung

### Kenngößen pneumatischer Messgeräte

(DIN 2271 T3 von November 1976)

anhand AB Prospekt Millipneu von Feinprüf/Perthen/Mahr v1.6.90 S6,7,18 und Angebot

Folgende Kenngößen sollte ein Hersteller in den technischen Unterlagen angeben:

- Geltungsbereich (Hochdruck - Niederdruck)
- Versorgungsdruck: vor dem Druckregler
- Speisedruck: nach dem Druckregler
- Messkammerdruck: beim Druckmessverfahren ist es der Druck zwischen Vordüse und Messdüse
- Einstellzeit: Zeit vom freien Ausblasen bis Einpendeln der Anzeige auf 1% Meß; Wichtig für Taktzeit in Serie
- Übersetzung (Empfindlichkeit): Bei Änderung der Ü. müssen die bestimmenden Elemente ausgetauscht werden
- Messkraft: bei Berührungslosen vernachlässigbar, sonst  $< 0,2\text{N}$ ; falls zu hoch: Niederdruckanlagen
- Abweichung
  - ohne Möglichkeit zum Abgleich: 1,5 Skt. zulässig
  - mit Möglichkeit zum Abgleich: 1 Skt. zulässig
- Wiederholbarkeit und Messwertumkehrspanne: 0,5 Skt.



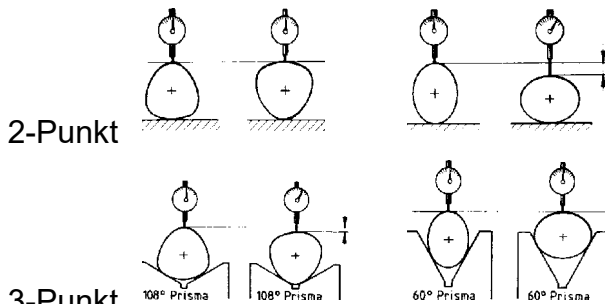


## Prüfung runder Formen

ca. 20' Zeitbedarf

### Rundheit

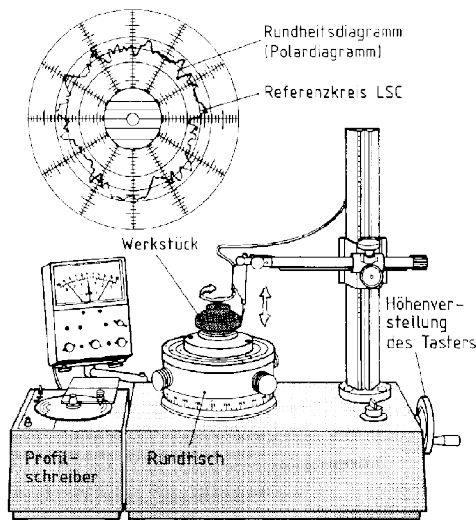
#### Messung Polygonform ovale Form



#### 3-Punkt

Ergänzen: [Jorden 2009]

### Rundheit, Koaxialität



Quelle? Ersetzen!

### Vertiefung

- 1) ?
- 2) ?

Beim Spanen runder Formen, z.B. von Wellen, treten durch Drehbewegung, Zerspankräfte, Unwuchten usw. Schwingungen in Werkzeug und Werkstück auf, die zur Abweichung von der idealen Rundheit führen. Es kommt zu abgerundeten Vielecken, sogenannten Polygonen. Die Eckenzahl ist immer eine Primzahl ( $n=2, 3, 5, 7, 11, \dots$ ). Wenn man bei einer Zweipunktmessung mit Messschrauben oder Messuhren das Werkstück dreht, wird man in jeder Lage denselben Durchmesser messen. Abweichungen von der Rundheit, eventuell sogar Übermaß durch die Ecken lassen sich so, außer bei Ellipsen ( $n=2$ ), nicht feststellen.

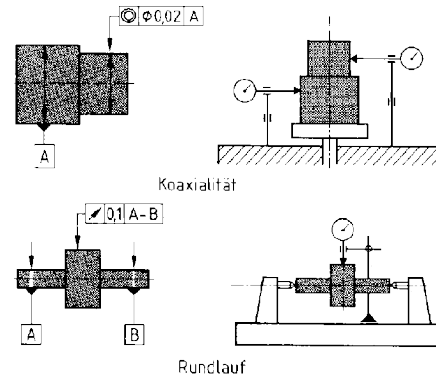
#### FO Prüfen von Rundheit, HTWze1

Deshalb wird oft die Dreipunktmessung angewendet. Man verwendet beispielsweise ein Prüfprisma und eine Messuhr oder 3 Messuhren. Das Messergebnis wird meist aus Tabellen entnommen.

Prüfprismen sind in DIN 2274 / 10.81 hinsichtlich Ausführungen und Anforderungen  $\Rightarrow$  [2] genormt. Prismen werden mit  $90^\circ$  oder  $108^\circ$  in den Genauigkeitsgraden 0, 1 und 2 angeboten und kosten je nach Ausführung zwischen 55,- und 320,- DM  $\Rightarrow$  [9].

Zur genauen Prüfung ist ein Rundheitsmessgerät notwendig. Es besteht aus einem Rundtisch mit hoher Rundlaufeigenschaft und mechanischen oder elektronischen Tastern. Bei einfachen Geräten muss das Werkstück genau zentriert werden, bei Geräten mit Messwertrechnern entfällt die Feinausrichtung. Die Messungen werden auf einem Rundheitsdiagramm protokolliert. Die Rundheitsabweichung ist der Abstand der beiden Kreise, die das Profil einschließen.

Mit Rundheitsmessgeräten oder Form-Messmaschinen können zudem Form- und Lageabweichungen wie Rundlauf, Zylinderform, Koaxialität und Konzentrität ermittelt werden.



AB Kontrollmaßberechnungen

Pruefen\_TA\_runde-Formen.odt  
ca 90' Zeitbedarf

## Prüfung von Kegeln

### Prüfgrößen

- $\varnothing D, \varnothing d$
- Kegellänge L,
- Kegelverjüngung C bzw. Kegelwinkel  $\alpha$ ,
- $C=1/x=(D-d)/L=2\tan(\alpha/2)$
- Formabweichung
- Rautiefe der Mantelfläche

### Messen

messen Kegelwinkeln durch

#### Sinus- und Tangentlineal

FO Sinuslineal (DIN 254)

FO Darstellung von Winkeln mit Endmaßen

#### zwei Durchmesser messen

mit Feinzeigern, induktiven Tastern,

#### pneumatischen Messgeräten

#### Messmikroskop

Man nimmt den Kegel zwischen Spitzen und misst 4 Koordinaten mit möglichst großem Abstand am Kegelrand aus. Kegelwinkel kann berechnet werden (zB)

#### Messanordnung mit Endmaßen

## Prüfung von Verzahnungen

- 1) ?

zusammengesetzte Innen- und Außenflächen von Kegeln müssen sich überall berühren (DIN 7178 T1 Bbl.1)

### Prinzipielle Prüfverfahren

- Winkelmessung
- Formlehre
- zwei Durchmesser im Abstand messen

### Lehren

#### Kegellehrdorne

mit Toleranzstrichen für Kegelhülsen und Kegellehrhülsen für Kegeldorne (zB Werkzeugkegel von Fräsern) gewährleisten keine Ausschussteile (Taylor) trotz Trick mit dem Fettkreidestrich.

#### Kegelflachlehren,

ermöglichen mit dem Lichtspaltverfahren auch die Prüfung im Axialschnitt

HTFT1-9 S55 B1

Pruefen\_TA\_Kegel.odt

- 1) ?
- 2) ?

Pruefen\_TA\_Verzahnung.odt  
Seitenumbruch



## Toleranzen usw.

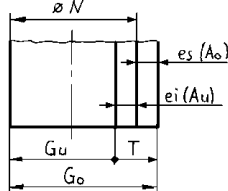
## Toleranzen

## Zweck

weil zu genaue Teile zu teuer sind und  
zu ungenaue Teile nicht funktionieren

## Begriffe

Beispiel Welle  $\varnothing 40^{+0,2}_{-0,1}$   
Umstellen auf Schließzylinder ?



40 N Nennmaß  
40,2 G<sub>o</sub> oberes Grenzmaß, Größt-, Höchstmaß  
39,9 G<sub>u</sub> unteres Grenzmaß, Kleinst-, Mindestmaß  
+0,2 es, ES oberes (Grenz-)Abmaß, (veraltet: A<sub>o</sub>)  
-0,1 ei, EI unteres (Grenz-)Abmaß, (veraltet: A<sub>u</sub>)  
Großbuchstaben für Außenmaße u.u.

0,3 T Toleranz

## Formeln

$G_o = N + ES$   $G_u = N + EI$   
 $40,2 = 40 + 0,2$   $39,9 = 40 + (-0,1)$   
 $T = G_o - G_u$   $T = ES - EI$   
 $0,3 = 40,2 - 39,9$   $0,3 = 0,2 - (-0,1)$

## Toleranzangaben

Abmaßtolerierung z.B.  $10 \pm 0,1$

leicht lesbar, (zu) vielseitig

Allgemeintoleranzen z.B. Maß 30

→ TabB

Schriftfeld DIN ISO 2768m

DIN 2768 (neu) DIN 7168 (veraltet)  
f, m, g, sg f, m, c, v (Toleranzklassen)  
Bedeutung der Abkürzung der Toleranzklassen nur im Notfall anschreiben

für Maße ohne besondere Funktion

ISO-Toleranzsystem z.B. 30h6

30 Nennmaß

h6 Toleranzklasse

6 Toleranzgrad

gibt die Größe der Toleranz abhängig vom Nennmaß an  
und ist ein Maß für Fertigungsaufwand und Kosten

(unabhängig vom Nennmaß !)

h Lage der ISO-Toleranzfelder

Großbuchstaben für Innenmaße, z.B. Bohrungen

Kleinbuchstaben für Außenmaße, z.B. Wellen

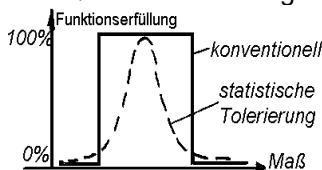
- H/h beginnt beim Nennmaß Richtung Spiel

- JS/js sind symmetrisch zum Nennmaß

Merkmale des ISO-Toleranzsystems

- Funktion und Aufwand (Preis) sind gut erkennbar
- gewollt eingeschränkte Auswahl

⇒ rationellere Fertigung



Klassische Toleranzen sind  
weiterhin gültig für Einzelteil-  
fertigung, aber nicht mehr  
ausreichend für Serienferti-  
gung → 6-σ, SPC, statis-  
tische Tolerierung,

## Vertiefung

FO Schließzylinder, Schließzylinder aus Türschloss ausbauen lassen

- Wie genau kann man ein Maß des AM fertigen ?
- Warum fertigt man nicht grundsätzlich so genau wie möglich ?
- Warum lässt man den Hersteller nicht so billig wie möglich produzieren ?  
Dann lässt er seine Maschine laufen und verschleißt bis der Sechskant rund ist.

[EuroTabM], [HJTabKfz] „Toleranz“

TA Offline

- Hinweise zum technischen Zeichnen, je nach Stand in AP und verfügbarer Zeit als Erklärung während des Skizzierens des TA oder als Wiederholungsfragen

Wellen werden mit einer Freihandlinie geschnitten (früher Bruchschleife) und alle Durchmessermaße werden mit  $\varnothing$  gekennzeichnet (früher nur, wenn die Form nicht als Kreis erkennbar war). Maßpfeile schlank, Mittellinie schmale Strichpunktlinie, Maßlinien und Maßhilfslinien schmale Volllinien, nur sichtbare Kanten als breite Volllinien.



Im Zuge der Europäisierung der Normen wurden in den letzten Jahren die genormten Begriffe geändert. Da in der Praxis alle Begriffe durcheinander verwendet werden, müssen die Schüler alle Begriffe passiv verstehen. Es ist mir gleich, welche Begriffe sie aktiv verwenden. Die in beiden aktuellen TabB verwendeten Begriffe sind unterstrichen.

Eselsbrücke: Innenmaße (z.B. Bohrungen) sind meist etwas größer als Außenmaße (z.B. Wellen), deshalb verwendet man dafür Großbuchstaben.

Für Außenmaße verwendet man bei Abmaßen und ISO-Toleranzen Kleinbuchstaben (ei, es) und bei Innenmaßen Großbuchstaben (EI, ES). (ei = écart inférieure bzw. es = écart supérieure [Roloff/Matek 1995] oder extreme inferior / superior [Decker 2009]) Vorzeichen beachten !

- Wie berechnet man  $G_o$ ,  $G_u$  und  $T$  im allgemeinen Fall ?

- Ültg: die Tolerierungsart aus dem Leitbeispiel

In praktischen Zeichnungen selten angewendet ?

Der Konstrukteur ist in der Wahl der Toleranz nicht eingeschränkt. Da aber z.B. bei Bohrungen für jedes Toleranzfeld eine spezielle Reibahle nötig ist, kann dies teuer werden.

- Ültg: Welche Toleranzen haben Maße, die nicht toleriert sind

Für allgemeine Maße, die keine besondere Toleranz erfordern. Freimaßtoleranzen ?

[EuroTabM], [HJTabKfz] „(Allgemein-)Toleranzen“

Erstmalige Arbeit mit dem Tabellenbuch: Hinweis auf Inhalts-, Stichwort- und DIN-Nummern-Verzeichnis; Seite suchen lassen, Frage nach Toleranzklassen f, m, c, v. Auch hier Europäisierung der Normen, jetzt in Englisch (fine, middle, coarse, very coarse). Die Toleranzen der Normen unterscheiden sich nur in den Klassen v / sg bei  $N > 120\text{mm}$ .

Allgemeintoleranzen zu unflexibel, Abmaßtolerierung zu aufwendig und zu vielseitig ! Weitere Möglichkeit der Tolerierung siehe Zeichnung. Mbm: keine Herleitung

[EuroTabM] „Toleranzklassen“

- Bedeutung von 30h6 =  $30-0,013$ ; Ablesbeispiele aus dem TabB

- Vergleiche die Toleranzen k6, j6, J6 usw. für das Nennmaß 30mm.

- Vergleiche die Toleranz mit den IT-Grundtoleranzen

[EuroTabM] „Grundtoleranzen“

- Welche qualitative und wirtschaftliche Aussage macht der Toleranzgrad ?

- Welche Aufgabe hat der Buchstabe ?

FO Lage der ISO-Toleranzfelder

Nur TG bei ausreichender Zeit:

Tragen Sie alle Toleranzen (Nennmaß 10mm, Toleranzklasse 6) in ein Diagramm (y-Achse Abmaße von  $-30\mu\text{m}$  bis  $+30\mu\text{m}$ , Nulllinie = Nennmaß, x-Achse Toleranzfeldlage A (a) bis Z (z) ein.

An der Zahl kann man Aufwand und Kosten ablesen, an dem Buchstaben die Funktion.

Toleranzklassen AA ... ZZ und 0 ... 12 decken die kleinen Toleranzen weitgehend ab.

Warum sind im TabB nur einige Toleranzen abgedruckt, darunter einige fett ⇒ Fußnote „Die fett gedruckten Toleranzklassen ... sollen bevorzugt verwendet werden“. Durch die Einschränkung der verwendeten Toleranzen werden z.B. nicht alle möglichen Bohrungen für Konstruktionen verwendet, dadurch benötigt man weniger Bohrer und Lehren.

EurM50, S.34, „Toleranzklasse“ Anwendungsgebiete:

Diagramm vorgeben, Qualitätskurve entwickeln

Alle herkömmlichen Tolerierungssysteme gehen davon aus, dass ein Teil innerhalb der Toleranzen seine Funktion zu 100% und außerhalb der Toleranzen zu 0% erfüllt. (Schüler im 1. Lehrjahr haben Schwierigkeiten dies zu begreifen.)

Taguchi weist jedem Maß eine Qualität zu, die abhängig vom Abstand des Maßes zu einem Mittelwert ist. Für die Tolerierung könnte z.B. Verteilungsart, Mittelwert und Standardabweichung gefordert werden. Dieses System toleriert zwar einzelne Ausreißer, erlaubt aber nicht ein Los an der Toleranzgrenze. Dieses Verfahren entspricht eher modernen Fertigungs- und QS-Verfahren ohne wesentliche Beeinträchtigung der Qualität des Gesamtsystems.

AB Übungen zu Toleranzen und Passungen für TG



## Auswahl von Toleranzen

Bei der Auswahl der Toleranzen muss geprüft werden, ob sie fertigungs-, funktions- und prüfgerecht sind.  
Toleranz muss so groß sein, dass sie die Fertigungstoleranz und die Messunsicherheit umfassen kann.

DZ 8/1999 S.1018

DIN EN ISO 14253-1 Messunsicherheit / Fertigungstoleranz

Gewerbeschule Lörrach

**Maß-Toleranzausgaben**

Formtoleranz z.B. Ebenheit  
Lage-toleranz z.B. Parallelität  
Oberflächenqualitäts

Passung für das Zusammenstecken mehrerer Teile  
- Fügung  
- Montage  
- Abdichtung  
- Austauschbarkeit  
- Panzerung  
- Spielung  
- Übergangung (gerade Nuten oder)  
- Panzerung  
- Einbaufeder  
- alle Wellen h (Nuten)  
- Einbaufeder  
- alle Bohrung H (spart Werkzeug + Profenheit)

Die genau muss das Maß  $\phi 8$  gefertigt werden?  
→ Klassische Zurechnung des Techniker  
Seylla und Charpeldi

Toleranz  
zu eng = zu teuer  
zu weit = funktioniert nicht

Methoden  
Grenzmaß (Klarissa)  
Abmaßtoleranz  
 $20 \pm 0,1$   
 $T = 0,21$

statistische Tolerierung

Auswahl wird eingetragenes  
spart Werk- und  
Prüfung

Modere Fertigung voran  
8 oder sogar 10,5  
- Item wird und Funktion korrekt  
- Fertigung wird genau  
- Stückproben werden angenommen  
- SPK - geeignet

65 =  $3 \cdot 10^{-3}$  = 0,3% Ausdehnung  
85 =  $6 \cdot 10^{-5}$  = 0,006% " " 60 ppm  
105 =  $6 \cdot 10^{-7}$  = 0,00006% " = 0,6 ppm

Grenzmaßtolerierung ist eher ein  
Nothelfer als eine gute Lösung für  
die Qualitätsanforderung eines Bauteils

Alleinstücktoleranz  $20 \pm 0,3$   
nach DIN 2168 (alt 2168) in  
→ Tabelle  
für Teile ohne besondere Funktion

ISO Toleranzsystem  $20 \pm 0,5 H/12$   
12 Toleranz abhängig von  $\phi$   
→ Maß für die Verteilung  
H Toleranzfeld  
→ Funktion

Datum: \_\_\_\_\_ Schüler: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Geprüft: \_\_\_\_\_ Blatt: \_\_\_\_\_

**Passungen****Aufgaben**

- Führungen
- Pressverbindungen
- Abdichten
- Austauschbarkeit

**Begriffe**z.B.  $\emptyset$ Innenmaß  $\emptyset 40H7$ , Außenmaß  $\emptyset 40f7$ 

Zeichnung einfügen aus Datensicherung

**Höchstpassung**  $P_H = G_{oB} - G_{uW} = ES - ei$ **Mindestpassung**  $P_M = G_{uB} - G_{oW} = EI - es$ **Passungsarten****Spießpassung**  $0 < P_M < P_H$ **Übergangspassung**  $P_M < 0 < P_H$ **Übermaßpassung**  $P_M < P_H < 0$ **Passungssysteme****Einheitsbohrung H** (meist angewendet)

benötigt weniger Werkzeuge und Lehren für Bohrungen

**Einheitswelle h** (selten angewendet)

wenn mehrere Elemente auf eine Welle passen sollen

**bevorzugte Toleranzen**

im TabB fett gedruckt

zur Einsparung von Werkzeug und Lehren

Vertiefung

- 1) *Ültg: Maßtoleranz für sich alleine ist zwar für die Fertigung wichtig, aber für die Funktion muss man meist 2 Toleranzen betrachten (vgl. Schlüsselbohrung und Schlüssel).*

*Wie nennt man zwei passende Toleranzen?  $\Rightarrow$  Passung*

Die Bauteile des hydropneumatischen Niveaueingleiches von Citroen wurden bis ca. 1970 durch Klassieren, d.h. durch Messen und Sortieren, zugeordnet.

Wird heute (2008) noch bei Einspritzdüsen für Dieselmotoren gemacht (Heinzmann)?

Normierte Passungssysteme wurden während des WKI eingeführt (in Deutschland?).

= Welle  $\emptyset 40f7$  / Bohrung  $\emptyset 40H7$ . Schreibweise  $\emptyset 40H7/f7$  auf einer Zeile ist für CAD zulässig, sonst ist das Innenmaß oben (Eselsbrücke für Großschreibung: das Innenmaß ist meist größer) $40H7 = 40 + 0,025$ ;  $40f7 = 40 - 0,025 - 0,050$  $4H7 = 4 + 0,010$ ;  $4f7 = 4 - 0,006 - 0,016$ 

Innenmaß Bohrung oder Schlüsselbohrung groß, Außenmaß Welle oder Schlüssel

Zeichnung vereinfacht ohne Nennmaß und Abmaße.

Hinweise zum Zeichnen: die Schraffur symbolisiert die Riefen einer Säge und kennzeichnet virtuell geschnittenen Flächen. Schmale Strich - zwei - Punktlinien werden für Grenzstellungen (Türgriff unten in betätigter Stellung) oder benachbarte Werkstücke verwendet.

Im EuroTabM39 S94 werden die Begriffe Höchstspiel  $P_{SH}$ , Mindestspiel  $P_{SM}$ , Höchstübermaß  $P_{UH}$  und Mindestübermaß  $P_{UM}$  verwendet. Da sie mit denselben Formeln berechnet werden, erkennt man Übermaß am negativen Vorzeichen. Ich führe diese Begriffe nicht ein, weil Sie keine zusätzliche Aussage bieten und nur verwirren.

Die Indices W und B stehen für Bohrung und Welle.

größte Bohrung - kleinste Welle;  $\emptyset 40$ : 0,075  $\mu m$ ;  $\emptyset 4$ : 0,026kleinste Bohrung - größte Welle,  $\emptyset 40$ : 0,025  $\mu m$ ;  $\emptyset 4$ : 0,006  $\mu m$ 

auch: positive Passung

auch: negative Passung; ,veraltet: Presspassung

[FO Übungen zu Passungen](#)[FO Lage der ISO-Toleranzfelder](#)

- 1) *Wdh.: Ein Hauptvorteil des ISO-Toleranzsystems ist die sinnvoll eingeschränkte Auswahl. Aber es gibt immer noch zahlreiche Möglichkeiten, z.B. eine Übergangspassung zu wählen (JS/js oder ZB/b)  $\Rightarrow$  Um diese einzuschränken, geht man von H bzw. h-Toleranzfeldern aus.*

Alle Bohrungen erhalten die Toleranzfeldlage H, die Welle wird angepasst.

[FO ISO-Passungssystem](#)

Die Welle erhält die Toleranzfeldlage h, die Bohrungen werden angepasst

z.B. Lager, aufgeschumpftes oder axial bewegliches Zahnrad

[EuroTabM39 S96ff „Passungen“](#)

- 2) *Auch bei Einheitswelle und Einheitsbohrungen gibt es noch zu viele Möglichkeiten,  $\Rightarrow$  deshalb soll man einige bevorzugen (im Tabellenbuch fett gedruckt).*

[AB Übungen zu Toleranzen und Passungen Seite 2](#)

Masze\_TA\_Passung.odt



## Passungsauswahl

## TabB „Passungsauswahl“

FO oder AM Schließzylinder

A: Welche Toleranzen wählt man für die Passung Grundkörper zum Schließzylinder? ⇒

EuroTabM „Passungsauswahl“; FO Lage der ISO-Toleranzfelder

Vorschläge für Passungen mit Merkmalen abhängig von der Anwendung.

B)

Ütg: Bei Wälzlager ist der Passungsvorschlag abhängig von Lagerart (Axial, Radial) und Lastfall (Umfangslast, Punktlast). Axiallager betrachten wir hier nicht, die Verhältnisse sind ähnlich wie bei Radiallager. Was bedeutet und bewirkt der Lastfall (Umfangs- oder Punktlast)?

1) Nennen Sie ein Beispiel am Fahrrad für umlaufende / feststehende Welle / Achse. Wo tritt Umfangslast / Punktlast auf?

TA Fahrradachse- Tretkurbelwelle

2) Welche Passungen schlägt das TabB vor?

3) Um welche Passungsart handelt es sich?

FO Lage der ISO-Toleranzfelder

4) Welche Wirkung haben Umfangs/Punktlast?

5) Warum ist die eher lockere / festere Passung notwendig?

Die Lagerschalen von Wälzlager sind in so etwas ähnlichem wie H bzw. h-Toleranzen genormt (SkF Hauptkatalog 1984-12, S.53ff, Bild S.71).

C)

1) Warum wählt man nicht der Einfachheit halber für alle Passungen Spielpassungen, die leichter zu montieren sind?

FO Balkenbrücke

2) Wie verändert sich die Brücke im Wechsel der Jahreszeiten, wie muss die Veränderung aufgefangen werden.

⇒ Spielpassungen sind leichter zu montieren, Übergangspassungen verhindern Wandern des Ringes, außerdem stützen sie die Lagerschale besser ab.

FO verschiedenen Lagerungen (Maschinenelemente)

## Passungsauswahl bei Wälzlager (radial)

z.B.

Fahrradachse

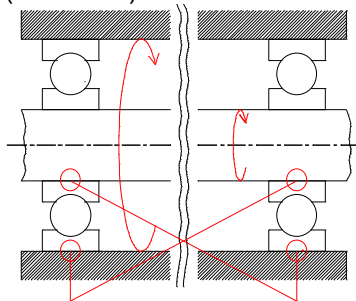
Tretkurbelwelle

Lastfall

Nabe läuft um

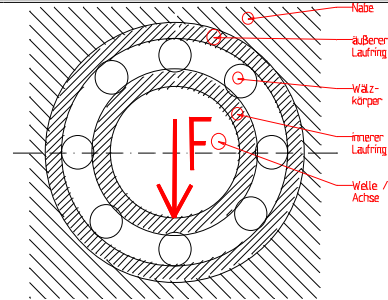
Welle läuft um

(Last steht)



Umfangslast

Punktlast



## Umfangslast

⇒ Übergang / Übermaß

Die Last wandert über dem Umfang weil fester Sitz erforderlich ist



neigt zum Wandern (Fressen)

## Punktlast

⇒ Spiel .. Übergang

Die Last bleibt an derselben Stelle und bewirkt eine punktuelle Formänderung

weil loser Sitz ausreichend ist (leichter montierbar, geeignet für Loslager)



stillstehende Kerbe hält

## Fest- und Loslager

Jede Lagerung enthält 1 Festlager (axial fest), alle anderen Lager müssen Loslager (axial beweglich) sein.

Loslager sind

- in sich axial verschieblich (z.B. Nadellager) oder
- lose gelagert = Spiel- oder Übergangspassung bei der Punktlast

## Allgemeine Regel

Jede Konstruktion muss Längenänderungen der Bauteile aushalten können

Umlaufende Kanten bei Rikula

Los- und Festlager, Umfangs- und Punktlast in den Lagerbeispielen bestimmen, geeignete Passungen wählen.

Masze\_TA\_Passung.odt

## Übungen

AB Passungsauswahl bei Wälzlager

Skizze einer Lagerung, Bilder mit Beispielen für umlaufende Wellen u.a. (umlaufende Welle: Eisenbahn, Tretkurbelwelle; stehende Welle: Kfz; Fahrradachse)

Einleitung: TabB Auswahl von Passungen

Ütg: unbekannte Begriffe siehe Arbeitsblatt, gleichzeitig Unterscheidung Welle, Achse usw.

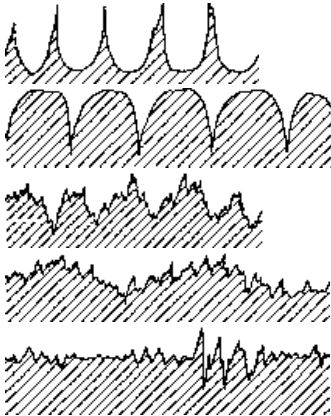




## Oberflächen

## Wirkung auf

ca 90' Zeitbedarf

verschleißt anfangs schnell:  
Einlaufverhalten, Passung

hohe Tragfähigkeit

Reibung, Schmierung, Grif-  
figkeit

Korrosion, Ermüdung

Haftgrund für Beschich-  
tung, Dichtheit

## AM Nockenwelle

- 1) Erforderliche Eigenschaften an den Laufflächen: außen hart, innen zäh, glatt. Wie ist die Oberfläche zu erzielen?

## FO gehonte Oberfläche

⇒ Rauheitskenngrößen sind erforderlich.

- 2) Welche Funktionen hat eine Werkstückoberfläche?
- 3) Wie beeinflussen die Oberflächenprofile diese Funktionen?

spitzkammig

rundkammig

kurzwellig

Zylinderkopf und Motorblock benötigen Rauheiten von 10 .. 20µm, damit die Zylinderkopf-dichtungen einhaken können und nicht zu stark wandern.

langwellig

aperiodisch

## Aufgaben von Oberflächen

Oberflächen haben auch die Aufgabe, sich ineinander zu verhaken, wie das Beispiel Zylinderkopf zeigt. Obwohl Zylinderköpfe mit hohen Vorspannungen montiert werden, schwimmen sie im Betrieb auf der Zylinderkopfdichtung. Es werden Dichtspaltschwingungen bis zu 5 µm bei Pkw und 15 µm bei Nfz gemessen. Deshalb müssen Zylinderkopf und Zylinderblock Rauheiten von 10 bis 20 µm aufweisen, damit sie sich in der Dichtung verhaken und ein Rausschieben der Dichtung verhindern. [Kraftband 5/95 S.214]

- 1) Welches universelle Prüfmittel für Oberflächen kennen Sie?

## FO Tastschnittverfahren

Ergibt nur eine Linie, belastet die Oberfläche.

- 1)) Aufnahme der Messgröße, Gestaltabweichung

## FO Straße

- 2 Gestaltabweichungen gibt es auch auf Werkstückoberflächen. Wie kommen sie zustande

## FO Gestaltabweichung in 6 Ordnungen nach DIN4760

⇒ Oberflächen sind die Überlagerung aller Ordnungen (Wellenlängen).

## Tastschnittverfahren

Einziges genormtes Verfahren, liefert das Istprofil  
Vergleiche Plattenspieler

## Gestaltabweichungen

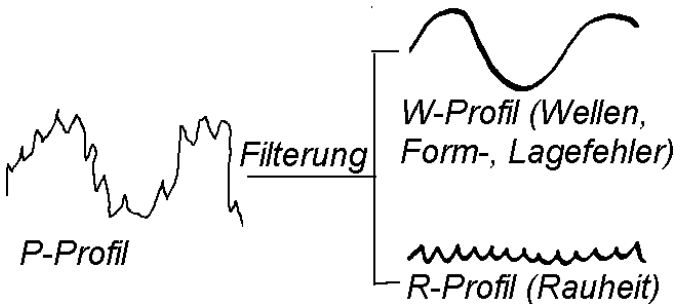
1.+2. Ordnung: Form- und Lagefehler, Wellen  
Drehmaschine in Schwingung

3.+4. Ordnung: Rauheit

Rauigkeit ist aus Rillen, Riefen, Schuppen und Kuppen zusammengesetzt, z.B. durch Spanbildung bei harten Werkstoffen (Stauen und abreißen), durch Vorschub der Schneide (Rillen = Spur neben Spur)

5.+6. Ordnung: Gefüge, Gitter

wird nicht behandelt, ist zu fein, wird von normalen Geräten nicht aufgenommen

Oberflächenbeschädigungen (Risse, Kratzer, Dellen)  
müssen gesondert beurteilt werden.Grenzwellenlänge  $\lambda_c$  (Cut-Off)

trennt R- und W-Profil und hat großen Einfluss auf das Messergebnis

Gestaltabweichung ist die Überlagerung verschiedener Profile; andere Überlagerungen ver-  
gleichbare Wasser, Musik, elektromagnetische Wellen

## Bild siehe EuroM S....

Die Gestaltabweichungen 5.+6. Ordnung werden von Oberflächenprüfgeräten nicht erfasst. Die Gestaltabweichungen 1.-4. Ordnung werden durch Filter getrennt. In der Oberflächenprüftechnik spielen die 3. und 4. Ordnung eine Rolle.

Die Filterung findet entweder mechanisch durch Kufen (für tragbare Geräte) oder elektronisch mit Hoch- und Tiefpass statt (vergleiche Frequenzweichen von Lautsprecherboxen). Die Grenzwellenlänge  $\lambda_c$  (Cut-Off) ist gleichzeitig die Länge der Einzelmessstrecken  $l_m$ .

## Vertiefung

## Video Oberflächen 1

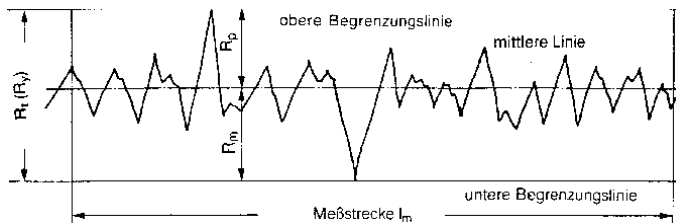
Masze\_TA\_Oberflaeche.odt



## Oberflächenkenngrößen

### Rautiefe $R_t$

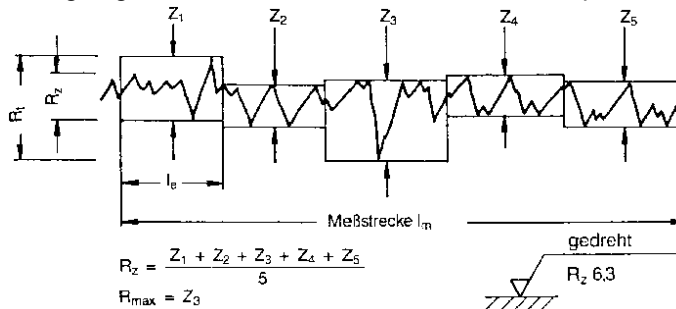
leicht verfälscht durch Profilausreißer



### Maximale Rautiefe $R_{max}$

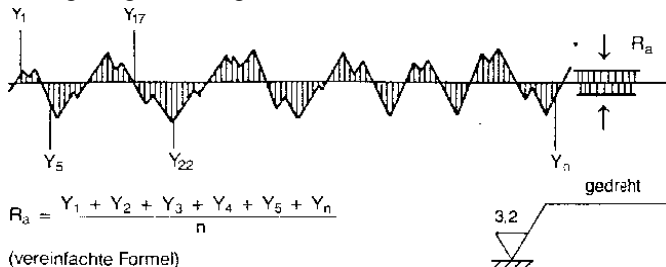
### Gemittelte Rautiefe $R_z$

geeignet, wenn Profilausreißer keine Rolle spielen



### Arithmetischer Mittenrauwert $R_a$

geringe Aussagekraft



### Vergleich $R_a \leftrightarrow R_z$

|                                   | $R_a$         | $R_z$           |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|
| Verbreitung                       | weltweit      | nur Europa      |
| Messgerät                         | einfach       | weniger einfach |
| Streuung der Messwerte            | gering        | weniger gering  |
| Ermittlung aus Profildia-gramm    | nicht möglich | möglich         |
| Aussagefähigkeit                  | gering        | gut             |
| Tauglichkeit zur Ausreißerfassung | nicht möglich | näherungsweise  |
| Messung Flächen < 0,5mm           | nicht möglich | möglich         |

(DIN 4762-1960)

- anfällig gegen Profilausreißer, auch wenn diese nicht funktionsentscheidend (z.B. bei Dichtsitzen) sind.
- entspricht dem Abstand von der höchsten Profilerhebung bis zum tiefsten Tal innerhalb der Messstrecke  $l_m$
- soll nicht mehr angewendet werden, da keine genormten Messbedingungen vorliegen.
- wenn sie in Zeichnungen noch vorgefunden werden, soll wertgleich  $R_z$  verwendet werden.

(DIN 4768)

- ist kleiner oder gleich  $R_t$
- ist die größte Einzeltautiefe  $R_t$  aus 5 aufeinanderfolgenden Einzelmessstrecken  $l_e$

(DIN 4768/1)

- ist der Mittelwert aus den Einzeltautiefen von 5 aufeinanderfolgenden Einzelmessstrecken  $l_e$  (= Grenzwellenlänge  $\lambda_C$  (Cut-Off))
- $R_z$  (auch:  $R_z$ -DIN) ist nicht zu verwechseln mit  $R_z$ -ISO (Gemittelte Rautiefe oder Zehnpunkthöhe ISO 468-1982 und ISO 4287/1-1984).  $R_z$ -ISO ist ebenfalls ein Mittelwert aus den 5 höchsten und 5 tiefsten Punkten, unterscheidet innerhalb der Bezugstrecke  $l_m$  aber keine Einzelmessstrecken, sein Zahlenwert ist deshalb größer oder gleich  $R_z$ -DIN. Die Abweichung beträgt in der Praxis allgemein nicht mehr als 10%.  $R_z$ -ISO wird häufig in Ostblockländern angewandt.
- daneben gibt es andere Messgrößen wie die Grundrautiefe  $R_{3z}$  (Daimler-Benz Werksnorm)

- soll verwendet werden, wenn einzelne Profilausreißer keine Rolle spielen (z.B. Lager-, Gleitflächen, Presssitze, Messflächen). Dies trifft in der Praxis meist zu.

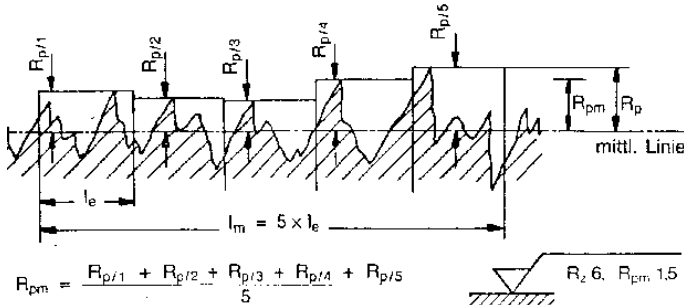
(DIN 4768, ISO 4287/1)

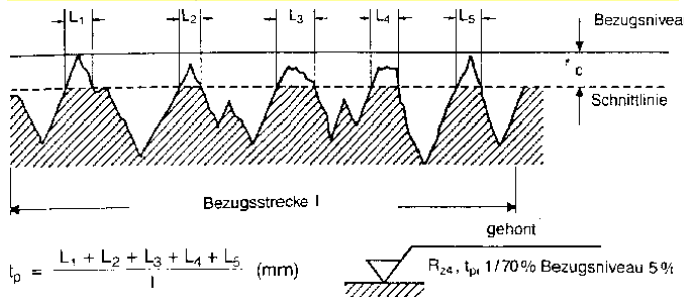
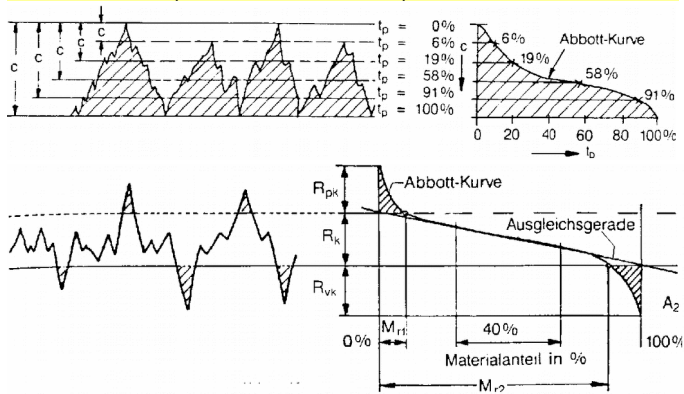
- ist der arithmetische Mittelwert aller Abweichungen  $y$  des Rauheitsprofils von der mittleren Linie innerhalb der Messstrecke  $l_m$ .
- entspricht theoretisch der Höhe eines Rechteckes mit der Länge  $l_m$  und dem Flächeninhalt der schraffierten Fläche.
- Center Line Average CLA (englischsprachige Länder) und Arithmetical Average AA (USA) in Mikro-Inch und die Rauheitsklassen N1 bis N12 nach DIN/ISO 1302 (CH) entsprechen  $R_a$  und sind in den entsprechenden Ländern neben  $R_z$  weit verbreitet.
- Die Aussagefähigkeit von  $R_a$  ist gering. Durch die Bildung des Mittelwertes der Abweichungen bleiben Profilausreißer weitgehend unberücksichtigt, spitz- und rundkammige Profile werden nicht unterschieden.

## Vertiefung

Video Oberflächen 2

Masze\_TA\_Oberflaeche.odt

**Glättungstiefe  $R_p$** **mittlere Glättungstiefe  $R_{pm}$** im Vergleich mit  $R_z$  aussagekräftig für Funktionsflächen:
 $\frac{R_p}{R_z} > 0,5$  spitzkämmig, starker Verschleiß

 $\frac{R_p}{R_z} < 0,5$  rundkämmig, gutes Tragverhalten
**Materialanteile  $t_p$** **Abbott-Kurve (Materialanteilkurve)****Zusammenhang zw. den Kennwerten**

| Profilbild | $P_t$ | $R_{max}$ | $R_z$ | $R_a$ | $R_p$ | $t_{pi}$ | $t_{pa}$ | Traganteilkurve (Abbott-Kurve) |
|------------|-------|-----------|-------|-------|-------|----------|----------|--------------------------------|
|            | 1     | 1         | 1     | 0,25  | 0,2   | 75%      | 75%      |                                |
|            | 1     | 1         | 1     | 0,25  | 0,8   | 15%      | 15%      |                                |
|            | 1     | 1         | 1     | 0,2   | 0,2   | 85%      | 85%      |                                |
|            | 1     | 1         | 1     | 0,2   | 0,8   | 20%      | 20%      |                                |
|            | 1     | 1         | 0,4   | 0,08  | 0,15  | 88%      | 88%      |                                |
|            | 1     | 1         | 0,4   | 0,08  | 0,85  | 7%       | 7%       |                                |
|            | 1     | 1         | 1     | 0,2   | 0,5   | 25%      | 25%      |                                |
|            | 1     | 1         | 1     | 0,3   | 0,8   | 36%      | 36%      |                                |
|            | 1     | 0,5       | 0,4   | 0,1   | 0,2   | 85%      | 17%      |                                |

(DIN 4768)

(angelehnt an DIN 4768)

- Die Glättungstiefe  $R_p$  ist der Abstand von der mittleren Linie bis zur höchsten Profilerhebung,  $R_{pm}$  ist der Mittelwert aus 5 aufeinanderfolgenden Glättungstiefen.
- es bestehen keine genormten Messbedingungen.
- ist ein relativ aussagekräftiger Funktions-Oberflächenkennwert und gibt Aussagen über das Gebrauchsverhalten einer Oberfläche, zB bei Lager- und Gleitflächen, Schrumpffähigkeit bei Schruppsitzen, Lackierfähigkeit und dgl. Kleine Glättungstiefe verglichen mit  $R_z$  ( $R_{pm}/R_z < 0,5$ ) deutet auf massige Kuppen und schmale Täler hin, d.h. gutes Verschleißverhalten. Große Werte in bezug auf  $R_z$  ( $R_{pm}/R_z > 0,5$ ) deuten auf Profilerklüftung und lassen auf ungünstiges Verschleißverhalten schließen.

(DIN 4762 / ISO 4287/1), früher Traganteil

- ist das prozentuale Verhältnis des in einer bestimmten Schnittlinie  $>c<$  geschnittenen Profils zur Bezugsstrecke  $l$  in %.
- genormte Messbedingungen liegen nicht vor, für die Interpretation des Kennwertes muss deshalb die Länge der Messstrecke und die Lage der Bezugsstrecke angegeben werden.  $t_p$  kann durch  $R_a$ ,  $M_a$  und  $M_z$  ersetzt werden (siehe unten).
- $t_{pa}$  wird aus dem P-Profil,  $t_p$  wird aus dem Rauheitsprofil ermittelt.

- ist eine grafische Umsetzung der  $t_p$ -Liste
- gibt ein besonders aussagekräftiges Bild über den Aufbau des Oberflächenprofils. Aus dem Kurvenverlauf kann das zu erwartende Funktionsverhalten, zB Einlaufverhalten eines Motorkolbens, bewertet werden. Ist die Kurve flach abfallend, so handelt es sich um ein fülliges Profil mit gutem Verschleißverhalten. Eine steil abfallende Kurve lässt auf zerklüftetes Profil und starken Verschleiß schließen.

Die folgenden Kenngrößen sind aus der Abbott-Kurve abgeleitet und haben den Vorteil, dass auch die Profilform bewertet wird. Basis ist eine Ausgleichsgerade, die im mittleren Bereich der Abbott-Kurve die geringste Abweichung von der Kurve hat (Ermittlung siehe DIN 4776).

$R_k$  Kernrautiefe ist die Tiefe des Rauheitsprofils ohne Spitzen und Riefen. Sie gibt Aufschluss auf die Rautiefe nach dem Einlaufen eines Gleitlagers, Motorzylinders oä.  $R_k$  ist häufig aussagekräftiger als  $R_z$ .

$R_{pk}$  Reduzierte Spitzenhöhe gibt Aussagen über das Einlaufverhalten.

$R_{vk}$  Reduzierte Riefentiefe trifft Aussagen über das zu erwartende Ölrückhaltevolumen für die Schmierung.

$M_{r1}$ ,  $M_{r2}$  größter/kleinsten Materialanteil des Kernprofils treffen Aussagen über die Traganteile nach dem Einlaufen.

"Hochbelastete Gleit- oder Wälzlagerflächen sollten ein plateauartiges Profil haben mit kleinem Spitzenbereich, einem hohen Materialanteil (Traganteil) im Kernbereich und ausreichend hohen Riefen im Kernbereich" (EuroM52 S.30)

Oberflächenkennwerte stehen nicht in mathematischem Zusammenhang zueinander. So schwankt das Verhältnis  $R_a / R_z$  zwischen 1:3 und 1:20. Verfahrensabhängige Richtwerte sind in DIN 4768T1 aufgeführt.

Rundkämmige Profile (1. Zeile) sind für Tragflächen besonders geeignet und werden durch Feinbearbeitung (Feinschleifen, Läppen, Honen) erzeugt.

Für jeden Anwendungsfall sollte die geeignete Kenngröße ausgewählt werden, da ihre Aussagekraft sehr unterschiedlich ist. Beispiele:

- für Dichtflächen  $R_{max}$  statt  $R_a$ , da  $R_a$  keine Ausreißer (= Undichtheit) erfasst.
- für porige Oberflächen ist  $R_a$  günstiger als  $R_{max}$  oder  $R_z$ .
- für Gleitlagerflächen ist  $R_z$  geeigneter, möglichst zusammen mit  $t_p$  bzw.  $R_k$  (Traganteil und Öltaschen).



## Oberflächenprüfverfahren

Vergleichsmuster

Planglasplatte

Tastschnittverfahren

Dutschke, Fertigungsmesstechnik einarbeiten

Optisches Tastsystem  
(Fokusedetektorverfahren, Fokussierverfahren)

Lichtschnittverfahren

Interferenzmikroskop

Interferometrische Verfahren

Streulichtverfahren

(Pneumatisches Tastsystem)

Raster-Tunnel-Mikroskop

## Erreichbare Rauheit bei der Fertigung

R<sub>z</sub> und R<sub>a</sub> von Oberflächen

## Einflüsse auf die Oberflächengüte

"Nagelprobe": Sicht- und Tastvergleich ermöglicht eine Genauigkeit zwischen 2µm und 30%; für jedes Bearbeitungsverfahren sind spezielle Vergleichsmuster nötig.

### AB Tastschnittverfahren

#### AM Vergleichsmuster Sicht- und Tastvergleich

Genormtes Verfahren zur Oberflächenprüfung.

z.Zt. das einzige Verfahren, das zur Berechnung diverser Kennwerte taugt.

Messbare Abweichungen 0,01µm bis 1000µm

Berechnung nur aus 2-dimensionalem Profilschnitt vom 0,4 bis 40mm Länge. bei mechanisch bearbeiteten Oberflächen ergibt ein Tastsitzenradius von 5µm eine Messunsicherheit Rz < 1µm, da der Öffnungswinkel meist >120° ist. Feinere Oberflächen und Risse können damit nicht erfasst werden.

Geräte sind empfindlich, Rüst- und Messzeit beträgt ca. 15s.

Die Abtastung erfolgt mit einer Diamantnadel (vgl. Plattenspieler), vielseitig einsetzbar, nicht geeignet für Folien, Rissprüfung, Prüfung von Flächen, während der Fertigung.

Vorschub von Hand oder maschinell.

Filterung des R-Profiles elektronisch (Höhen-/ Tiefenregler) oder über Gleitkufe. Grenzwellenlänge λ<sub>c</sub> (Cutoff) ist ein Maß für die Grenze zwischen R- und W-Profil. Es muss größer sein als der Rillenabstand, aber möglichst klein, um Formabweichungen auszuschließen. Einstellbar am Tastschnittgerät, Auswahl nach DIN 4768T1, Auszug siehe Perthometer: Definitionen, Oberflächenmessgrößen.

Einfachere Geräte erstellen Ausdruck wie z.B. in Reichard9 552, aufwendigere Geräte mit Computer und Bildschirm (Perthometer 58P). Flexible Auswertung auch auf dem PC unter Windows möglich (Perthen-Profilmanager), Anpassung an neue Messgrößen (ausländisch, Normänderung) möglich.

#### FO Vergleich Tastschneidspitze Diamant / Laser

Prinzip wie Tastschnitt mit fokussiertem Licht statt Nadel. Es wird die Fokussierung eines Laserstrahles auf der Oberfläche mit LEDs gemessen und der Abstand zur Oberfläche mechanisch nachjustiert. Die Bewegung wird induktiv aufgenommen. bessere Horizontalaufklärung ergibt meist größere Werte (Leuchtfleck Ø: ca. 1 µm).

Eignet sich für weiche und empfindliche Oberflächen, gewinnt an Bedeutung. [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996]

. Oberfläche wird schräg mit Licht bestrahlt und unter dem Mikroskop betrachtet. Für reflektierende Oberflächen mit Rautiefen von 2 bis 20 µm. 3-dimensionale Erfassung, Kennwerte können nicht ermittelt werden. [Reichard9 547]

Gewinnt in der Messung von Schichtdicken oder in Verbindung mit Bildbearbeitungssystemen wieder an Bedeutung und eignet sich eher zur Formprüfung [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996]

Reichard9 547: Erzeugt optische Höhenschichtlinien unter dem Interferenzmikroskop Für reflektierende Oberflächen mit Rautiefen von 0,3 bis 2 µm. 3-dimensionale Erfassung, Kennwerte können nicht ermittelt werden.

#### FO Interferometrische Oberflächenaufnahme (Spektrum der Wissenschaft 09/91, S.50ff)

Weiterentwicklung des Interferenzverfahrens: Computer wertet Höhenschichtlinien aus bewegten Aufnahmen aus und erzeugt Profildarstellung. Daraus sind beliebige Kennwerte ermittelbar (Spektrum der Wissenschaft 09/91, S.50ff, Optische Interferometrie an Oberflächen)

Oberfläche wird fokussiert beleuchtet und der Anteil Licht gemessen, der reflektiert wird. Der optische Rauheitswert SN hat keinen Bezug zu Rz oa.

Eignet sich nur für die Messung ähnlich strukturierter Oberflächen (Serienfertigung) [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996].

War ein Versuch in den 80er Jahren, Perthen hat den Vertrieb inzwischen eingestellt.

Hat im Labor schon Oberflächen im nm-Bereich gemessen, sehr aufwendig [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996].

#### EuroTabM

anhand EuroTabM37 S95 "Oberflächenwerte"

- logarithmische Teilung
- li: erfahrener Facharbeiter, re: Azubi
- gut gefräst besser als schlecht gehont
- Honen bei Ra extra gut, weil wenig Ausreißer
- Vergleich Ra, Rz S94, Oberflächenangaben

Masze\_TA\_Oberflaeche.odt



## Form- und Lagetoleranzen

siehe EuroM52 S.41ff

Form- und Lageprüfungen gehören zu den schwierigsten und kostspieligsten Prüfungen in der Fertigungsmesstechnik

### Formtoleranzen

beschreiben die Form einer Fläche.

Flachformtoleranzen, Rundformtoleranzen, Profilformtoleranzen

### Minimum-Prinzip

Das Element ist so auszurichten, dass die Abweichungen minimal sind. Grafisch kann die Auswertung nach Augenmaß vorgenommen werden.

### Geradheit, Ebenheit

Symbol:

Prüfverfahren: Haarlineal, Prüfplatte, Planglasplatte, Spanndraht, optische Achsen, Führungen mit Messtaster (Tastschnittverfahren)

Beispiel: Haarlineal, Führung für Werkzeugmaschinen, Fluchtung

### Neigung

Symbol:

Prüfverfahren: Richtwaagen

Beispiel: Aufstellen und Ausrichten von Maschinen

### Rundheit, Zylinderform

Definition: Die Umfangslinie jedes Querschnittes muss in einem Kreisring von der Breite  $t=0,02$  enthalten sein.

Symbol:

Prüfverfahren: Zweipunktmessung, Dreipunktmessungen mit Prismen und Messtastern, Kreisführungen (Rundführungen)

Die Rundheit kann mit den üblichen Werkstattprüfverfahren nur näherungsweise geprüft werden, da die Abweichungen meist unbekannt und unregelmäßig sind.

Beispiel Zylinderform: Säulenführung

### Lagetoleranzen

beschreiben die Lage zweier aufeinander bezogener Elemente.

Richtungstoleranzen, Ortstoleranzen, Lauftoleranzen

### Parallelität

Symbol:

Prüfverfahren: Prüfplatte mit anzeigendem Messgerät

Beispiel:

### Winkelprüfung

Symbol:

Prüfverfahren: Universalwinkelmesser, feste Winkel, Sinuslineal

Beispiel:

### Konzentritizität

Definition: Konzentritizität bezieht sich auf den Mittelpunkt von Kreisen und wird in der Ebene gemessen.

Symbol:

Prüfverfahren:

Beispiel:

- Innen- und Außenform einer Unterlagscheibe

### Koaxialität

Definition: Koaxialität bezieht sich auf den Mittelpunkt von räumlichen Formelementen (Zylinder) und wird räumlich geprüft.

Symbol:

Prüfverfahren:

Beispiel: Drehteile, die zur Bearbeitung der zweiten Seite umgespannt wurden.

Quellen: EuroTabM39 S.102 "Form- und Lagetoleranzen"; EuroM52 S.41ff; DIN-Taschenbuch 11, Berlin 1991, S.330ff

ca.' Zeitbedarf

AM Nockenwelle

Einarbeiten: [Jorden 2009]

EuroTabM50 S.102 "Form- und Lagetolerierung"

1) Unterschied Form- und Lagetoleranz ?

2)

Die Ausrichtung kann auch rechnerisch nach Tschebyscheff, Gauss o.ä. erfolgen.

Hüllbedingung, Maximum-Material-Prinzip siehe DIN 11 S.372ff

Das Haarlineal muss lang genug sein. Mit dem Haarlineal erkennt man Abweichungen etwa ab  $2\mu\text{m}$ , größere Abweichungen können mit Fühlerlehren geprüft werden. Wird eine Fläche an mehreren Stellen geprüft, muss das Haarlineal jedesmal abgehoben werden, da Verschieben zu viel Verschleiß für die Prüffläche bedeutet.

Beim Prüfen mit der Prüfplatte wird der tolerierte Fläche auf ein Ebenheitsnormal (Hartgesteinplatte) und dann von unten mit einem Messtaster an möglichst vielen Stellen die Abweichung der Fläche gegenüber der Prüfplatte gemessen.

Planglasplatten benötigen hochwertige, polierte Oberflächen und werden z.B. zum Prüfen der Messflächen von Endmaßen und Messschrauben eingesetzt. Ein zwischen zwei Interferenzstreifen besteht ein Höhenunterschied von ca.  $0,27\mu\text{m}$ .

Tastschnittgeräte ähneln solchen für die Rauheitsmessung, haben aber Prüfspitzen mit größerem Durchmesser ( $R1..20\text{mm}$ ).

[Dutschke 1996]: Verfahren zur Geradheitsmessung

Richtwaagen können senkrechte oder waagerechte Lagen bzw. geringe Abweichungen davon messen. Ihre Empfindlichkeit beträgt bis zu  $0,01\text{mm}$  auf  $1\text{m}$  Länge. Elektronische Richtwaagen haben einen größeren Messbereich von  $0,02$  bis  $2\text{mm}$  auf  $1\text{m}$  Länge.

Zweipunktmessungen mit Messschrauben oder Messtastern geben bei Gleichdicken mit 3 Bogen keine Anzeigenänderungen

Dreipunktmessungen mit Prismen und Messtastern ergeben eine Anzeigenänderung, die vom Prismenwinkel und der Rundheitsabweichung (Bogenzahl) des Werkstückes abhängt und nicht immer direkt der Rundheitsabweichung entspricht. Bei einem  $90^\circ$ -Prisma entspricht die Anzeigenänderung bei einer Ellipse der Rundheitsabweichung, während bei Gleichdicken mit 3 oder 5 Bogen die Rundheitsabweichung nur halb so groß ist wie die Rundheitsabweichung.  $108^\circ$ -Prismen zeigen etwa die wirkliche Unrundheit an, haben sich in der Praxis aber nicht durchgesetzt, weil die Charakteristik der meist unregelmäßigen Formabweichung nicht bekannt sind.

Kreisführungen kann einfach durch Spannen zwischen Spitzen erreicht werden, aber nur bei gedrehten Teilen liegen die Zentrierbohrungen annähernd im Mittelpunkt der Form. Deshalb erfolgt nur eine Rundlaufprüfung. Außerdem haben selbst gute Zentrierbohrungen Kreisformabweichungen von etwa  $2\mu\text{m}$ .

- Einfache Messspindel mit Kunststofflager sind nicht hoch belastbar ( $G<10\text{kg}$ ) erreichen Rundlaufabweichungen von  $0,1\mu\text{m}$ , Öl- und Luftlager erreichen sogar  $0,015\mu\text{m}$ .

Rundheitsmessgeräte prüfen Werkstücke unabhängig von einer Zentrierung, das Werkstück muss vorher durch Verschieben ausgerichtet werden. Umlaufende Taster eignen sich auch für nicht rotationssymmetrische Teile (z.B. Zylinderblock). Filter trennen kurz- und langwellige Formabweichungen und filtern so z.B. aus Kolben für Verbrennungsmotoren die ovale Form heraus.

[Dutschke 1996] S.172: Bild

Beim Prüfen mit der Prüfplatte wird die Bezugsfläche auf ein Ebenheitsnormal (Hartgesteinplatte) gelegt und dann die tolerierte Fläche mit einem Messtaster an möglichst vielen Stellen die Abweichung der Parallelität gemessen.

Planparallelglasplatten werden zum Prüfen der Parallelität der beiden Messflächen einer Messschraube eingesetzt.

Universalwinkelmesser haben Nonien bis zu einer Ablesegenauigkeit von 5 (digital bis 1)

Winkelminuten. Alle Winkel müssen rechtwinklig zu den Prüfflächen stehen (Pyramidalabweichung), es darf kein Lichtspalt zu sehen sein und Verschieben der Prüffläche auf dem Prüfling bewirkt hohen Verschleiß der scharfen Kanten.

Mit einem Sinuslineal kann man Winkelunterschiede bis zu  $3..10^\circ$  einstellen.

Koaxial wird gemessen, wenn die Länge größer als der Durchmesser des Zylinders ist, Konzentrische wird gemessen, wenn die Länge eines Zylinders kleiner als sein Durchmesser ist.





## Koaxialität / Konzentrität

Unterschied zum Rundlauf ?

Prüfverfahren: Konventionelle Prüfung von Koaxialität / Konzentrität ist nicht möglich, dabei wird immer der Rundlauf gemessen.

## Rundlauf

Definition:

Symbol:

Prüfverfahren:

Beispiel:

- Eine Getriebewelle wird funktionsgerecht geprüft, indem die Lagerzapfen in Prismen gelagert werden, allerdings können Unrundheiten der Lagerzapfen das Ergebnis verfälschen. Prüfung bei Einspannung zwischen Spitzen ist einfacher.

## Planlauf

## Prüfung

## Lehren

Positionieren (Anschlagflächen)

Spannen (Schnellspanner)

Prüfen (Fühlerlehren, Prüfstiften, eingebauten Messuhr o.ä.)

## Zylinderformprüfgeräte

prüft nicht nur Kreis- und Zylinderform, sondern auch Geradheit, Planlauf, Ebenheit, Parallelität, Rundlauf, Konzentrität und Koaxialität.

## Koordinatenmessgeräte

messen beliebige Oberfläche durch zahlreiche Messpunkte.

Weitere Formprüfungen anschließen

Gewinde, Verzahnungen, Kegel, Nocken, Turbinenschaufeln

## Allgemeintoleranzen

Sind keine Form- oder Lagetoleranzen eingetragen, müssen alle Abweichungen innerhalb der Maßtoleranz (EuroM52 S.41 Bild 2), bzw. der Allgemeintoleranzen nach DIN 2768 liegen

Faustregel aus der Praxis:

Koaxial wird gemessen, wenn die Länge größer als der Durchmesser des Zylinders ist, Konzentrische wird gemessen, wenn die Länge eines Zylinders kleiner als sein Durchmesser ist.

Beispiel für Konzentrität: Innen- und Außenform einer Unterlagscheibe [Perthen IV-15]

Beispiel für Koaxialität: [Perthen IV-15]

Besonderheit: der Messwert ändert sich nicht, wenn Bezugs- und toleriertes Element getauscht werden.

## Beispiel: Zahnradpumpe

Das Prüfverfahren ist durch die Zeichnungsangabe nicht vorgegeben.

Das Prüfverfahren kann sehr aufwendig sein. Oft führt man das räumliche Problem auf eine ebene zurück, indem man definierte Linien an der Fläche prüft, zum Beispiel Geradheit und Kreisform (Rundheit) an Stelle der Zylinderform. Die Zylinderformabweichung lässt sich aber nicht exakt aus gemessenen Geradheits- und Rundheitsabweichung bestimmen. Eine vollständige und lückenlose Prüfung der Gestalt eines Werkstückes ist nicht möglich. Erst die Koordinatenmesstechnik erlaubt aus vielen Messpunkten ein numerisches Bild der Gestalt und auch der körperlich nicht vorhandenen Flächenelemente (z.B. Achsen) zu berechnen.

FO Lehre für Form- und Lagetoleranz

Spezielle Formprüfgeräte sind gewöhnlich genauer als Koordinatenmessgeräte (KMG), dafür sind KMG vielseitiger, z.B. auch für Zahnräder.

Tabelle der Allgemeintoleranzen für Form und Lage ⇒ EuroTabM39 S.104 "Allgemeintoleranzen"

In DIN 7168 wurden die Buchstaben R, S, T und U verwendet, in der neuen DIN 2768 sind es H, K und L. Die Toleranzen sind etwa um den Faktor 5 größer geworden.

Masze\_TA\_Form-Lage.odt



## Qualitätsmanagement

### Der Begriff „Qualität“

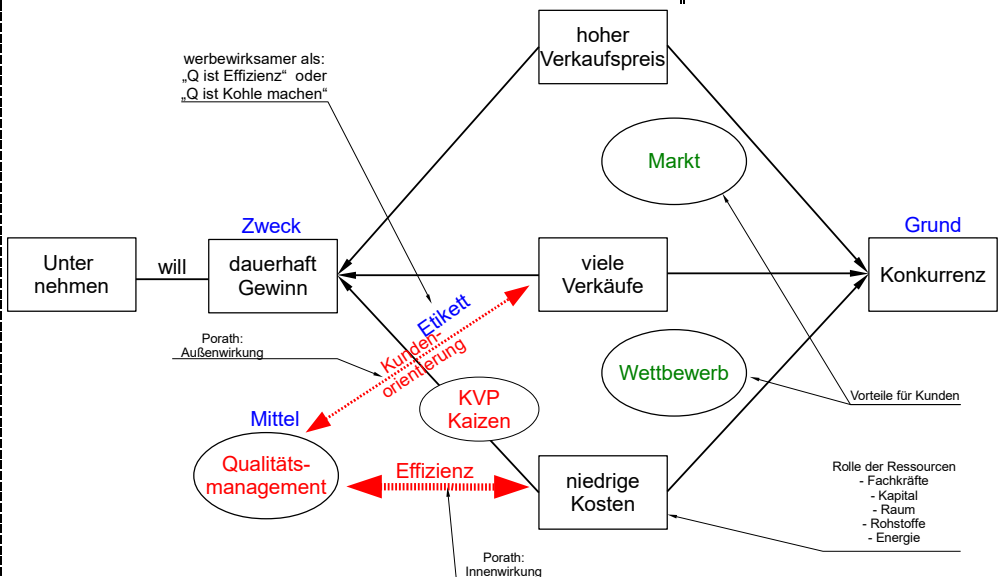
Die gestrichelte Linie links kennzeichnet Schnelldurchgang

### Wozu benötigt man QM?

### grafische Darstellung

FO Fernsehprogramm

- 1) Privatisierung fördert Qualität. Ist Privatfernsehen Qualität?
- 2) Ein: Zertifizierung ist die Bestätigung eines QM-Systems. Wozu braucht man QM?



### Kernaussagen:

- Zweck: dauerhafte Gewinne
- eigentlicher Grund (Problem): Konkurrenz
- Mittel: (Q-)Management
- Ansätze QM: Kundenorientierung, Effizienz und KVP → soll die Potentiale des Betriebes ausbauen
- Etikett: Kundenorientierung

„Q. ist, wenn der Kunde zufrieden ist“

klingt besser als:

„Q. ist ein Mittel, um Geld zu verdienen trotz Konkurrenz“

### Definition (für QM)

Q. ist, wenn der Kunde zufrieden ist“

(Gute Qualität ist die Befriedigung der Kundenbedürfnisse)

Kundenwünsche sind wichtiger als Ingenieursträume!

FO Qualität ist ... (Schlagworte)

Der Begriff Qualität ist zwar genormt, aber im praktischen Gebrauch ziemlich unklar. Mein Ansatz ist eine umfassende und schülerfreundlich leicht verständliche Definition, aber nicht unbedingt neuester Stand der Diskussion.

### Entwicklung:

- 1) Welchen Zweck haben Unternehmen? Dauerhaften Gewinn
- 2) Welches Ziel sollte also das Management haben? Dauerhaften Gewinn
- 3) Wie macht man Gewinn? Hohe Preise, viele Verkäufe, niedrige Kosten
- 4) Wo liegt das Problem? Konkurrenz
- 5) Wer regelt den Preis? Markt
- 6) Wo kann das Management ansetzen?  
Verkaufszahlen über Kundenorientierung steigern, Kosten über interne Effizienz senken, KVP gegen Wettbewerb
- 7) Was hat die Konkurrenz mit unseren Kosten zu tun?  
Teilweise nichts, aber man konkurriert auch um Ressourcen, z.B. Fachkräfte.  
Interessant ist, dass Marketing im QM nicht vorkommt, jedenfalls nicht als QM-Element. Trotzdem wird QM, bzw. eine Zertifizierung natürlich auch wegen der Werbewirkung gemacht. Auch beim OES-Prozess dürfte diese Intention nicht völlig nachrangig sein.

Zur Geschichte und der Diskussion des Begriffes Qualität siehe QZ 10/96 S.1142, QZ 11/96 S.1216f. Die DGQ-Definition, Qualität sei „realisierte Beschaffenheit einer Einheit bezüglich Qualitätsforderungen“ weist folgende Mängel:

- 1) realisierte Beschaffenheit schließt Zeichnungen nicht eindeutig ein, tatsächliche Merkmale sind aber sowieso realisiert. 2) In der Definition liegt ein Zirkelschluss vor (Qualitätsforderungen). 3) Die Formulierung schließt nicht eindeutig alle bzw. eine ganz bestimmte Qualitätsforderung ein. 4) „bezüglich“ ist sehr ungenau, denn irgendeinen Bezug zwischen Beschaffenheit und Forderungen findet man immer.

QZ 04/99 S.431ff: „Kunden nehmen Qualität äußerst subjektiv wahr und damit aus der Sicht des Anbieters mitunter unfair.“ „Während Hersteller häufig eher produktorientiert denken und Merkmale wie den Innovationsgrad einer Leistung oder die technische Ausstattung von Produkten als wichtig erachten, achten Kunden häufiger auf weichere Faktoren wie Motivation, Flexibilität und Einfühlungsvermögen der Mitarbeiter oder Verlässlichkeit von Aussagen und Produkten.“

### Vertiefung

### Sonstiges

Qualitätsmaßnahmen sind recht alt, schon auf athenischen Töpferwaren sind Herkunftsstempel erhalten. Auch Zünfte entstanden u.a. aus der Situation heraus, dass Handwerker vorher keiner Qualifikation bedurften und deshalb die handwerkliche Produktion dieser Zeit oft von miserabler Qualität war. Die Meisterprüfung bzw. die Prüfung zur Aufnahme in eine Zunft entspricht deshalb im weiteren Sinne einem Zertifizierungsaudit. Mit Zunftzeichen versehene Produkte waren Qualitätsprodukte [qz01].

Einarbeiten: [Balzert 1995]

Quelle ? „fitness for use“ ältere Definition

ISO 8402: „Quality = The totality of characteristics of an entity that bear on its ability to satisfy stated and implied needs.“ „Qualität ist die Gesamtheit von Eigenschaften und Merkmalen eines Produktes oder einer Dienstleistung, die sich auf deren Eignung zur Erfüllung festgelegter oder vorausgesetzter Erfordernisse beziehen“. [Glaap 1993] S.43, ähnlich: [weka 2/3.1 S2] DIN 55350 T11ff: „Unter Qualität versteht man die Übereinstimmung der Ist- und Sollbeschaffenheit eines Produktes“ [Reichard 1993] S.8. Mager, beschränkt sich auf Produkte. „Eignung zur Erfüllung“ ist viel umfassender als „entspricht genau Zeichnung“ „festgelegte oder vorausgesetzte Erfordernisse“ umfasst auch unausgesprochene Wünsche des Kunden. DGQ-Definition „Realisierte Beschaffenheit einer Einheit bezüglich Qualitätsforderungen“.

QM\_TA\_Q-Begriff.odt

Seitenumbruch

**Kriterien des Kunden für Qualität**

Funktionserfüllung  
Zuverlässigkeit (Produkte, Aussagen)  
Wertbeständigkeit  
Design  
Image  
Preis (nicht an erster Stelle)

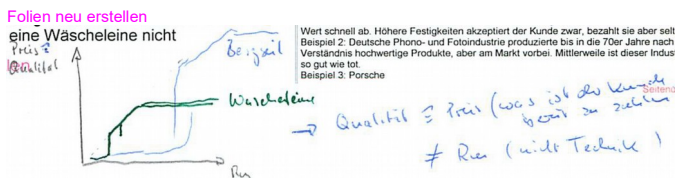
Aussehen  
Verarbeitung  
Handhabung  
Wartung  
Reparatur-  
freundlichkeit  
Zubehör  
Betriebssicherheit  
Garantie.

... sind ist gesellschafts- und zeitabhängig.

... werden auf das Anforderungsniveau bezogen.

Beispiel: Wäscheleine – Bergseil

Ein Bergseil mit 500kg Bruchlast wird besser bezahlt als eines mit 400kg - eine Wäscheleine nicht

**Folgen mangelnder Qualität**

- unzufriedene Kunden = Imageverlust
- Verlust von Marktanteilen, Gewinn und Arbeitsplätzen
- rechtliche Ansprüche (ProdHaftG, Gewährleistung)
- Fehlerkosten
- Reklamationen haben auch ihr Gutes
  - Der Kunde kommt wenigstens wieder, man kann ihn halten
  - man erfährt kostengünstig und trennscharf Mängel seiner Qualität
  - Seien sie froh um jeden Kunden, der reklamiert. Sonst machen sie Pleite ohne zu wissen warum.

**Warum wollen Unternehmen Qualität ?**

- trotz Konkurrenz Geld verdienen
- Verkaufsargument (89%)
- Kostenreduktion (66%)
- größere Flexibilität (58%)
- kürzere Durchlaufzeiten (40%)

**Qualitätsziele für Ihr Unternehmen**

- müssen Sie selbst festlegen

**VtfG:** US-Konzern plante ca. 1975 einen Kleinwagen. Vorversuche ergaben, dass die Lage des Tanks bei Auffahrunfällen erhöhte Brandgefahr verursachte. Die Lösungen (Auskleidung des Tanks 5\$, Plastikpufferung 11\$) wurden verworfen (damalige Devise des Unternehmens "Safety doesn't pay"). Einer spätere Untersuchung ergab: 9000 Tote in 4a. (Vgl. Brandsatz im Tiefflug, Spiegel ??/94. Vgl. Crash-Tests von ADAC und Auto, Motor, Sport von 1990.) An welcher Stelle hat der QRK versagt? Eingangsgröße Qualitätsanforderung war falsch gewählt. Nicht der QRK hat versagt, sondern die Ethik des Managements.

- 1) Wer setzt die Kriterien für Qualität? - der Kunde
- 2) Sie sind häufig Kunde und damit Spezialist für Qualitätskriterien. Wonach bewerten sie ein Produkt / Dienstleistung? Warum hat Ihnen ein Produkt nicht gefallen? (Missfallen ist bewusster als gefallen!).
- 3) Ordnen Sie die Kriterien nach Wichtigkeit.

(Profite Impact on Market Strategy in [Pfeifer 1993] S. 2)

Großer Erinnerungswert der Qualität: Nach Ablieferung des Produkts, nach dem Gefahrübergang, sind Preis und Lieferfähigkeit bald vergessen. Sie haben einen geringen Erinnerungswert. Jedenfalls „spricht“ Qualität am längsten, oft noch nach vielen Jahren; und zwar entweder für oder gegen denjenigen, der das Produkt erstellt hat. Dies sollte man berücksichtigen, wenn beim Verkaufsgespräch der Preis im Vordergrund steht. Man sollte auch bedenken, dass die Erfahrungen eines Kunden mit einem Produkt häufig Rückwirkungen an alle anderen Produkte des gleichen Anbieters haben, seien es nun gute oder schlechte Erfahrungen. [Geiger 1998]S.17

Ist für den Kunden Qualität immer dasselbe, abgesehen von Moden?

Qualität ist nicht so wichtig, wenn keine Wahl besteht, mit wachsender Verfügbarkeit wird Qualität wichtiger. (Vgl. Situation in der DDR).

z.B. billige Campingstühle für den Urlaub, die nach 2 Wochen kaputt waren; teure Campingstühle mit nutzloser Fußstütze, 1987 gekauft.

Der Kunde beurteilt die Qualität eines Produktes nach dem Nutzen, den es ihm leistet.

Beispiel 1: Wäscheleine verglichen mit Bergseil. Achsen vorgeben: Trage den Wert (als Maß für die Qualität) abhängig von der Zugfestigkeit für eine Wäscheleine und ein Bergseil ein. Den vollen Wert (100%) erreichen beide Produkte zwar bei anderen Festigkeiten, haben aber dennoch dieselbe Qualität. Würde die Anforderung des Kunden nicht erfüllt, sinkt der Wert schnell ab. Höhere Festigkeiten akzeptiert der Kunde zwar, bezahlt sie aber selten höher.

Beispiel 2: Deutsche Phono- und Fotoindustrie produzierte bis in die 70er Jahre nach ihrem Verständnis hochwertige Produkte, aber am Markt vorbei. Mittlerweile ist dieser Industriezweig so gut wie tot.

Beispiel 3: Porsche

Was tun Sie, wenn sie einen Mangel an einem Produkt feststellten?

**FO „Warum ist Qualität wichtig“**

Jeder Fehler über dem akzeptablen Durchschnitt verursacht 3 - 4% Rückgang des Verkaufsvolumens. Der unzufriedene Kunde

- meidet zukünftig das Produkt zu 90%

- beschwert sich förmlich nur zu 4%

- teilt seinen Unmut etwa 9 bis 20 Personen mit

**FO Eine Beschwerde ist ein Geschenk [Barlow 1996]**

Beachte die Kostenreduktion

Vergleiche mit japanischen Fz: billiger, mehr Nischenmodelle, kürzere Entwicklungszeiten  
Entwicklung der japanischen Kfz

Unternehmen unter dem globalen Konkurrenzdruck können nur mit Qualität bestehen. Dies betrifft nicht nur das Image einer Firma, sondern auch die Produktionskosten, Flexibilität usw. (s.o.)

**Umweltschutz** kann ebenfalls durch Vorgaben in den QRK verbessert werden, deshalb steht die Herausgabe einer Öko-Audit-Verordnung auf EG-Ebene unmittelbar bevor. (z.B. Etwa 1985 beschloss Du Pont Abfallstoffe in der Produktion bis 1990 um 35 % zu senken. Mit der erst geplanten Einführung technischer Verbesserungen war dieser enge Zeitrahmen nicht zu halten. 1987 setzte Du Pont die inzwischen gebildeten Quality Improvement Teams auf Umweltschutz an. 1990 hat Du Pont das selbstgesetzte Ziel der Reduzierung von Abfallstoffen erreicht. Die größten Fortschritte dabei wurden mit geringen Kosten erreicht.



## Kontinuierlicher Verbesserungsprozess KVP

- ist Grundlage aller QM-Systeme
- basiert auf dem ..

### PDCA-Zyklus

- = Plan – Do – Check – Act (oder Adjust)
- ≈ Planen – Probieren – Prüfen – Ausführen
- auch Demingkreis, Deming Cycle, Shewhart Cycle
- beschreibt eine Stufe im KVP

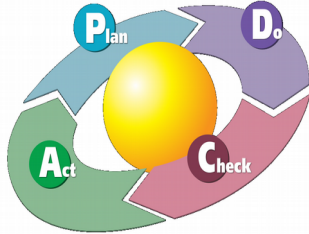


Diagram by Karn G. Bulsuk (<http://www.bulsuk.com>)

### Plan

Planen einer verbesserten Version, z.B. Produkt, Prozess

### Do

Durchführung der Planung, ggf. in kleinem Maßstab

### Check

Überwachung, Bewertung, ggf. Verbesserungschläge

### Act

Umsetzen der Verbesserung als neuer Standard

## grafische Darstellung des KVP

- PDCA ist eine Stufe von KVP
- KVP baut auf iterativen PDCA auf

### Spirale statt Kreis

- wie ein Gewinde, Steigung = Qualitätsfortschritt

### Multi-Loop

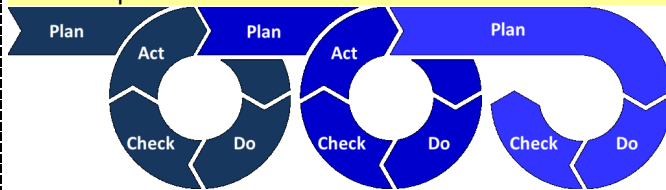


Bild: Christoph Roser at [AllAboutLean.com](http://AllAboutLean.com). - Own work  
Im Bild habe ich das Schleifenende „Solved!“ gelöscht

## Vertiefung im der folgenden Einheit

Früher habe ich das Thema als Qualitätsregelkreises durchgenommen. Angenehmer Nebeneffekt war, dass alle meine Zielgruppen die Fachbegriffe „Steuern“ und „Regeln“ kennen lernten. Aber ein QRK erklärt nicht, wie sich die Qualität der Sollwerte steigert. Es fehlt also der Zusammenhang zu KVP

- 1) *Kundenorientierung für die Konkurrenzfähigkeit, Effizienz für höhere Gewinne oder Spielraum im Preiskampf, leuchtet ein. Aber wozu KVP?..*
- 2) *Wie funktioniert wissenschaftliche Forschung?*  
Hypothese → Experiment → Überprüfen der Hypothese
- 3) *Übertragen Sie das Modell auf industrielle Massenproduktion*  
Spezifikation → Produktion → Prüfung
- 4) *Streng genommen sind in den Dreiklang-Modellen Experiment und Produktion nicht analog. Verbesserung?*  
Hypothese → Experiment → Überprüfung der Hypothese → Theorie  
Spezifikation – Probelauf – Prüfung – Produktion
- 5) *Was macht Forscher/Betrieb/Manager, um Theorie/Produkt/Management zu verbessern?*  
Neue Hypothese, neue Spezifikation
- 6) *Wie könnte man die lineare Darstellung des Drei/Vierklangs verbessern?*  
Kreisform! Erstmals in [Shewhart 1939], damals noch dreistufig. Die vierte Stufe wurde von Shewharts Schüler W. Edward Deming später ergänzt und verbreitet.

### FO KVP + PDCA

- 1) *Leider sind die Begriffe Plan – Do – Check – Act nicht selbsterklärend oder wenigstens eindeutig. Nicht mal, wenn man Englisch gut kann ;-)*  
Selbst der Urheber Deming nahm noch Änderungen vor, die sich aber im Sprachgebrauch nicht durchsetzten, z.B. PDSA = Plan – Do – Study – Act
- 2) *Erkläre PDCA, solange wir noch glauben, etwas verstanden zu haben*
- 3) *Inzwischen wird alles mit PDCA beschrieben, das ist ein bisschen, als würde man Fußball nur mit Dreiecken beschreiben. Aus jeden Fall fordert es ein bisschen Flexibilität. Beispiele → P → D → C → A →*  
Wissenschaft: Hypothese → Experiment – Überprüfung der Hypothese, ggf. Verbesserungsvorschläge – Verbesserung = neue Theorie  
Produktionsverfahren: Planung → Probelauf → Ergebnistesten, ggf. Verbesserungsvorschläge → Einführung in die Produktion  
Managementprozess: Planen eines neuen Prozesses → Einführen oder Probelauf → Überprüfen, Bewerten, Verbesserungsvorschläge → verbesserten Prozess einführen  
Audit: Festlegung des Auditprogramms: Ziele und Umfang, Verantwortlichkeiten, Ressourcen und Verfahren → Do: Umsetzung des Auditprogramms: Planung und Bewertung von Audits, Auswahl des Auditteams, Lenkung der Auditstätigkeiten, Führung von Aufzeichnungen → Check: Überwachung und Bewertung des Auditprogramms: Überwachung und Bewertung, Ermittlung des Bedarfs an Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen, Ermittlung von Verbesserungsmöglichkeiten → Act: Verbesserung des Auditprogramms (Quelle: <https://www.weka.de/qualitaetsmanagement/die-normenreihe-iso-9000-ff/>)
- 1) *Wo steckt im PDCA-Zyklus die Verbesserung?*  
Nach jedem PDCA-Zyklus sollte die Qualität des Forschungsstandes / der Produkte oder Dienstleistungen / des Managements gestiegen sein
- 2) *Ändere den PDCA-Kreis zur kontinuierlichen Verbesserung*

## abgewinkelte Spirale mit Keilen

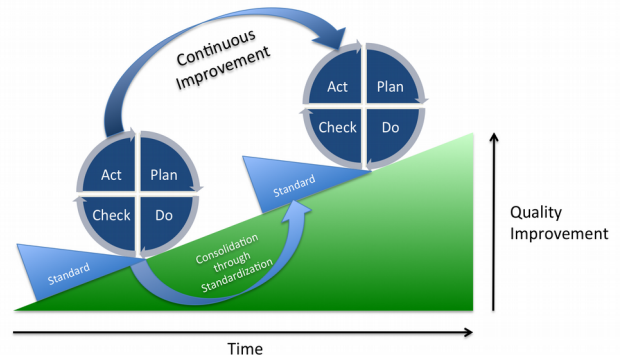


Bild: Von Johannes Vietze - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26722308>

- 1) *Weisen Sie dem PDCA-Zyklus die Kapitel von ISO 9001 zu*  
Unterschied Steuerung – Regelung muss ein Techniker sowieso kennen: Steuerung gibt Richtung vor und lässt laufen. Regelung prüft regelmäßig die Richtung und korrigiert ggf. → erreicht wesentlich genauere Ergebnisse

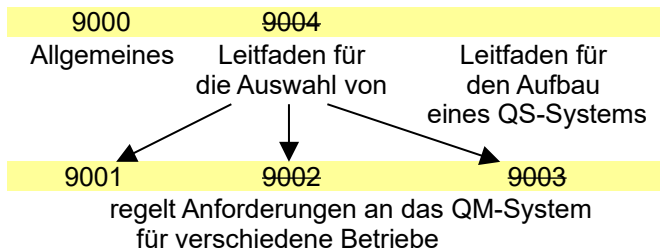


## Qualitäts(management)normen

- beschreiben Anforderungen, die das Managementsystem eines Unternehmens erfüllen muss, wenn es die Standards der Norm erfüllen will

### DIN EN ISO 9000:1994 ff (veraltet)

- DIN: Deutsche Industrienorm → in D gültig
- EN: Europäische Norm → in Europa gültig
- ISO: International Organization for Standardization → weltweit gültig (jeweils für Mitgliedsländer)
- 9000: sagt aus, wie die Herstellung eines Produktes oder der Vorgang einer Dienstleistung zu gestalten ist.



Q-Normen zählen xx Elemente auf, die ein Betrieb organisieren muss.  
Wie der Betrieb die Elemente organisiert, bleibt ihm überlassen.

### DIN EN ISO 9000:2015 ff

#### DIN EN ISO 9000:2015-11

- definiert Grundlagen und Begriffe zu QM-Systemen
- nicht Grundlage für Zertifizierungen

#### DIN EN ISO 9001:2015-09

- legt Mindestanforderungen an ein QM-System fest
  - wenn der Betrieb seine Fähigkeit nachweisen muss (Zertifizierung z.B. für Großkunden, Behörden ..)
  - wenn intern Qualitätsverbesserung angestrebt wird
- betrifft zunächst die Qualität des Managements, nicht die Qualität der Produkte oder Dienstleistungen
  - deren Verbesserungen ist nur indirekt zu erwarten
- prozessorientiert, basiert auf PDCA-Zyklus (s.u.)

#### DIN EN ISO 9004:2009-12

- Leitfaden, nicht Grundlage für Zertifizierungen

#### ISO 19011:2011

- Zur Durchführung von Audits

### Die Kapitel der ISO 9001:2015

- 4: Kontext der Organisation
- 5: Führung
- 6: Planung
- 7: Unterstützung
- 8: Betrieb
- 9: Bewertung der Leistung
- 10: Verbesserung

### Überleitung

→ [Wikipedia] „Qualitätsmanagementnorm (08.02.2017, 12:42)

1) Ein: Werbung: wir sind zertifiziert! Was bedeutet das?

2) Text vorgeben mit Hinweis auf die Quelle.

– Dass eine Norm Vorgaben nennt, die zu erfüllen sind, ist trivial. Auch eine Kioschnorm ist nur dann normgerecht, wenn sie der Kioschnorm entspricht.

– Wichtig ist, dass Qualitätsnormen keine Qualität normen, sondern Managementsysteme, und deshalb korrekter Qualitätsmanagementnormen heißen.

– Der → Begriff „Qualität“ drückt aus, dass das Managementsystem auf Leistungsverbesserung ausgerichtet ist (Kundenzufriedenheit, Effizienz).

= System von Normen für den Zweck, Aufbau und Bewertung eines Managementsystems. Vorläufer der QM-Normen war BS 5750 der BSI (British Standards Institution) von 1979, auf deren Basis 1987 die ISO 9000er Reihe eingeführt wurde.

Abkürzung ISO wegen grch. isos = gleich

3) Erklären Sie die Abkürzung DIN EN ISO 9000ff:1994

Ich beginne weiterhin mit der alten Norm und reiche die Änderungen nach, weil ich keine annähernd so gute Quelle wie [Porath 1997] kenne. Außerdem ist es mir wichtiger, dass die Schüler begreifen, was Qualität ist und warum sie notwendig ist: Wenn sie daraufhin ihr Verhalten ein wenig ändern, auch wenn ihnen gerade kein Meister auf die Finger schaut, ist viel erreicht. Und um den "Geist" von QM zu vermitteln, halte ich Normen nicht für notwendig, vielleicht sogar kontraproduktiv, immer aber erst der 2. Schritt.

AB: QM (Porath) QM als Hilfsmittel (wenn mehr Zeit vorhanden)

AB: QM (Porath) QM DIN 9000ff (kürzer, überfliegen reicht)

Ich beginne mit dem Text von Porath ua., der zwar zur veralteten DIN EN ISO 9000ff:1994 und für Kfz-Betriebe geschrieben ist, aber der aussagekräftigste Text zu dem Thema ist, den ich kenne. Die späteren Ausgaben der DIN ändern den Kern nicht und werden nachgereicht.

1) Welche Aussagen machen die DIN EN ISO 9000ff:1994 (veraltet) ?

2) Wofür gelten die einzelnen Normen ?

3) Welche Norm empfiehlt sich für Kfz-Betriebe ?

4) DIN 9002:1994 enthielt 20 Elemente. Was heißt das für den Betrieb?

5) In den Änderungen ab 2000 wurden die Normen 9001 bis 9003 für verschiedene Betriebsarten vereinheitlicht → 9002, 9003 streichen, ebenso den Leitfaden zur Auswahl 9004

1) ISO 9000 wurde mehrfach der Praxis angepasst. Entnehme den aktuellen Stand dem TabB?

→ [EuroTabM46] S.276 basiert noch auf 9001:2008, ist aber weitgehend verwendbar

→ [EuroTabM47] S.280 basiert noch auf 9001:2015

<https://www.weka.de/qualitaetsmanagement/die-normenreihe-iso-9000-ff/>

– ISO 9000 ist nicht die Norm, nach der zertifiziert wird, sondern die Hilfe-Funktion dafür. Enthält die Grundsätze für QM: Kundenorientierung, Verantwortlichkeit der Führung, Einbeziehung der beteiligten Personen, Prozessorientierter Ansatz, Systemorientierter Managementansatz, Kontinuierliche Verbesserung, Sachbezogene Entscheidungsfindungsansatz, Lieferantenbeziehungen zum gegenseitigen Nutzen.

Indirekte Verbesserungen: Wenn man die Abläufe in der Küche festlegt, alle Mitarbeiter schult usw., ist zu erwarten, dass das Essen besser wird. Garantiert ist es aber nicht.

2) Ab ISO 9000:2000 sind die Kapitel nach Prozessen (früher eher nach Abteilungen) aufgebaut. ISO 9000:2015 lehnt sich vollständig an den PDCA-Zyklus an.

ISO 19011:2011 gehört formal nicht zur 9000er-Reihe, aber nötig z.B. für interne Audits

3) Anhand

→ [EuroTabM47] S.280 ([EuroTabM46] ungeeignet, stattdessen QM DIN EN ISO 9001 – Vergleich 1994-2015. Dort ist in der alten Norm 1994 ein Fehler: Mit Porath abgleichen oder abschaffen. 2015 lassen und die Kapitel abschreiben

1) Weisen Sie dem PDCA-Zyklus die Kapitel von ISO 9001 zu

Unterschied Steuerung – Regelung muss ein Techniker sowieso kennen: Steuerung gibt Richtung vor und lässt laufen. Regelung prüft regelmäßig die Richtung und korrigiert ggf. → erreicht wesentlich genauere Ergebnisse

QM\_TA\_ISO9000ff.odt





## Prozessmodelle der ISO 9001

### Prozessmodell der ISO 9001:2015

ISO 9001:2015 ist vollständig auf den PDCA-Zyklus ausgelegt. Zuordnung

→ [EuroTabM47] S.280

Läuft mit dem Uhrzeiger (frühere Versionen ccw) !?

(Haupt-)Kapitel der ISO 9001:2015: Kap. 4 Umfeld der Organisation;  
Kap. 5 Führungsverhalten;  
Kap. 6 Planung;  
Kap. 7 Unterstützung  
Kap. 8 Durchführung  
Kap. 9 Bewertung der Leistung  
Kap. 10 Verbesserung

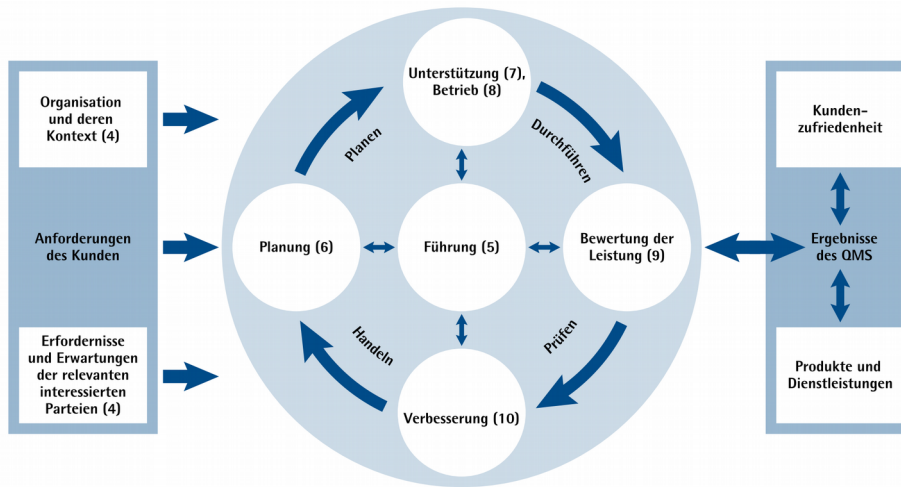


Abbildung 4 Struktur der ISO 9001:2015 im PDCA-Zyklus. Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf die Abschnitte der Norm. Quelle: DIN EN ISO 9001:2015.

Quelle der Grafik: [https://www.ihk-bonn.de/fileadmin/dokumente/Downloads/Innovation\\_und\\_Umwelt/Innovation\\_Allgemein/Leitfaden\\_Qualitaetsmanagementsysteme\\_Juni\\_2016.pdf](https://www.ihk-bonn.de/fileadmin/dokumente/Downloads/Innovation_und_Umwelt/Innovation_Allgemein/Leitfaden_Qualitaetsmanagementsysteme_Juni_2016.pdf)

- 1) Arbeiten Sie die Quelle durch  
– [https://www.ihk-bonn.de/fileadmin/dokumente/Downloads/Innovation\\_und\\_Umwelt/Innovation\\_Allgemein/Leitfaden\\_Qualitaetsmanagementsysteme\\_Juni\\_2016.pdf](https://www.ihk-bonn.de/fileadmin/dokumente/Downloads/Innovation_und_Umwelt/Innovation_Allgemein/Leitfaden_Qualitaetsmanagementsysteme_Juni_2016.pdf)

- 2) Skizzieren Sie das Prozessmodell ohne Quellen.

Alternativ mit [EuroTabM47]

- 1) PDCA-Zyklus im Uhrzeigersinn vorgeben

- 2) Ergänzen Sie die passenden (Haupt-)Kapitel der ISO 9001:2015.

- 3) Wohin gehört „Führung“?
- 4) Was muss bei der Planung berücksichtigt werden?

- 5) Wer bewertet letztendlich?

Kunde  
Kontext der Organisation: Ich habe bisher in Schule, Industrie und Bw meine Brötchen verdient. Wenn ich einen Ausflug organisieren muss, bin ich in jeder dieser Organisationen anders vorgegangen → Kontext der Org.  
Erfordernis der relevanten Parteien, z.B. Produkt: Buchhaltung will niedrige Preise, Fertigung will Herstellbarkeit, Außendienstler will Kundenfreundlichkeit ..

QM\_TA\_Prozessmodell.odt

## Q-Elemente (Teilfunktionen eines QMS)

### Q-Planung

– alle planerischen Tätigkeiten vor Produktionsbeginn

### Q-Lenkung

– alle Tätigkeiten, um trotz Q-Schwankungen Fehler zu vermeiden = Prozessbeherrschung

### Q-Sicherung

vielseitig verwendet → unscharf

### Q-Prüfung

– wer prüft was, wann, wie, wo  
– wie werden die Prüfdaten weiter verarbeitet

### Q-Verbesserung, Q-Förderung

– alle Maßnahmen zur Erhöhung der Qualitätsfähigkeit  
– Wie üblich geht es um das Management, nicht um das Endergebnis (Produkt, Dienstleistung). Im TabB ist das undeutlich ausgedrückt.  
– am Produkt  
Untersuchung aller Probleme bei der Fertigung  
– über den Menschen:  
Förderung Q-orientierten Denken und Handelns

[EuroTabM46] S.277f, Stand ISO 9000:2005

[EuroTabM46] S.277 ist in [EuroTabM47] nicht mehr vorhanden → UE so nicht durchführbar

[EuroTabM46] S.278 = [EuroTabM47] S.280

- 1) TabB „Qualitätsmanagement, Begriffe“ nennt für den Begriff „Qualitätsmanagement (2+) 4 Teilbereiche des QM.

[EuroTabM46] S.277, S.278;

Nur wer klare Ziele hat, kann sie erreichen

[Wikipedia] Qualitätsplanung 16.11.2016, 17:21: ISO 9000:2015: **Qualitätsplanung** ist „Teil des Qualitätsmanagements, der auf das Festlegen der Qualitätsziele und der notwendigen Ausführungsprozesse sowie der zugehörigen Ressourcen zur Erfüllung der Qualitätsziele gerichtet ist“. Die Instrumente der Qualitätsplanung bestehen aus den entsprechenden Qualitätsmethoden. Eine erfolgreiche Qualitätsplanung setzt voraus, dass geklärt ist, welche Art von Leistungen ein Unternehmen anbieten möchte und welche Kunden mit diesen Leistungen angesprochen werden sollen. Sie ist eng mit der Prüfplanung verbunden.

[EuroTabM46] S.277, S.278;

[Wikipedia] Qualitätslenkung 29.11.2016 00:47: „Nach EN ISO 9000:2005 Punkt 3.2.10 ist die **Qualitätslenkung** der Teil des Qualitätsmanagements, der auf die Erfüllung von Qualitätsanforderungen gerichtet ist. Qualitätslenkung umfasst dabei Arbeitstechniken und Tätigkeiten sowohl zur Überwachung eines Prozesses als auch zur Beseitigung von Ursachen nicht zufriedenstellender Ergebnisse.“

[EuroTabM46] S.277

- 1). Begriff „Q-Sicherung“ wird für vieles verwendet, ist also unscharf.

- 2). Wir halten uns deshalb an die Folge von [EuroTabM46] S.278.

[EuroTabM46] S.277, S.278;

- 3). Auch der Begriff „Qualitätsprüfung“ wird mehrfach verwendet:

- 1) In der Fertigung: Prüfung am Produkt → [EuroTabM46] S.278 „Q-Planung“
- 2) im QMS → [EuroTabM46] S.278 „Prüfplan“

- 4). Wir bleiben beim QMS

[EuroTabM46] S.277

– Qualitätsverbesserung scheint aktueller Begriff zu sein.

Qualitätsförderung wurde früher (?) bei DIN und DGQ verwendet

– [QZ] 04/2002, S.314, Walter Geiger: „Verbesserung ist immer etwas Gutes. Wer sollte dagegen sein? Aber: Was sollte verbessert werden? Nach internationaler Normung zielt Qualitätsverbesserung auf die Qualitätsfähigkeit. Man kann demnach ganz einfach sagen: Qualitätsverbesserung = Verbessern der Qualitätsfähigkeit. Was diese ist, muss klar sein. Genauso war bei DIN und DGQ seit langem der Begriff mit der Benennung „Qualitätsförderung“ definiert. In DIN EN ISO 9000:2000 ist nun dieser Begriffsinhalt unter „quality improvement“ etwas ausführlicher erklärt, nämlich als „Teil des Qualitätsmanagements, der auf die Erhöhung der Fähigkeit zur Erfüllung der Qualitätsforderungen gerichtet ist“. Inhaltlich ist dies erkennbar dasselbe.“

QM\_TA\_Q-Elemente.odt

Seitenumbruch



## Prüfmittelmanagement

- organisiert Beschaffung, Einsatz und Überwachung von Prüfmitteln
- ist Teil eines QMS (Qualitätsmanagementsystems)
  - z.B. → ISO 9001:2015; Kap. 7.1.5 Ressourcen zur Überwachung und Messung
- nötig bei Produzentenhaftung mit Beweislastumkehr (ProdHaftG)

## Verwaltung und Überwachung von Prüfmitteln

### Prüfmittelüberwachung umfasst alle Tätigkeiten der

- Kalibrierung, Justierung, Eichung und
- Instandhaltung von Prüfmitteln und Prüfhilfsmitteln

Kalibrieren: Abweichung eines Prüfmittels feststellen und bei Messungen berücksichtigen, z.B. Armband- mit Bahnhofsuhr vergleichen. Justieren: Messgerät einstellen, z.B. Armband-uhr. Eichen: Messgerät entspricht dem Mess- und Eichgesetz; z.B. Tanksäule, Polizeitacho, Metzgerwaage..

### Zweck

- Prüfmittel sind
  - geprüft und instand gehalten
  - nur geeignet eingesetzt
  - bzgl. Genauigkeit verlässlich
  - auf übergeordnete Normale zurückgeführt
- das Ergebnis ist
  - weniger Reklamationen wg. falscher Messung
  - keine Gutteile werden ausgesondert
  - kein Ausschuss wird weiterverarbeitet oder versandt
- Prüfmittelmanagement
  - ist Nachweis ggü. Kunden und Zertifizierern
  - macht eine Übersicht über Prüfmittel verfügbar
  - verbessert das Mitarbeiterbewusstsein hinsichtlich der Ausführung von Prüfungen und der Handhabung der Prüfmittel

### Prüfmittelkarte / Stammkarte

wird für jedes Prüfmittel angelegt

### Übersichtsliste

über alle Prüfmittel

### Vertiefung

1) Aus dem QMS greifen wir uns einen Teilaspekt exemplarisch heraus?  
DIN EN ISO 9001:1994 enthielt das Kapitel 11: Prüfmittelüberwachung; EN ISO 9001:2008 enthielt das Kap. 7.6 Lenkung von Überwachungs- und Messmitteln; ISO 9001:2015 enthält 7.1.5 Ressourcen zur Überwachung und Messung  
[Wikipedia] Prüfmittelmanagement vom 17.10.2017, 20:31: „Das **Prüfmittelmanagement** .. ist Bestandteil des **Qualitätsmanagements**. Es zielt darauf ab, die **Qualität, Zuverlässigkeit, Einsatzfähigkeit** und -bereitschaft der **Prüfmittel** in einem Unternehmen sicherzustellen und zu erhalten. .. Zusammenfassend organisiert das Prüfmittelmanagement die Beschaffung, den Einsatz und die Überwachung der Prüfmittel.  
Die Beweislastumkehr bei der Produzentenhaftung veranlasst den Hersteller von Produkten, sicherheitsrelevante Merkmale zu prüfen, das Ergebnis zu dokumentieren. .. Ohne die Prüfmittelüberwachung könnten Hersteller im Schadensfall nicht den Nachweis führen, dass alles in der Macht stehende getan wurde, um ein Versagen des Produktes zu verhindern. .. reicht zwar allein nicht aus, ohne sie ist dieser Nachweis aber niemals schlüssig zu führen.“

2) Wieder exemplarisch ein Aspekt, hier die Überwachung

[Wikipedia] „Prüfmittel vom 11.01.2016, 11:25“ Im Rahmen der Qualitätsmanagementnorm ISO 9001 müssen qualitätsrelevante Prüfmittel einer regelmäßigen Überwachung unterliegen. Diese definiert die Deutsche Gesellschaft für Qualität (DGQ) als **Gesamtheit der Tätigkeiten der Kalibrierung, Justierung, Eichung sowie Instandhaltung von Prüfmitteln und Prüfhilfsmitteln**. [2] Durchgeführt wird diese Überwachung am Beispiel einer Grenzschrägenlehre bspw. durch Vergleich mit einem Endmaß oder durch Ermitteln eines Messwertes mit einem Messgerät höherer Genauigkeit. So ermittelte Abweichungen werden mithilfe von Kalibrierscheinen dokumentiert. Ein Aufkleber auf dem Prüfmittel gibt Auskunft über die Fälligkeit der nächsten Überwachung. Entscheidungskriterien für die Kalibriertoleranz und das Prüfintervall sind u. a. der Einsatzort und die Einsatzhäufigkeit des Prüfmittels jeweils unter Betrachtung des Risikos, das von einer fehlerhaften Prüfung mit diesem Prüfmittel ausgehen kann.

3) Zweck der Verwaltung und Überwachung von Prüfmitteln?

Die Antworten sind im Grunde trivial,

4) Lesen Sie die Quelle und erarbeiten Sie den Zweck

Lösungsvorschlag

[[https://www.qz-online.de/qualitaets-management/qm-basics/messen\\_pruefen/pruefmittelmanagement/artikel/pruefmittelmanagement-und-kalibrierung-teil-2-268017.html](https://www.qz-online.de/qualitaets-management/qm-basics/messen_pruefen/pruefmittelmanagement/artikel/pruefmittelmanagement-und-kalibrierung-teil-2-268017.html)]

„Das Verwalten und Überwachen von Prüfmitteln soll bewirken, dass

- Prüfung und Instandhaltung von Prüfmitteln gewährleistet sind,
- nur geeignete Prüfmittel zur Prüfung von Produkten und Prozessen auf Konformität mit Forderungen eingesetzt werden,
- die erforderliche Genauigkeit von Prüfmitteln (einschließlich der Normale) sichergestellt ist,
- die Rückführbarkeit auf übergeordnete Normale gewährleistet ist,
- Reklamationen vermieden werden, deren Ursache in fehlerhaften Messergebnissen liegt,
- keine i.O.-Produkte ausgesondert werden und keine n. i.O.-Produkte weiterverarbeitet oder versandt werden,
- Kunden und Zertifizierern die Konformität der Prüfmittelüberwachung mit den Anforderungen nachgewiesen werden kann,
- eine Übersicht über alle eingesetzten bzw. vorhandenen Prüfmittel verfügbar ist,
- das Mitarbeiterbewusstsein hinsichtlich der Ausführung von Prüfungen und der Handhabung der Prüfmittel verbessert wird.

#### Empfehlungen der ISO 10012-1:

Ein leistungsfähiges und dokumentiertes System für die Lenkung von Messungen und Prüfmitteln muss eingerichtet und aufrechterhalten werden, einschließlich .. Verantwortlichkeiten. Dazu gehört die Festlegung der Verfahren sowie ... Prüf- und Arbeitsanweisungen:

- Verfahren für Beschaffung und Kennzeichnung von Prüfmitteln
- Erstellung von Prüfplänen und Kalibrieranweisungen für Prüfmittel
- Überwachungssystem (Terminverfolgungssystem)
- Festlegung der Handhabung und Lagerung von Prüfmitteln
- Vorgehensweise bei Auftreten fehlerhafter Prüfmittel (Korrekturmaßnahmen)

#### noch: Empfehlungen der ISO 10012-1:

– Erfassung/Registrierung von Prüfmitteln ... unter Berücksichtigung von:

- Identnummer
- Prüfmittelbezeichnung und -typ
- Datum der ersten Nutzung
- Messgröße, Messbereich und Auflösung
- Einsatzort und/oder Benutzer
- Beschaffungs-/Registrierdatum"

#### Die Stammkarte für Prüfmittel

Jedes einzelne Prüfmittel wird auf einer Stammkarte mit seinen individuellen Daten erfasst. ... Jede Stammkarte enthält die Daten genau eines Prüfmittels, und zwar neben den identifizierenden Daten (Identnr., Bezeichnung und Typ, Messbereich) und den Daten zur Anschaffung des Prüfmittels (Datum der Anschaffung, des ersten Einsatzes, Garantie) die Daten zur Kalibrierung, insbesondere

- Kalibrierintervall und letztes Kalibrierdatum
- zugehörige Kalibrieranweisung und
- Grenzwert für Messabweichungen (MPE).

Die Stammkarte sollte darüber hinaus ein Überwachungsdiagramm zur Aufzeichnung der Kalibrierergebnisse eines signifikanten Merkmales enthalten, das zur Bewertung des Prüfmittelverschleißzustands und der Ermittlung der Kalibrierintervalle herangezogen wird.

Eine zusätzliche Inventarliste soll einen Überblick über die Prüfmittel ermöglichen. Hier sind Angaben der Identnummer, der Bezeichnung, des Typs und des Benutzers bzw. des Einsatzortes sinnvoll. Darüber hinaus ist eine Angabe darüber sinnvoll, ob das Prüfmittel der Überwachung unterliegt oder nicht.

#### Die Stammkarte für Prüfmittel

Jedes einzelne Prüfmittel wird auf einer Stammkarte mit seinen individuellen Daten erfasst. Zusätzlich sollte eine Übersichtsliste der vorhandenen Prüfmittel verfügbar sein. Dabei ist es sinnvoll, zwischen einem manuell geführten (siehe Bild 1) und einem datenbankgestützten System zu unterscheiden.

1) Füllen Sie eine Prüfmittelkarte fiktiv für einen Messschieber aus.

[EuroTabM46] S.274 „Prüfmittel“

2) Erstellen Sie eine Prüfmittelkarte mithilfe der Quelle

QM\_TA\_Prüfmittelmanagement.odt

Seitenumbruch



## QMS einführen und zertifizieren

= Überprüfung und Bestätigung eines QM-Systems durch eine unabhängige Stelle

## QMS einführen

- ISO 9001:2015:  
Alle genannten Prozesse für den Betrieb festlegen und umsetzen

## Zertifizierung

### Zweck, Vorteile

- Qualitätsverbesserung, Kundenzufriedenheit
- Kosteneinsparung durch erhöhte Produktivität und Vermeidungen
- Imagevorteile ggü. Wettbewerber
- wird von Konzernen gefordert
- Nachweis der Sorgfalt im Sinne des PHG
- Transparenz in Organisation, Funktion, Ablauf und Zuständigkeiten
- klare Strukturierung der Abläufe
- Qualitätsbewusstsein des Personals wird gesteigert

## Ablauf der Zertifizierung

1. Voraudit (optional)  
– z.B. durch Fragebogen zur Beurteilung des Aufwandes
  2. Audit: QM-Unterlagen überprüfen  
– Ggf. mit Anhörung der Leitung
  3. Begehung: Umsetzung der Geschäftsprozesse stichprobenartig prüfen  
– Anhand der QM-Unterlagen, früher immer Q-Handbuch. Am Arbeitsplatz wird durch Stichproben anhand eines Fragenkataloges geprüft, ob die im QM-Handbuch festgelegten Abläufe von allen Mitarbeitern im Betrieb praktiziert werden.
  4. Zertifikat  
– gültig für 3 Jahre
- nach dem Zertifikat
5. jährliches Audit durch Zertifizierer
  6. nach 3 Jahren: neue Zertifizierung

## Begriffe

### Audit

= Überprüfung des QMS anhand des Q-Handbuches

### Internes Audit

Auditor aus der Firma (andere Zweigstelle)

### 1). Wie weist man seine „Qualität“ nach?

Ziel eines QM ist es ein solches System zu installieren und zu betreiben. Zwischen QM und TQM besteht nur noch ein gradueller Unterschied.

### 2). Sie wollen sich nach ISO 9001 zertifizieren lassen. Wie gehen sie vor?

Damit jeder Mitarbeiter im Sinne der Führung handeln kann. Vgl. Auftragstaktik der Bw: Absicht der übergeordneten Führung  
Jeder Mitarbeiter muss QM als Teil seiner eigenen Aufgabe sehen.  
Voraussetzung für maximalen Gewinn.  
Managen (ital. maneggiare: handhaben, bewirken).

Wdh.: Aufbau der DIN ISO EN 9000ff

Zertifizierung\_Ablauf\_AB: VAG Checkliste Händleraudit Vorwort und Durchführung

### 1). Wozu dient bei einer Zertifizierung nach DIN EN ISO 9002 das Händleraudit?

Ein erfolgreiches Händleraudit führt zur Zertifizierung

### 2). Was sagt die Zertifizierung aus, und wie lange ist sie gültig?

Sie sagt aus, dass der Betrieb 3 Jahre qualitätsfähig ist, dann muss wieder zertifiziert werden.

### 3). Wer zertifiziert?

TÜV Bayern Sachsen (auch: DEKRA u.a.).

### 4). Welche Vorteile bringt das Zertifikat?

- Transparenz in Organisation, Funktion, Ablauf und Zuständigkeiten
- klare und bessere Strukturierung der Abläufe - insbesondere nach außen
- Qualitätsbewusstsein des Personals wird gesteigert
- Nachweis im Rahmen der Produkthaftung
- Erhöhung der Wettbewerbschancen und Differenzierung vom Wettbewerb
- Kosteneinsparung durch erhöhte Produktivität und Vermeidung von Doppelarbeit
- Beratung bezüglich des möglichen Verbesserungspotenzials zeitgleich mit Schwachpunkt-Feststellung
- Das Zertifikat darf auch zur Werbung eingesetzt werden, allerdings nicht im direkten Zusammenhang mit einem Produkt.

### 5). Was kann die Unternehmensleitung mit dem QM-System nachweisen?

- dass sie alle Teile der unternehmerischen Organisations-, Aufsichts- und Sorgfaltspflichten wahrnehmen
- ggü. dem Konzern und der Rechtssprechung
- z.B. setzen bestimmte Klassen von CE-Kennzeichen die Zertifizierung voraus.

Ablauf → Porath, Qualitätsmanagement für Kfz-Betriebe, S.32 – 35

Das Zertifizierungsunternehmen prüft den jeweiligen Zustand und teilt dem Unternehmen ggf. die zu behebenden Mängel mit. Nach jedem Abschnitt können auch der Aufwand und die Kosten für den nächsten Abschnitt abgeschätzt werden.

Der Zertifizierer sollte bei der Trägergemeinschaft für Akkreditierung akkreditiert sein.

Das QM-Handbuch wird vom Zertifizierungsunternehmen geprüft.

### 6). Wie wird das Audit durchgeführt, und welches sind die Bedingungen für das Zertifikat?

- Anhand einer Checkliste wird der Betrieb geprüft, ob er den Anforderungen von DIN und VAG entspricht. DIN ISO-relevante Punkte dürfen nicht „nicht erfüllt“ sein, bei mindestens 750 von 1000 Punkten wird das Zertifikat vergeben.

Das Audit dauert 1 bis 3 Tage. Kritische Abweichungen werden einem Nachaudit unterzogen, unkritische Abweichungen sind innerhalb einer Frist zu korrigieren.

Bei [Porath 1997] nur für die QM-Elemente (Kann veraltet sein, schon bzgl. der Kapitel, erscheint grundsätzlich aber immer noch sinnvoll.):

- Verantwortung der obersten Leitung
- Korrekturmaßnahmen
- interne Audits

## Externes Audit

Auditor von einer Zertifizierungsgesellschaft



## Unzugeordnete Reste

### Vertiefung

#### Bedeutung der Einführung eines QMS (ISO 9000)

##### Marktstrategie

weist Standards nach

Zertifizierung kann Voraussetzung für Aufträge sein

##### Zukunftssicherung

QMS hilft bei Weiterentwicklung des eigenen Potentials

##### rechtliche Aspekte

Nur ISO 9000 ist international anerkannt

Ausnahmen: ISO 13485 für Medizinprodukte, hauseigene Normen z.B. bei Kfz-Konzernen  
wesentliches Argument bei Produkthaftung

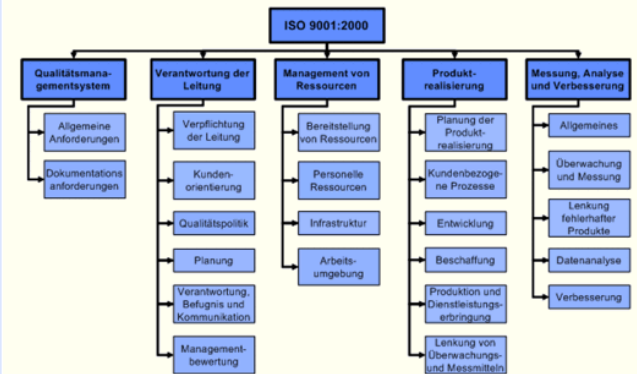
Video: *Lean Production*

## DIN EN ISO 9001:2000-12 Qualitätsman

Innerhalb der ISO 9000-Familie hat diese Norm die Aufgabe, verbindliche Anforderungen so gehalten, dass ISO 9001 branchenübergreifend angewendet werden kann.

Der im Oktober 2007 erschienene Entwurf für die nächste Ausgabe der ISO 9001  
Hauptsächlich wird der Text gestrafft, durch neue Anmerkungen präzisiert und

### Aufbau der Norm



[http://www.smqe.de/index.php?page=iso\\_9000](http://www.smqe.de/index.php?page=iso_9000)

### Unterrichten?

*Planet Wissen – Normung – BRa 2012*

Planet Wissen am 13.06.2012 in BRa: „Normung ist das Erzielen von Konsens über idR. technische Themen, die dann in Dokumenten niedergelegt sind... Für die Wirtschaft ist ganz wichtig... die Norm über Qualitätsmanagement, ... dies ist eine Erfolgsgeschichte, die aus aus England gekommen ist, und die sich verbreitet hat weltweit.“ (Rüdiger Marquart, Mitarbeiter des DIN). Vorläufer der Normen findet man in Teilen des MG 08/15, die erste Norm war DIN 1 Kegelstifte.

*Prospekt Skoda: Leistung, die sich lohnt*

*Abschlussprüfung 2000 (für QuK)*

Wie können die stark verschachtelten QRK vom Management insgesamt und vom Einzelnen in seinem Aufgabenbereich überblickt werden?

Zweck eines Organisationshandbuchs ergibt sich analog zu [Koller 1994] S.28: „Die Anforderungen, denen ein Konstruktionskatalog genügen muß, sind nach VDI 2222, Blatt 2:

- Schneller Zugriff zu Informationen,
  - bequeme Handhabung,
  - Anpassung an den Konstruktionsablauf unter Berücksichtigung konstruktionsmethodischer Begriffe und Verfahren,
  - Vollständigkeit im Rahmen gesetzter Grenzen,
  - Gültigkeit für möglichst große Benutzerkreise,
  - Erweiterungsfähigkeit,
  - Beständigkeit im System, aber Änderbarkeit im Detail,
  - Widerspruchsfreiheit in sich und untereinander,
  - Erkennbarkeit der Zusammenhänge, nach denen der Aufbau erfolgt.“ /VDI2222b/
- Ein einheitlicher und begrifflich exakter Katalogaufbau ist anzustreben. „Einzelne Kataloge sollten Teil eines Gesamtsystems von aufeinander abgestimmten Katalogen sein.“ /ROTH72/

Wie verhindert man, dass Fehler nicht zweimal auftreten, auch wenn das Personal wechselt oder vergesslich wird?

*FO „integrierte Qualitätsregelkreise“*

### 1) Wie normt man Qualität?

- gar nicht, denn Q. ist (Erinnerung!) nur das Etikett von QM (und außerdem zu vielseitig, zu unscharf und wandelbar).

- Genormt werden also Effizienz und Kundenorientierung, also die Betriebsorganisation.

### 2) Wie muss ein Betrieb organisiert sein, damit er effizient funktioniert?

### 3) TA

### 4) Was macht ein Mitarbeiter, wenn sein Problem nicht geregelt ist? Unter Zeitdruck?

Als Richtschnur können einfache Prinzipien dienen: Wir bieten immer den besten Preis / den besten Service ..

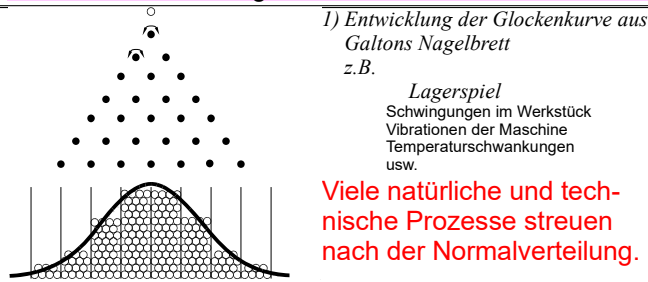
QM\_TA\_Reste.odt



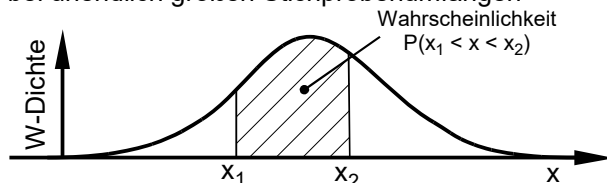


## Statistische Prozesskontrolle

### Die Normal-Verteilung



= Wahrscheinlichkeitsfunktion der Binomial-Verteilung bei unendlich großen Stichprobenumfängen



### Aussagen der „Glockenkurve“

für quantitative Merkmale, z.B. Messwerte:

X-Achse: Messwerte

Y-Achse: Wahrscheinlichkeitsdichte

die Höhe der Kurve sagt uns (!) nix!

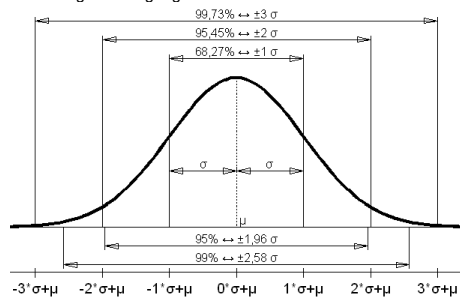
Fläche: Wahrscheinlichkeiten

- stecken in der Fläche der Glockenkurve
- Gesamtfläche hat die Wahrscheinlichkeit 1 = 100%

### Parameter der Normalverteilung

.. reduzieren die Datenmenge erheblich

Wert ganz oben für 6-Sigma-Fertigung



Werte unten für QRK, in Grafik einbauen

Mittelwert  $\mu$  bzw.  $\bar{x}$

= Maß für die Lage der Fertigung

Standardabweichung  $\sigma$  bzw.  $s$

= Maß für die Streuung der Fertigung

Die Standardabweichung ist der Abstand vom Mittelwert bis zum Wendepunkt.

### Berechnung der Parameter

Mittelwert  $\bar{x}$  bzw.  $\mu$

mit Tabellenkalkulationen

=MITTELWERT (Messwerte)

Standardabweichung  $s$   
bzw.  $\sigma$

=STABW(Messwerte)

Vertiefung

### Anpassungstest nach DIN ISO 5479

In der Produktion hat man meistens mit Prozessen zu tun, denen eine unbekannte Verteilung zugrunde liegt. Der Spezialfall der Normalverteilung tritt eher selten auf. Viele Analysen auf der Basis der traditionellen Verfahren sind fehlerhaft.

Glockenkurve, Standardverteilung, Gaußverteilung  
kurze Geschichte der Normalverteilung → [Crilly 2007]

FO oder TA Galtonbrett, Einflüsse beim Drehen

2) Welche Verteilung wird hier entstehen?

Galtons Nagelbrett ist ein materialisierter Wahrscheinlichkeitsbaum, der an jedem Knoten die Wahl lässt zwischen zwei Ereignissen, z.B. Größer oder Kleiner. Da die Wahrscheinlichkeit an jedem Knoten gleich ist, handelt es sich um eine Binomial-Verteilung.

FO Verteilung Binomial→Normal - Binomialverteilungen bei steigender Stichprobenzahl

Mit steigenden Stichprobenumfang nähert sich die Form der Verteilung immer mehr der idealen Glockenkurve. Besonders gut erkennt man sie in einer Ausschnittvergrößerung. C.-F. Gauß (1777-1855) hat festgestellt, dass die Darstellung natürlicher Größen (z.B. den Durchmessern von Nüssen) zu einer Glockenkurve führt. Natürliche Prozesse hängen oft von sehr vielen Faktoren ab, die das Ergebnis nach oben oder nach unten beeinflussen. Die Faktoren entsprechen den Knoten im binomialen Wahrscheinlichkeitsbaum. Die Glockenkurve und die Standardabweichung war schon vor Gauß bekannt geworden durch Abraham de Moivre (1733) (1667-1754), der auch die Standardabweichung fand. Vorarbeiten veröffentlichte 1713 Nikolaus Bernoulli (1687-1759).

Die Form der Binomialverteilung hängt nicht von der Fehlerwahrscheinlichkeit ab, wenn der Stichprobenumfang groß genug gewählt wird.

FO Binomial-Verteilungen bei steigender Stichprobenzahl

AM, FO Zehnmarkschein

Bedeutung der Kurve verdeutlichen

c't 3/97: Artikel über Internet-Shopping „der typische Kaufhof-Kunde ist 41 Jahre alt und weiblich“ Beschreiben sie die Situation, wenn der Mittelwert 41 eine Standardabweichung von 1 oder von 10 Jahre hat.

Für diskrete Merkmale kann die Normalverteilung nur Schätzungen liefern, weil sie nur die binomiale Verteilung, diese die hypergeometrischen Verteilung annähert; Normalverteilung gilt für unendlich große Stichprobenumfänge, die es real nicht gibt. Trotzdem wird die Normalverteilung zugrunde gelegt, weil sie einfach zu handhaben ist.

1) Die Normalverteilung soll zur Untersuchung einer großen Stichprobe dienen. Wo werden die Messwerte eingetragen?

2) Welchen Informationen können aus der Kurve gezogen werden?

3) Welche Aussage macht die Höhe der Kurve?

FO Binomial-Verteilungen bei steigender Stichprobenzahl

Je größer der Stichprobenumfang wird, desto kleiner wird der Maßstab der y-Achse. Bei unendlich vielen Stichproben wäre die Kurve flach. Veranschaulichung: Die Wahrscheinlichkeit, einen Wert 50,123456...mm zu finden, ist auch bei sehr vielen Versuchen gleich 0.

4) Wie kann man dann Wahrscheinlichkeiten aus der Kurve ermitteln?

Wahrscheinlichkeiten sind nur für Bereiche möglich und sinnvoll, weil die Einzelwahrscheinlichkeit für einen Messwert zu gering ist. Schon bei den Maschinenfähigkeitsuntersuchungen haben wir keine Wahrscheinlichkeiten für Einzelwerte, sondern für Klassen angegeben. Sie werden mit der Verteilungsfunktion, mit Tabellen oder mit dem Taschenrechner ermittelt.

[EuroTabM46] S...280

1) Welche Parameter sind nötig, um die Glockenkurve zu beschreiben?

| Messreihe      | hypergeom     | binomiale  | (Normal-)Verteilung  |
|----------------|---------------|------------|----------------------|
| alle Messwerte | N, d, n und x | P, n und x | ( $\sigma$ , $\mu$ ) |

2) Mit der Glockenkurve beginnen und Einträge nach und nach ergänzen.

→ [EuroTabM46] S.279: Wahrscheinlichkeiten

Zwischen den beiden Wendepunkten liegen 68,27% der Fläche, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass ein beliebiger Wert der Verteilung zwischen  $\mu \pm \sigma$  liegt, ist 68,27%. Man spricht auch von  $2\sigma$  und meint  $\pm 1\sigma$  bzw. 68,27% Wahrscheinlichkeit.

Bei  $8\sigma$  oder mehr wird die Toleranz erhöht, sondern es muss die Standardabweichung (Streuung) der Fertigung verringert werden. 95%- und 99%-Wahrscheinlichkeiten sind wichtig für Regelkarten (Warn- und Eingriffsgrenzen).

Es wird vorausgesetzt, dass die Verteilungsart Normalverteilung angegeben ist.

Man rechnet auch mit der Varianz  $\sigma^2$  bzw.  $s^2$ .

Unterscheidung  $\sigma(n) - \sigma(n-1)$ , Bevorzugung  $\sigma(n-1)$ .

Mittelwert gibt die seitliche Lage der Glockenkurve an.

$\mu$  wird bei Grundgesamtheit verwendet.  $\bar{x}$  gilt bei Stichproben (eigentlich immer außer bei 100%-Prüfungen) und ist ein Schätzwert für  $\mu$ . In der Literatur wird  $\mu$  und  $\bar{x}$  oft verwechselt. In der Berechnung gibt es keinerlei Unterschiede.

3) Wie kann man eine gute und schlechte Maschine unterscheiden?

$\sigma$  für die Grundgesamtheit,  $s$  für Stichproben.

Die Breite der Kurve muss angegeben werden, aber die Gesamtbreite ist unendlich und deshalb nicht geeignet. Als markanter Punkt bietet sich der Wendepunkt an; bei ihm geht eine Linkskurve in die Rechtskurve über u.u. (Vgl. Motorradfahrer bei Kurvenfahrt).

### mit Taschenrechner

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

### mit W.-Netz

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

1) Berechnen Sie Mittelwert und Standardabweichung.

Norm\_Ub Aufg.1: Parameter von normalverteilten Messreihen bestimmen

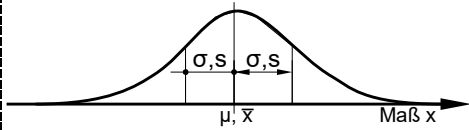
Prüft, ob eine Normalverteilung für eine gegebene Menge von Messwerten passend ist. QZ 04/99 S.458ff. Wenn sie nicht passt, können die Daten mit einer Transformation nach Johnson transformiert werden und dann wie normalverteilte Prozesse behandelt werden. Excel bietet dazu Funktionen an.





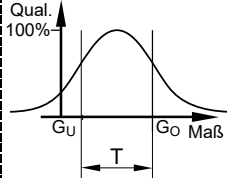
## Gründe für statistische Prozesskontrolle (SPC)

### Verteilung einer Fertigung



entspricht näherungsweise der Normalverteilung

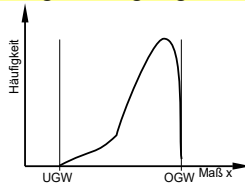
### Funktionsqualität



passt eher in Normalverteilung als in Toleranzgrenzen

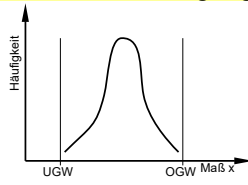
### Kontrollierbarkeit

#### beliebige Fertigung



erfordert teure 100%-Prüfung

#### normalverteilte Fertigung



kommt mit billigen Stichproben aus

### Schlussfolgerung

normalverteilte Maße

- passen zur Fertigung
- passen zur Funktionsqualität
- sind billiger zu prüfen

→ klassische Grenzmaß-Toleranzen passen nicht dazu

### Vertiefung

Abstimmen/vereinigen mit folgendem TA

1) Einflussfaktoren, die zur normalverteilten Fertigung führen (vgl. Galtons Nagelbrett), sind z.B.

- Lagerspiel
- Schwingungen im Werkstück
- Vibrationen der Maschine
- Temperaturschwankungen
- usw.

2) Wie sieht es mit der (Funktions-)Qualität aus?

3) Ihr letzter Reservekolben bei Paris-Dakar ist knapp untermaßig. Werfen Sie ihn weg?

- Optimale Funktionsqualität liegt vermutlich in Toleranzmitte.
- Nach außen nimmt Q schon innerhalb der Toleranz ab.
- Knapp jenseits der Toleranzgrenzen nimmt Q weiter ab, aber die Teile werden nicht schlagartig völlig unbrauchbar.

1) Zusammenfassung

2) Was muss noch angepasst werden? Toleranzen!

Animation: Schlangenlinien

AB Einführung in SPC

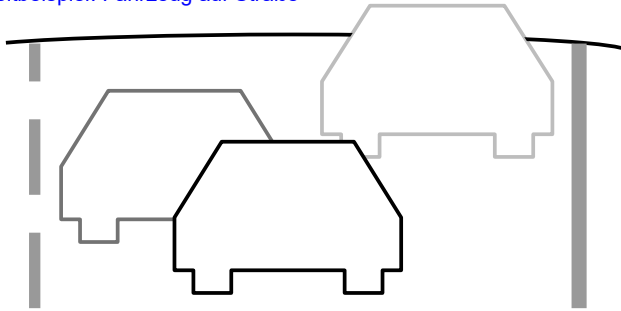
TA Begründung für SPC



## Begründung für SPC

SPC = Statistische Prozesskontrolle

Leitbeispiel: Fahrzeug auf Straße



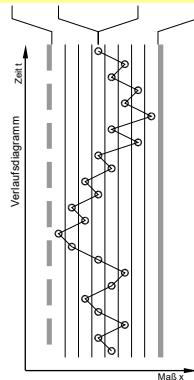
Ein Fahrzeug (Fertigungsprozess) sollte nicht die ganze Fahrbahnbreite (Toleranz) ausnutzen.

## Datenerfassung

### Urwertliste

schwer lesbare Zahlenreihen

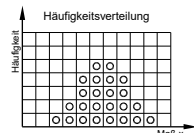
### Verlaufdiagramm



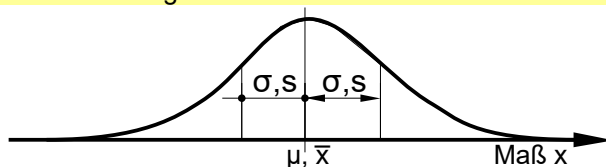
## Reduzierung der Daten

### Häufigkeitsverteilung im Histogramm

vereinfacht die Verlaufswerte



## Normalverteilung



vereinfacht die Häufigkeitsverteilung auf 2 Parameter:

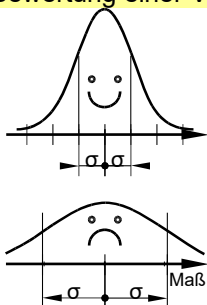
Wo liegt die Mitte des Prozesses (=Mittellage)

= Mittelwert  $\mu$  bzw.  $\bar{x}$

Wie stark streut / schwankt der Prozess?

= Standardabweichung  $\sigma$  bzw.  $s$

## Bewertung einer Verteilung



Prozesse mit geringerer Streuung: bedeuten

- weniger Risiko = geringere Prüfkosten
- bessere Funktionalität
- größere Wiederholgenauigkeit

gute Streuung  
schlechte Streuung

1) *Klassische Toleranzen kennen nur die Qualität 0 und 100%. Lehrlinge haben Mühe, die Logik dieses Systems zu verstehen, und haben recht. Warum?*

## klassische Grenzmaßtoleranzen

- Abmaß
- Allgemitoleranzen
- ISO-Toleranz

TX SPC\_Begründung:

2) *Wie reagieren Sie, wenn das Fahrzeug vor Ihnen Schlangenlinien fährt und die ganze Fahrbahnbreite ausnützt? Es verlässt seine Spur nicht!*

Ein Fahrzeug hat eine ganze Spur zur Verfügung, die Fahrbahnmarkierungen entsprechen den Grenzwerten  $G_U$  und  $G_O$ , die Fahrbahnbreite (minus Fahrzeug-Breite) der Toleranz. Hoffentlich lautet Ihre Reaktion: extragroßer Abstand!

Begründungen: Wenn man an der Toleranzgrenze fertig,

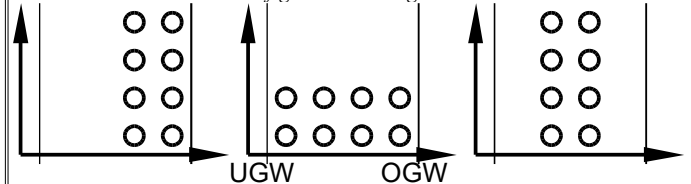
- ist die Funktionsqualität nicht optimal.
- kann schon eine geringe Störung zu Ausschuss führen.
- können nur teure 100%-Prüfungen sicherstellen, dass kein Ausschussteil vorliegt.

3) *Zur Untersuchung zeichnen wir den Fahrweg auf.*

- Zur Vereinfachung wird das Fahrzeug auf einen Punkt reduziert und die Fahrbahn entsprechend schmaler.
- y-Achse: Strecke in m oder Zeit t in s (Zeit ist besser geeignet, weil übertragbar auf QRK)
- x-Achse: Lage des Fahrzeuges

4) *Der Fahrweg enthält unhandlich viele Informationen, also reduzieren wir ihn auf eine Häufigkeitsverteilung.*

5) *Die Häufigkeitsverteilung erlaubt eine Bewertung eines Prozesses. Wie wünschen Sie sich die Häufigkeitsverteilung Ihres Vordermannes?*



## Vertiefung

Datenauswertung\_AB

## Spätere Vertiefung

Unterrichtseinheit Häufigkeitsverteilung, ggf. Wahrscheinlichkeitsnetz

6) *Auch Häufigkeitsverteilungen enthalten noch viele Informationen, die man mit einem Verteilungsmodell weiter reduzieren kann.*

Wenn eine Häufigkeitsverteilung in ein Verteilungsmodell passt, kann man die Menge der Informationen drastisch reduzieren. Hier wird nur die Normalverteilung betrachtet, aber das Prinzip der Verteilungen kann man von der Normalverteilung auch auf andere übertragen, z.B. hypergeometrische oder binomiale Verteilung, Weibull- oder  $\chi^2$ -Verteilung.

Galtons Nagelbrett

Entwicklung der Normalverteilung siehe SP\_Begründung-TX.

7) *Parameter der Normalverteilung? Welche einfachen Größen interessieren?*

Standardabweichung ist der Abstand vom Mittelwert zu einem Wendepunkt. Die Breite der ganzen Normalverteilung anzugeben ist nicht geeignet, weil sie theoretisch bis  $\pm\infty$  reicht. Stattdessen nimmt man den Wendepunkt, der mathematisch leicht fassbar ist. Wendepunkt ist der Punkt, bei dem ein Motorradfahrer auf der Linie zwischen Rechts- und Linkskurve gerade senkrecht stünde.

## Spätere Vertiefung

Wahrscheinlichkeitsnetz, Normalverteilung, Verteilung mit Tabellenkalkulationen.

8) *Welche Häufigkeitsverteilung wünschen Sie sich von Ihrem Vordermann im Straßenverkehr bzw. für Ihre Produktion?*

- Schmale Häufigkeitsverteilung sagt aus, dass das Fahrzeug häufiger in der Mitte fährt und weniger die Fahrbahngrenzen auslotet. In diesen Prozess hat man mehr Vertrauen.
- bessere Funktionalität heißt z.B., dass es weniger Beeinflussung mit Straßenrand und anderer Spur gibt, mehr Platz, wenn doch was schief geht usw. Sie kann auch ausgenutzt werden, indem man breitere Fahrzeuge bzw. schmalere Straßen usw. zulässt = geringere Kosten. (Beispiel Schienen = weniger Schwankung im Fahrbetrieb = schmalere Trasse = billiger)

Stochastik\_TA\_SPC-Einführung.odt



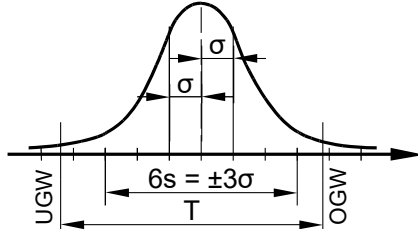
## Inhalte von SPC

### 6-Sigma-Fertigung, 6-σ-Fertigung

- Standardabweichung  $\sigma$  (Sigma) der Fertigung muss 6-mal in die Toleranz passen
- Toleranz darf nicht mehr beliebig ausgenutzt werden
- 8-, 10-, 12-, ... -Sigma sind möglich

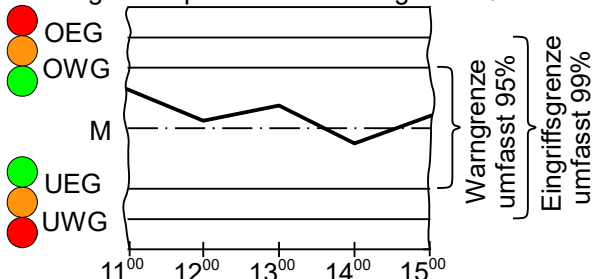
### SPC:Fähigkeitsuntersuchungen

- prüfen einer Maschine vor der Fertigung ob sie 6-σ für einen Auftrag erreichen kann



### SPC: Qualitätsregelkarten

- Überwachung einer laufenden Fertigung durch regelmäßige Stichproben und Eintragen in QRK



### Warn- und Eingriffsgrenzen

- bewirken Reaktion, bevor Ausschuss produziert wurde
- hängen von der Streuung der Produktion ab, nicht von der Toleranz

### Einzelmessungen

sind wenig aussagekräftig und deshalb selten

### Stichproben von kleinem Umfang

ermöglichen die Überwachung von

- Fertigungslage (Mittelwert oder Median)
- Fertigungsstreuung (Standardabweichung oder Range = Spannweite)

Dazu benötigt man:

### Zweispurige Regelkarten

### Vorteile von QRK

- regelmäßige Stichproben zeigen die momentane Qualität der Fertigung.
- Änderungen werden entdeckt, bevor Ausschuss entsteht.
- Erst wenn die Ursachen der Änderungen gefunden sind, ist Qualitätsverbesserung möglich
- QRK können Eingangsprüfung des Kunden ersetzen
- QRK dokumentieren Sorgfalt im Sinne des Produkthaftungsgesetzes (→ Beweislastumkehr!)
- QRK ermöglichen langfristige Beobachtung der Maschinen- und Bedienerzuverlässigkeit

### Vertiefung

### Fortsetzung

Mit der Normalverteilung kann man mit wenigen Werten beschreiben, wie das Fahrzeug vor uns fährt.

9) Bis jetzt spielte die Toleranz keine Rolle. Wie kommt sie ins Spiel?

Ob ein Fahrstil sicher (ein Prozess fähig) ist, hängt nicht allein vom Fahrstil (Prozess) ab, sondern muss immer im Vergleich mit der Straße (Toleranz) gesehen werden. Wer mit einem Anhänger auf Dorfstraßen (enge Toleranz) Probleme hat, kann auf Autobahnen (weite Toleranzen) immer noch sicher fahren (fertigen). Man muss Toleranz und Schwankung ins Verhältnis setzen. Man sagt, ein Prozess sei 6-σ-fähig, wenn die Toleranzgrenzen außerhalb Mittelwert  $\mu \pm 3$  Standardabweichungen  $\sigma$  liegen. Üblich ist mittlerweile 8-σ und mehr.

### spätere Vertiefung:

Unterrichtseinheit Maschinen- und Prozessfähigkeit

10) Sollte ein automatisches Lenksystem erst am Fahrbahnrand reagieren?

Warn- und Eingriffsgrenzen.

11) Sollte das Lenksystem auf breiten Straßen mehr Schwankung zulassen?

Nein, da riskant und unkomfortabel. Die Schwankungsbreite sollte so gering wie möglich gemäß den Fähigkeiten des Lenksystems sein. EG und WG hängen von den Fähigkeiten der Produktion ab, nicht von den Toleranzen. Wenn die Fähigkeiten für die Toleranzen nicht ausreichen, ist ein Prozess eben nicht fähig.

12) Die Polizei will die Spurtreue von Brücken aus überwachen. Fotoapparate haben sie schon. Genügen einzelne Fotos?

Einzelmessungen haben wenig Aussagekraft, es ist ja nicht „verboten“, am Fahrbahnrand zu fahren. Außerdem interessiert die Polizei nicht nur die Lage, sondern auch die Schwankung. Also muss man eine Stichprobe mit mehreren Messungen nehmen.

### spätere Vertiefung:

Unterrichtseinheit Qualitätsregelkarten

TX SPC\_Einführung\_TX

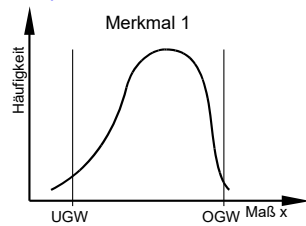
QRK, Fähigkeitsuntersuchungen

Stochastik\_TA\_SPC-Einführung.odt  
Seitenumbruch



## Häufigkeitsverteilung: Praktisches Beispiel kontinuierliche Merkmale im Histogramm

### Beispiel XYZ



Merkmal 1: Breite  
normalverteilt

### Klassenbildung

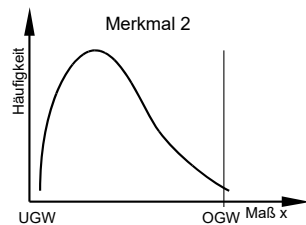
### Strichliste

### Histogramm

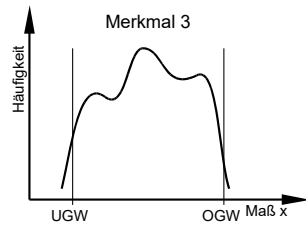
≡ Wahrscheinlichkeits- und Verteilungsfunktion

## Wahrscheinlichkeitsnetz

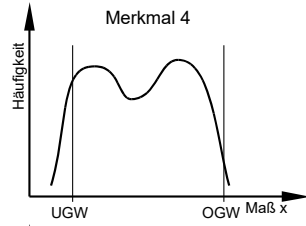
### Übungen



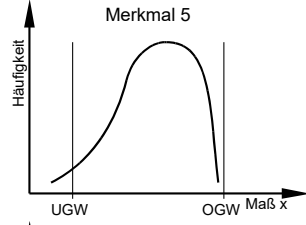
Merkmal 2: Parallelität  
linksschiefe Verteilung



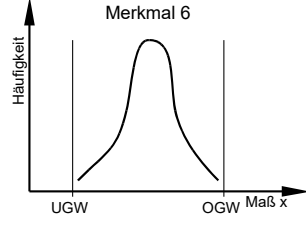
Merkmal 3: Gesamtlänge



Merkmal 4: Härte  
vermutlich zwei verschiedene  
Prozesse



Merkmal 5: Abstand  
rechtsschiefe Verteilung



Merkmal 6: Durchmesser  
Normalverteilung

Quelle: LFB Baumann 1996; Norm nach [Klein 2008] S.981ff

1) Die zugehörige Zeichnung habe ich nicht kopiert, da es darauf gar nicht ankommt, dafür habe ich etwas viel schöneres: Zahlen:  
AB Ausfüllanweisung für Histogramme.

- Glockenkurve = Normalverteilung: typisch für viele technische Prozesse

Bewerten:

- Form der Kurve
- Lage der Kurve in Bezug zu den Toleranzen
- Breite der Kurve

am Beispiel der Breite

FO Lebensdauerstreucurve

FO Siedekurve von Kraftstoffen

Summenhäufigkeiten sind besser geeignet, um Ausschuss abzulesen.

W-Netz wieder einführen?

Die Unterscheidung zwischen W-/V-Funktion einerseits und Einzel-/summen-Häufigkeiten andererseits ist in der Bezeichnung nicht so wichtig, wichtig ist aber, dass das erste theoretisch voraussagt und das zweite einen vergangenen praktischen Versuch beschreibt.

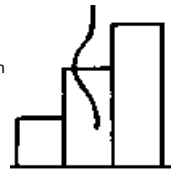
2) Ermitteln Sie Mittelwert, Standardabweichung und Ausschussanteile mithilfe von Wahrscheinlichkeitsnetzen

3) In Gruppenarbeit, je Gruppe ein Merkmal:

- Erstellen Sie für den Wellengelenkschaft, Merkmale 2 bis 6, die Histogramme
- Beschreiben Sie die Kurve
- Diskutieren Sie mögliche Ursachen und weitere Maßnahmen.
- Tragen Sie Ihre Ergebnisse vor
- keine Gauß'sche Normalverteilung
- linksschiefe Verteilung ist typisch für Lagetoleranzen und Rauheiten, weil es bei diesen keine negativen Werte gibt
- die Kurve der Summenhäufigkeit ist konvex, weil von links her kommend zuerst die großen Einzelklassenhäufigkeiten kommen. Bei rechtsschiefen Verteilungen ist sie konkav

- Die grafische Beurteilung hängt stark von den Klassengrenzen ab. Die Normalverteilung muss rechnerisch überprüft werden.
- der Prozess ist nicht maschinenfähig (viel zu breit)
- die zulässige Schwankung innerhalb der Klassen hängt von  $N$ ,  $n$

usw. ab und steigt mit sinkendem  $\frac{n}{N}$ .



- möglicherweise handelt es sich um zwei verschiedene Prozesse (Anlagen, Bediener, Chargen, Einstellungen o.ä.)
- wenn möglich, muss jeder für sich beurteilt werden.

- ähnelt einer abgeschnittenen Normalverteilung
- Mögliche Ursachen
  - der Lieferant hat Ausschuss gefertigt und ihn aussortiert. In dem Fall kann der Kunde den Ausschussanteil berechnen.
  - es handelt sich um eine manuelle Fertigung (man feilt nicht weiter, sobald man innerhalb der Toleranz ist).
  - es wurde mit einem Anschlag gearbeitet.

- sehr schöne Normalverteilung
- die Maschinenfähigkeit wird nur knapp erreicht



## SPC: Fähigkeitskennzahlen c

SPC vor der Fertigung

Fähigkeitskennzahlen sagen aus, wie gut eine Fertigung im Vergleich der Toleranz ist.

Dazu eine Vorserie gefertigt und gemessen und die Toleranz (Konstruktion) und die Streuung (Fertigung) ins Verhältnis gesetzt.

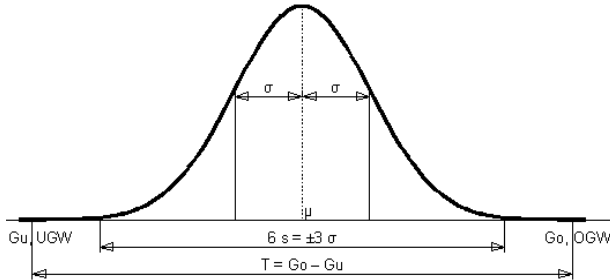
$$c = \frac{\text{Forderung der Konstruktion}}{\text{Ergebnis der Fertigung}} = \frac{\text{Toleranz}}{\text{Streuung}}$$

## Ermittlung von $c_m$ , $c_p$ , $c_{mk}$ und $c_{pk}$

die Standardabweichung

bei mittlerer Fertigung

in der Mitte der Toleranz



$$c = \frac{\text{Toleranz}}{6 \cdot s} = \frac{T}{6 \cdot s} = \frac{G_O - G_U}{6 \cdot s}$$

$c_m$  Maschinenfähigkeitskennwert

$c_p$  Prozessfähigkeitskennwert

T Werkstücktoleranz

$G_u, G_o$  oberer und unterer Grenzwert

$\sigma_m, \sigma_p$  bzw.  $s_m, s_p$

Standardabweichungen von Versuchsserien

## Bedeutung einer Fähigkeitskennzahl c

$$\frac{T}{6 \cdot s} > 1,33 \rightarrow T > 1,33 \cdot 6 \cdot s = 8 \cdot s$$

Wenn die Fähigkeitskennzahl  $c > 1,33$  ist, wird mindestens 8 Sigma erfüllt.

## Fähigkeitsuntersuchungen $c_m, c_p$

Aus Kostengründen wird die Prozessfähigkeit in 2 Stufen ermittelt:

### Maschinenfähigkeit $c_m, c_{mk}$

(fähig, kurzzeitfähig)

– Ist die Maschine genau genug?

– Wenige Teile (50) unter Idealbedingungen fertigen

Nur wenn  $c_m$  eine Stufe besser ist als  $c_p$  sein soll (z.B.

$c_m > 1,66$  für 8 Sigma) folgt eine Untersuchung der :

### Prozessfähigkeit $c_p, c_{pk}$

(beherrscht, langzeitfähig)

– Kann die Fertigung x Sigma dauerhaft erfüllen?

– Mindestens 125 Teile unter Normalbedingungen fertigen und  $s_p$  und  $\bar{x}_p$  ermitteln

## Vertiefung

Wie groß ist der Ausschussanteil bei einer 8s-Fertigung mindestens?

=NORMVERT( $G_o = +4\sigma$ ;  $\mu=0$ ;  $\sigma=1$ ) - NORMVERT( $G_u = -4\sigma$ ;  $\mu=0$ ;  $\sigma=1$ ) = 99,9968% - 0,0032% = 99,9937 %

## Übungen

[EuroTabM46] S.381 vorläufige Prozessfähigkeit einarbeiten

## 2 Welten treffen aufeinander: Konstruktion ↔ Fertigung

Fähigkeitsuntersuchungen sind der Versuch, zwei völlig verschiedene Welten zusammenzuführen: Konstruktion und Fertigung

TX SPC\_Begründung

Die Forderung nach 6-Sigma (oder mehr) wandelt eine Toleranz mit Grenzmaßen in ein Verteilungsmodell um, das für Fertigung, Q-Kontrolle und Funktion besser geeignet ist.

1) Ein 2: Kundenanfrage nach zentrisch gelochten Pappkartons. Wie stellen wir fest, ob wir die geforderte Toleranz fertigen können? ⇒ Versuch.

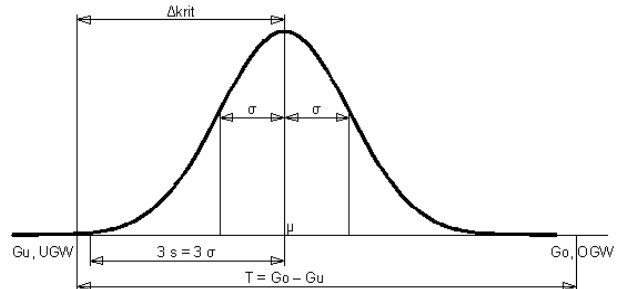
FO Schießscheibe (Bild 4)

## SPC = statistische Prozessregelung

c steht für capable (fähig),  $c_m$  und  $c_p$  sind Abkürzungen von Ford, DGQ verwendet  $p_p$  (statt  $c_m$ ), für  $c_p$  habe ich keine andere Abkürzung der DGQ gefunden. Der Bezug auf 6 s hat vermutlich historische Gründe. Damals war eben 6 Sigma Stand der Technik, und als dieser später auf 8, 10 s erhöht wurde, musste man beim Teiler 6 s bleiben, weil sonst verschiedene c-Werte existierten.

bei außermittiger Fertigung

außerhalb Toleranzmitte



$$c_{mk}/c_{pk} = \frac{\Delta_{krit}}{3 \cdot s} = \frac{\text{MIN}(G_O - \mu; \mu - G_U)}{3 \cdot s}$$

$c_{mk}$  kritischer Maschinenfähigkeitskennwert

$c_{pk}$  kritischer Prozessfähigkeitskennwert

$\Delta_{krit}$  Abstand von  $\mu$  zur näheren Toleranzgrenze

$\mu_m, \mu_p$  bzw.  $\bar{x}_m, \bar{x}_p$ ,

Mittelwerte der Versuchsserien

$c_p > 1,00$  ( $c_m > 1,33$ ) bedeutet 6  $\sigma$

$c_p > 1,33$  ( $c_m > 1,66$ ) bedeutet 8  $\sigma$

$c_p > 1,66$  ( $c_m > 2,00$ ) bedeutet 10  $\sigma$

$c_p > 2,00$  ( $c_m > 2,33$ ) bedeutet 12  $\sigma$

Die unter idealen Bedingungen ermittelte Maschinenfähigkeit  $c_m$  soll eine Stufe höher als die Prozessfähigkeit  $c_p$  liegen, da sonst nicht damit zu rechnen ist, dass  $c_p$  unter normalen Bedingungen eingehalten werden kann.

1) Welche beiden Systeme spielen in der Fertigung die wichtigste Rolle?

Maschine und Bedienung (=Prozessführung)

Idealbedingungen: Prozess auf Mittellage der Toleranz eingestellt; eine Fertigungsstufe; eine Materialcharge; ein Mitarbeiter; günstige Umweltbedingungen; keine Veränderungen, z.B.

Nachstellen, Abschirmung gegen Wärme.

Goldene Regel der Messtechnik: Messgenauigkeit der Messeinrichtung muss 10-mal kleiner als die Toleranz sein.

Prozessfähigkeit benötigt einen größeren Stichprobenumfang, da unter Normalbedingungen mehr Einflüsse herrschen als unter Idealbedingungen.

125 Teile nach [Greßler 1995], [Reichard 1993] fordert mindestens 100 Teile.

Zur Ermittlung:

Maschinenfähigkeit: Bei der Bw werden Gewehre eingespannt und mit nur ca. 6 Schuss angeschossen (getestet). Mil.: Kampfwert.

Prozessfähigkeit: zur Überprüfung der Fähigkeit eines Schützen braucht es mehr Schüsse, schon weil es mehr Einflussfaktoren gibt. Mil.: Gefechtswert

Zur Aussage:

Der Ausschuss beträgt bei der Forderung nach 6s ca. 60ppm. Qt fordert offiziell einen Ausschussanteil von 0ppm, inoffiziell werden 10ppm zugestanden. Der Trend geht zu geringeren akzeptierten Ausschussanteilen. Mercedes fordert z.B. schon 8s oder 10s. Übung: Berechnen Sie die entsprechenden Ausschussanteile.

Normalverteilung\_Ub\_SPC Aufg.4: Maschinen- und Prozessfähigkeit

Stochastik\_TA\_SPC-Fähigkeit.odt

Seitenumbruch





## SPC: Qualitätsregelkarten QRK

SPC während der Fertigung

QRK = Qualitätsregelkarten

(hier nur Prozess-, keine Annahme-Regelkarten)

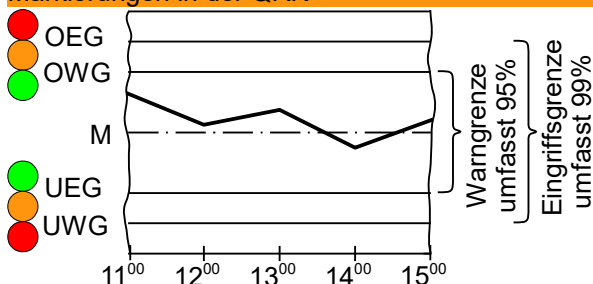
- regelmäßige Stichproben zeigen die momentane Qualität der Fertigung.
- Änderungen werden deutlich, bevor Ausschuss entsteht.
- Erst wenn die Ursachen der Änderungen gefunden sind, ist Qualitätsverbesserung möglich
- QRK können die Eingangsprüfung des Kunden ersetzen

– QRK dokumentieren Sorgfalt im Sinne des PHG

In QRK werden die Ergebnisse von Stichproben regelmäßig und übersichtlich eingetragen.

Änderungen der Stichprobenergebnisse deuten auf Änderungen der Prozessparameter hin und ermöglichen rechtzeitig, systematische Fehler abzustellen.

## Markierungen in der QRK



Prozessregelkarten: EG + WG aus Fertigungswerten

Annahmeregeln: EG + WG aus Toleranz

## Typen von QRK

FO Urliste und Unwertkarte  
[EuroTabM] „Qualitätsregelkarten“

Begründung?

## Urliste

- + haben den höchsten Informationsgehalt
- unübersichtlich

Es ist sinnvoll, Mittellage und Streuung zu überwachen, deshalb sind Prozessregelkarten meist zweispurig.

## X-R-Karte

(Median – Spannweite)

Median  $\tilde{x}$ Die Werte einer Stichprobe werden der Größe nach sortiert, und der mittlere Wert wird eingetragen (z.B. der 3. Wert bei Stichprobenumfang  $n=5$ ).Sortieren: 1, 2, 2, 4, 5  $\Rightarrow \tilde{x}=2$ 

Spannweite R

Range R (=Spannweite SP) =  $x_{\max} - x_{\min}$  siehe Klassierung von Einzelmesswerten. Baumann, LFB QS S.86: enthält auch Berechnung der Warn- und Eingriffsgrenzen  
 $R = \max(..) - \min(..) = 5 - 1 = 4$ 

## dynamische Regelkarten

passen EG und WG ständig an die verbesserte Fertigung an.

WG und EG werden ständig aus den letzten Messwerten neu berechnet und verengt. Dadurch wird der Prozess immer genauer.

– Überschreitung von UWG, OWG und UEG, OEG

– Trend, Rund. Periode, Middle Third

– TREND oder RUN sind nur schwer erkennbar.

–  $\tilde{x} - R$  – Karten erfordern wenig Rechenaufwand

## Unwertkarte (x-Karte)

haben den höchsten Informationsgehalt

unübersichtlich

Es ist sinnvoll, Mittellage und Streuung zu überwachen, deshalb sind Prozessregelkarten meist zweispurig.

## X-s-Karte

(Mittelwert – Streuung)

Mittelwert  $\bar{x}$ 

Die Grenzen für WG und EG werden enger als bei der Unwertkarte, weil hinter den Mittelwerten eine Verteilung steckt:

$$\bar{x} = \frac{5+4+2+1+2}{5} = 2,8$$

Standardabweichung s  
Shewhart-Regelkarten wurden erstmalig 1924 in den USA verwendet.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(5-2,8)^2 + \dots + (2-2,6)^2}{5-1}} = 1,64$$

Bei jeder Behandlung der Daten, z.B. Sortieren, Mittelwertbildung usw., gehen Infos verloren, z.B. der zeitliche Verlauf der Werte.

FO X-Karte, FO x-Karte [Reichard 1993]  
[EuroTabM] „Qualitätsregelkarten“Abweichung über EG und WG sind auch dann kritisch, wenn die Toleranzgrenzen weit entfernt liegen, da sie auf Störungen, wenn auch geringfügige, im Prozess hindeuten. Anwendung von Vertrauensbereich,  $P=95\%$ ,  $3\sigma$  usw.  $\Rightarrow$  DIN 2257

1) Anhand TabB durchsprechen

Empfindlich heißt, der Prozessverlauf ist gut erkennbar. Rechenaufwand erfordert CAQ. Details: [EuroTabM] „Qualitätsregelkarten“

## Vertiefung

Norm\_Ub\_SPC: QRK ausfüllen

Regelkarten ausfüllen und Prozessverlauf bewerten

**QM-Werkzeuge**

- universell einsetzbare Werkzeuge
- bekannt als 7 Tools (Zuordnung nicht eindeutig)
- meist grafische Problemlösungstechniken

Weka 5/2

Q-Methoden\_Werkzeuge\_FO

**Pareto-Analyse**

= Pareto-Diagramm, ABC-Analyse, 80-20-Regel

**Zweck:**

- Die (Wirtschaftlich) bedeutendsten Merkmale herausfinden und hervorheben, bzw.
- Wo ist viel Erfolg mit wenig Aufwand erreichbar

**Verlaufsdiagramm**

= Run Chart

- zeigt den zeitlichen Verlauf einer Größe

**Ursache-Wirkungs-Diagramm**= Ishikawa-Diagramm, Fischgrätdiagramm, Fishbone  
→ Mindmap in Fischgrätform**Zweck:**

- Einflüsse auf einen Prozess ermitteln

**Durchführung**

- Typische Hauptäste (7M) sind vorgegeben:  
Mensch, Maschine, Material, Management, Messen, Methode, Mitwelt (oder Milieu = Umwelt)

**Baumdiagramm**

→ Mindmap in Baumform

**Zweck**

- Darstellung konkurrierender und kaskadierender Zusammenhänge. Beispiele:
  - Fehler: Fehlerbaumanalyse (Baumanalyse, Failure Tree Analysis, FTA)
  - Stammbaum
  - Aufgaben detailisieren
  - Erzeugnisgliederung = Grundlagen für Stücklisten, Arbeits- und Montagepläne..

**Programmablaufplan**

= Flussdiagramm, FlowChart

**Zweck:**

- Darstellung von Handlungsfolgen mit Entscheidungen

**Streudiagramm**

= Korrelationsdiagramm, x-y-Diagramme, Scatter

**Zweck**

- Feststellen, ob zwei Variablen korrelieren (=zusammenhängen)

**Durchführung**

→ Excel &amp; Co : xy-Diagramme

In den 60er Jahren korrelierten in Deutschland der Rückgang der Störche und die Anzahl von Geburten. Ursache: Pille oder Pestizide?

- Der ursächliche Zusammenhang muss gesondert untersucht werden.

**Merke Statistischer Zusammenhang ist noch nicht kausal**

QM\_TA\_Werkzeuge.odt

**beiläufig einfließen lassen / integrativ unterrichten**

- Zahlen sind Entscheidungshilfen, aber entscheiden muss ein Verstand (nicht: Wenn .. Dann ..)
- Chefs wollen keine Probleme, sondern Lösungen
- Chefs wollen das letzte Wort haben: Machen Sie ihm die Entscheidung zw. Alternativen leicht bzw. geben Sie ihm die Chance für eine Verbesserungs“vorschlag“
- Der Vorschlag eines Chefs ist kein Vorschlag.
- klassische Reihenfolge von Vorschlägen: 1) Der Zweitbeste, 2.) Ein Unbrauchbarer 3) Den Gewünschten

2) Wie bereiten Sie sich auf die Klausurenorgien kurz vor Zeugnissen vor?

QM-Methoden Pareto AB

**Vertiefung**

Sortieren Sie die ausstehenden Klausuren nach ihrem Wirkungsgrad (Wo kann man mit wenig Aufwand gute Noten erzielen), nach Bedeutung .. und führen Sie eine ABC-Analyse durch.

FO Qualitätsregelkarte

3) Bewerten Sie den Drehmomentverlauf (sportlich, kommod?)

FO Abkühlkurve

FO Abkühlungs- und Dilatometerkurve von reinem Eisen

FO Drehmoment- und Leistungsverlauf

Beispiel siehe [EuroTabM]

4) Welches können die Ursachen sein, warum ein Schüler morgens zu spät kommt?

7M: Die Zahlenmystik des Mittelalters scheint in der japanischen Schule des Qualitätsmanagements wiedergeboren, aber tatsächlich handelt es sich nur um Merkhilfen.

FO FTA Untergang Estonia 1994

FO neu erstellen aus Doku zur Titanic → pinker Ordner

- Konkurrieren (lat. concurrere = miteinander laufen) wird im Wahrscheinlichkeitsbaum durch parallele Äste dargestellt, deren Wahrscheinlichkeiten sich addieren.
- Eine Kaskade (von frz. cascade = it. cascata = Wasserfall) ist ein stufig angelegter Wasserfall. Kaskadierende Äste im W-Baum sind aufeinanderfolgende Äste mit multiplizierenden Wahrscheinlichkeiten. Übrigens leiten sich sowohl Kaskade als auch Chance etymologisch von lat. cadere = fallen ab. → [Duden7 1989]
- Andere Arten von Baumdiagrammen: Stammbaum, Wahrscheinlichkeitsbaum, Kladogramm (Verwandschaftsstruktur von Lebewesen)
- siehe auch → [MemoryJogger II]

5) Auto benötigt Starthilfe. Wie gehen Sie vor, um die Fehlerursache zu finden?

FO Flussdiagramm Starthilfe

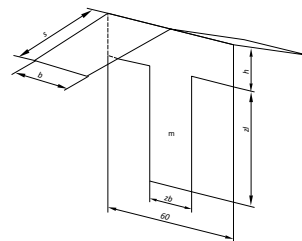
FO Korrelationsdiagramm nach Hubble → [Singh 2007]

**Vertiefung**

Papierhubschrauber\_AB

**Papierhubschrauber****Ziel:**möglichst lange Flugdauer (Loslassen aus ..m Höhe)  
Einflussfaktoren:

7. Gewicht m
8. Flügelbreite b
9. Spannweite s
10. Neigung der Flügel  $\alpha$  (Anstellwinkel)
11. Zapfenlänge zl
12. Zapfenbreite zb
13. Trägerhöhe h





## Matrixdiagramm (paarweiser Vergleich)

Der Begriff Matrixdiagramm wird vielfältig verwendet.

### Zweck:

- Elemente nach ihrer Wichtigkeit ordnen, wenn viele Merkmale eine Rolle spielen (ähnlich Bundesligatabelle)

### Durchführung

- Alle Elemente paarweise vergleichen
- Auswertung wie Bundesligatabelle

### Vertiefung

## Strichliste und Histogramm

## Prioritätenmatrix

|                 | Gewichtung | Angebot A | Angebot A | Angebot A |
|-----------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Gehalt          | 80%        |           |           |           |
| Aufgabe         | 30%        |           |           |           |
| Aufstiegchancen | 100%       |           |           |           |
| Standort        | 10%        |           |           |           |
| Arbeitszeit     | 25%        |           |           |           |
| ...             |            |           |           |           |
| Summe           |            |           |           |           |

## Poka-Yoke

= idiotensicher

## Preiswürdigkeitsurteil

### Zweck:

- Preis-Leistungsverhältnis zur Konkurrenz einordnen

### AB Paarweiser Vergleich

Funktioniert wie eine Bundesligatabelle: Elemente werden paarweise verglichen (ohne Heimvorteil und Rückspiel)

6) Bei QFD

Siehe Statistik

FO Lebensdauerstreukurve

7) Bei QFD

Poka-Yoke passt nicht ganz in die Reihe der Werkzeuge, sondern ist eher ein Prinzip. Beispiele: Verdrehsichere Montage; automatisch öffnende Fächer, die am Fließband Verwechslung von Einbauteilen verhindert.

AB Preiswürdigkeitsurteil

QM\_TA\_Werkzeuge.odt



## Gliederungen

Die Zuteilung der Werkzeuge ist in jedem Buch anders dargestellt.

### 7 Managementwerkzeuge

Weka 5/2.2

- Affinitätsdiagramm
- Relationsdiagramm
- Baumdiagramm
- Prozess-Entscheidungsdiagramm
- Pfeildiagramm
- Matrix-Diagramm
- Matrix-Datenanalyse

### Risiko-Analyse

Weka 5/4

- Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse FMEA
- Fehlerbaumanalyse FTA
- Poka-Yoke

### 7 Basiswerkzeuge / 7 Tools

Weka 5/2.1

- Datensammlung und Stratifikation
- Prüfkarten
- Histogramm
- Pareto-Analyse
- Ursache-Wirkungs-Diagramm
- Streudiagramm
- Regelkarte

Vorbereitung vor die Statistik

Darstellung von Pareto: Statistik von Zahlenreihen in verschiedenen Formen: Zahlenlisten, Tortendiagramm, Histogramm, Paretodiagramm auf FO. Nach der größten Zahl fragen, aber die FO nur 1s aufdecken, Erfolgsquote ermitteln. Zusätzliche Fragen: wie groß ist der zweithäufigste Anteil, wie viele Hauptprobleme gibt es usw.? Pareto-Darstellung von RPZ!

### Darstellung von attributiven Daten

Ein: Zahlenliste; wie können diese Daten anschaulicher dargestellt werden? Für sich selbst und zur Präsentation.

Daten sollen möglichst anschaulich und übersichtlich dargestellt werden

### Zahlenliste

schwer abzulesen

### Prüflisten

die gute alte Strichliste

### Säulendiagramm

Zahlen werden durch die Längen von Säulen symbolisiert.  
Balkendiagramm ist genauso, aber waagerecht.

### Paretodiagramm

Wie Säulendiagramm, aber nach Größe geordnet

### Kuchen- oder Tortendiagramm

kreisförmige Darstellung, schon anzuschauen, aber nicht so aussagekräftige

### Sankey-Diagramm

meist nur für Wirkungsgrad, Materialflüsse usw. verwendet.



## QFD (Quality Function Deployment)

### Aufgabe:

die „Stimme des Kunden“ zur „Stimme der Firma“ zu machen, sodass Kundenwünsche bis zur Auslieferung des Produktes der entscheidende Antrieb bleiben.

QFD ist eine Methode zur systematischen und ganzheitlichen Produktplanung, die sich konsequent an den Kundenwünschen orientiert [Ekbert Hering u.a. (Hrsg.), Qualitätssicherung für Ingenieure, VDI-Verlag Düsseldorf 1994 S.73]

### Projekt durchführen

#### 1) Auswahl eines Objektes

z.B. Einfachstuhli zum Schreiben und Halten, Mausefalle, Tassenhalter, Fahrradklingel  
Funktionen eines Schreibers können sein: Schreiben, halten, Patrone oder Tinte auswechseln, Schutz der Schreibspitze, Befestigung am Hemd, Design, Repräsentation

#### 2) Kundenanforderungen

#### Kundenanforderungen finden

##### FO mit Beispielen

Kundenanforderungen sind  
Es soll nicht in Lösungen gedacht werden, wie das bei Nennung von Funktionen der Fall ist.  
Die Anforderung sollen klar, verständlich und nicht erklärungsbedürftig sein.  
„Getränke darf nicht kalt / warm werden“ statt „Wärmeisolation“  
Ein Kunde, der eine Bohrmaschine kauft, will eigentlich Löcher!

#### Strukturierung der Ergebnisse

In den Gruppen, ansonsten durch den Lehrer, um Zeit zu sparen.

#### Erfahrungen

- Anforderungen oder Merkmale, die ähnlich sind, müssen sorgfältig getrennt werden.  
Wenn die Anforderung „einfach montierbar“ bewertet wird, darf die Anforderung „praktisch“ nicht mehr auf die einfache Montage bezogen werden, weil sonst dieses Merkmal überbewertet wird.
- Zusammenhang „Auslaufschutz“ und „standfest“: jede Erhöhung der Standfestigkeit erhöht auch den Auslaufschutz, wie wird es bewertet? Wie wird ein Auslaufschutz bewertet, der auch ohne Standfestigkeit wirkt, z.B. geschlossene Flasche?
- Eindeutige Formulierung sind notwendig: „sicher“ wurde ursprünglich mit „verletzungssicher, sicher bei Unfall“ belegt und wandelte sich später bis zu „standsicher, auslauf-sicher“ usw.

#### Zielgruppe festlegen

- Käufer, Anwender, Meinungsbildner (Fachzeitschriften, Seminarveranstalter)

#### Nur für das Projekt: Kundenanforderungen reduzieren

- Vorauswahl und Reduktion auf max. 20 Punkte, damit das Übungsbeispiel nicht aus dem Rahmen platzt
- Ggf. verschiedene Teilgebiete in Gruppen bearbeiten

#### Kundenanforderungen gewichten Methode des paarweisen Vergleich Punktbewertungsmethode

#### Eintrag in Raum 1 und 2 des HoQ

Marktinformationen (Produktanforderungen) und kommerzielle Aspekte werden in der horizontalen Achse eingetragen und ausgewertet.

#### Nachbereitung des Projektes

#### Gelernte Arbeitstechniken

Abbildung des House of Quality siehe Weka 2/8 Seite 12.

QFD wurde erstmalig 1966 von Yoji Akao vorgestellt und 1972 in der Kobe Werft praktiziert.  
Einarbeiten: [Greßler 1995]

Ziel: Alle Bereiche, alle Mitarbeiter arbeiten an der Verbesserung der Eigenschaften, der Kosten, der Arbeitsabläufe und der Produktionseffizienz um dem Kunden Produkte oder Dienstleistungen anzubieten, die hochwertig, nützlich, ökonomisch und ökologisch sind [Weka 5/3.1].

Maxime der QFD-Philosophie ist, den Wünschen des Kunden in jeder Phase der Produktentstehung einen höheren Stellenwert beizumessen als den Realisierungsvorstellungen des Ingenieurs. Der Ingenieur soll nur (?) Mittler zwischen den Kundenanforderungen und dem technisch Machbaren sein. Ziel soll nicht das technisch Machbare, sondern die höchste Gebrauchstauglichkeit sein [Pfeifer 1996].

##### FO House of Quality Übersicht

QFD passt sich den üblichen Entwicklungsphasen an:

- Phase 1: Produktplanung: Kundenanforderungen in (kritische) Produktmerkmale, Allgemeines Lastenheft in quantitative definiertes Lastenheft
- Phase 2: Komponentenplanung (Teilentwicklung, Konstruktion), Pflichtenheft in konkretes Produkt (Stückliste)
- Phase 3: Prozessplanung (Arbeitsvorbereitung); Produkt in Prozessdaten (Produktionsprozess)
- Phase 4: Produktionsplanung, Fertigungsplanung (Sicherung der Abwicklung); Prozessdaten in Arbeits- und Kontrollanweisungen

- 1) Bk: Kundenanforderungen ermitteln und gewichten
- 2) Kon: Produktentwurf
- 3) Qt: Kritik des Entwurfes
- 4) Kon: Weiterentwicklung

Das QFD läuft in mehreren Stufen ab. Übungshalber wollen wir nur die erste Stufe durchführen: lösungsneutrale Qualitätsmerkmale der Konstruktion.

##### AM BIG-Kuli, Kugelschreiber, Protzschreiber

Kundenwünsche sammeln, Basis- und Begeisterungsfunktionen hinzufügen, Widersprüche eliminieren, das Wesentliche aus den Kundenwünschen herausziehen, Produktanforderungen formulieren, nach Funktion, Fertigungsschritten o.ä. strukturieren.

Anforderungen können auch mit Gewichtung vorgegeben werden (keine Aufgabe des Konstrukteurs). Mit Brainstorming dauert es ca. 3h.

##### 1) Regeln des unstrukturierten Brainstormings

###### AB Brainstorming

- 2) Gruppen und Protokollanten einteilen, Moderator gut vorbereiten
- 3) Aufgabe vorgeben:

a) Brainstorming: Welche Anforderung stellen Sie als Kunde an ...

- Auf Karten schreiben erleichtert das spätere Strukturieren
- Tafel ist zu klein, ein Schreiber auch bei 6 Mann fast zu wenig
- Moderatoren müssen die Regelbeachtung durchsetzen
- knappe Zeit führt zu unzulässigen Kürzungen

b) Strukturieren der Ergebnisse

Struktur fördert die Übersicht und hilft, keine Punkte zu vergessen. Formulieren Sie alle Ergebnisse mit Adjektiv und Substantiv in, weil einzelne Worte oft zu ungenau sind, z.B. Produktanforderung *Auspuffgeräusch* beim Motorrad: soll es laut, leise, hoch, tief, schrill, satt, blubbernd, ... sein?

| Titel          | Globalfunktion | Detailfunktion   |
|----------------|----------------|------------------|
| Kugelschreiber | schreiben      | schreibt schnell |

##### 4) Durchführung des Brainstorming

###### Medienkoffer

##### 5) Nachlese: Sind Ihnen noch Punkte eingefallen?

##### 6) Diskussion der Methode Brainstorming

- Wie ernst haben Sie die Methode genommen?
- Wie zufrieden sind Sie mit dem Ergebnis?
- Wie haben Sie die Diskussion ihrer Ideen empfunden?
- Wie kann man den Ablauf verbessern und die Ausbeute erhöhen?

In QZ 11/98 S.1371 werden in einer Kundenmatrix die Gewichtungsfaktoren für verschiedene Zielgruppen ermittelt

Eigentlich soll dies durch repräsentative Kunden durchgeführt werden.

##### Vorschläge zur Reduktion der Punkte

- Einteilung in Basics, Performance und Excitements
- Anzahl der Excitements (Sonderausstattungen) beschränken
- Eindeutig späteren QFD zuordbare Anforderungen (keine scharfen Kanten, hitzebeständig) auslassen. Techniker mischen unter die Kundenanforderungen gerne Konstruktionsmerkmale (z.B. Wärmeisolation statt „Kaffee darf nicht kalt werden“; „Finger dürfen nicht verbrennen“).

##### 1) 2 Gruppen verwenden je ein Verfahren und tragen anschließend sowohl das Verfahren als auch die Ergebnisse vor.

##### AB Methode des paarweisen Vergleich

In einer Matrix werden alle Elemente paarweise verglichen. Die Methode ist eigentlich nur zur Festlegung einer Rangfolge gedacht.

###### Medienkoffer

Teilnehmer stimmen durch Kleben von Punkten ab, sinnvollerweise mit z.B. max. 3 Punkten je Oberbegriff. [vdi: QS für Ingenieure, S.89f; Malorny u.a. Moderationstechniken S.120f]

##### AB, FO House of Quality

Brainstorming als Verfahren der Kreativitätsförderung  
Entscheidungsmatrix am Beispiel meiner Entscheidung, zur Schule zu gehen





In der vertikalen Achse werden die technischen Aspekte (Produktmerkmale) eingetragen. Dazu gehören auch gesetzliche Auflagen usw.

### 3) Produktmerkmale festlegen (Raum 6)

Was will der Kunde und wie wird es durch das Produkt umgesetzt?

- lösungsneutrale Merkmale der Konstruktion: mess- oder zählbar

lösungsneutral heißt, dass es sich zwar um mess- und prüfbare Konstruktionsmerkmale handeln soll, diese aber das konstruktionstechnische Prinzip implizieren offen lassen. Insbesondere bei Neukonstruktionen ist dies zur Sicherstellung einer unvoreingenommenen Produktentwicklung notwendig

### 4) Bewertung

#### Zusammenhang (Raum 7)

In der Hauptmatrix des HoQ werden die Beziehungen zwischen Produkthanforderungen (Zeilen) und Produktmerkmalen (Spalten) eingetragen.

Felder ohne Zusammenhang bleiben leer.

#### Bedeutung (Raum 12)

Es werden die Intensitäten der Zusammenhänge (Raum 7) mit der Bedeutung für den Kunden (Raum 2) multipliziert und spaltenweise addiert. Das Ergebnis steht für die Bedeutung des Produktmerkmals.

### 5) Korrelation der Produktmerkmale

#### Sollwerte (Raum 8)

Sollwerte und bevorzugte Variationsrichtung eingeben

#### Korrelation (Raum 9)

Im Dach des HoQ werden Verbindungen zwischen den einzelnen Produktmerkmalen hergestellt und mit Symbolen markiert (siehe Leerformular).

**Stark negative Korrelationen zeigen Zielkonflikte auf.**

### 6) Sonstiges

#### technischer Wettbewerbsvergleich (Raum 10)

Hier werden für das eigene Produkt und das der Wettbewerber Punkte je nach Erfüllung der idealen technischen Merkmale zugewiesen.

Der Vergleich sollte durch die Entwickler vorgenommen werden, damit sie Einblick in die Problemlösungen der Konkurrenz bekommen. Der Vergleich hilft auch, für die wichtigsten Merkmale wettbewerbsfähige Daten zu fixieren.

### 6) Ziele eines QFD

- Wichtigkeit der Qualitätsmerkmale aufzeigen
- Zielkonflikte aufzeigen

Hier schon können technische Engpässe, Kosten und Mängel in der Zuverlässigkeit verhindert werden.  
 Es ist der Schritt, in dem die Sprache des Kunden in die des Technikers übersetzt wird.

In der 1. Phase des QFD sollen die Merkmale möglichst allgemein gehalten sein. Sie müssen am fertigen Produkt messbar sein, sollen aber noch keine konstruktiven Merkmale enthalten. Produktmerkmale können m.E. nur auf der Basis eines Konzeptes für das Produkt gefunden werden. Beispiele:

- Wenn die Halterung des Cupholders geklebt wird, sind Festigkeit gegen Abrutschen und Drehen gefragt, wenn es eingehängt wird, ist Drehfestigkeit und Haltekraft gefragt.

Verschiedene Konstruktionen können nur mit mehreren HoQ verglichen werden, wie sie auch mit Konkurrenzprodukten verglichen werden.  
 Hier durch die 6-3-5-Methode oder einfache GA  
 In jedem Fall: Regeln bekannt geben, Moderator für GA wählen lassen  
 Vorgehensweise: alle Anforderungen durchgehen und prüfen, welche technischen Merkmale darauf Einfluss nehmen. Merkmale notieren, strukturieren Sie und im Raum 6 eintragen.. Durch dieses Verfahren werden alle wesentlichen Produktmerkmale erfasst. Die Strukturierung hilft, keine zu vergessen.

Für die numerische Auswertung ist es zweckmäßig, die Intensität der Beziehung in Zahlen anzugeben, z.B. von 1 (schwacher ...) bis 9 (starker Zusammenhang).  
 Es sind auch andere Wertungssysteme oder auch Symbole üblich.

#### Erfahrungen

- Anforderungen oder Merkmale, die ähnlich sind, müssen sorgfältig getrennt werden. Wenn die Anforderung „einfach montierbar“ bewertet wird, darf die Anforderung „praktisch“ nicht mehr auf die einfache Montage bezogen werden, weil sonst dieses Merkmal überbewertet wird. Die Merkmale „Laschenweite“ und „Laschenbreite“ dürfen nicht mehr mit „Finger nicht verbrennen“ korreliert werden, wenn dieser Zusammenhang schon in „Ein-/Aussteckkraft der Lasche“ bewertet wurde und „Laschenweite usw.“ nur eine sekundäre Ursache ist.

Die Zahlen selbst sagen nichts aus, helfen aber, die wichtigsten Produktmerkmale herauszufinden. Diese werden im der 2. Phase des QFD in konstruktive Merkmale übertragen.

Die weniger wichtigen Produktmerkmale werden herkömmlich weiter behandelt, da sich für sie der große Aufwand des QFD nicht lohnt

Tragen Sie die Sollwerte für die Produktmerkmale ein, die Sie als Techniker für erforderlich halten. Über den Merkmalen mit Pfeilen die bevorzugte Variationsrichtung eintragen. Nach unten bedeutet je kleiner, je besser, nach oben je größer, je besser. Dieser Schritt gibt Infos für den Konstrukteur und ist spätestens für die spätere Korrelation der Produktmerkmale nötig.

#### **Leere Felder schreien nach F&E!**

Wenn Sie darunter eintragen, in welchem Maße Ihr Produkt und das der Wettbewerber die Vorgabe erfüllt, erhalten Sie zusätzliche Hinweise, wo Sie noch F&E betreiben müssen.

- Negative Korrelation bedeutet, dass sich zwei Produktmerkmale beißen, z.B. größere Fahrzeuge und weniger Kraftstoffverbrauch. Negative Korrelationen zeigen, wo jetzt schon Kompromisse gemacht oder völlig neue technische Lösungen gefunden werden müssen. Leider ist eine Konstruktion ohne negative Korrelationen kaum denkbar.
- Positiv korrelierte Merkmale unterstützen einander, z.B. größere Fahrzeuge und passive Sicherheit. Positive Korrelationen sind wichtig, weil sie Ressourcen schonen können. So muss man bei großen Geländewagen weniger Gehirnschmalz in den Insassenschutz investieren als bei Kleinwagen, beim Verbrauch ist es umgekehrt.

Hier wird noch einmal die Bedeutung der Variationsrichtung deutlich, denn wenn man sein Fahrzeug lieber kleiner bauen wollte, wäre die positive und negative Korrelation vertauscht!

### technische Schwierigkeiten (Raum 11)

Hier werden Punkte für vergangene Garantiefälle und voraussichtliche technische (oder andere) Schwierigkeiten vergeben: 1=problemlos, 5=sehr schwierig, fehlende Eintragung heißt aber nicht, dass es keine Probleme gibt.

Sind größere Probleme für ein Produktmerkmal zu erwarten, so sollte es verworfen oder in technisch anderer Weise realisiert werden, besonders wenn seine Bedeutung für die Erfüllung der Kundenanforderungen gering ist.

### Erweiterungen (Raum xy)

Das HoQ kann um beliebige Räume erweitert werden, z.B. Normen, gesetzliche Auflagen usw.

**FMEA**

= Fehler- Möglichkeits- und Einfluss- Analyse  
(am: failure mode and effects analysis)

- Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlstandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) (DIN 60812:2006); verwendet auch den Begriff „Fehler- Möglichkeits- und Einfluss- Analyse, [Voigt 2010]
- entwickelt von der NASA Mitte 60er für das Apollo-Projekt, in dt. Autoindustrie eingeführt Mitte 80er. Verbreitungsgrad: 75% (dt. Kfz-Zulieferer, ca. 1991)

**Ziel**

- Mögliche Fehler in Systemen bereits während der Planung aufdecken und vermeiden.
- Das im Unternehmen vorliegende **Erfahrungswissen** über Fehlerzusammenhänge und Qualitätseinflüsse systematisch sammeln und verfügbar machen

**Prinzip**

- 1) Für eine Produkt/System werden systematisch alle möglichen Fehler aufgelistet
- 2) Für jeden Fehler(ursache) werden die Fragen gestellt:
  - Welchen Schaden richtet der Fehler an ? (mögliche Fehlerfolgen)
  - Welche Ursachen kann der Fehler haben (mögliche Fehlerursache) und wie wahrscheinlich tritt der Fehler auf ?
  - Mit welcher Wahrscheinlichkeit landet der Fehler beim Kunden ohne entdeckt zu werden ?
- 3) Die 3 Bewertungszahlen werden zur Risikoprioritätszahl multipliziert.
- 4) Bei hohen RPZ (zB. >125) werden Maßnahmen getroffen, um das Risiko zu senken

3) Jede der 3 Antworten wird mit einer Zahl von 1 (problemlos) bis 10 (sehr kritisch) bewertet

Bewertungszahl für die Bedeutung

Bewertungszahl für die Auftretenswahrscheinlichkeit

Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit

**Arten**

- Konstruktions-, Prozess-, System- FMEA u. a.
- Gleiches Vorgehen, andere Ziele und Zeitpunkte

[Pfeifer 1993] Bild 3. 12 Arten der FMEA]

[Pfeifer 1993] Bild 3. 13 Produkthierarchie]

Die Trennung ist unscharf, sollte aber beibehalten werden, da sonst die Komplexität der FMEA steigt.

**Bewertung**

- + verringert Fehler in der frühen Phase bei konsequentem und gezieltem Einsatz wesentlich.
- + kann rechnergestützt vereinfacht werden [Pfeifer 1993] S. 73ff.
- + Es kommt nicht auf Vollständigkeit an, sondern die wesentlichen Fehler zu erfassen
- + wesentliches Hilfsmittel für geschlossene QRK:
  - sammelt frühere Erfahrungen und Lösungen
  - Handlungsanlässe zur Verbesserung der Planung
  - forscht nach Ursachen und koppelt rück

- kann stereotyp und bürokratisch werden
- personelle Widerstände müssen überwunden werden.
- hoher Aufwand (übergreifende Koordinierung, feine Strukturierung, Inhalt ständig fortschreiben)
- Erfolge erst mittel- bis langfristig
- Ersparnis nur schwer zu berechnen, da Qualitätskosten bisher kaum nachprüfbar sind.
- Zeitpunkt schwierig festzulegen: früh wg. der Zehnerregel, spät wg. des hohen Aufwandes bei Änderungen
- RPZ subjektiv: 5 (1 schwankt zwischen 64 bis 216, deshalb keine Grenze setzen, sondern Reihenfolge
- K- und P-FMEA kann nicht sauber getrennt werden, aber wegen des Umfanges erforderlich

MVK\_TA.odm

Seitenumbruch



## Projekt durchführen:

### Organisatorische Vorbereitung

- Für welche Phasen bzw. Prozesse
- Verantwortliche und Durchführende festlegen
- bei umfangreichen FMEAs: Meilensteinplan

### Inhaltliche Vorbereitung

- Aufgabe gliedern und damit eindeutig beschreiben
- Daraufhin Verteilung der Aufgaben im Team

### Durchführung der Analyse

- 1 Ermittlung potenzieller Fehler
  - 2 Ermittlung möglicher Ursachen und Auswirkungen
  - 3 Bewertung der möglichen Fehler
- Ziel: Schwachstellen aufdecken und zu priorisieren

### Auswerten der Analyseergebnisse

- Beseitigen der Schwachstellen
- Verantwortliche und Termin festlegen

### Terminverfolgung und Erfolgskontrolle

- Termineinhaltung überwachen
- Wirksamkeit prüfen = neue Risikoabschätzung

### Sonstiges

- FMEA ist bereichsübergreifende Teamarbeit, Wissensträger aus mehreren Abteilungen sind nötig

### Vertiefung

Erstellung einer K-FMEA an einem einfachen Beispiel, z.B. Kuli, Cola-Flasche, Schnellkochtopf (komplex)

[Pfeifer 1993] Bild 3. 14 Vorgehensweise zur Erstellung einer FMEA]

[Pfeifer 1993] Bild 3. 15 Checkliste zur FMEA-Durchführung

- Der Aufwand für FMEAs ist ziemlich hoch
  - Hilfsmittel: Checklisten (Innovation, neue Werkstoffe, Konstruktion, Verfahren, gesetzliche Vorschriften, Sicherheitsteil, komplexes Produkt usw. )
  - übergeordnete Baugruppe und Funktion darin
  - in Teilobjekte zerlegen, ein Hilfsmittel dazu ist ein
- FO Funktionsblockdiagramm (Beispiel siehe [Voigt 1997] S.158; [Voigt 2010] S169)

AB Formblatt FMEA

- anhand des Formblattes: 1. Kopf ausfüllen
- funktionsrelevante Merkmale beschreiben (ev. Skizze)
- mögliche Fehler, Ursachen und Folgen angeben
- derzeitiger Zustand, z. B. Prüfmaßnahmen
- Bewerten des Risikos und RPZ berechnen
- besser in Reihenfolge der RPZ als ab einem Grenzwert (RPZ sind subjektiv)
- Besser vermeidende statt entdeckender oder auswirkungsbegrenzender Maßnahmen
- Seiteneffekte, die neue Fehler erzeugen

[Pfeifer 1993] Bild 3. 17 Aufgabenverteilung bei FMEAs.

- Wissen von Lieferanten und Kunden einbeziehen?
- MA müssen für FMEA motiviert und ausgebildet sein (Wir haben schon immer Fehler vermieden)
- Funktionen des Kugelschreibers feststellen
- Aufgaben verteilen
- Analyse in Kleinstgruppen

## HACCP

= Hazard Analysis and Critical Control Points (Risiko-Analyse und kritische Kontrollpunkte)

Ein Verfahren der Lebensmittelindustrie, bei dem mögliche Fehler (z.B. Befall des in einer Bäckerei gelagerten Mehles durch Schädlinge) systematisch untersucht wird, um Gegenmaßnahmen zu treffen. Dieses Verfahren ist für jeden Lebensmittelbetrieb (z.B. Bäckerei) vorgeschrieben !



## Rechtliche Grundlagen

### Produkthaftungsgesetz

#### Wofür haftet

- Personenschäden
- Sachschäden (nur andere Sachen, die für privaten Gebrauch bestimmt sind)

#### Nachweispflicht

##### Geschädigter muss nachweisen

- Schaden
- ursächlichen Zusammenhang zum Produkt

#### Wer haftet

- Hersteller haftet **verschuldensunabhängig!**
- Hersteller ist,
  - wer Endprodukt, Teilprodukt oder Grundstoff dafür herstellt (§4(1))
  - wer sich als Hersteller ausgibt durch Anbringen seines Namens o.ä. (§4(1))
  - wer ein Produkt in die EU einführt und mit wirtschaftlichem Zweck vertreibt (§4(2))
  - Lässt sich der Hersteller i.S.d.G. nicht feststellen, haftet der Lieferant (§4)
- Befreiung von der Haftung nur, wenn
  - §1 (2) 1: Der Hersteller das Produkt nicht in Handel brachte (z.B. weil es ihm gestohlen wurde)
  - §1 (2) 2: Transport- oder Lagerschaden (z.B. nach Übergabe an ...)
  - §1 (2) 3: Wenn es ein Hobbybastler für sich oder als Geschenk herstellte
  - §1 (2) 4: Analog: Airbag, Impfstoffe .. (verursachen gelegentlich Schäden)
  - §1 (2) 5: Wenn der Fehler nach Stand der Technik nicht erkannt werden konnte (z.B. Blutkonserven vor der Entdeckung von Aids)
  - §1 (3): Wenn der Hersteller des Fahrrades den Fehler dem Hersteller der Schraube zuweisen kann

**ProdHaftG ist ein Gesetz für Endkunden, die vorher am kürzeren Hebel saßen, nicht für Geschäftskunden**

#### Dauer der Haftung

- 10 Jahre nach Inverkehrbringen des Produktes
- Ansprüche verjähren 3 Jahre nach Bekanntwerden des Schadens, des Fehlers und des Ersatzpflichtigen

### Gewährleistung nach BGB

<http://www.2sound.de/magazin/unterschied-zwischen-garantie-und-gewahrleistung.html>: „Der hauptsächlichste Unterschied zur Garantie besteht darin, dass die Gewährleistung in deutschen Ländern gesetzlich geregelt ist. Die Dauer ist auf 2 Jahre festgelegt. Sie geht auch nicht vom Hersteller aus, sondern besteht immer zwischen Verkäufer bzw. Händler - das kann natürlich auch der Hersteller selbst sein - und Endkunden. Wer zum Beispiel hauptberuflich ein Tonstudio betreibt und auch ein entsprechendes Gewerbe angemeldet hat, hat kein Recht auf Gewährleistung von Seiten eines Händlers, da es sich hier um ein sogenanntes B2B-Geschäft (B2B = Business to Business) handelt. Gewährleistung tritt also immer in Kraft wenn irgendeine Ware zwischen einer Privatperson (Endverbraucher) und einem Gewerbetreibenden den Besitzer wechselt - also auch wenn eine Band die als GbR angemeldet ist den gewerblichen genutzten Bandbus verkauft! Desweiteren kann der Händler auch nicht festlegen was die Gewährleistung alles beinhaltet, denn auch dies ist vom Gesetzgeber geregelt. Letztlich geht es darum, dass die Ware bei Auslieferung (man spricht hier im rechtlichen Fach-Chinesisch von *Gefahrenübergang*) in einwandfreiem Zustand ist. Im Gewährleistungsfall muss also bei Meinungsverschiedenheiten nachgewiesen werden, dass ein eventueller Defekt schon VOR dem Kauf bestanden hat - und hier fängt der Spaß erst richtig an... Die Sache mit der Beweislast In den ersten 6 Monaten hat der Händler die Beweislast. D.h., dass er im Zweifelsfall nachweisen muss, dass ein Defekt schon VOR dem Kauf bestanden hat. Dies ist sehr oft nahezu unmöglich oder zumindestens sehr teuer, da es ein aufwändiges Gutachten erfordert. Das Problem ist aber, dass sich diese Beweislast nach den ersten 6 Monaten umkehrt. D.h., dass hier der Käufer nachweisen muss, dass der Defekt beim Verkauf schon vorhanden war. Einer Privatperson dürfte dieser Nachweis aber noch weitaus schwerer fallen als dem Händler. Dadurch verringert sich die Gewährleistung defakto auf 6 Monate - hier kommt es natürlich immer auf den Wert an. Bei einem Auto dürfte sich ein Gutachten eher lohnen - bei einem defekten Billig-Stimmgerät aus der Grabbelkiste sieht das ganze aber nicht mehr so rosig aus.“

### Garantie

<http://www.2sound.de/magazin/unterschied-zwischen-garantie-und-gewahrleistung.html>: „Garantie ist - zumindest in Deutschland - eine freiwillige Leistung, die in aller Regel die Hersteller, in sehr(!) seltenen Fällen auch Händler oder Distributoren, eines Produktes erbringen. Aber Garantie ist nicht nur freiwillig, sondern der Hersteller kann auch die Bedingungen und vor allem die Dauer selbst festlegen und ist dabei an keinerlei Pflichten gebunden - der Gesetzgeber hat hiermit nichts zu tun. Wenn Ihr Euch also eine Gitarre kauft, kann der Hersteller zum Beispiel auf die Mechaniken 3 Jahre und auf den Rest 10 Jahre Garantie geben. Er kann auch bestimmen, dass die Garantie nur unter bestimmten Bedingungen gilt.“

#### AB Produkthaftungsgesetz

ProdHaftG (und das US-Pendant *punitive damages*) wurden eingeführt, nachdem Firmen Schäden an ihren Kunden in Kauf nahmen, für die sie nach damaligem Recht praktisch nicht haftbar gemacht werden konnten. Fälle in Deutschland

- Contergan (Fa. Grünenthal, bis zu 10000 schwer missgebildete Kinder)
- Xyladecor mit PCP und Lindan (Holzschutzmittel der Fa. Bayer, wurde in den 1970er für Innenräume verkauft und bewirkt heute noch Erkrankungen bzw. Spätfolgen)
- Lederschutzmittel, die zu einer Änderung des Haftungsrechtes führten.
- Brandgefährliche Limousinen von BMW, siehe Artikel *Brandsatz im Tiefflug*, Spiegel ??/94
- Lipobay (Lipidsenker der Fa. Bayer, 1998-2001, 52 Tote).
- Flaschen für CO<sub>2</sub>-haltige Getränke, die früher oft explodierten und Augen kosteten. Seit ProdHaftG werden die Flaschen sorgfältiger kontrolliert, bzw. Plastikflaschen verwendet.
- Japanische Autohersteller haben 1990 bei Crashtests, die ADAC und Auto, Motor, Sport durchgeführt wurden, sehr schlecht abgeschnitten. Sie haben zwar sehr darauf geachtet, ihre Kunden zufrieden zu stellen, aber scheinbar dort gespart, wo der Kunde nicht hinschaute.

[BadZtg] 22.10.2012 „Geheimsache Nebenwirkung“:

- Avandia von Glaxo Smith Kline, Jahresumsatz 3,3 Mrd. €, Medikament gegen Diabetes Typ 2; Zulassung erteilt 2000 in D, entzogen 2010. Spätestens seit 2001 wusste GSK von Nebenwirkungen: ca. 300 Todesfälle und 500 Herzanfälle pro Monat (in 2010).
- Vioxx von MSD Sharp&Dohme; in Deutschland von Merck, Zulassung entzogen 2004: Ca. 1,3 Mio Schlaganfälle oder Herzattacken
- Tamiflu von Roche, Wikipedia 29.10.2012: „*arznei-telegramm* 4/2007: „Angesichts des marginalen Nutzens bei gesunden ... und des fehlenden Nachweises einer Wirksamkeit .. raten wir von Oseltamivir bei Virusgrippe ab.“ Oseltamivir = Wirkstoff von Tamiflu

[BadZtg] 10.12.2015 „Die Nebenwirkung“

- Frau R. aus Waldshut erleidet 2009 eine Thrombose bis hin zum klinischen Tod (wird mit viel Glück reanimiert), ausgelöst durch eine Pille der 4ten Generation (Yasminelle, Wirkstoff Drospiron), die das doppelte Thromboserisiko ggü. der Vorgänger hat. Hersteller Bayer weist alle Vorwürfe zurück, R. kann 478 ähnliche Fälle in Europa dokumentieren, darunter Schwerstbehinderungen und 16 Tote. In USA hat Bayer 10000 Frauen außergerichtlich mit 1,9 Mrd. € abgefunden. 2015 bringt Drospiron 800 Mio. Jahresumsatz, inzwischen wird das Thromboserisiko auf dem Beipackzettel erwähnt.

Der nächste Fall?

- Die hemmungslose Vermarktung von Vitaminen, von denen nicht nur Nutzen, sondern auch die Unschädlichkeit sehr zweifelhaft sind [Bartens 2008] S.72ff

Sollte der Händler also nach 6 Monaten die Gewährleistung verweigern und einen Nachweis verlangen, dass der Defekt schon beim Kauf bestanden hat, ist er grundsätzlich erst einmal im Recht. Viele seriöse Händler übernehmen aber (z.B. aufgrund von Serviceverträgen mit den Herstellern) oft trotzdem die Kosten - allerdings geschieht das nur aus Kulanz. Gebrauchtware Von vielen Gewerbetreibenden wird es als sehr problematisch angesehen, dass man auch für Gebrauchtware Gewährleistung geben muss (siehe obiges Beispiel mit dem Bandbus). Daher ist es um so wichtiger, dass man bei Verkäufen eine ausführliche Beschreibung des Equipments macht. Wenn man eben als Gewerbetreibender (was bei Musikern oft der Fall ist) die Defekte beim Ebay-Verkauf gewissentlich unter den Tisch fallen lässt, kann man damit ziemlich Probleme bekommen. Ein einfaches "Gekauft wie gesehen" ist da nicht immer ausreichend. Ist aber zum Beispiel im Kaufvertrag (bzw. in der Auktionsbeschreibung) genau angegeben, dass bei der Fender Strat die Mechanik der G-Saite nicht funktioniert, ist man aus dem Schneider. Wichtig: Erst Gewährleistung, dann Garantie Ein ganz anderes Problem kann einem daraus entstehen, dass der Händler nur für das Produkt gewährleisten muss, das er verkauft hat. Wenn Ihr Euch also eine Gitarre mit der Seriennummer 4711 kauft, muss der Händler logischerweise auch nur für DIESE eine Gitarre Gewährleistung geben. Das ist insofern problematisch, als ja in der Regel beides existiert: Garantie UND Gewährleistung. Die Garantie-Abwicklung beim Hersteller ist zwar oft etwas einfacher als die Gewährleistung beim Händler, allerdings ist es bei sehr vielen Herstellern üblich, bei einem Garantiefall das Gerät einfach auszutauschen. Dann hat man jedoch plötzlich nicht mehr die Gitarre mit der Seriennummer 4711, sondern die Gitarre mit der Nummer 4812 und für DIE muss der Händler wie gesagt keine Gewährleistung geben. Deswegen: Bei Problemen IMMER zuerst an den Händler wenden, insbesondere wenn die ersten sechs Monate der Gewährleistung noch nicht um sind.

So kann er beispielsweise bei einem Keyboard die Garantie verweigern, wenn das Gehäuse bereits geöffnet wurde (weswegen es in der Regel entsprechende sichtbare und unsichtbare Gehäusesiegel gibt). Auch ein Druckerhersteller kann problemlos die Garantie verweigern, wenn Tintenpatronen von Drittanbietern verwendet wurden - auch wenn es sich unfair anhört. Hersteller können sogar Gebühren für *Versand* oder andere mit der Garantieabwicklung verbundene Leistungen verlangen oder Teile ganz von der Garantie ausschließen (geschieht in der Regel bei Verschleißteilen). Der Phantasie der Firmen sind hier eigentlich keine Grenzen gesetzt. Bevor man sich deshalb von Slogans wie "10 Jahre Garantie" blenden lässt, sollte man erstmal das Kleingedruckte lesen."

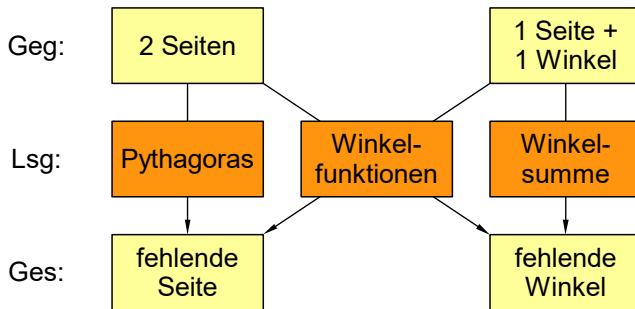
QM\_TA\_Recht.odt



## Mathematik

## Rechtwinklige Dreiecke

## Zusammenhänge



## Pythagoras

In rechtwinkligen Dreiecken kann man aus 2 Seiten die fehlende dritte Seite berechnen

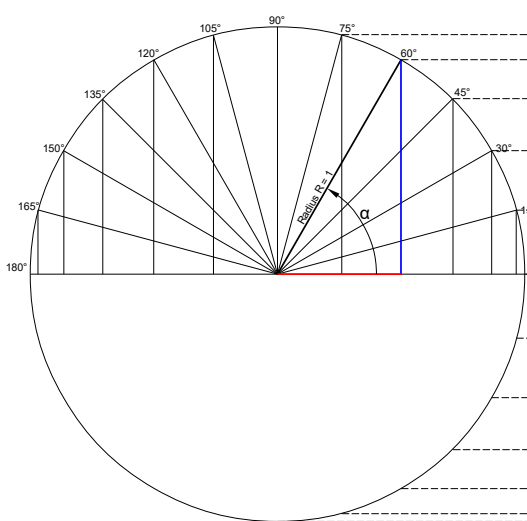
## Winkelfunktionen

aus 2 Seiten oder 1 Seite mit 1 Winkel kann man alle fehlenden Seiten und Winkel berechnen.

## Vertiefung

## Verlauf der Winkelfunktionen

14. Normkreis  $r = 1$  (real:  $r = 50 \text{ mm}$ ) zeichnen
15. Winkel in  $15^\circ$ -Schritten eintragen
16. Diagramm Winkelfunktionen daneben  
y-Achse: Maßstab 1:1 zum Radius 1  
x-Achse: Maßstab 1:1 zum Umfang  $2\pi$
17. Übertragen der Gegenkatheten ins Diagramm und verbinden der Punkte  $\rightarrow$  Sinus
18. Übertragen der Ankatheten ins Diagramm und verbinden der Punkte  $\rightarrow$  Cosinus
19. Berechnung der Werte mit Taschenrechner, normierten Werte vergleichen und eintragen

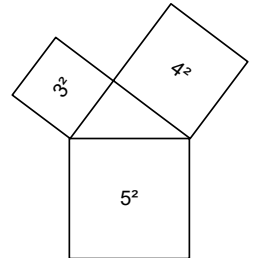


## Allgemeine Winkelfunktionen

## Kontrollmaßberechnungen

## 12-Knoten-Schnur (Knoten markieren gleichmäßige Abstände)

- 1) 12-Knoten-Schnur = Werkzeug für Gärtner, Maurer und Pyramidenbauer. Wie?  
Mit 3, 4 und 5 Knoten erhält man ein rechtwinkliges Dreieck gemäß  $3^2 + 4^2 = 5^2$  nach dem Satz von Pythagoras (570 - 510 v.u.Z.). Schon Ägypter (Cheops ca. 2600 v.u.Z.) und Babylonier (Altbabylon ca. 1900 - 1500 v.u.Z.) hatten umfangreiche Listen von Zahlentripeln, die den Satz erfüllten - [SdW]01/2009, S.64. Von Pythagoras ist wenig sicher bekannt, möglicherweise hat er in Babylon und Ägypten studiert und "seinen" Satz "nur" bewiesen.
- 2) Pythagoras  
- im rechtwinkligen Dreieck gilt:  
 $a^2 + b^2 = c^2$   $| -b^2$   
 $a^2 = c^2 - b^2$   
 $a = \sqrt{c^2 - b^2}$   
-  $\sqrt{\dots} \Leftrightarrow x^2$  sind Umkehrfunktionen
- 3) Beispiel: Gartentor a
- 4) Ütlg: Gehungswinkel Gartentor b  
Winkelfunktionen; Lsg. diskutieren
- 5) AB rechtwinklige Dreiecke  
Erkenntnis: Winkelfunktionen sind Seitenverhältnisse
- 6) TA rechtwinklige Dreiecke  
Pythagoras und Winkelfunktionen eintragen.
- 7) Was fehlt noch?  
TA Winkelsumme  $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$
- 8) Im Einzelnen: AB Regeln in rechtwinkligen Dreiecken
- 9) FO: Ablaufplan  
Hauptproblem: Dreiecke finden



## 10) Winkelfunktionen Ub: geeignete Dreiecke finden und markieren, aber nicht berechnen

## 1) Lage: Taschenrechner in der Prüfung vergessen. Wie kann man Winkelfunktionen ermitteln?

- [EuroTabM] enthalten in neueren Ausgaben keine Tabellen mehr.
- Grafische Näherungslösung

## AB Verlauf der Winkelfunktionen

Abschätzung des Platzbedarfes ohne AB:

- Umfang eines Viertelkreises:

$$U(90^\circ) = \frac{2\pi \cdot r \cdot 90^\circ}{360^\circ} = \frac{2\pi \cdot 50 \text{ mm} \cdot 90^\circ}{360^\circ} = 78 \text{ mm}$$

- Länge eines  $15^\circ$ -Schrittes:

$$U(15^\circ) = \frac{2\pi \cdot r \cdot 15^\circ}{360^\circ} = \frac{2\pi \cdot 50 \text{ mm} \cdot 15^\circ}{360^\circ} = \frac{\pi}{12} = 13 \text{ mm} \approx 12,5 \text{ mm}$$

- Normkreis  $R = 1$  bewirkt, dass die Länge der Katheten genau den Werten für Sinus bzw. Cosinus entsprechen.

## Winkelfunktionen\_Ub

## Kontrollmaßberechnungen\_Ub





## Kräfte und Drehmoment

Zusammenhang zw.

## Kraft und Beschleunigung

Die 3 Prinzipien Trägheit, Aktion und Reaktion entsprechen den 3 Newtonschen Axiomen [Tipler 1995]. Das 1. Axiom wurde schon von Galilei gefunden [Böge, Techn. Mechanik].

## Newton 1: Trägheitsprinzip

(1. Newton'sches Axiom) Das Trägheitsgesetz meint den Zustand ohne zusätzliche Kräfte, bei dem ein Körper träge in seinem Bewegungszustand verharrt [1].  
Sir Isaac Newton (\*1642 - †1726) war einer der bedeutendsten Wissenschaftler.  
Der Zusammenhang wurde schon 1638 von Galilei formuliert → [Gross 2015] S.36

Ohne Kraft keine Bewegungsänderung (= Trägheit)

↔ Bewegungsänderung benötigt Kraft

Bewegungsänderung = Beschleunigung

- = Beschleunigen (umgangssprachlich)
- = Bremsen (= negative Beschleunigung)
- = Kurvenfahren (= Fliehkraft, Querbeschl.)

## Newton 2: Aktionsprinzip

(oder dynamisches Grundgesetz)

(2. Newton'sches Axiom): Je größer die Masse und je größer die Beschleunigung ist, desto größer ist die (result.) Kraft und umgekehrt:

Kraft = Masse · Beschleunigung

$$F = m \cdot a$$

$$[N] = [kg \frac{m}{s^2}]$$

## Gewichtskraft

Die Erde beschleunigt alle Körper gleich

$$F_G = m \cdot g \quad \text{Gewichtskraft}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2} \approx 10 \frac{m}{s^2} \quad \text{Erdbeschleunigung, Ortsvektor}$$

das bedeutet:

$$10 N \approx 1 kg \cdot 10 \frac{m}{s^2}$$

$$\text{bzw.} \quad 10 N \approx 1 kg$$

## Newton 3: Reaktionsprinzip

(= Wechselwirkungsgesetz, actio = reactio)

(3. Newton'sches Axiom)

Kräfte treten immer paarweise auf (Kraft + Gegenkraft)

[Gross 2015]: Zu jeder Kraft gibt es stets eine entgegengesetzt gerichtete gleich große Gegenkraft.

Überlegungen zum Freimachen – hier nicht unterrichten

Da sich Kräftepaare immer aufheben, d.h. in der Summe 0 ergeben, bringt es nichts, mit Kräftepaaren zu rechnen. Vielmehr ist es Sinn des Freimachens, Kräftepaare aufzubrechen und nur mit einer der beiden Kräfte zu rechnen. Die Frage ist, mit welcher der beiden Kräfte man rechnen soll.

## Prinzip von d'Alembert

Jean-Baptiste le Rond d'Alembert (\*1717 - †1783 in Paris) war ein bedeutender Physiker und Mathematiker und ein Herausgeber der Encyclopédie.

Wenn ein System statisch nicht im Gleichgewicht ist, wird es von der Resultierenden beschleunigt und

 $F = m \cdot a$  wird dynamische Gegenkraft.

Damit können Aufgaben der Dynamik mit Verfahren der Statik gelöst werden.

## Vertiefung

Aktionsprinzip „Kraft = Masse mal Beschleunigung“ →

$$[N] = [kg \frac{m}{s^2}] \rightarrow 1 \frac{m}{s^2} = 1 \frac{N}{kg}$$

→ 1 N beschleunigt 1 kg mit 1 m/s<sup>2</sup>

→ 9,81 N beschleunigt 1 kg mit Erdbeschleunigung

FTM, MVK: ca. 90' Zeitbedarf (ca. 45' ohne Übungen); TG: entfällt

Sir Isaac Newton (\*1642 - †1726) war einer der ganz großen Wissenschaftler. Kurz vor seinem Tod hat er nachweislich 4 Personen die Anekdote vom fallenden Apfel erzählt, der ihn auf die Schwerkraft gebracht haben soll. Dadurch weiß man zwar nicht, ob die Geschichte stimmt, aber, dass Newton wollte, dass die Geschichte bekannt wird. Ob Newton damit ua. auf die biblische Frucht der Erkenntnis anspielen wollte? Oder das Gegenteil?

## AM Kreidekästchen auf einer hochgelegenen Fläche

1) Was wird benötigt, das Kreidekästchen zu bewegen? → Kraft

Bei Antworten wie Finger o.ä.: Es geht auch ohne Finger.

Demo: Kreidekästchen mit Finger (= Kraft) anschubsen

2) Wie lange bleibt die Bewegung erhalten? → ohne Reibung ewig

Viele Schüler meinen aus der Erfahrung mit der allgegenwärtigen Reibung, dass Bewegung nur aufrechterhalten wird, solange eine Kraft wirkt. Zur Demo:

Demo: Pendel (Taschenmesser) pendelt nach einem Schubs sehr lange

3) Wodurch wird die Bewegung verlangsamt? → durch Reibung

4) Wie lange dauert eine Bewegung ohne Reibung oder Antrieb?

5) Vertiefung: Wie kann man beschreiben, was Beschleunigung ist? Bei welchen 3 Gelegenheiten übt ein Kfz Kraft auf die Mitfahrer aus? → Beschleunigen, Bremsen, Kurvenfahrt

1) Ist die Beschleunigung eines Porsche und eines 38t bei gleicher Kraft (Drehmoment) gleich groß? → hängt noch von der Masse ab

2) Einheit m/s<sup>2</sup>: Ein Kfz beschleunige von 0 auf 100 km/h in 5s:

$$\text{Folgerung: Ein Porsche beschleunigt am schnellsten, wenn man ihn fallen lässt. Das erste s kommt} \quad a = \frac{100 \text{ km/h}}{5 \text{ s}} = \frac{100000 \text{ m}}{3600 \text{ s} \cdot 5 \text{ s}} = 5,6 \frac{m}{s^2}$$

aus der Geschwindigkeit (= Änderung des Weges pro Zeit), das 2. s aus der Änderung der Geschwindigkeit (pro Zeit).

P = Impuls. Die Formulierung Newtons war weitsichtig. Er hat nicht nur die Beschleunigung mit dv/dt umfassender formuliert, sondern auch andere Möglichkeiten, z.B. Kräfte durch Umlenkung von Fluidströmen:  $F = \dot{m} \cdot v$ . Gemäß Relativitätstheorie erhöht F nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Masse; messbar wird es erst bei sehr großen Geschwindigkeiten.  $\vec{F} = \frac{dP}{dt} = \frac{d(m \cdot v)}{dt}$ 1) Kreidekästchen in der Luft halten, Loslassen andeuten: welche Kraft wirkt auf das Kreidekästchen, wenn man es loslässt? → Gewichtskraft  
Versuch unterschiedlich schwere Gegenstände (z.B. Kreide/Papier) in die Luft halten

2) Wenn die Erde auf beide Körper dieselbe Gewichtskraft ausübt, welcher Körper müsste schneller fallen? → der Leichte, weil seine kleine Masse durch dieselbe Kraft mehr beschleunigt wird (s.o.)

3) Welcher fällt schneller und warum? → ohne Luftwiderstand keiner

Vers.: Fallen von ähnlich großen Körpern verschiedenen Gewichts, z.B. Messer und Kreide  
AM Röhre mit Vakuum4) Vgl.  $F = ma$ : wenn verschiedene Massen gleich beschleunigt werden, übt dann die Erde eine konstante Kraft auf uns? → nein, aber Erdbeschleunigung ist konstant.

Nicht nur der Vollständigkeit halber, sondern zur Vorbereitung des Problems, in welche Richtung Kräfte wirken.

1) Kreidekästchen in der Luft fällt wegen der Erdbeschleunigung. Warum fällt das Kreidekästchen auf dem Tisch nicht? Warum wird ein Auto bei konstant 100 km/h nicht schneller, obwohl der Motor ständig Kraft aufbringt? → Gegenkraft

→ Nach der üblichen Richtungsdefinition betrachten wir die Kräfte, die vom Rest der Welt auf den freigemachten Körper wirken.

Man könnte auch mit den Kräften rechnen, die vom freigemachten Körper auf den Rest der Welt wirken. Dieses System würde nur die Vorzeichen umdrehen, und somit auch die Richtung der Schwerkraft: Newtons Apfel würde als freigemachter Körper an der Erde ziehen. Physikalisch ist das sogar richtig, aber für uns fehlerträchtig ungewohnt.

Die Resultierende Kraft ist diejenige, die das System beschleunigt, die dynamische Kraft ist die Trägheitskraft des Systems.

Damit ist die Aufnahmekapazität der Schüler meist erreicht. Gewichtskraftberechnungen dienen hier der Abwechslung und, da sie relativ einfach sind, kann man gleichzeitig auf andere Themen übergreifen.

## Vertiefung

MVK: [EuroRBM]

FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 495, 514

Sind gleichzeitig eine passende Überleitung vom Fach Dynamik

Statik\_TA\_Kraft-Beschleunigung.odt



## Verkürzte Einführung in die Statik (Kräfte zusammensetzen)

MVK: ca. 90' Zeitbedarf

FTM, TG: entfällt

Graphostatik wurde um 1860 von Karl Culmann an der ETH Zürich entwickelt (Buch 1866).  
(Ferguson 1992] S.147). Culmann war Pfälzer, hat die Graphostatik entwickelt oder aus den USA mitgebracht und weiterentwickelt.

Wdhg: Trägheitsprinzip : ohne  $F$  kein  $a$

Aktionsprinzip :  $F = m \cdot a$

Reaktionsprinzip

### Darstellung mehrerer Kräfte

- Wie wirken Kräfte, die nicht genau mit- oder gegeneinander wirken ?  
Versuch: 2 Schüler ziehen einen 3. Schüler mit je „20 kg“ in verschiedenen Richtungen (180° gegeneinander, 0° miteinander, 90°).
- Welche Kräfte muss der 3. Schüler aufbringen ?
- Wdh.: Kräfte hängen von Größe und Richtung ab. Wie könnte man Kräfte zeichnen ? → als Pfeile
- Wie kann man Größe und Richtung einer Kraft aus einem Pfeil ablesen ?  
→ aus Länge und Richtung

### Möglichkeiten zur Einführung

- Wdh.: Kreidekästchen auf dem Tisch fällt trotz Erdbeschleunigung nicht. Auto bei konstant 100km/h beschleunigt trotz Antriebskraft nicht. → Kräfte treten immer paarweise auf, Kraft und Gegenkraft heben sich auf
- Zwei Kräfte können sich aufheben, wenn sie entgegengesetzt wirken. Wie wirken Kräfte in derselben Richtung, z.B. hintereinander fahrende Lokomotiven → Kräfte addieren sich

7) Erarbeiten anhand AB oder [EuroRBM] "Kräfte"

AB Kräfte ermitteln

- Gleichgerichtete Kräfte zeichnerisch und rechnerisch addieren
- Gegengerichtete Kräfte zeichnerisch und rechnerisch addieren
- Nicht parallele Kräfte zeichnerisch addieren (rechnerisch später!)
- Kräfte zeichnerisch und rechnerisch zerlegen
- Aufgabe 3 rechnerisch zerlegen und addieren

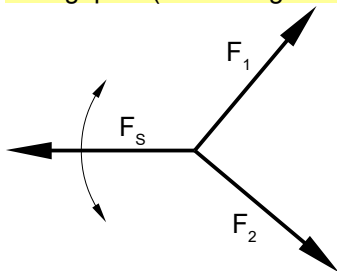
### Allgemeines

Mehrere Kräfte  $F_1, F_2 \dots$  lassen sich zu einer „resultierenden“ Kraft  $F_R$  zusammensetzen.  
 $F_R$  hängt von Größe und Richtung der Kräfte ab.

Kräfte können nicht einfach addiert werden, weil auch ihre Richtung eine Rolle spielt.

### Vorgehensweise beim Zusammensetzen

#### 1. Lageplan (Freileitungsmast)



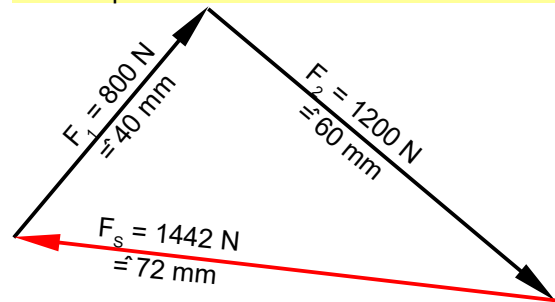
LP = Welche Kräfte wirken überhaupt ?  
Dort eintragen, wo sie wirken.  
In der wirklichen Richtung

### Zeichnerische Darstellung von Kräften

Kräfte werden als Pfeile gezeichnet  
– Richtung auf dem Blatt = wirkliche Richtung  
– Größe der Kraft [N]  $\approx$  Länge [mm]  
z.B. 200 N Kraft  $\approx$  10mm Länge

### Freileitungsmast [EuroRBM] "Kräfte"

#### 2. Kräfteplan $M_K$ : 1200 N $\approx$ 60 mm



KP = Kräfte berechnen  
Hintereinander als Pfeilkette zeichnen.

### Vertiefung

AB Übungen zum zentralen Kräftesystem

[EuroRBM] „Kräfte“ Aufgabe 1 bis 4: Zusammensetzen

[EuroRBM] „Kräfte“ Aufgabe 5 bis 6: Zerlegen

[EuroRBM] Aufgaben 7 ff

Keilspanner → Keilwirkung, Wahl des Bauteiles vereinfacht die Aufgabe

Schwenkkrane → LP auf einen Punkt konzentrieren (Fehlt im RB, ergänzen)

[Böge Aufg.] "zentrales Kräftesystem"

Statik\_TA\_Einfuehrung-kurz.odt

Seitenumbruch



## Kräfte am Punkt zeichnerisch ermitteln

Statik I → Zentrales Kräftesystem → alle Kräfte wirken durch einen Punkt → keine Hebelarme  
→ Es treten keine Momente auf → Gleichgewichtsbedingung  $\sum M = 0$  entfällt → nur 2 unbekannte Größen sind lösbar.  
[Skolaut 2014] S.24: „Ebenes Kräftegleichgewicht am Punkt“

Zielgruppe: alle

Angewendet werden die statischen Grundoperationen Parallelogramm, Erweiterungssatz, Verschiebesatz. Die ausgeführten Beispiele stammen aus der ersten Quelle:

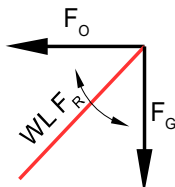
[ulrich-rapp.de/stoff/statik/Statik\\_Ub\\_zentral.pdf](https://ulrich-rapp.de/stoff/statik/Statik_Ub_zentral.pdf)

[Müller-Breslau I] S.1: „Die graphische Statik lehrt die Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte auf geometrischem Wege und entwickelt in gleicher Art die Bedingungen, unter denen sich die auf einen Körper wirkenden Kräfte im Gleichgewicht befinden.“

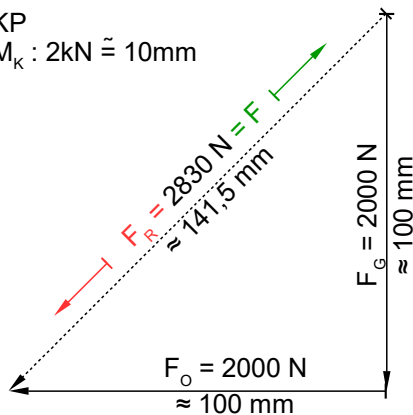
## Zusammensetzen von Kräften

TG: Aufg. 1a, Oberleitungsrolle; MVK: [EuroRBM]; FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 29 (Richtung definieren)  
LS Seilrolle

LP Seilrolle  
 $M_L$ : noch nicht nötig



KP  
 $M_K$ :  $2\text{ kN} \approx 10\text{ mm}$



## Arbeitsplan

### 0. Lageplanskizze

= Lageplan ohne formelle Regeln  
→ hält den Kopf frei für das Problem

### 1. Lageplan

Geeignete Baugruppe auswählen, nennen und alle auf die Baugruppe wirkenden Kräfte einzeichnen  
– Wirklinien winkeltreu  
– Richtungen: wie wirkt RdW auf BG  
– Angriffspunkte lagetreu (Lagemaßstab): (nur wenn zeichn. Lösungen für das allg. Kräftesystem im Lehrplan stehen)

### 2. Kräfteplan

Kräfte eintragen  
– maßstabsgerecht (Kräftemaßstab)  
– hintereinander als Pfeilkette  
– winkeltreu (Parallelverschiebung)

### 3. Resultierende $F_R$ / Gegenkraft $F$

$F_R$  (Ersatzkraft) ist die 'Abkürzung im KP' und ersetzt die gegebenen Kräfte  $F$  schließt das Krafteck und hält die gegebenen Kräfte im Gleichgewicht.

Ausmessen, umrechnen mit  $M_K$ .

## Plausibilitätsbetrachtung

Arbeitsplan kann auch Algorithmus, Kochrezept, Arbeitsanweisung, Vorgehensweise oder neudeutsch Workflow heißen.

## Ergebnis abschätzen Welche Kräfte wirken überhaupt ?

Die LP-Skizze ist ein Entwurf des LP und an keine Form gebunden. Sie ist keine Pflicht, aber empfehlenswert, denn beim Skizzieren kann man die Aufgabe erfassen ohne sich mit Formalien zu belasten. Ich gebe für eine verständliche Skizze ca. 1/4 .. 1/3 der Punktzahl. [Gross 2015] S.2 verwendet den Begriff Freikörperbild statt Lage-skizze.

## Kräfte eintragen, wo sie wirken.

Der Lageplan ist die zeichnerisch-formale Fassung von "Gegeben und Gesucht".  
Im allgemeinen Kräftesystem fließen über den Lagemaßstab der Abstand der Kräfte und damit die Momente ein. Beim zentralen System erübrigt sich das Eintragen der Angriffspunkte, da sie alle an einem Punkt angreifen.  
Unbekannte WL können wie gezeigt oder für rechn. Lösungen mit x- und y-Komponenten dargestellt werden.  
Richtung: Wie wirkt der Rest der Welt auf die Baugruppe.

## Kräfte → geschlossener Linienzug.

Der Kräfteplan ist das Lösungsverfahren und sollte streng vom LP unterschieden werden. Deshalb akzeptiere ich auch keine Parallelogramme, die bei 2 Kräften noch möglich wären. Die Richtungen sollen per Parallelverschiebung übertragen werden, weil es dabei deutlich weniger Fehler gibt.  
Die gegebenen Kräfte werden richtungsgemäß und maßstabsgerecht so aneinander gereiht, dass sich ein fortlaufender Kräftezug ergibt. Anfangspunkt und Reihenfolge der Kräfte sind beliebig.

Ob die Resultierende oder die Gegenkraft gefragt ist, hängt von der Aufgabe ab. Beide sind gleich groß, aber entgegengerichtet.

Die Resultierende ist die Kraft, die die gegebenen Kräfte ersetzen kann. Beispiel: Wenn auf ein Fahrzeug Antriebskräfte, Luftwiderstand und Rollreibung wirken, kann man diese zusammenfassen und mit der Resultierenden die Beschleunigung zu ermitteln.

Plausibilität: Kann das stimmen?

Vorher Ergebnis abschätzen und nachher Plausibilitätsbetrachtung gehören zu jeder Aufgabe.

## Vertiefung

TG: UB Statik zentral; MVK: [EuroRBM].

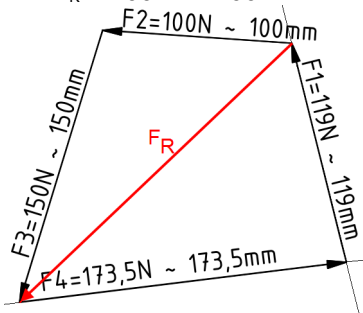
FTM: [Böge Aufg.] Aufg. 30ff (30 definiert Winkelangabe)

## Zerlegen von Kräften

TG: Aufg. 4a: Eimerziehen2; MVK: [EuroRBM]; FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 40f (L), 44f

LP siehe Aufgabe

KP  $M_K = 100\text{ N} \approx 100\text{ mm}$



## Arbeitsplan

0-3 wie oben (bek. Kräfte addieren)

### 4. $F_R$ auf 2 Wirklinien verteilen

– WL einer Kraft parallel verschieben durch den Anfang von  $F_R$  und  
– WL der anderen Kraft parallel verschieben durch den Endpunkt von  $F_R$ .  
– Die unbekannten Kräfte werden durch den Schnittpunkt begrenzt.  
– Richtung der Kräfte einheitlich (mit / gegen Uhrzeigersinn)

Ültg: Aufgabe 3 ist grundsätzlich neu, da nicht eine Kraft gesucht wird, sondern zwei.

Zu diesem Verfahren müssen die Kraftrichtungen bekannt sein. Hinweise auf die Kraftrichtungen hat man bei Seilen, Ketten, Zweigelenkstäben, einwertigen Lagern usw.  
Wenn die Kraftrichtungen nicht bekannt sind, müssen die Drehmomente eingerechnet werden, dies geschieht zeichnerisch im Schlusslinienverfahren.  
Drei und mehr unbekannte Kräfte sind ohne Randbedingungen nicht lösbar.

$F_R$  muss im Kräfteplan nicht eingetragen werden.

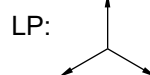
## Vertiefung

TG: UB Statik zentral; MVK: [EuroRBM].

FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 49ff.

Fachwerke ([Böge Aufg.] Aufg. 69ff) können vorläufig gelöst werden, indem man sich von Knoten zu Knoten hangelt. Sobald das allgemeine Kräftesystem behandelt ist, kann das Ritter'sche Schnittverfahren verwendet werden.

Der geschlossene Linienzug aller Kräfte ist der graphische Ausdruck der Gleichgewichtsbedingungen der Statik.



(Stern ↔ Dreieck ; -)

## Lösungsgedanke bei grafischen Lösungen

Alle Kräfte, die sich im Lageplan in einem Punkt treffen, ergeben im Kräfteplan einen geschlossenen Linienzug.



## Kräfte am Punkt berechnen

[Skolaut 2014] S.24: „Ebenes Kräftegleichgewicht am Punkt“

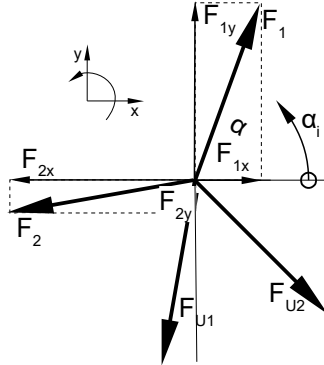
### Zusammensetzen – systematische Lsg.

(ohne KP)

TG; FTM: UB Statik zentral 4a: Mobile Antenne; MVK: [EuroRBM]

Geg:  $F_1$ ;  $F_2$ ; Ges.:  $F_R$ ;  $F_3$ ;  $F_4$

Lageskizze mobile Antenne



$$\begin{aligned} F_{1x} &= F_1 \cdot \cos \alpha_1 = 250 \text{ N} \cdot \cos 70^\circ = 85,51 \text{ N} \\ F_{1y} &= F_1 \cdot \sin \alpha_1 = 250 \text{ N} \cdot \sin 70^\circ = 234,92 \text{ N} \\ F_{2x} &= F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 200 \text{ N} \cdot \cos 190^\circ = -196,96 \text{ N} \\ F_{2y} &= F_2 \cdot \sin \alpha_2 = 200 \text{ N} \cdot \sin 190^\circ = -34,73 \text{ N} \\ F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} = 85,51 \text{ N} + (-196,96 \text{ N}) \\ &= -111,45 \text{ N} \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} = 234,92 \text{ N} + (-34,73 \text{ N}) \\ &= 200,19 \text{ N} \\ F_R &= \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = 229,1 \text{ N} \\ &= \sqrt{(-111,45 \text{ N})^2 + (200,19 \text{ N})^2} \\ \alpha'_R &= \arctan \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \arctan \frac{200,19 \text{ N}}{-111,45 \text{ N}} = -60,9^\circ \\ &\text{nach links oben} \\ \alpha_R &= \alpha'_R + 180^\circ = -60,9^\circ + 180^\circ = 119,1^\circ \\ &\text{zur } +x\text{-Achse} \end{aligned}$$

### Zerlegen - individuelle Lösung

= Durchwursten anhand des Kräfteplans

### Rechtwinklige Dreiecke

Zerlegen in rechtwinklig zueinander stehende Komponenten.

### Beliebige Dreiecke

Kräfteplanskizze mit der bekannten Kraft  $F_R$  und den Wirklinien der unbekannten Kräfte  $F_{U1}$  und  $F_{U2}$

Beispiel:

[Böge Aufg.] Aufg. 51

$$\begin{aligned} F_{U1} &= F_R \cdot \frac{\sin \beta_{U1}}{\sin \beta_R} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{\sin 15,9^\circ}{\sin 125^\circ} = 76,6 \text{ N} \\ F_{U2} &= F_R \cdot \frac{\sin \beta_{U2}}{\sin \beta_R} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{\sin 39,1^\circ}{\sin 125^\circ} = 176,4 \text{ N} \end{aligned}$$

### Vertiefung

FTM, MVK: kein Zerlegen. TG: volles Programm

### Arbeitsplan:

1. Lageplanskizze
2. Koordinatensystem festlegen
3. Tabelle der Kräfte erstellen

Alle Winkel  $\alpha$  von der x-Achse (ccw)!

|                       | $ F $ [N] | $\alpha$ [°] | $F_x$ [N] | $F_y$ [N] |
|-----------------------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| $F_1$                 | 250,0     | 70,0         | 85,5      | 234,9     |
| $F_2$                 | 200,0     | 190,0        | -197,0    | -34,7     |
| $F_R$                 | 229,1     | 119,1        | -111,5    | 200,2     |
| $F_{U1}$              | 76,6      | 260,0        | -13,3     | -75,4     |
| $F_{U2}$              | 176,5     | -45,0        | 124,8     | -124,8    |
| Kontrolle: $\Sigma =$ |           |              | 0,0       | 0,0       |

### 4. Kräfte in Komponenten zerlegen

Komponenten = Kraftanteile in Koordinatenrichtungen

$$F_{nx} = F_n \cos \alpha_n; \quad F_{ny} = F_n \sin \alpha_n$$

### 5. Komponenten addieren

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots; \quad F_{Ry} = \Sigma F_{ny}$$

### 6. Betrag $|F_R|$ der Resultierenden

$$|F_R| = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}$$

### 7. Richtung $\alpha_R$ der Resultierenden

arctan liefert zwei-deutige Werte  $\rightarrow$  Winkel muss präzisiert werden:

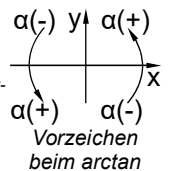
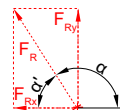
– Vorzeichen der Komponenten  $\rightarrow$  Skizze !!  
oder

–  $\alpha$  ab +x-Achse angeben

Für  $F_{Rx} \geq 0$  gilt:  $\alpha_R = \alpha'_R$

Für  $F_{Rx} < 0$  gilt:  $\alpha_R = \alpha'_R + 180^\circ$

$$\alpha'_R = \arctan \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}$$



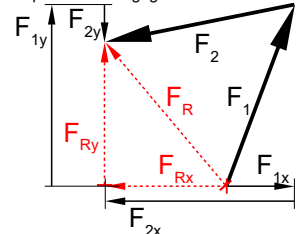
Dieser programmierfähige Algorithmus spart fehlerträchtige Überlegungen und übt alle nötigen Techniken ein:

### 8) Freimachen

Freimachen ist bei allen Statikaufgaben unverzichtbar. Zur Dokumentation genügt eine Skizze. [Gross 2015] S.2 verwendet den Begriff Freikörperbild statt Lageskizze.

### 9) Komponenten

Skizze: Die Komponenten von  $F_R$  setzen sich aus den Komponenten der gegebenen Kräfte zusammen.



### 10) Winkelangaben

Alle Winkel  $\alpha$  ccw (= counter clock wise = gegen den Uhrzeigersinn) von derselben (x-)Achse  $\rightarrow$  Vorzeichen der Komponenten ergeben sich automatisch  $\rightarrow$  weniger Fehler.

Für die Zerlegung in Komponenten muss man genau einmal überlegen, ob man sin oder cos einsetzen muss, danach läuft alles automatisch. Alle x-Komponenten erhalten das eine, alle y-Komponenten das andere. Die Vorzeichen der Komponenten ergeben sich wegen des einheitlichen Bezuges der Winkel auf die x-Achse automatisch.

Komponenten addieren ergibt die Komponenten der Resultierenden  $F_R$ .  $F_R$  meint den Betrag der n-ten Kraft  $\alpha$  ist der Winkel von der x-Achse gegen den Uhrzeiger bis zur Kraft. Vorzeichen von  $F_{nxy}$  ergeben sich automatisch.

Betrag mit Pythagoras aus den Komponenten berechnen.

Die genaue Richtung  $\alpha_R$  bekommt man mit den Komponenten  $F_{Rx}$  und  $F_{Ry}$  heraus, da rentiert sich kein Algorithmus. Statt Regeln auswendig zu lernen, sollte man das Problem erkennen und nach Plausibilität lösen.

–  $\alpha$  ab +x-Achse angeben

Wenn  $F_{Rx} \geq 0 \rightarrow \alpha_R$  zählt ab der +x-Achse

Wenn  $F_{Rx} < 0 \rightarrow \alpha_R$  zählt ab der -x-Achse

Für einfache Aufgaben braucht man keinen komplizierten Algorithmus. Oft genügt es, den Kräfteplan zu skizzieren und dann die gesuchten Kräfte mit ein paar Winkelfunktionen zu berechnen. Für individuelle Lösungen muss der Arbeitsplan zwangsläufig sehr allgemein gehalten sein

Das Zerlegen in rechtwinklig zueinander stehende Kräfte ist häufig notwendig und muss von jedem Schüler beherrscht werden.

### Skizze mit Werten der Beispielaufgabe

Winkel für das Beispiel:

$$\beta_{U1} = 180^\circ - \alpha_R + \alpha_{U2} = 180^\circ - 119,1^\circ - 45^\circ = 15,9^\circ$$

$$\beta_{U2} = \alpha_R - (\alpha_{U2} - 180^\circ) = 119,1^\circ - (260^\circ - 180^\circ) = 39,1^\circ$$

$$\beta_R = (\alpha_{U1} - 180^\circ) - \alpha_{U2} = (260^\circ - 180^\circ) - (-45^\circ) = 125^\circ$$

$$\text{Kontrolle: } 15,9^\circ + 39,1^\circ + 125^\circ = 180^\circ$$

Auch die Berechnung der Innenwinkel kann man automatisieren, aber der Aufwand lohnt sich nicht ggü. einer individuellen Lösung. Im Fall der Fälle müssen die Kräfteplanskizze und ein paar Überlegungen genügen.

TG: UB Statik zentral, MVK: [EuroRBM]

FTM: [Böge Aufg.] Aufg. 51ff



## Systematische Lösung – Zerlegen

$$\Sigma F_x = 0 = F_{Rx} + F_{U1x} + F_{U2x} = F_{Rx} + F_{U1} \cdot \cos \alpha_{U1} + F_{U2} \cdot \cos \alpha_{U2}$$

$$\rightarrow F_{U2} = \frac{F_{Rx} + F_{U1} \cdot \cos \alpha_{U1}}{-\cos \alpha_{U2}}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{Ry} + F_{U1y} + F_{U2y} = \dots \rightarrow F_{U2} = \frac{F_{Ry} + F_{U1} \cdot \sin \alpha_{U1}}{-\sin \alpha_{U2}}$$

$$F_{U2} = \frac{F_{Rx} + F_{U1} \cdot \cos \alpha_{U1}}{-\cos \alpha_{U2}} = \frac{F_{Ry} + F_{U1} \cdot \sin \alpha_{U1}}{-\sin \alpha_{U2}} \rightarrow$$

$$F_{U1} = \frac{-F_{Rx} \cdot \sin \alpha_{U2} + F_{Ry} \cdot \cos \alpha_{U2}}{\cos \alpha_{U1} \cdot \sin \alpha_{U2} - \sin \alpha_{U1} \cdot \cos \alpha_{U2}}$$

$$F_{U2} = \frac{-F_{Rx} \cdot \sin \alpha_{U1} + F_{Ry} \cdot \cos \alpha_{U1}}{\cos \alpha_{U2} \cdot \sin \alpha_{U1} - \sin \alpha_{U2} \cdot \cos \alpha_{U1}}$$

$$F_{U1} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{-\cos 119,1^\circ \cdot \sin(-45^\circ) + \sin 119,1^\circ \cdot \cos(-45^\circ)}{\cos 260^\circ \cdot \sin(-45^\circ) - \sin 260^\circ \cdot \cos(-45^\circ)} = 76,6 \text{ N}$$

$$F_{U2} = 229,1 \text{ N} \cdot \frac{-\cos 119,1^\circ \cdot \sin 260^\circ + \sin 119,1^\circ \cdot \cos 260^\circ}{\cos(-45^\circ) \cdot \sin 260^\circ - \sin(-45^\circ) \cdot \cos 260^\circ} = 176,5 \text{ N}$$

### gerechnete Beispiele

[Böge Aufg.] Aufg. 51

#### Zusammensetzen

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos \alpha_1 = 320 \text{ N} \cdot \cos 35^\circ = 262,1 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sin \alpha_1 = 320 \text{ N} \cdot \sin 35^\circ = 183,5 \text{ N}$$

$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 180 \text{ N} \cdot \cos 55^\circ = 103,2 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \cdot \sin \alpha_2 = 180 \text{ N} \cdot \sin 55^\circ = 147,4 \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_3 \cdot \cos \alpha_3 = 250 \text{ N} \cdot \cos 160^\circ = -234,9 \text{ N}$$

$$F_{3y} = F_3 \cdot \sin \alpha_3 = 250 \text{ N} \cdot \sin 160^\circ = 85,5 \text{ N}$$

$$F_{Rx} = +F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 262,1 \text{ N} + 103,2 \text{ N} - 234,9 \text{ N} = 130,4 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = +F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 183,5 \text{ N} + 147,4 \text{ N} + 85,5 \text{ N} = 416,4 \text{ N}$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = 436,3 \text{ N}$$

$$= \sqrt{(130,4 \text{ N})^2 + (416,4 \text{ N})^2}$$

$$\alpha_R = \arctan \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} = \arctan \frac{416,4 \text{ N}}{130,4 \text{ N}} = 72,6^\circ$$

zur positiven x – Achse (nach rechts oben)

FTM, MVK: kein Zerlegen. TG: nur Ergebnis

Die Herleitung der Formel ist ggü. der Lösung mit Sinussatz zu aufwendig, das Auswendiglernen der Formel nicht sinnvoll → individuelle Lösung mit Sinussatz bevorzugen

#### 1) Herleitung

**8. Kräftegleichgewichte  $\Sigma F_x = 0$  und  $\Sigma F_y = 0$**   
 und die unbekannten Kräfte  $F_{U1}$  und  $F_{U2}$  per Gleichungssystem lösen

2)  $F_{U2}$  analog herleiten oder Symmetrie nutzen

#### 3) Allgemeine Formel

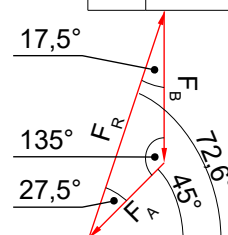
4) Man beachte die Symmetrie der Gleichungen, die mehrfach nützlich sein kann:

- Kontrollmöglichkeit
- Analogieschlüsse
- Ästhetik / Spass an Mathe vermitteln

5) Beispiel: Mobile Antenne

### Zerlegen

|       | F      | $\alpha$     | $F_x$   | $F_y$   |
|-------|--------|--------------|---------|---------|
| $F_1$ | 320N   | $35^\circ$   | 262,1N  | 183,5N  |
| $F_2$ | 180N   | $55^\circ$   | 103,2N  | 147,4N  |
| $F_3$ | 250N   | $160^\circ$  | -234,9N | 85,5N   |
| $F_R$ | 436,3N | $72,6^\circ$ | 130,4N  | 416,4N  |
| $F_A$ | 184,5N | $225^\circ$  | -130,4N | -130,4N |
| $F_B$ | 286,0N | $270^\circ$  | 0       | -286,0N |



$$F_A = F_R \cdot \frac{\sin \alpha_A}{\sin \alpha_R} = 436,6 \text{ N} \cdot \frac{\sin 17,4^\circ}{\sin 135^\circ} = 185 \text{ N}$$

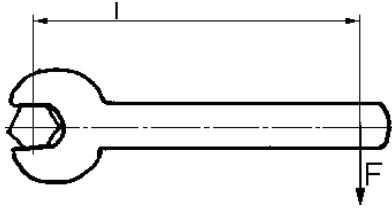
$$F_B = F_R \cdot \frac{\sin \alpha_B}{\sin \alpha_R} = 436,6 \text{ N} \cdot \frac{\sin 27,6^\circ}{\sin 135^\circ} = 286 \text{ N}$$





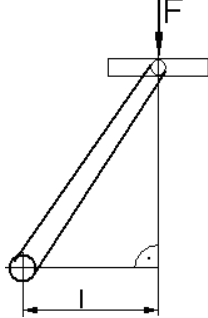
## Drehmoment, Hebel

### z.B. Schraubenschlüssel



(Dreh-)Moment  $M = F \times l$  [in Nm]  
Kraft x Hebelarm

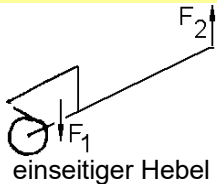
### z.B. Fahrradpedal



Hebelarm senkrecht zur Kraftlinie  
oder  
Der Hebelarm ist der kürzeste Abstand zwischen Drehpunkt und Kraftlinie

### Gleichgewichtsbedingungen bei mehreren Momenten

#### z.B. Schubkarre

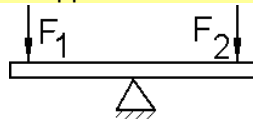


einseitiger Hebel

$$\Sigma M = 0 \quad (\text{Summe aller Momente})$$

$$\Sigma F = 0 \quad (\text{Summe aller Kräfte})$$

#### z.B. Wippe



zweiseitiger Hebel

oder  $\Sigma M_{li} = \Sigma M_{re}$

Summe der links drehenden Momente = Summe der rechts drehenden Momente

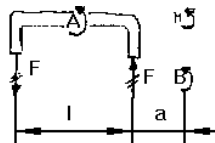
### Kräftepaare

bestehen aus zwei gleich großen, parallelen, entgegengesetzt wirkenden Kräften. Sie drehen einen freibeweglichen Körper ohne ihn zu verschieben.

#### z.B. Fahrradlenker

$$A: M = F \cdot \frac{l}{2} + F \cdot \frac{l}{2} = F \cdot l$$

$$B: M = F \cdot (l + a) - F \cdot a = F \cdot l$$



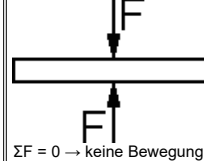
### Vertiefung

FTM, MVK: ca. 90' Zeitbedarf (ca. 45' ohne Übungen)

TG: entfällt

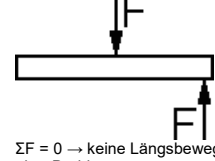
1) Ein: Bleistift o.ä. auf dem OH-Projektor anschieben

2) Kräfte fluchten



$\Sigma F = 0 \rightarrow$  keine Bewegung

3) Kräfte fluchten nicht



$\Sigma F = 0 \rightarrow$  keine Längsbewegung aber Drehbewegung

4) Wie erfasst man „Drehkräfte“ ?

Merke: Einheit Nm = J gilt auch für die Arbeit und darf dennoch nicht verwechselt werden

$$W = F \times s$$

$$M = F \times l$$

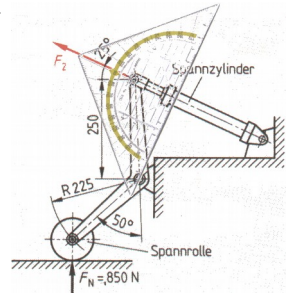
$$F \parallel s$$

$$F \perp l$$

parallel

rechtwinklig

Der Hebelarm kann mit dem Geodreieck ermittelt werden: Kraft auf die 90°-Linie, Hypothenuse durch den Drehpunkt, Hebelarm an der Skala ablesen:  
Quelle des Bilduntergrundes: [EuroRBM]



1) Wie Verhältnisse, wenn mehrere Momente auftreten

Erinnere: Gleichgewichtsbedingung bei Kräften

$\rightarrow$  Gleichgewichtsbedingung bei Drehmomenten

Zwar mit  $\Sigma F = 0$  beginnen, dies zunächst eine Zeile frei lassen und dann  $\Sigma M = 0$  darüber schreiben, weil man bei der Berechnung damit anfangen sollte.

gebogene Pfeile ergänzen

Ültg: Schüler sollen einen Gegenstand mit einer Kraft drehen.

Geht nicht, immer ist Reibung, Gravitation, Trägheit oä. im Spiel.

1. Einzelkräfte gibt es nicht und 2. sie würden sie keine Drehung bewirken. Ohne Reibung, Lager, Trägheit o.ä. gäbe es nur eine Verschiebung.

Wird durch je zwei kurze Striche gekennzeichnet (wie parallele Linien)

Für das Moment am Lenker spielt es keine Rolle, ob man es im Punkt a oder im Punkt B berechnet: Die Differenz der Hebelarme ist an jedem Punkt gleich, deshalb ist das Drehmoment an jedem Punkt gleich. Da die Kräfte sich ansonsten aufheben, kann dieses Kräftepaar durch jedes andere mit gleichem Drehmoment ersetzt werden.

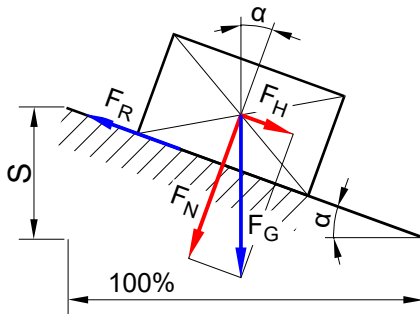
Am Faden aufgehängtes Lineal einführen

FTM: [Böge Aufg.] Aufgabe 1..8

MVK: [EuroRBM]

**Schiefe Ebene****Kräfte****Steigung in %**

$$\text{Steigung } S = \frac{h}{l} = \tan \alpha$$



Die Gewichtskraft  $F_G$  zerlegt sich in  
**Hangabtriebskraft  $F_H$**

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha$$

$F_H$  will den Körper beschleunigen

**Normalkraft  $F_N$** 

$$F_N = F_G \cdot \cos \alpha$$

$F_N$  bremst den Körper indirekt durch

$$F_R = \mu \cdot F_N = \mu \cdot F_G \cdot \cos \alpha$$

**Bewegung**

tritt ein, wenn  $F_H > F_R$  ist.

**Reibwinkel**

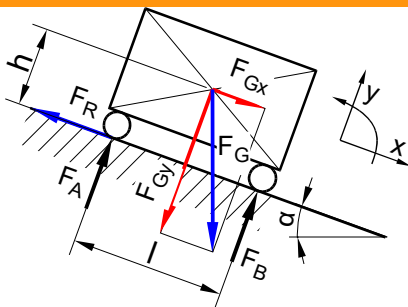
$$F_H = F_R$$

$$F_G \cdot \sin \alpha = \mu \cdot F_G \cdot \cos \alpha \rightarrow$$

$$\mu = \frac{F_G \cdot \sin \alpha}{F_G \cdot \cos \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

**Vertiefung**

- 1) Berechnen Sie die Bremskraft und den Reibungskoeffizienten eines Fahrzeuges aus seiner Masse und seinem Bremsweg (z.B. Volvo S80 mit 40,5m Bremsweg aus 100km/h bei 1695kg - mot 25/98 S.29) (Formel aus TabB "Beschleunigung")
- 2) Berechnen Sie Bremskraft und Bremsweg des selben Fahrzeuges bei 10% Gefälle / Steigung

**Auflager**

Die Lage des Schwerpunktes geht in die Drehmomente ein:

$$\Sigma M_A = F_B \cdot l - F_x \cdot h - F_y \cdot \frac{l}{2}$$

$$F_B = \frac{F_G \cdot \sin \alpha \cdot h + F_G \cdot \cos \alpha \cdot \frac{l}{2}}{l}$$

**Vertiefung**

MVK: ca. 90' Zeitbedarf

FTM, TG: entfällt

Steigung 100% bedeutet 45°.

**Grafik**

Obwohl Physiklehrer gerne den Eindruck erwecken, ist die Hangabtriebskraft definitiv keine eigenständige Kraft. Eigenständig sind die Gewichtskraft, die durch die Erdmasse per Raum-Zeit-Krümmung erzeugt wird, und die Reibungskraft, die aus dem Bewegungstrend des Körpers und der Normalkraft entsteht. Die Hangabtriebskraft ist ein bloßer Teil der Erdanziehungskraft; an die Hangabtriebskraft passt sich die Reibung an, oder der Körper beschleunigt.

-> [EuroTabM] „Schiefe Ebene“

Empirisch kann der Reibwinkel ermittelt werden, indem man die Unterlage kippt: Ein aufliegendes Teil beginnt beim Reibwinkel zu rutschen.

EurMRB ist wenig ergiebig

Koordinatensystem wird wegen der Bemaßung zweckmäßig parallel zur schiefen Ebene gelegt.

Es gibt zwei prinzipielle Vorgehensweisen:

- 1) Hebelarme zu  $F_G$  berechnen. Dieser Weg ist möglich, aber bei jeder Aufgabe anders zu lösen.
- 2)  $F_G$  wird in  $F_{Gx}$  und  $F_{Gy}$  zerlegt, anschließend rechnet man mit beiden Kräften. Bei diesem Weg ist die Vorgehensweise einfacher und immer gleich und deshalb weniger fehlerträchtig.

$$\Sigma M_B \text{ analog}$$

Abi-Aufgaben

**Reibung**

Ein Körper, der andere berührt, setzt einer Bewegung einen Widerstand entgegen.

→ Reibungskraft bzw. Reibungswiderstand  $F_R$

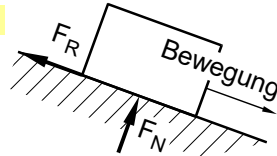
**Einflüsse auf die Reibung haben****Normalkraft****Werkstoffpaarung****Oberflächengüte****Schmierzustand****Reibungsart**

Haft-, Gleit-, Roll-, Wälzreibung

} zusammengefasst in Reibungszahl  $\mu$  oder  $f$

**Berechnung****Haft- und Gleitreibung**

$$F_R = \mu \cdot F_N$$



–  $F_N$  = Kraft senkrecht zur Trennfläche

$\mu$  = Reibungskoeffizient für die Werkstoffpaarung

$\mu_H$  : Haftreibung (= Höchstwert !)

$\mu_G$  : Gleitreibung

$\mu_H > \mu_G$

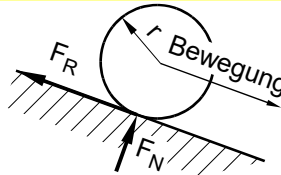
Reibwerte sind keine tatsächlichen Werte, sondern mögliche Höchstwerte

**Rollreibung**

$$F_R = \frac{f \cdot F_N}{r}$$

$f$  = Rollreibungskoeffizient

$r$  = Radius

**Gleit- oder Wälzlager**

Reibmoment wird wie bei Gleitreibung berechnet

$$M_R = \mu \cdot F_N \cdot r$$

$$M_R = \mu \cdot F_N \cdot \frac{d}{2}$$

$\mu$  (Gleitlager) hängt ab von Werkstoffpaarung

$\mu$  (Wälzlager)  $\mu = 0,001 \dots 0,003$

**Übung****Zusatzfragen**

1) [EuroRBM] 27 S.110 Aufg. 3) Welchen Zweck haben die zusätzlichen Scheiben bei Mehrscheibenkupplungen? (zusätzliche Fläche erhöht die Reibkraft nicht?!)?

Mehrscheibenkupplungen erhöhen das Reibmoment, weil jede Berührfläche Belag - Scheibe die volle Normalkraft überträgt, während die Vergrößerung der Fläche eines Belages bei konstanter Normalkraft die Flächenpressung senkt.

Mehrere Bremsbeläge in Reihe bewirken, dass die Normalkraft höher angehoben wird.

Veranschaulichung: Welches Gewicht zeigen zwei Personenwaagen an, wenn man

- sie nebeneinander stellt und mit je einem Bein draufsteht?
- sie aufeinander legt und dann drauf steht?

MVK, TG: entfällt; FTM: prüfen

FO Asterix, Pyramidenbau, Steine ziehen

1) Ein: Was macht den Arbeitern das Leben erleichtern?

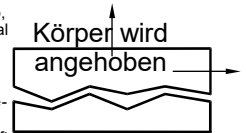
2) Tatsächlich betrachten wir nur die Festkörperreibung.

3) Welche Größen haben Einfluss auf die (Festkörper-)Reibung, bzw. wie könnte man den Arbeitern das Leben erleichtern?

Normalkraft ist die Kraft senkrecht zur Trennfläche der beiden Körper. Es ist nicht immer das Gewicht, z.B. Bremsbacke, Kupplung, Verschraubung, schiefe Ebene usw.

Versuche: Reibungskraft mit verschiedenen Flächen, Werkstoffen, Gewichten

Die Reibungskraft hängt nicht von der Größe der Fläche ab, weil die Flächenpressung mit steigender Fläche proportional sinkt.



Tatsächlich, besonders bei nicht starren Körpern, gibt es noch andere Einflussfaktoren, z.B. Fläche, Schlupf, Schmierung usw.. So haben Autoreifen die beste Haftung bei 10-20% Schlupf (ABS; 0% Schlupf heißt, dass keine Bremskraft abgerufen wird), niedriger Geschwindigkeit und niedrigem Luftdruck (Fläche).

FO Bremskraft [Bosch 21]

Kraft muss nicht nach unten wirken, z.B. Bremsbacke, Kupplung, schiefe Ebene [EuroTabM] „Reibung“

Bei Haftreibung hat noch keine Bewegung stattgefunden. Die errechnete Haftreibungskraft ist nicht die tatsächliche Kraft, sondern die Obergrenze der übertragbaren Kraft.

Dass die Haftreibung größer als die Gleitreibung ist, erfährt man beim Anschieben eines Kfz.

Überleitung an Hand TabB: Verhältnisse bei Rollreibung

Versuch: verschiedene Rollen auf Zahnstange

TabB: Der Rollreibungskoeffizient sinkt mit steigender Härte der Werkstoffe, vermutlich weil die plastische Verformung abnimmt. Der Einfluss der elastischen Verformung (hängt nicht von der Härte ab, unterliegt aber einer Hysterese durch innere Reibung) spielt keine große Rolle.

Je größer der Radius ist, desto geringer wird die Reibung, vergleiche mit den Rädern von Fahrrädern, Lokomotivrädern, Walzkörpern (Nadellager) usw. Lager sollen aber einen möglichst kleinen Durchmesser haben, da er in das Reibmoment eingeht.

Überleitung an Hand TabB: Verhältnisse bei Rollreibung

Typische ingenieurwissenschaftliche Vereinfachung.

→ [EuroTabM] „Reibung“

→ [EuroTabM] „Reibung“

EuroMRb27 S.110

HP 83/84 Hebestation

2) [EuroRBM] S.110 Aufg. 4) Müssen die beiden Schrauben mit der vollen Kraft oder mit der halben angezogen werden?

2 Kräfte addieren sich zur erforderlichen Normalkraft, deshalb genügt es, jede Schraube mit der halben Kraft zu belasten.

3) EuroMRb27 S.110 Aufg. 5) Warum wird mit 3,5 kN belastet, aber mit 5kN gerechnet?

4) EuroMRb27 S.110 Aufg. 6) Ültg zur schiefen Ebene



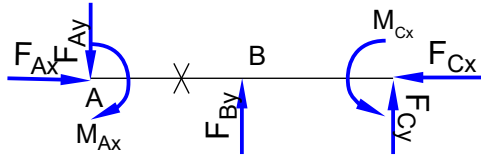
## Festigkeitslehre

## Festigkeitsberechnungen

Auch per Referate möglich, aber zeitintensiv

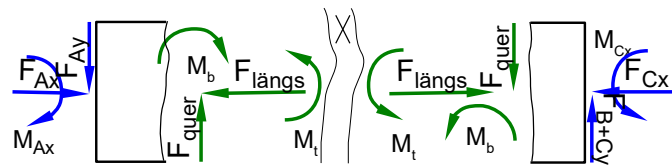
## Kräfte ermitteln

## Äußere Kräfte: Freimachen (→ Statik)

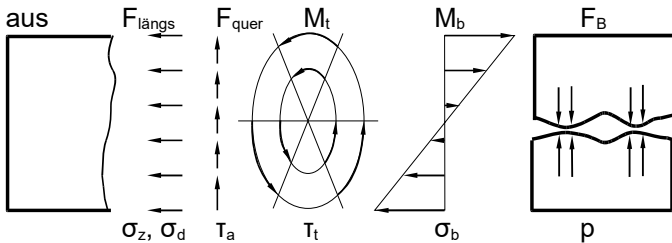


## Innere Kräfte: Freischneiden

- An der Stelle x, die betrachtet werden soll
- Alle **externen** Kräfte auf einer Seite eintragen
- Interne** Kräfte an der Schnittstelle ergänzen, bis das linke Teilstück im Gleichgewicht ist.
- Schnittstelle X ins Gleichgewicht bringen, ebenso rechtes Teilstück.



## Beanspruchungsarten



Von links nach rechts: Zug-, Druck-, Scher-, Torsions-, Biegespannungen, Flächenpressung

## Belastungsfälle, Lastfälle

## Lastfall I: Ruhende Belastung

→ [EuroTabM46] S.41

## Lastfall II: Schwellende Belastung

→ [EuroTabM46] S.46

## Lastfall III: Wechselnde Belastung

(Knickung)

## Überlagerte Spannungen

Überlagern sich Normal- und Schubspannungen, wird eine Vergleichsspannung  $\sigma_v$  errechnet. Hypothesen:

- Normalspannungsh. NH, nach Rankine, 1861
- Schubspannungsh. SH, nach Tresca, 1868
- Gestaltänderungsh. GEH, nach v.Mises, 1913

## Vertiefung

ODP für die einzelnen Aufgaben, z.B. [Böge Aufg.] Aufg. 741, Scherhölse Einarbeiten: [Decker 2009]; [Steinhilper 2007 I]; [Mattheck 2003]; [Hering 1992]; [Roloff/Mattek 1995]; [Bargel/Schulze 2005]

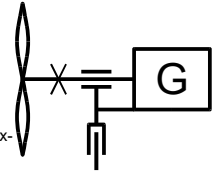
## FO Referatsthemen zur Festigkeitslehre

Werkstoffkunde und Statik fließen hier zur Festigkeitslehre zusammen.

## 1) Welche Belastungen (Kräfte und Momente) wirken an der Stelle x auf die Welle eines Windgenerators?

G unterscheidet den Generator vom Propeller mit Motor M.

- $F_{Ax}$ : Windkraft auf Propeller
- $F_{Ay}$ : Eigengewicht Propeller
- $M_{Ax}$ : Drehmoment durch Wind auf Propeller (Torsion um die x-Achse)
- $F_{By}$ : Stützkraft des Lagers
- $F_{Cx}$ : Axiallager im Generator um Fay aufzufangen
- $F_{Cy}$ : Radiallager im Generator
- $M_{Cx}$ : Drehwiderstand im Generator durch Lorentzkraft



## 2) Welche Kräfte und Momente werden an der Stelle x übertragen?

Externe Kräfte (vereinfacht in der Ebene) ohne Betrag mit Richtung eintragen lassen.

## 3) Kräfte an der Schnittstelle eintragen lassen.

An der Schnittstelle der Welle wirken:

- $F_{längs}$ : Druckkräfte heben  $F_{Ax}$  auf
  - $M_t$ : Torsionsmoment hebt  $M_{Ax}$  auf
  - $F_{quer}$ : Scherkräfte heben  $F_{Ay}$  auf
  - $M_b$ : Biegemoment entsteht durch  $F_{Ay}$  und den Hebelarm
- Zum Verständnis: Innere und äußere Kräfte des linken Teilstückes heben sich auf, genau wie die inneren Kräfte links und rechts der Schnittstelle (des Schnittufers) und die Kräfte am rechten Teilstück.

[Decker 2009]: Äußere Kräfte (Belastung) bewirken innere Kräfte (Schnittlasten).

Begriff Beanspruchungsarten siehe [Decker 2009] S.25

## 4) Wie verteilen sich die Kräfte im Werkstück? → Spannungen

 $F_{längs}$  (Normalkraft zur Schnittfläche) bewirkt Druck-/Zugspannungen (Normalspannungen). $p$  (Flächenpressung) Druckbeanspruchung an Berührungsflächen. $F_{quer}$  (Querkraft zur Schnittfläche) bewirkt Scherspannungen (Schubspannungen). $M_t$  (Torsionsmoment) erzeugt Torsionsspannungen (Schubspannungen). Sie verlaufen etwa 45° zur Schnittfläche, zum Beweis **Torsionsbruch einer Kreide** zeigen.

$M_b$  (Biegemoment) erzeugt Dehnung, die linear abhängig vom Abstand zur Drehachse ist (Strahlensatz). Dehnung erzeugt Druck-/Zug- (Normalspannungen), die ebenfalls linear zusammenhängen (Hookesches Gesetz), sodass der Spannungsverlauf im elastischen Bereich theoretisch linear ist. Im plastischen Bereich (Umformen) gilt dies nicht mehr. Die Beanspruchungen bewirken eine Längenänderung (Hookesches Gesetz, für viele Stoffe annähernd linear) und Querschnittsänderungen.

## 5) anhand → [EuroTabM] „Belastungsfälle“

Ruhende Belastung halten Teile am besten aus. Vgl. Pyramiden: Ruhend belastet halten sie seit Jahrtausenden, wenn man genauso lange mit einem kleinen Hämmerchen daran geklopft hätte, wären sie längst Sand.

tgtm\_NP201011 Aufgabe 1.1.4: „wird schwellend beansprucht“.

tgt: Bisher nur Lastfall 1

tgtm: Alle Belastungsfälle möglich

Knickung ist bei langen schlanken Körpern eine wesentlich größere Belastung als Druck, steht aber nicht im Lehrplan (TG, FTM). Bei Flächen tritt Beulung auf.

## Details: [Decker 2009] S.28f

Beispiel für überlagerte Normalspannungen: Eine Spannbetonbrücke wird unten durch Stahleinlagen auf Druck gespannt. Biegt sich die Brücke unter Last, wird der Beton (geringe Zugfestigkeit) nicht auf Zug belastet, sondern vom Druck entlastet, während die Stahleinlagen noch mehr Zug aushalten müssen. Ähnlich: Verspannungsschraubild Schrauben, übereinander geschraubte Geschützrohre.

Kein Abithema

[Böge Aufg.] Aufgabe 651-656 (nicht erforderlich)



## Allzweckformel für Festigkeitslehre am Beispiel der Zugfestigkeit

$$\frac{\sigma_{\text{grenz}}}{\nu} = \sigma_{\text{zul}} > \sigma = \frac{F}{S} \quad \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{MPa} \right]$$

F äußere Kraft [N]  
oder andere Belastung: Moment  $M_b$  oder  $M_t$  [Nm]  
S Querschnittsfläche [mm<sup>2</sup>]  
(gemeint ist immer die Fläche, die kaputt geht)  
oder andere Flächenkennwerte  
Widerstandsmomente W oder  $W_p$   
 $\sigma$  tatsächliche Spannung [N/mm<sup>2</sup>] im Werkstoff, mit-  
hilfe Rechnung geschätzt  
oder Schubspannung  $\tau$   
 $\sigma_{\text{grenz}}$  Grenzspannung [N/mm<sup>2</sup> = MPa] im Werkstoff  
Werkstoffkennwert, z.B.  $R_m$ ,  $R_e$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $\sigma_{bF}$ ,  $T_{tF}$   
 $\nu$  Sicherheitszahl [ ]  
ist eine typische Ingenieurslösung !  
vom Konstrukteur festgelegt nach:

- Umfang der Unwägbarkeiten (Belastung, -sfall, überlagerte Spannungen..)
- Risiko, Wert
- gesetzliche Vorschriften
- Erfahrung
- Veränderung während der Lebensdauer (Korrosion, Alterung, Verschleiß, Ermüdung..)

$\sigma_{\text{zul}}$  zulässige Spannung [N/mm<sup>2</sup>] im Werkstoff  
vom Konstrukteur festgelegt

Diese Formel ist für alle Belastungsarten einsetzbar, nur die Formelzeichen wechseln

### ABZ entwerfen

Zur Übersicht die betrachteten Spannungen, ihre übliche Abkürzungen und Grenzwerte. Normalspannungen  $\sigma$ , Schubspannungen  $\tau$ . Tatsächliche Spannungen erhalten Kleinbuchstaben als Indices, Grenzspannungen Großbuchstaben. Die Indices z und d dienen zur Unterscheidung von Zug- und Druckspannungen. Flächenpressung ist zwar keine typische Spannung und erhält deshalb einen anderen Buchstaben. Da sie aber wie Spannungen gerechnet wird, wird sie hier aufgenommen.  $\tau_t$  und  $\sigma_s$  meinen die maximale Spannung an der Außenfläche des Profils. Flächenpressung ist die Beanspruchung der Berührungsfächen zweier gegeneinander gedrückter fester Bauteile und heißt bei Nieten auch Lochleibungsdruck. Es ist eigentlich keine innere Spannung und hat deshalb eine andere Abkürzung, wird aber ähnlich berechnet.

1) Ein: Bungeespringen. Welche Größen sind bei der Auswahl des Seiles zu berücksichtigen ? Von rechts nach links durchgehen.

Belastung (Kraft) wird mithilfe der Statik (bzw. Dynamik) näherungsweise ermittelt und ist in schulischen Aufgaben vorgegeben. Querschnitt S und Werkstoff sind die Freiheiten des Konstrukteurs. Aus Kraft und Querschnitt ergibt sich die vorhandene Spannung, die immer nur geschätzt ist, denn die folgen Werte sind nicht exakt:

- Die Belastung F oder M F beruht im Wesentlichen auf Annahmen
- Der Querschnitt stimmt bestenfalls zu Beginn des Lebenszyklus
- Die Formel selbst ist nur eine Annäherung. [Roloff/Matek 1995], S.35: "Aus der Vielzahl der Festigkeitshypothesen haben sich für die Festigkeitsberechnung bewährt ....."

Hinweis zum Unterschied zw. Mathematik und Technik: In der Mathematik sind einmal gefundene Zusammenhänge „wahr“ im Sinne von überall und ewig gültig. In der Technik beruhen Formeln noch mehr als in den Naturwissenschaften auf Hypothesen, die nur solange gültig sind, bis bessere gefunden wurden.

Die Werkstofffestigkeit wird mit  $\sigma_m$  eingebracht.

Für Grenzspannung ist der Belastungsfall zu beachten (im Abi nur Belastungsfall 1, statische Belastung). Die angegebenen Werte gelten nur für einachsige Spannungszustände, mehrachsige (überlagerte) Spannungen siehe oben.

→ [EuroTabM] „Festigkeitswerte“, „Werkstoffe“

$$\text{MPa} = 10^6 \frac{N}{m^2} = 10^6 \frac{N}{(1000 \text{ mm})^2} = 1 \text{ Mio} \frac{N}{1 \text{ Mio mm}^2} = \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Die Sicherheitszahl  $\nu$  ist eine typische Ingenieurslösung: Probleme werden durch Erfahrungswerte gelöst, auch wenn sie noch nicht vollständig verstanden sind. Alle Unwägbarkeiten werden mit der Sicherheitszahl abgedeckt. Sie ist aber kein Freibrief, um eine Konstruktion zu überlasten.

→ [EuroTabM] „Sicherheitszahlen“

[Roloff/Matek 1995], S.52: „Die Höhe der erforderlichen Sicherheit kann für den Anwendungsbereich Maschinenbau allgemein nicht angegeben werden. Es liegt im Ermessensbereich des Konstrukteurs, für jeden Einzelfall nach den zu erwartenden Betriebsbedingungen (Häufigkeit der Höchstlast, Art des Lastkollektivs, Spannungsverhältnis  $k$  u.a.) die Sicherheit eigenverantwortlich festzulegen ...“

- kleinere Sicherheit, wenn die äußeren Kräfte sicher erfasst werden können und ein etwaiger Bruch des betreffenden Bauteils keinen großen Schaden anrichtet und dieser schnell behoben werden kann;
- höhere Sicherheit, wenn äußere Kräfte nicht genau zu erfassen sind und bei einem etwaigen Bruch des betreffenden Bauteils großer Schaden (Lebensgefahr, Betriebsstörungen) entstehen kann.“

FO [Roloff/Matek 1995] S.52: „Eine genaue rechnerische Vorhersage der vorhandenen Bauteilsicherheit kann aufgrund der nur schwer erfassbaren Einflussgrößen, der z.T. recht erheblichen Streuung der Festigkeitswerte und der Vereinfachung im Rechnungsansatz nicht gemacht werden.“

Die Sicherheitszahl kann reduziert werden, z.B. aus Gewichtsgründen im Flugzeugbau: komplexere Rechenmodelle (FEM), mehr Versuche, erhöhter Q-Aufwand, häufigere Wartung, polierte Oberflächen.

Mit dieser Formel können Zug- und Druckspannungen, Flächenpressung und Scherung berechnet werden. Die Frage bleibt nur, welche Spannung, Kraft und Fläche man einsetzen muss.

Formel: und Kennwerte → [EuroTabM] „Festigkeitswerte“

Grenzwerte oder Festigkeitskennwerte:

Festigkeit ist die innere Widerstandskraft eines Werkstoffes. Festigkeit ist der Widerstand gegen Verformung oder Bruch.

Grenzspannungen erhalten Großbuchstaben als Indices. Sie gelten nur unter Prüfbedingungen, im wirklichen Leben müssen sie meist reduziert werden (zulässige Grenzspannungen). Überschreiten von (Fließ-)Grenzen führt zu plastischer Verformung. Überschreiten von Festigkeiten führt zum Bruch.

## Überarbeiten

### Übersicht über die Formelgrößen

| Spannung           | Abk.                  | Grenzwerte (statisch)                                                | Ursächliche Kraft    | Profilkennwert                       |
|--------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Zugspannung        | $\sigma$ , $\sigma_z$ | Streckgrenze $R_e$ bzw. Dehngrenze $R_{p0,2}$<br>Zugfestigkeit $R_m$ | Zugkraft $F_z$       | Querschnittsfläche $S_0$             |
| Druckspannung      | $\sigma$ , $\sigma_d$ | Druckfließgrenze $\sigma_{dF}$<br>Druckbruchgrenze $\sigma_{dB}$     | Druckkraft $F_d$     | Querschnittsfläche $S_0$             |
| (Ab-)Scherspannung | $\tau_a$              | Scherfließgrenze $\tau_{aF}$<br>Scherfestigkeit $\tau_{aB}$          | Querkraft $F_a$      | Querschnittsfläche $S_0$             |
| Torsionsspannung   | $\tau_t$              | Torsionsfließgrenze $\tau_{tF}$<br>Torsionsbruchgrenze $\tau_{tB}$   | Torsionsmoment $M_t$ | polares Widerstandsmoment $W_p$      |
| Biegespannung      | $\sigma_b$            | Biegefließgrenze $\sigma_{bF}$                                       | Biegemoment $M_b$    | axiales Widerstandsmoment $W$        |
| Flächenpressung    | $p$                   | zulässige Flächenpressung $p_{\text{zul}}$                           | Normalkraft $F_N$    | projizierte Fläche $A_{\text{proj}}$ |
| Knickung           |                       |                                                                      |                      |                                      |





## Festigkeitsberechnung in Kurzform

### Zugversuch

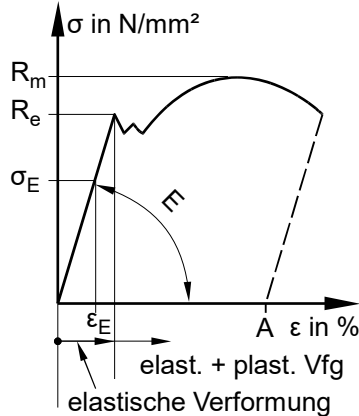
- 1) Probe ziehen
- 2) Kraft und Verlängerung messen
- 3) Wegen der Übertragbarkeit umrechnen

$$\text{Spannung } \sigma = \frac{F}{S} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Querschnitt}} \text{ in } \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ oder MPa} \right]$$

$$\text{Dehnung } \epsilon = \frac{F}{S} = \frac{\text{Längenänderung}}{\text{Anfangslänge}} \quad [\text{ohne Einheit}]$$

- 4) Im Diagramm darstellen

### Spannungs-Dehnungsdiagramm



### Werkstoffkennwerte $\sigma_{lim}$

= Grenzwerte

$R_m$  Zugfestigkeit [N/mm²] („Bruchspannung“)  
 $R_{p0,2} / R_e$  Dehngrenze / Streckgrenze [N/mm²]

### Auslegung von Bauteilen

Die Reihenfolge hängt von der Aufgabe ab

1. Bauteil-Kräfte  $F$  oder -Momente  $M$  ermitteln  
s.o. (Statik)
2.  $F / M$  mit dem Querschnitt  $S / W$  in die Bauteil-Spannung  $\sigma / \tau$  umrechnen

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

3. Werkstoffkennwert  $\sigma_{lim} / \tau_{lim}$  ermitteln  
i.d.R. aus TabB

4. Aus  $\sigma_{grenz} / \tau_{grenz}$  und der Sicherheitszahl  $v$  die zulässige Spannung  $\sigma_{zul} / \tau_{zul}$  berechnen

$$\frac{\sigma_{grenz}}{v} = \sigma_{zul}$$

$v$  ist abhängig von Belastungsfall ( $\rightarrow$  TabB), Wert, Folgen, Zuverlässigkeit der Bauteilspannung, Form des Bauteiles usw.

5. Prüfen, ob die zulässige Spannung  $\sigma_{zul} / \tau_{zul}$  größer als die Bauteil-Spannung  $\sigma / \tau$  ist.

$$\frac{\sigma_{grenz}}{v} = \sigma_{zul} > \sigma = \frac{F}{S}$$

Ansonsten neuer Querschnitt oder Werkstoff

Zur Wdh. oder Einführung, wenn es noch nicht unterrichtet wurde:  
Zugversuch, Spannungs-Dehnungs-Diagramm, Kennwerte, Formeln

1) Wozu dient die Ermittlung der Kräfte?

Zur Berechnung der Festigkeit, d.h. Vergleich tatsächlicher Kräfte mit Erlaubten.

2) Wie werden die einen Werkstoff maximal möglichen Kräfte ermittelt?  
z.B. im Zugversuch

3) Wie wird der Zugversuch durchgeführt und ausgewertet?

Kraft und Verlängerung wird gemessen und in Spannung und Dehnung umgerechnet, damit die Werte übertragbar werden. Im Zugversuch wird der Anfangsquerschnitt  $S_0$  verwendet, weil dies messtechnisch leicht erfassbar ist und der praktischen Realität entspricht.

$$\text{MPa} = 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^6 \frac{\text{N}}{(1000 \text{ mm})^2} = 1 \text{ Mio} \frac{\text{N}}{1 \text{ Mio mm}^2} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$\rightarrow$  [EuroTabM46] „Zugversuch“

4) Welche Kennwerte sind für die Festigkeitsberechnung wichtig?

**Kennwerte aus dem Zugversuch können z.T. auf andere Belastungsarten angepasst werden**

Grobe Zusammenfassung, nicht im TG unterrichten

5) Wie stark muss die Welle ausgelegt werden?

Zur Begründung der Sicherheitszahl

Merke: „Eine genaue rechnerische Vorhersage der vorhandenen Bauteilsicherheit kann aufgrund der nur schwer erfassbaren Einflussgrößen, der z.T. recht erheblichen Streuung der Festigkeitswerte und der Vereinfachung im Rechnungsansatz nicht gemacht werden.“ [Ro-loff/Matek 1995] S.52]

Für Grenzspannung ist der Belastungsfall zu beachten. Die angegebenen Werte gelten nur für einachsige Spannungszustände.

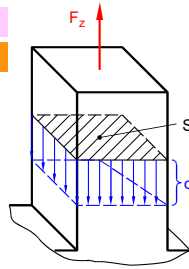
$\rightarrow$  [EuroTabM46] „Festigkeitswerte“

$\rightarrow$  [EuroTabM46] „Werkstoffe“

**Zugfestigkeit****Allzweckformel für Zugfestigkeit**

$$\frac{\sigma_{\text{zugrenz}}}{\sqrt{V}} = \sigma_{\text{zul}} > \sigma_z = \frac{F_z}{S}$$

Normalspannung ist gleichmäßig auf dem Querschnitt verteilt.

**Festigkeitswerte  $\sigma_{\text{zugrenz}}$** **Belastungsfall 1**

= statische Belastung

–  $R_e$  bzw.  $R_{p0,2}$ : gg. plast. Verformung

–  $R_m$ : gegen Bruch:

→ [EuroTabM46] S.431ff „Baustähle, Stähle, ..“

**Belastungsfall 2**

= schwelende Belastung

–  $\sigma_{zSch}$ : gegen plast. Verformung

→ [EuroTabM46] S.46

**Belastungsfall 3**

= wechselnde Belastung

–  $\sigma_{zW}$ : gegen plast. Verformung

→ [EuroTabM46] S.46

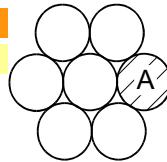
**Vertiefung**

MVK: [EuroRBM]; TG: Festigkeit\_Ub\_Abi

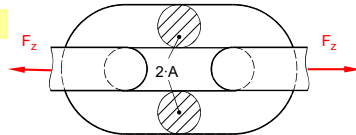
**Sonderfälle****Stahlseil mit Einzeldrähten**

$$\sigma_z = \frac{F_z}{S} = \frac{F_z}{n \cdot A}$$

n: Anzahl der Einzeldrähte

**(Rundglieder-)Kette**

$$\sigma_z = \frac{F_z}{S} = \frac{F_z}{2 \cdot A}$$

**Schrauben (Gewinde)****Festigkeitsklasse**

→ TabB „Festigkeitsklassen ...“

ist im Schraubenkopf eingeprägt. Beispiel: 6.8

$$6: \rightarrow R_m = 6 \cdot 100 \frac{N}{mm^2} = 600 \frac{N}{mm^2} = 600 MPa$$

$$8: \rightarrow R_e = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 600 \frac{N}{mm^2} = 480 \frac{N}{mm^2} = 480 MPa$$

FTM, MVK, TG:

1) Variante 1: Beanspruchungen als HA in Einzel- oder Partnerarbeit erarbeiten und anschließend im Unterricht vortragen lassen.

Dazu sollen die Vortragenden die Vorgehensweise anhand des TabB erklären und als Beispiel 2 passende Aufgaben aus Hauptprüfungen vorrechnen. Zugspannungen soll von 2 Schülern vorgetragen werden, da hier  $\sigma_z$ ,  $\sigma_{zul}$ ,  $\sigma_{lim}$  erklärt werden muss.

Wdhg: Zugversuch, Spannungs-Dehnungs-Diagramm,  $R_m$ ,  $R_e$ ,  $R_{p0,2}$ , Kennwerte, Formeln

2) Variante 2: Wiederholung Zugversuch.

→ [EuroTabM] „Zugversuch“

FTM, MVK, TGME: nur Belastungsfall 1

TGTM: Belastungsfälle 1 – 3

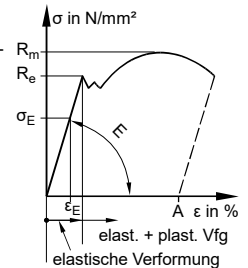
Belastungsfall 4 (?) (= allgemein schwingend) → war in [EuroTabM] Aufl. 38-41 aufgeführt.

Für Grenzspannung ist der Belastungsfall zu beachten:

→ [EuroTabM] „Festigkeitslehre“, „Druckspannung“

→ [EuroTabM] „Festigkeitswerte“, „Stähle...“, „Werkstoffe“,

„Sicherheitszahlen“...



FTM: [Böge Aufg.] 661ff „Beanspruchung auf Zug“

661-662: Wärmelauf; 663-664: Gewinde; 665 Drahtseil mit Eigengewicht entweder analytisch oder iterativ ausrechnen; 668, 673 Rundgliederkette, 670, 674, 677, 679

Im Laufe der Übungen folgende Besonderheiten zeigen:

Möglichst gar nicht erst den Gesamtquerschnitt S ausrechnen. Es gibt nämlich Schüler, die aus dem Gesamtquerschnitt einen Gesamtdurchmesser ausrechnen und den dann durch die Anzahl der Drähte teilen.

**iterative Rechnung**

[Böge Aufg.] 666 Drahtseil mit Eigengewicht entweder analytisch oder iterativ ausrechnen: 1. Gewicht schätzen; 2. Querschnitt und das daraus folgende Gewicht berechnen; 3. Schätzung und Rechnung sind idealerweise gleich, wenn nicht: 1. Neue Schätzung anhand der Rechnung; 2. ...

Video „Drahtseil spleißen“

Heißen auch Gliederkette bzw. Rundstahlkette

Die Erfahrung zeigt, dass Rundgliederketten halten, wenn man die beiden parallelen Querschnitte A dimensioniert.

Das gleiche gilt für Hülse-, Rollen-, und ähnliche Ketten.

Video Herstellung „Kette Rundstahl“

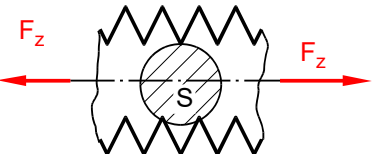
**Spannungsquerschnitt S**

→ TabB „Gewinde“

Der Querschnitt des KernØ des Gewindes ist eine brauchbare Schätzung des Spannungsquerschnitts S. Tatsächlich ist der Spannungsquerschnitt etwas größer, da sich die Täler des Gewindes nicht gegenüberliegen. Da man sowohl für die Schätzung als auch für den korrekten Wert das Tabellenbuch aufschlagen muss, kann man gleich den korrekten Spannungsquerschnitt S nehmen.

[Schneider21] S.4.90: verwendet für Schrauben den Begriff 'Güte 10.9'

Festigkeit\_TA\_Zug.odt

**Druckfestigkeit****Allzweckformel für Druckfestigkeit**

$$\frac{\sigma_{\text{dgranz}}}{\sqrt{V}} = \sigma_{\text{dzul}} > \sigma_d = \frac{F_d}{S}$$

**Festigkeitswerte  $\sigma_{\text{dgranz}}$** 

gegen bleibende Verformung:

–  $\sigma_{dF} \approx R_e$  bzw.  $R_{p0,2}$  (Stahl)

gegen Bruch

–  $\sigma_{dB} \approx R_m$  (Stahl)

–  $\sigma_{dB} \approx 4 \cdot R_m$  (GGL)

FTM, MVK, TG:

Druckfestigkeit kommt im Abi selten vor, vermutlich weil Knickung i.d.R. die größere Belastung ist. Knickung steht nicht im Lehrplan.

Bilder ähnlich wie im Zugversuch

→ [EuroTabM] „Festigkeitslehre“, „Druckbeanspruchung“

→ [EuroTabM] „Festigkeitswerte“ einschließlich Fußnote

Gusseisen mit Lamellengrafit GJL hat eine sehr hohe Druckfestigkeit. (Eselsbrücke GJL – Guss Jron Lamelle)

Bild / Spannungs-Dehnungsdiagramm von GJL

**Vertiefung**

Mbm: [EuroRBM]; TG: -----; FTM: [Böge Aufg.] 714ff, „Beanspruchung auf Druck“

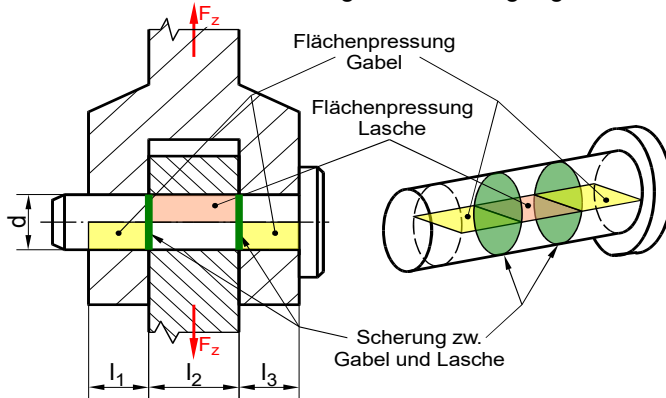
Festigkeit\_TA\_Druck.odt  
Seitenumbruch



## Scherung und Flächenpressung

treten oft gemeinsam auf

→ beide berechnen und die größere Auslegung wählen



## Flächenpressung, Lochleibung

### Allzweckformel für Flächenpressung

$$p_{zul} > p = \frac{F}{A} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} = MPa \right]$$

–  $p_{zul}$ : zulässige Flächenpressung

– A: Fläche senkrecht zur Kraft = projizierte Fläche

### Festigkeitswerte $p_{zul}$

$$p_{zul} = \frac{R_e}{1,2}$$

→ [EuroTabM46] S.42

ohne Sicherheitszahl zu rechnen

## Scherfestigkeit und Schneidkräfte

### Allzweckformeln für Scherung

$$\frac{\tau_{agrenz}}{n} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{n \cdot S} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} = MPa \right]$$

–  $\tau_{aB}$ : Scherfestigkeit;  $\tau_{aF}$ : Scherfließgrenze

– S: Fläche zwischen zwei gegenläufigen Kräften

– n: Anzahl der Scherflächen

### Festigkeitswerte $\tau_{agrenz}$

–  $\tau_{aF} \approx 0,6 \cdot R_e$  für zähe Werkstoffe (Stahl)

→ [EuroTabM46] S.41 „Festigkeitswerte“, dort auch für andere Werkstoffe

wenn es halten muss (z.B. Bolzen)

–  $\tau_{aBmax} \approx 0,8 \cdot R_{mmax}$

→ [EuroTabM46] S.365 „Schneidkraft“

wenn es brechen soll (Scheren, Stanzen)

## Auswahl treffen

Konstruktion auf die größere Belastung auslegen.

## Normzahlen

### Vertiefung

Im Laufe der Übungen Besonderheiten zeigen:

## Sonderfälle

### Lochleibung

Leibungsdruck: Flächenpressung für Bolzen oder Schrauben in Bohrungen. Es muss sich nicht um Passschrauben oder -bolzen handeln. [Duden 2006] Leibung (bevorzugt!), Leibung = innere Mauerfläche bei Wandöffnungen, innere Wölfläche bei Wölbungen.

## Passfedern

## Stanzen

## Rollen- bzw. Hülsenketten

Video Herstellung „Kette Rollen“

### FTM, MVK, TG:

Scherung und Flächenpressung treten oft meist gemeinsam auf, deshalb muss man eine Konstruktion auf beide Belastungen hin prüfen und auf die größere auslegen. In neueren Abi-Aufgaben wurde dies oft nicht mehr ausdrücklich, wohl aber stillschweigend gefordert. Ein Konstrukteur muss die Flächenpressungen für die innere und äußeren Laschen (innere und äußere Fläche einer Passfeder ...) getrennt untersuchen, aber in Prüfungen genügt es meist, seine diesbezügliche Fähigkeiten an einer Fläche zu demonstrieren. Welche das ist, erfährt man im Abi bisher im Aufgabentext oder mit der Bemäßung – unbemaßte Elemente kann man nicht berechnen.

Leider ist es auch schon vorgekommen, dass man aus der Bemäßung schließen musste, ob auf Scherung oder Flächenpressung berechnet werden sollte – aber zu einfach soll ein Abi ja auch nicht sein :-)

Wenn man nicht weiß, welche Fläche gerechnet werden muss, stelle man die Frage:

Welche Fläche geht kaputt?

Einarbeiten: [Decker 2009] S.193, Bild 8.10

[Schneider21] Tabelle 8.50c: Grenzabscherkräfte je Scherfuge, abhängig von Schraubengröße, Festigkeitsklasse im Schaft, im Gewinde oder im Schaft von Passschrauben. → Im Bauingenieurwesen werden gewöhnliche Schrauben auf Scherung belastet.

Fläche wird senkrecht zur Kraftrichtung ermittelt: z.B. Gleitlager:  $A = d \cdot L$ ; z.B. Berührungsfläche Gewinde  $p = F / (\pi \cdot d_2 \cdot x \cdot H_1) \times (P/m)$  mit  $m$ = Mutterhöhe und  $p/m$ = Anzahl tragender Gewindegänge. Weitere Darstellungen siehe → [EuroTabM] „Flächenpressung“

Im Beispiel:  $p_{Lasche} = \frac{F}{b \cdot l_2}$  und  $p_{Gabel} = \frac{F}{b \cdot (l_1 + l_3)}$

Im Abi muss bisher nur eine Variante (innen, außen) berechnet werden. Erkenntlich ist dies daran, dass nur eine Variante bemäßt ist.

Maßnahmen zur Senkung der Flächenpressung oder Erhöhung der zul. Flächenpressung:

1) Verbreitern (Säulen, Stempel); 2) Härten; 3) Mörtel; 4) Planflächen 5) hydrostat. Lagerung

Flächenpressung  $p$  = „Druck“ zwischen festen Berührungsflächen. Da Oberflächen nicht genau plan sind, berühren sich 2 Teile nicht mit ihrer ganzen Fläche → zulässige Flächenpressungen sind deutlich kleiner als zul. Druckspannungen.

Vereinfachend wird angenommen, dass die Flächenpressung gleichmäßig über die projizierte Fläche verteilt ist. Gegenbeispiel Steckstift unter Biegelast: [Decker 2009] S.308f.

Die Kennwerte in [EuroTabM] „Flächenpressung“ sind zulässige Werte, Sicherheitszahlen sind nicht mehr nötig. Es scheint sich um eine Vereinfachung zu handeln, denn in [Roloff/Matek 1995] wird mit Sicherheitszahl gerechnet;

Verteilung der Flächenpressung in Zapfenlagern, zB. [Böge, Techn. Mechanik] S.227

Im Beispiel:  $\tau_a = \frac{F}{2 \cdot \pi \cdot d^2}$

→ [EuroTabM] „Normzahlen“

– Mbm: [EuroRBM]; TG: Festigkeit\_Ub\_Abi

– FTM: [Böge Aufg.] 714ff. „Beanspruchung auf Druck und Flächenpressung“; 714, 716, (717.) 718, 720, 721, 722; [Böge Aufg.] 738ff. „Beanspruchung auf Abscheren“ 738, 739, 740, (742,) 743, 744, (748,) 749, 751

[Schneider21] S.8.52: „Die Tragsicherheit auf Lochleibung ist nachgewiesen, wenn die vorhandene Abscherkraft .. je Bauteil und je Schraube die Grenzlochleibungskraft .. nicht überschreitet.“ Tabelle 8.53 enthält Grenzlochleibungskräfte abhängig vom Lochabstand und für Lochdurchmesser etwa der Reihe mittel!!

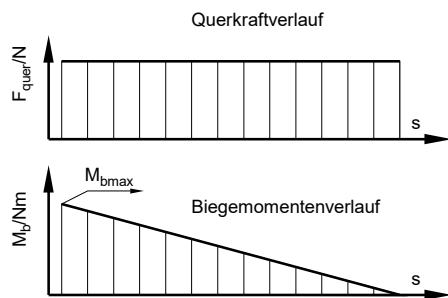
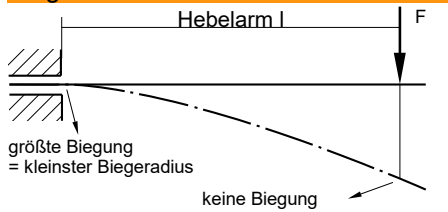
Der kleine Unterschied in Kraft und Flächenpressung zwischen Nabe und Welle wird in der überschlägigen Berechnung nach DIN 6892 vernachlässigt (→ [Steinilper 2007 I] S.519; [Decker 2009] S.292, [Haberhauer 2008] S.146).

## Flyerketten

## Biegefestigkeit

wird bei äußerem Biegemoment  $M_b = F \cdot l$  benötigt.

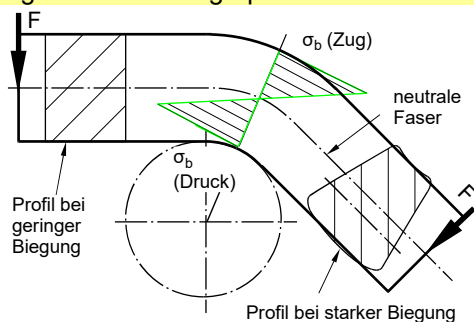
### Biegemoment



### Biegespannung

Biegemomente bewirken Verformungen und diese wiederum Spannungen:

#### Spannungsverlauf im Biegequerschnitt



- maßgebend die größte Biegespannung  $\sigma_b$
- Material trägt außen mehr zur Biegefestigkeit bei

#### Allzweckformel für die Biegefestigkeit

$$\frac{\sigma_{bgrenz}}{\nu} = \sigma_{bzul} \geq \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} = \frac{Nm}{cm^3} \right]$$

- Biegehauptgleichung:  $\sigma_b = M_{bmax} / W$
- W: (axiales) Widerstandsmoment [cm<sup>3</sup>]
- Kennzahl für die Biegetauglichkeit eines Profiles
- [EuroTabM46] S.45 „Widerstandsmoment“ für geometrisch einfache Querschnitte
- [EuroTabM46] S.45 „T-Stahl, U-Stahl, IPB...“ für handelsübliche Profile

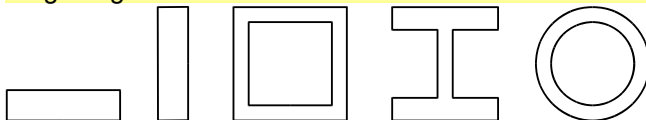
#### Festigkeitswerte $\sigma_{bgrenz}$

- $\sigma_{bF} = 1,2 \times R_e$  : Biegefließgrenze (gegen plast. Vfg.)
- $\sigma_{bB} = R_m$  : Biegefestigkeit ( gegen Bruch)
- statische Belastung, Stahl → [EuroTabM46] S.41
- $\sigma_{bSch}$ ,  $\sigma_{bW}$  : dynamische Belastung → [EuroTabM46] S.46

#### Vertiefung

Darstellung: [Haberhauer 2008] S.9ff

#### Biegetauglichkeit verschiedener Profile

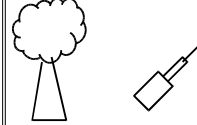


FTM, MVK, TG:

1) *Tafellineal*: Ein Ende mit einer Hand fest „einspannen“, das andere Ende mit einem Finger biegen? Wo ist das Lineal am stärksten gebogen? Wodurch wird Biegung bewirkt?

Kräfte auf ein Bauteil bewirken Biegemomente, diese biegen das Bauteil. Die Verformung führt zu internen Spannungen.

2) Begründen Sie die Form des Baumstammes und der Angelrute.



Außen: Zugspannungen  $\sigma_z$   
Innen: Druckspannungen  $\sigma_D$   
Mitte: neutrale Faser ohne axiale Spannungen

Die neutrale Faser oder Nulllinie wandert bei starker Biegung nach innen, dadurch steigen die Zugspannungen außen noch stärker, sodass der Bruch gewöhnlich außen beginnt. Anforderung eines Herstellers von Lackierrobotern: „Die Schlauchführung soll im Roboter durch die neutrale Phase erfolgen.“ heißt, die Schläuche sollen im Inneren der Roboterarme geführt werden, sind dadurch von der Umgebung geschützt und erfahren weniger Biegung.

[Haberhauer 2008]: Querschnittsformen, die an der Randfaser eine große Materialanhäufung aufweisen ... haben einen einen wesentlich größeren Widerstand gegen Biegung als mittinnenverstärkte Querschnittsformen.  
Skythischer Reiterbogen → [SdW] 08/91

- Bisher kannten die Schüler den Kennwert für ein Profil nur die (Querschnitts-)Fläche A, aber es gibt auch andere Kennwerte, die andere Eigenschaften eines Profils beschreiben:
- (axiales) Widerstandsmoment W, z.B. bei Belastung mit einem Biegemoment.
  - polares Widerstandsmoment  $W_P$ , z.B. bei Belastung mit einem Torsionsmoment.
  - Flächenmoment 0. Grades (Querschnittsfläche A), z.B. bei Zugbelastung.
  - Flächenmoment 1. Grades, z.B. bei Drehbeschleunigung, Pirouetteneffekt
  - Flächenmoment 2. Grades (Flächenträgheitsmoment I), z.B. bei Knickung, Durchbiegung

Die Spannung, bei der unter Biegebelastung die plastische Verformung beginnt, heißt Biegefließgrenze  $\sigma_{bf}$ . Sie ist etwas größer als die Streckgrenze  $R_e$ , da beim Biegen die äußeren Atome von den inneren auch dann noch auf Position gehalten werden, wenn  $R_e$  schon überschritten ist. [Decker 2009] S.30, Läßle: Einführung in Festigkeitsberechnung  
„Biegeversuche zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten haben nur wenig Bedeutung, z.B. für spröde Werkstoffe... Das Biegeverhalten homogener, zäher Werkstoffe lässt sich bis zum Erreichen der Streckgrenze.. hinreichend genau aus den Kennwerten des Zugversuchs abschätzen.“ [Bargel/Schulze 2005] S.101.]

#### Visualisierung

##### FO skythischer Kompositbogen

Begründen Sie die Form einer Blattfeder, Balkenbrücke, eines Baumstammes, einer Angelrute?

Warum wird eine (Vogel-)Feder außen dünner?

FTM: [Böge Aufg.] Aufg. 835-863 Freitragler mit Einzellasten

TG: Festigkeit\_Ub\_Abi „Biegefestigkeit“ Aufg. 3.1-3.3

#### Überschrift

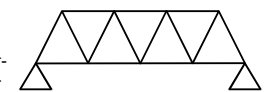
3) Bewerten Sie die gezeichneten Profile

Fachwerkbrücken und I-Träger bringen Material in Ober- und Untergurt. Die Streben dazwischen halten vornehmlich die Gurte zusammen.

4) Begründen Sie den Aufbau von Wellpappe.

Wellpappe ist ähnlich wie die Fachwerkbrücke aufgebaut. Ihre Biegefestigkeit ist richtungsabhängig (anisotrop) und vermutlich nicht der Hauptgrund für den Aufbau. Dies sind eher die Druckfestigkeit und die Knickfestigkeit (Widerstandsmoment!), alle bei geringer Dichte.

Festigkeit\_TA\_Biegung.odt  
Seitennummer

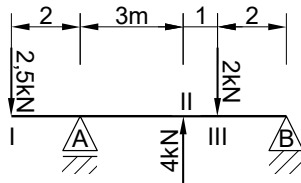




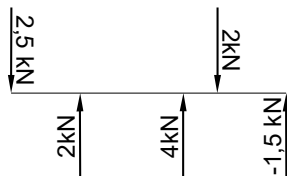
## Max. Biegemoment $M_{bmax}$ ermitteln

### Grafische Lösung

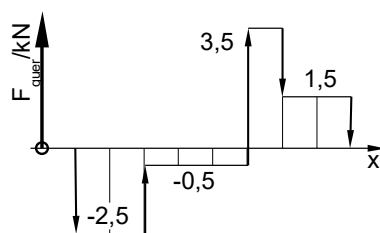
#### Beispiel 1



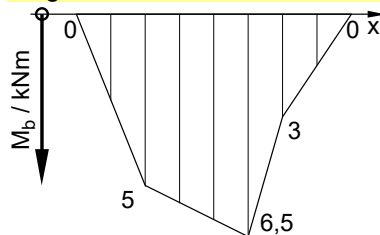
#### Freimachen (Lageskizze)



#### Querkraftverlauf



#### Biegemomentenverlauf



$M_b = 0$  gilt für alle äußeren Lager, wenn sie drehbar gelagert sind. Gegenbeispiel: Balkenplatte

#### Schlussfolgerungen für KA, Abi & Co

für Punktlasten gilt:

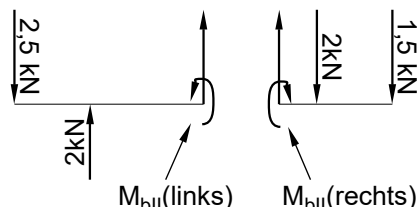
- $M_{bmax}$  kann nur an einem inneren Kräfteinleitungspunkt liegen („innen“ = „liegt zwischen anderen Kräften“)
- wo der Querkraftverlauf die Nulllinie schneidet
- Querkraftverlauf und Nulllinie können sich mehrfach schneiden.

#### Rechnerische Lösung aus der Lageskizze

ohne Kenntnis des Biegemomentenverlaufs

#### Freischneiden (!)

an der Stelle II:



#### Biegemomente $M_b$ nach links oder rechts

- Stelle II von links  $M_{bII(li)} = 2,5 \text{ kN} \cdot 5 \text{ m} - 2 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} = 6,5 \text{ kNm}$   
 Stelle II von rechts  $M_{bII(re)} = -1,5 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} - 2 \text{ kN} \cdot 1 \text{ m} = -6,5 \text{ kNm}$   
 Stelle A von links  $M_{bA} = 2,5 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} = 5,0 \text{ kNm}$   
 Stelle III von rechts  $M_{bIII} = -1,5 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} = -3 \text{ kNm}$   
 $M_{bmax} = 6,5 \text{ kNm}$  (der größte der Beträge)

FTM, MVK, TG: Die grafische Lösung des Biegemomentes ist im Lehrplan TGT zwar nicht explizit aufgeführt, aber gelegentlich doch in Prüfungen verlangt: tgt\_NP2010/11-2 Motorradbühne, Aufgabe 3.1 (Querkraftlinie)

Achtung: Tafel wird knapp

- 1) Beispiel vorgeben
- 2) Lageskizze, Querkraftverlauf, Biegemomentenverlauf zur Anschaulichkeit genau darunter zeichnen..

#### Auflagerkräfte ermitteln

$$\Sigma M_A = 0 = 2,5 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} + 4 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} - 2 \text{ kN} \cdot 4 \text{ m} + F_B \cdot 6 \text{ m} \rightarrow$$

$$F_B = \frac{-5 - 12 + 8}{6} \text{ kN} = -1,5 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = -2,5 \text{ kN} + F_A + 4 \text{ kN} - 2 \text{ kN} + (-1,5 \text{ kN}) \rightarrow F_A = 2 \text{ kN}$$

oder grafisch per Schlusslinienverfahren

#### Biegemomente $M_b$ aus Querkraftverlauf

3) Nach dem Querkraftverlauf, parallel zum Biegemomentenverlauf.

Das Moment  $M_{n+1}$  baut auf  $M_n$  auf, das vereinfacht die Rechnung, was ja der Sinn grafischer Lösungen ist. Hinweis: Vor Einführung des Taschenrechners etwa 1970 wurden alle, danach noch sehr viele Bauwerke mit grafischen Methoden berechnet.

$$M_I = 0 \text{ kNm}$$

$$M_A = M_I - 2,5 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} = -5 \text{ kNm}$$

$$M_{II} = M_A - 0,5 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} = -6,5 \text{ kNm}$$

$$M_{III} = M_{II} + 3,5 \text{ kN} \cdot 1 \text{ m} = -3,0 \text{ kNm}$$

$$M_B = M_{III} + 1,5 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} = 0$$

Die Berechnung der Biegemomente beginnt hier von links, deshalb ergeben sich mit den üblichen Vorzeichenregeln negative Werte. Von rechts wären sie positiv.

#### Biegemomentenverlauf = Flächenintegral der Querkraft

Der Biegemomentenverlauf entspricht der Querkraftfläche (= Flächenintegral der Querkraft).

4) Nachträgliche Erklärung, nachdem der Biegemomentenverlauf skizziert ist: Querkraftverlauf abdecken, dann die Abdeckung nach rechts (links) wegziehen. Der Biegemomentenverlauf entspricht der jeweils sichtbaren Fläche unter dem Querkraftverlauf.

$$M_b(x) = \int F(x) dx$$

#### Lösungsmöglichkeiten für $M_{bmax}$

- $M_{bmax}$  mit Biegemomentenverlauf ermitteln
- .. oder ..
- Querkraftverlauf zeichnen und  $M_b$  dort berechnen, wo die Querkraftlinie die Nulllinie kreuzt
- .. oder .. (meist schneller)
- $M_b$  an allen inneren Kräfteinleitungspunkten berechnen und  $M_{bmax}$  nach Betrag auswählen

[Skolaut 2014] S.68 verwendet statt „von links / rechts“ die Begriffe „positives/ negatives

Schnittufer“ → VZ klären, Erwähnen zur Veranschaulichung

Wenn man alle Momente an einem Bauteil berechnet, muss ihre Summe gemäß den Gleichgewichtsbedingungen der Statik Null ergeben. Das gilt für jedes Teil und jedes Bruchstück davon. Deshalb schneidet man das Teil gedanklich an der untersuchten Stelle auf und betrachtet nur eine Seite (eines der beiden „Bruchstücke“). Bei beiden Teilen müssen die Momente einschließlich des Biegemomentes im Gleichgewicht stehen.

Links unten sind die Momente an der Stelle II einmal von links  $M_{bII(li)}$  und einmal von rechts  $M_{bII(re)}$  berechnet. In beiden Gleichungen entfällt  $F_{II}=1\text{kN}$ , weil sein Hebelarm 0 ist. Die beiden Momente  $M_{bII(li)}$  und  $M_{bII(re)}$  müssen sich gemäß der Gleichgewichtsbedingung aufheben, und haben deshalb den gleichen Betrag, aber unterschiedliche Vorzeichen. Innerhalb der Gleichungen verwenden wir das gewohnte Koordinatensystem mit der positivem VZ bei c.w. Bei der Auswahl von  $M_{bmax}$  zählt nur der Betrag (ohne Vorzeichen).

In der Praxis kann man zur Kontrolle beide Seiten rechnen, aber nötig ist es nicht. Es genügt, eines der Momente von der „bequemeren“ Seite her zu rechnen. Im Abi sollte man die Kontrollrechnung vermeiden, weil manchmal ungenaue Werte vorgegeben werden, die von links und rechts gerechnet unterschiedliche Biegemomente ergeben, und das kann verwirren. Bei Systemen, die statisch im Gleichgewicht sind, dürfte das nicht vorkommen.

#### Im Abi keine Kontrollrechnungen für $M_b$ !!

Links stehen die Rechnungen für jeden inneren Kräfteinleitungspunkt, an der Stelle II sogar doppelt. Da man diese Rechnungen ohne die obigen Vorbereitungen (außer Lageskizze) durchführen kann, ist dies im Abi der schnellste Weg zu  $M_{bmax}$ . Deshalb

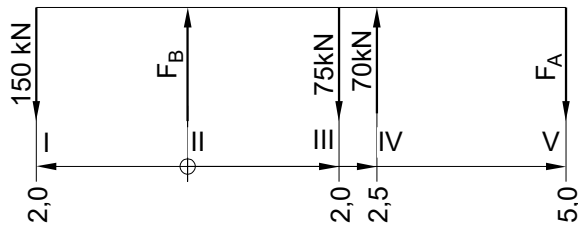
$M_{bmax}$  an inneren Kräfteinleitungspunkten suchen.



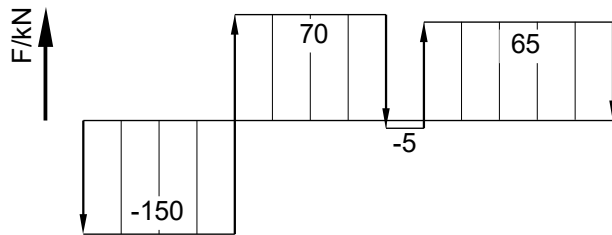


## Beispiel 2

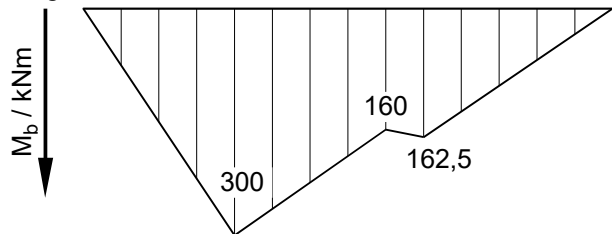
### Lageskizze



### Querkraftverlauf



### Biegemomentenverlauf



### Auflagerkräfte ermitteln

$$\Sigma M_{II} = 0 = +150 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} - 75 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} + 70 \text{ kN} \cdot 2,50 \text{ m} - F_B \cdot 5 \text{ m} \Rightarrow$$

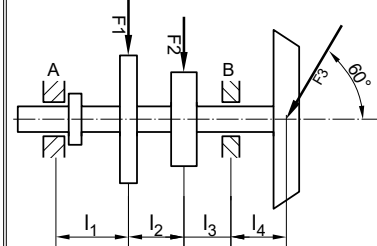
$$F_A = \frac{+150 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} - 75 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m} + 70 \text{ kN} \cdot 2,50 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 65 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = -150 \text{ kN} + F_B - 75 \text{ kN} + 70 \text{ kN} - 65 \text{ kN} \Rightarrow F_B = 220 \text{ kN}$$

oder grafisch per Schlusslinienverfahren

### Beispiel Getriebewelle

Umstellen auf Kraftangriffspunkt am Teilkreis



### Ermittlung der Eckpunkte

Von links nach rechts:

$$M_I = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{II} = 0 \text{ kNm} + 150 \text{ kN} \cdot 2,0 \text{ m} = 300 \text{ kNm}$$

$$M_{III} = 300 \text{ kNm} - 70 \text{ kN} \cdot 2,0 \text{ m} = 160 \text{ kNm}$$

$$M_{IV} = 160 \text{ kNm} + 5 \text{ kN} \cdot 0,5 \text{ m} = 162,5 \text{ kNm}$$

$$M_V = 162,5 \text{ kNm} - 65 \text{ kN} \cdot 2,5 \text{ m} = 0$$

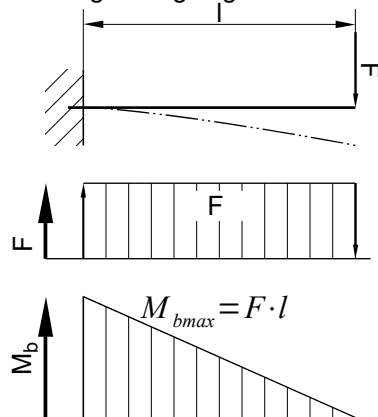
## Vertiefung

FTM: [Böge Aufg.] Aufg. 864 ff; TG: Beispiel HP 1997/98-1 Verladeanlage

### Formeln im Tabellenbuch: unbrauchbar

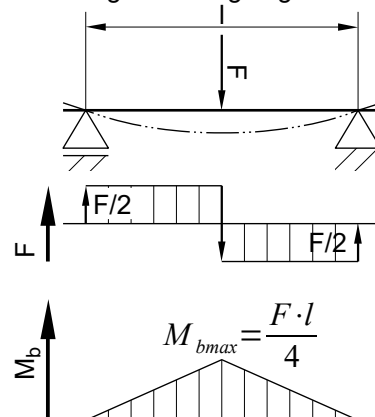
- behandeln nur Sonderfälle, z.B. zentrische Last
- führen mit der biegeesten Einspannung in die Irre

#### einseitig starr gelagert



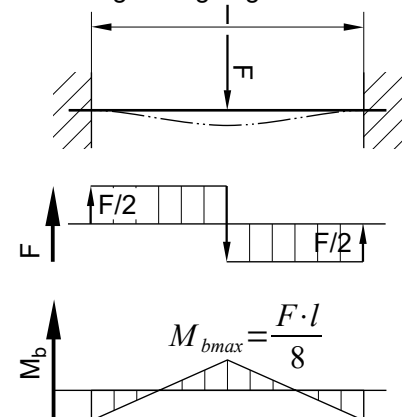
Das maximale Moment wird wg. des max. Hebelarmes im Lager erreicht, nach außen nimmt es linear ab. Elastische Verformung im Lager ändert nichts!

#### beidseitig drehbar gelagert



Halbe Kraft je Seite mal halbe Länge zum max. Moment = Viertel Moment

#### beidseitig starr gelagert



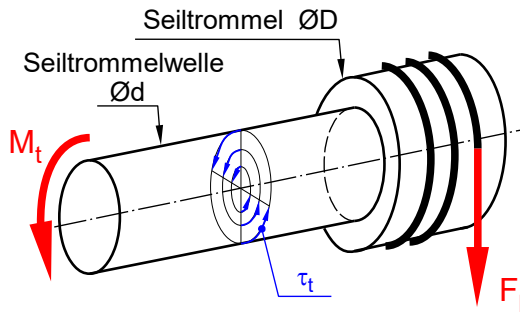
Bei vollkommen biegeesten Einspannung ist die Steigung des gebogenen Balkens in den Lagern und in der Mitte waagrecht. Aus Symmetriegründen müssen dort die Biegemomente gleich groß sein.

Wenn die Einspannung nachgibt, nähert sich die Belastung der Situation „beidseitig drehbar“ → Deshalb sollte diese zur Sicherheit immer angenommen werden. Elastische Lagerung ist statisch überbestimmt und nur schwer zu berechnen (E-Modul, Temperaturendehnung, Spannungen, exakte Maße usw.)

## Torsionsspannung

= Spannung durch Verdrehung „in sich“

### Typische Aufgabe: Seilwinde



Last  $F_L$  erzeugt an der Seiltrommel ( $\varnothing D$ ) ein Torsionsmoment  $M_t$

$$M_t = F_L \cdot \frac{D}{2}$$

Seiltrommelwelle ( $\varnothing d$ ) muss  $M_t$  aushalten

### Allzweckformeln für Torsionsfestigkeit

$$\frac{\tau_{\text{igrenz}}}{\sqrt{}} = \tau_{\text{zul}} > \tau_t = \frac{M_t}{W_p}$$

- Torsionshauptgleichung:  $\tau_t = M_t / W_p$
- $W$ : Polares Widerstandsmoment [ $\text{cm}^3$ ]
- Kennzahl für die Verdrehfestigkeit eines Profils
- [EuroTabM46] S.45 „Widerstandsmoment“ für geometrisch einfache Querschnitte

### Festigkeitswerte $\tau_{\text{igrenz}}$

$\tau_{\text{IF}} = 0,7 \times R_e$  : Torsionsfließgrenze (Stahl gg. plast. Vfg.)

$\tau_{\text{IB}} = 0,8 \times R_m$  : Torsionsfestigkeit (gegen Bruch)

statische Belastung, Stahl → [EuroTabM46] S.41

$\tau_{\text{ISch}}$ ,  $\tau_{\text{IW}}$  : dynamische Belastung → [EuroTabM46] S.46

### Vertiefung

TG: Festigkeit\_Ub\_Abi.odt

FTM: [Böge Aufg.] S.809ff

815ff: Aufgaben mit Verdrehwinkel auslassen

826 Lösung durch Ausprobieren

831: kombinierte Aufgaben

### Torsionshauptgleichung

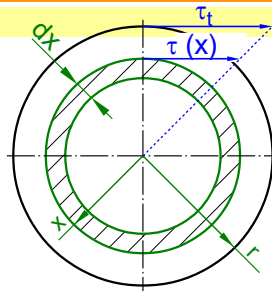
#### Herleitung für ein Rundprofil

#### Kreisringfläche

$$dA(x) = 2\pi \cdot x \cdot dx$$

#### Spannung im Kreisring

$$\tau(x) = \tau_t \cdot \frac{x}{r}$$



$$dF(x) = \tau(x) \cdot dA(x) = \tau_t \cdot 2\pi \cdot x^2 \cdot dx$$

$$dM = x \cdot dF(x) = \tau_t \cdot 2\pi \cdot x^3 \cdot dx$$

$$M_t = \tau_t \cdot \frac{2\pi}{r} \cdot \int_0^r x^3 \cdot dx = \tau_t \cdot \frac{2\pi}{r} \cdot \frac{r^4}{4} = \tau_t \cdot \frac{\pi \cdot r^3}{2} = \tau_t \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$

### polares Widerstandsmoment $W_p$

$$M_t = \tau_t \cdot \frac{2\pi}{r_a} \cdot \int_{r_i}^{r_a} x^3 \cdot dx = \tau_t \cdot \frac{2\pi}{r_a} \cdot \frac{r_a^4 - r_i^4}{4} = \tau_t \cdot \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D}$$

FTM, MVK, TG: bis Formeln für Torsionsfestigkeit.

1) Torsionsspannung analog zur Biegespannung schnell erklären.

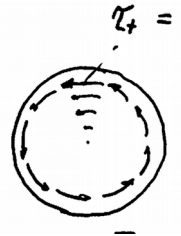
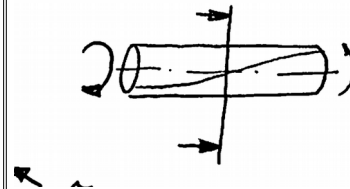
2) Herleitung der Torsionshauptgleichung nur bei viel Zeit.

- $\tau$  für Schubspannungen
- Als Torsionsspannung  $\tau$  bezeichnet man die innerhalb der Spannungsverteilung maximale Torsionsspannung an der Oberfläche, die auch zum Bruch führt.
- Die Spannung verläuft im Innern theoretisch im Kreis. Tatsächlich gibt es Schubspannung, die zum typischen Torsionsbruch mit einer wellenförmigen Bruchfläche führt.

AM Kreide bis zum Bruch verdrehen

### Erklärung Schubspannung bei Torsion

Torsion



Die maximale Torsionsspannung  $\tau_t$  hängt vom Torsionsmoment  $M_t$  und einem profilspezifischen Kennwert, dem polaren Widerstandsmoment  $W_p$ , ab. Aus dem Torsionsmoment und einem Kennwert für das Profil ergibt sich der Betrag der maximalen Torsionsspannung.

Das axiale Widerstandsmoment hängt von Form und Maßen des verdrehten Profils ab. „Tordieren“ steht nicht im [Duden 2006], ist aber in der Technik gebräuchlich (z.B. [Böge, Techn. Mechanik]). Im Duden, 15. Auflage, von 1961 stehen „Torsion“ (=Verdrehung, Verdrillung, Verwindung) und „torquieren“ (= techn. krümmen, drehen; veraltet für peinigen)

### Verdrehwinkel

(Nur zur Info für Aufgaben im [Böge Aufg.]

$$\phi^\circ = \frac{\tau_t \cdot l}{G \cdot d} \cdot \frac{360^\circ}{\pi} = \frac{M_t \cdot l}{W_p \cdot G \cdot d} \cdot \frac{360^\circ}{\pi}$$

- $l$ ,  $d$ : Länge und  $\varnothing$  der verdrehten Welle
- $G$ : Gleitmodul des Werkstoffes (vgl. E-Modul),  $G(\text{Stahl}) = 80 \text{ kN/mm}^2$

TG: Nur auf Nachfrage

Bei der Berechnung der maximalen Torsionsspannung geht man von kleinen Torsionswinkeln und den folgenden Voraussetzungen aus:

- Das äußere Torsionsmoment  $M_t$  bewirkt einachsige Dehnung, der Querschnitt wird nicht verändert. Tatsächlich? Das Torsionsmoment wirkt genau um die Stabachse.
- Durch die Dehnung entstehen Schubspannungen. Bei Werkstoffen und Belastungen, für die das Hooke'sche Gesetz annähernd gilt, hängen Dehnung und Spannung im elastischen Bereich linear zusammen. Es ergibt sich der skizzierte lineare Verlauf der Schubspannungen parallel zum Querschnitt.

Wir betrachten einen schmales kreisförmiges zentrisches Flächenelement. Dieser Ansatz ist zweckmäßig, weil darin Hebelarm und Spannung konstant sind. Die Fläche wird nicht mit der Kreisringformel, sondern mit Umfang mal  $dx$  berechnet. Dies ist korrekt, weil  $dx$  sehr klein ist.

Die Spannung  $\tau$  im betrachteten Element wird auf die maximale Torsionsspannung  $\tau_t$  an der Oberfläche des Profils bezogen, weil nur diese für die Festigkeitsberechnung interessiert.

Die Schubspannungen bewirken in jedem Flächenelement Kräfte. Die Kraft  $F$  im Flächenelement ergibt sich aus Spannung und Fläche.

Die Kräfte bewirken über den Hebelarm zum Mittelpunkt innere Torsionsmomente  $M$ . Das innere Torsionsmoment  $dM$  aus dem Flächenelement ergibt sich aus Moment = Kraft  $\times$  Hebelarm. Alle Schubspannungen verlaufen tangential.

Die Summe aller inneren Torsionsmomente  $M$  muss dem äußeren Torsionsmoment  $M_t$  das Gleichgewicht halten.

Das Rohrprofil wird wie das Rundprofil (voll) berechnet, nur die Grenzen des Integral reichen vom inneren bis zum äußeren Radius ( $r_i$ ,  $r_a$ ) bzw. Durchmesser ( $d$ ,  $D$ ).

Festigkeit\_TA\_Torsion.odt



## Grundlagen Gewinde

### Aufgaben

#### Befestigen

für lösbare Verbindungen

- Erzeugung großer Kräfte

#### Bewegen

- wandelt Dreh- in Längsbewegung  
z.B. Leitspindel einer Drehmaschine, Schraubstockspindel, Wagenheber, Scheinwerfereinstellschrauben, Vergaserdüsen

**Dichten**, z.B. Ölablassschrauben, Armaturen

**Einstellen**, z.B. zum Ausrichten von Geräten, Instrumenten

**Messen**, z.B. Bügelmessschraube

**Spannen**, z.B. Spannschloss

ca. xx' Zeitbedarf

FO „Wer war das?“

1) Wie kann das Malheur behoben werden?

2) Wichtigstes und vielseitigstes Fügeverfahren?

Wdh.: 6 Hauptgruppen der Fertigungsverfahren

3) Welche Aufgaben können Gewinde haben?

Alternative (kommt aber später nochmal):

FO antike Gewindebohrmaschine (für Trotten)

1) Texte abdecken: Worum handelt es sich?

FO Wasserhahn

Befestigungsgewinde sind eingängige Spitzgewinde, weil kleine Steigungswinkel  $\alpha$  und große (= flache) Flankenwinkel große Reibung bewirken und sich deshalb schwerer lösen (s.u.)  
Steigungswinkel  $< 6^\circ$  bewirkt Selbsthemmung

Bewegungsgewinde haben große Steigungen und kleine (= steile) Flankenwinkel für geringe Reibung, häufig mehrgängig für große axiale Bewegungen. Es sind meist Trapez- und Sägegewinde: die flache Oberkante (keine Spitzgewinde) verbreitert den Gewindegang (größere Festigkeit) und erhöht die Steigung (größere axiale Bewegung).

z.B. Spindeln in Drehmaschinen, Ventilen, Spindelpressen, Schraubenwinden, Schraubstöcken und Schraubzwingen. In Werkzeugmaschinen werden inzwischen meist Kugelgewindespindeln verwendet, weil diese spielfrei sind.

AM Kugelgewindespindel)

### Grundbegriffe

Wiederholen der Aufgaben, Erarbeiten der Begriffe durch Schüler

AB Gewinde und Schrauben Grundbegriffe

Quellen: [Bosch 21]; [Klingelberg 1967]; [Roloff/Matek 1995]; [EuroTabM]; [EuroM56]; Werkzeug-Katalog Hengst 1992; Katalog Drehwerkzeuge, Sandvik Coromant, Dez. 1995; Basis Metall, Stam-Verlag, 1. Auflage 1992;

### Vertiefung



## Gewindebezeichnungen

[Roloff/Matek 1995]: S.170ff

ca. xx' Zeitbedarf

## Gewindeprofile

Metrisches ISO-Gewinde (Regelgewinde)  
DIN 13-M30

Metrisches ISO-Gewinde (Feingewinde)  
DIN 13-M20x1

**höher belastbar als Regelgewinde**

Metrisches Gewinde mit großem Spiel  
DIN 2510-M36

Metrisches zylindrisches Innengewinde  
DIN158-M30x2

Metrisches kegeliges Außengewinde  
DIN158-M30x2keg

(Whitworth-) Rohrgewinde  
G1½A; Rp1½; R½; R1/8-1

Metrisches ISO-Trapezgewinde  
DIN 103- Tr40x7

Sägewinde  
DIN 513- S48x8

Metrisches Rundgewinde  
DIN 405-Rd40x1/6  
DIN 513-Rd40x5

Stahlpanzerrohrgewinde  
DIN 40430-Pg21

Flachgewinde

Edison-Gewinde, z.B. E27, E14

## Bezeichnungszusätze

M12x50-12.9 Festigkeitsklasse bei Schrauben  
12  $R_m = 12 \times 100N/mm^2 = 1200N/mm^2$   
.9  $R_e = 0,9 \times R_m = 1080N/mm^2$

M12-12 Festigkeitsklasse bei Muttern  
12  $R_m$  wie oben

M30-LH Left Hand, linkshändig

Tr40x14 P7 mehrgängige Gewinde  
14 Steigung  $P_h = 14mm$   
P7 Teilung  $P = 7mm$

Tr32x6m Güteklasse m (mittel) Gewindetoleranz  
M30-6H Toleranzklasse für Muttergewinde

Gewindestifte DIN913 M10x40-14H

Flügelmutter DIN315 - M20-GT

Sechskantschraube ISO4014-M12x50-KSkTo-8.8-B

[EuroTabM] „Gewinde“

1) Wie gut kennen Sie sich mit Gewindebezeichnungen aus ?

FO Gewindebezeichnungen

Nenn Durchmesser (Außen $\varnothing$ ) in [mm], Flankenwinkel 60°

Nenn $\varnothing$  x Steigung

Steigung und Gewindetiefe sind kleiner als bei Regelgewinden.

z.B. bei größeren Abmessungen und Belastungen, dünnwandige Teile, großen Nenn $\varnothing$  und dünnwandigen Bauteilen, Dichtgewinde, Mess- und Einstellschrauben

Nenn $\varnothing$ ; Schrauben mit Dehnschaft

Wozu ?

Nenn $\varnothing$  x Steigung

z.B. Verschlusschrauben, Schmiernippel

Das Innengewinde ist zylindrisch und nur das Außengewinde kegelig, oder beide Gewinde sind zylindrisch.

Nenn $\varnothing$  (Innen $\varnothing$  des Rohres) in [inch], Gangzahl Z bezieht auf ein Inch usw.

zylindrisch und kegelig, diverse DIN, im Gewinde dichtend und nicht dichtend  
z.B. Dichtungsgewinde bei Rohren und Rohrteilen, an Armaturen, Fittings, Flanschen

**Achtung: abweichende Bezeichnungen, exotische Bedeutungen**

Nenn $\varnothing$  x Steigung in [mm], Flankenwinkel 30°

z.B. Drehmaschinen, Schraubstöcke, Ventile, Pressen

Nenn $\varnothing$  x Steigung in [mm]; Flankenwinkel 33°, tragende Teilflanke 3°:

z.B. Spannzangen an Dreh- und Fräsmaschinen, Hubspindeln

unsymmetrisch: nur einseitig, aber hoch belastbar

sind belastbarer, vermutlich wg. geringerer Kerbwirkung, und werden eingesetzt als Bewegungsgewinde bei rauem Betrieb, z.B. Kupplungsspindeln, Wagonverbindungen oder bei Lebensmittelverschlässen („Milchgewinde“), weil sie leicht zu reinigen sind.

Nenn $\varnothing$  x Steigung in [inch]

Nenn $\varnothing$  x Steigung in [mm]

Elektrotechnische Anwendungen

FO Ein- und mehrgängige Gewinde (anhand von Flachgewinden !)

Flankenwinkel beidseitig 0°, kann nicht durch Fräsen hergestellt werden (? , Jäger 1965) Einsatz z.B. in Spindelpressen

Quelle

Sind gebräuchliche Schraubsockel für Lampen

Bezeichnung vorgeben, Schüler erklären lassen

Kennzeichnung ab Festigkeitsklasse 6.6 und  $\varnothing 5$

Das Streckgrenzenverhältnis  $R_e/R_m = .9$  wird auch bei Umformverfahren wie Tiefziehen u.a. verwendet.

Muttern müssen die Festigkeit wie die Schraube haben; Mutternhöhe mindestens 0,8xD

Kennzeichnung ab Klasse 8 und  $\varnothing 5$ , auch mit Codes von Punkten und Kerben möglich.

- gegen Verwechslung z.B. Gasflaschen: Wasserstoff, Propan oder
- wenn sich Rechtsgewinde lösen würden z.B. Tretlager, Schleifscheiben
- Bewegungsrichtung und Drehsinn z.B. Seilspanner
- RH für Rechtsgewinde nur ausnahmsweise angeben

Linksgängige Muttern haben eine umlaufende Rille oder ein L.

Gangzahl =  $P_h / P$ ; das Beispiel ist zweigängig

$P_h$  = Vorschub bei einer Umdrehung

$P$  = Abstand von Spitze zu Spitze

Mehrgängige Gewinde für große axiale Bewegung und geringe Reibung, z.B. Spindelpressen.

AB Gewindeprüfung nach der Dreidraht-Methode

Vergleichbar dem ISO-Toleranzsystem (z.B. H6), Beispiele für Tabellenwerte siehe AB.

14H Härte 140 HV. Genormt sind 14H, 22H, 33H und 45H (Roloff/Matek13 S.170)

EuroTabM39 S.177

GT Werkstoff Temperguss

EuroTabM39 S.187

B: Form: Flankendurchmesser  $\approx$  Schaftdurchmesser; K: mit Kegelmutter; Sk: mit Sicherungsloch im Kopf; To: ohne Telleransatz; B: Produktklasse dieses und weiter Beispiele: [Roloff/Matek 1995] S.176

## Toleranzklassen der Gewinde

Wiederholung von den Gewinden

fein (Präzisionsgewinde), mittel (für allgemeine Verwendung) grob (Gewinde ohne besondere Anforderungen)

## Ausführung

A, B, C (bisher mittel, mittelgrob, grob) legt Rautiefen und Toleranzen (Länge, Kopfhöhe, SW usw.) fest.



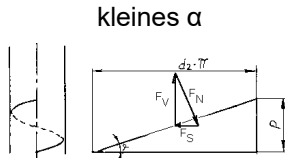
## Gewindekenngößen und ihre Wirkungen

### Gewindekenngößen

Profil (darin Flanken $\angle$ ), Steigung(s $\angle$ ), Flanken $\emptyset$ , Gangzahl, Drehsinn

### Einfluss des Steigungswinkels $\alpha$ beim Spannen

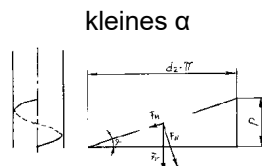
Steigung ist der achsparallele Abstand zweier benachbarter gleichgerichteter Flanken desselben Gewindeganges. Den Verlauf der Abwicklung eines Gewindes kann man zeigen, wenn man ein Gewinde über Pauspapier abrollt.



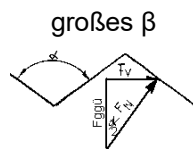
je flacher die Steigung, desto größer ist die Vorspannung

### Einflüsse auf vorgespannte Schraubenverbindungen

### Steigungswinkel $\alpha$



### Flankenwinkel $\beta$



### Profil und Gangzahl

eingängiges Spitzgewinde



### Befestigungsgewinde

- ⇒ größere Normalkräfte
- ⇒ größere Reibung
- ⇒ hemmend

Metrische (Spitz-)gewinde

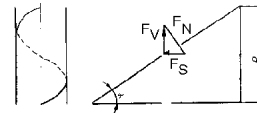
- Flankenwinkel  $\alpha=60^\circ$

1) Wdh.: Welche geometrischen Größen bestimmen ein Gewinde?

Besprechung im Folgenden.

Welche Kräfte wirken auf die Schraube beim reibungsfreien Anziehen der Schraube?

großes  $\alpha$

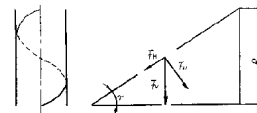


je steiler die Steigung, desto größer ist die Axialbewegung

Voraussetzung: gleiche Vorspannkraft  $F_V$

$$\tan \alpha = \frac{z \cdot P}{d \cdot \pi} \quad (z = \text{Gangzahl})$$

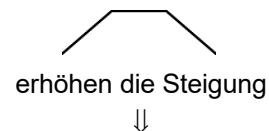
großes  $\alpha$



kleines  $\beta$



mehrgängiges abgeflachtes Gewinde



### Bewegungsgewinde

- ⇒ größere „Hangabtriebskräfte“
- ⇒ leichter beweglich

Trapezgewinde ( $\alpha=30^\circ$ )

Sägewinde ( $\alpha=3^\circ$ )

Flachgewinde ( $\alpha=0^\circ$ ), nicht durch Fräsen herstellbar (Jäger 1965)





## Fertigungsverfahren für Gewinde

ca. xx' Zeitbedarf

### Übersicht

#### - Schneiden, -Bohren

- Gewindebohren auf Automaten
- Bohrgewinden

#### - Drehen

- Strehlen
- Wirbeln oder -schälen

#### - Schleifen

#### - Fräsen

- Langgewindefräsen mit Einscheibenfräser
- Kurzgewindefräsen mit Schraubfräser
- Gewindefräsborenen

### Gewindeformen

- Walzen
- Rollen
- Gewindeumformer für Innengewinde

### Gewindeurformen

z.B. im Spritzguss

#### FO Gewindebohrmaschine von Heron

- 1) Wozu dient dieses Gerät ?
- 2) Welche Fertigungsverfahren für Gewinde gibt es inzwischen ?

- 3) Einfachste Verfahren für kleine Gewinde und Stückzahlen ?
- 4) Wie wird es mechanisiert ?

#### FO Gewindebohren auf Automaten

#### FO Bohrgewinden

- 5) Verfahren für große Gewinde in kleinen Stückzahlen ?

#### FO Fertigungsverfahren für Gewinde

Beim Gewindedrehen kommt es zu einer Profilverzerrung, die ggf. durch Anstellen des Meißels ausgeglichen werden muss (s.u.).

Strehlen ist ein Gewindedrehen mit mehreren Zähnen nebeneinander. Der Drehmeißel kann angestellt werden und wirkt dann wie ein Vorschneider

Vorschub und Zustellung beim Wirbeln geschieht wie beim Drehen, die Schnittgeschwindigkeit wird mit einem angetriebenen Werkzeug erzeugt. Es handelt sich deshalb eigentlich ein Fräsverfahren, obwohl es auf Drehbank ausgeführt wird. Vorteile sind hohes Zeitspannvolumen bei hoher Maß- und Formgenauigkeit und Oberflächengüte, Einsatz z.B. für Kugelgewindespindeln.

#### AM gewirbelter Gewindezapfen

#### Anschauung

In den Verfahren ähnlich wie das Fräsen mit sehr vielen geometrisch unbestimmten Schneiden. Vorteile sind hohe Genauigkeit in Form, Maß und Oberfläche und die Eignung für harte Werkstoffe. Einsatz z.B. für Gewindeschneidwerkzeuge und -lehren.

Der ganze Gewindegang wird mit einer Schreibe gefräst. Schrägstellung und Profilverzerrung sind ähnlich wie beim Gewindedrehen.

Der Fräser hat mehrere in sich geschlossenen Rillen, keine Spiralen. Der Vorschub des Werkzeuges umfasst nur eine Umdrehung und eine Steigung in axialer Richtung. Die entstehende Profilverzerrung ist bei kleinen Steigungen vernachlässigbar gering. Das Verfahren ist nur für kurze Gewinde geeignet, aber sehr schnell.

#### FO Gewindefräsborenen

Kernlochbohren, Gewindebohren und Ansenken mit einem Werkzeug, erfordert eine NC-Maschine mit 3D-Spiralinterpolation.

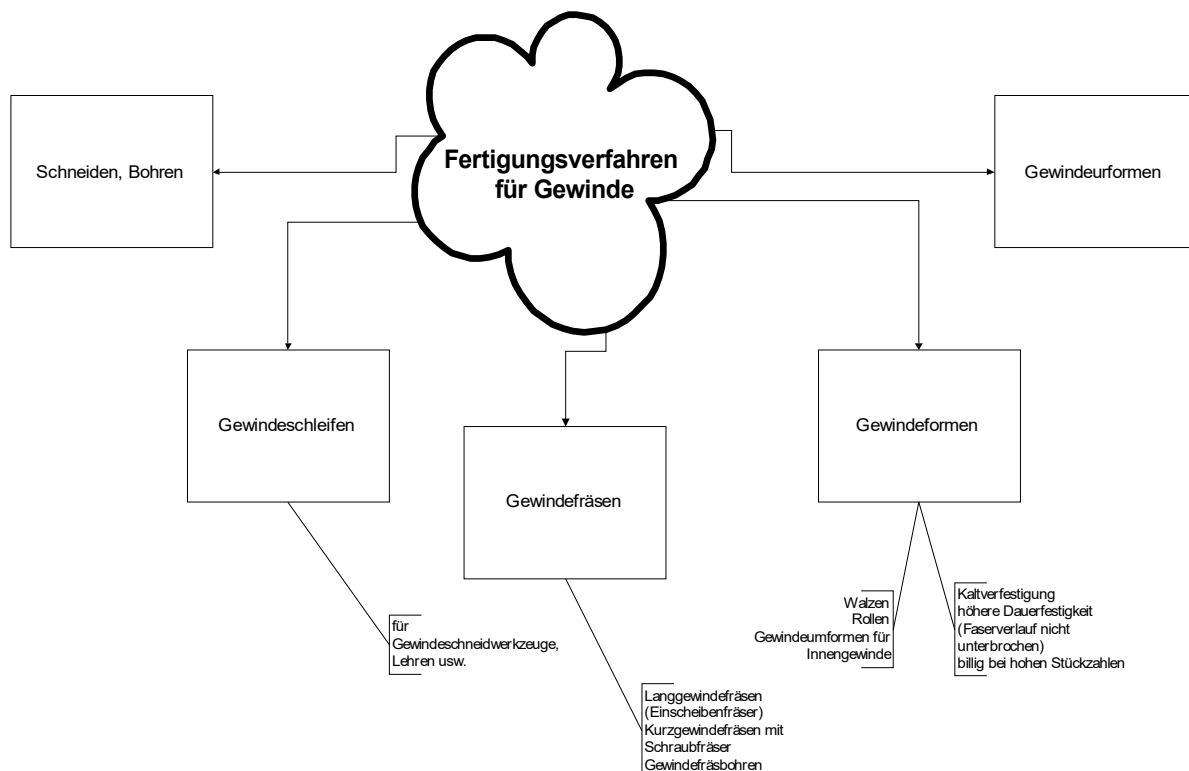
#### FO Gewalzte und gespannte Schrauben

- 6) Welche Schraube ist günstiger und warum ?

Vorteile: keine Späne, höhere Festigkeit, hohe Oberflächengüte, gute Zentrierung durch hohe Furchkraft, günstig für ausgekragte dünne Bleche, weil kein Werkstoff verloren geht.

Wdh.: Vorteile des Kaltumformens sind: Kaltverfestigung, höhere Dauerfestigkeit wegen des ununterbrochenen Faserverlaufes, glattere Oberfläche und höhere Wirtschaftlichkeit bei großen Stückzahlen.

Einsatz: Für die Massenherstellung von Schrauben





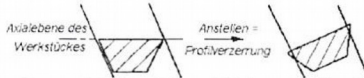
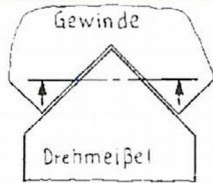
## Gewinde drehen

### Gewindedrehen

= Profildrehen

- ⇒ genau auf Spitzenhöhe
- ⇒ rechtwinklig zur Arbeitsfläche

### Werkzeugwinkel



verändern sich im Eingriff durch die Gewindesteigung

### Korrekturmaßnahmen

#### spezielle Gewindedrehplatten

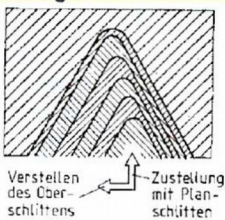
- spezieller Anschliff mit symmetrischen Wirkfreiwinkeln
- ⇒ „normale“ radiale Zustellung

#### Anstellen des Drehmeißels etwa um $\phi$

Skizze siehe oben

- Steigungswinkel  $\phi = \arctan(p/x_d)$
- erfordert entsprechend profilierte Meißel
- Je Gewindeprofil ist nur ein profilierter Meißel nötig, auch LH und RH sind austauschbar.
- besonders bei großen Steigungen (z.B. Trapez- und Sägegewinde)

### Schnittfolge



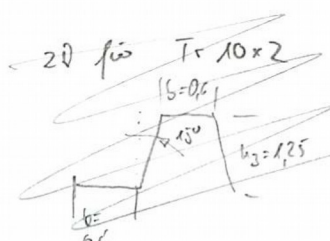
- bessere Spanabfuhr

### Werkzeuge

#### Gewindemeißel

#### Schulter- oder Gabelmeißel

- wenn auch der Außen-Ø profiliert werden muss
- Strehler mit mehreren Zähnen



$$P_1 = 2 \cdot 0,6 \cdot 1$$

$$P_{\text{tatsächl.}} = 2$$

### Drehmeißelbreiten für Trapezgewinde ⇒ EuroTabM

#### „Gewinde“

Für die rechtwinklige Lage des Drehmeißels zur Arbeitsfläche sollen Lehren oder optische Einstellgeräte eingesetzt werden [Reichard10 S.135].

Durch den Steigungswinkel  $\tan \phi = x_p/(x_d)$  verändern sich im Eingriff die Werkzeugwinkel. Vergleiche Werkzeug- und Wirk-Bezugssystem usw., Pyramidalabweichung.

Daraus können folgen (?): Profilverzerrungen, geringe Schnittgeschwindigkeit ( $\frac{1}{2} \dots \frac{1}{3}$  der vom Schruppen beim Langsdrehen), großer Bedarf an Kühlschmierstoff [Reichard10 S.135]. Weitere Darstellung [Reichard10 S.134 und S.90ff].

Flankenfreiwinkel soll mindestens  $1^\circ 30'$  betragen (Wendeschnidplatten) [Sandvik 1995]. Metrische Gewinde haben Steigungen von  $4^\circ$  (M1,6) bis  $1,6^\circ$  (M68).

✓ Seite wechseln bei  
Innen- / Außendrehen

[Klingelnberg S.723]: Nachschleifen schwierig.

Utg: Weder im Hengst- oder im Sandvik-Katalog habe ich diese Meißel gefunden, aber vermutlich benötigt man verschiedene Meißel für jedes Profil, Steigungswinkel und Drehsinn.

#### FO1 Werkzeugform und -lage beim Gewindedrehen

#### FO2 Neigungswinkel beim Gewindedrehen

Bei Spitzgewinden (kleine Steigung) kann man die Profilverzerrung meist vernachlässigen, für Bewegungsgewinde berechnen [Klingelnberg S.723-726] oder profilierte Meißel kaufen. [Hengst92 19/2] bietet an: nachschleifbare HSS-Messer für metrische Gewinde und für verschiedene Steigungsbereiche (vermutlich damit die Profiltiefe ungefähr stimmt) und Halter mit einstellbarem Steigungswinkel.

[Sandvik95 S.227ff] bietet an: Wendeschnidplatten für viele Gewindeprofile und jede Steigung (vermutlich damit die Profiltiefe zur Profilierung des Außen-Ø genau stimmt) an und Zwischenlagen in Gradabstufungen zwischen Schneidplatte und Plattenhalter..

Möglichkeiten zum Ausgleich der Veränderung der Werkzeugwinkel?

Bild siehe EuroM50 S.120 „Gewindedrehen“

#### FO3 Zustellung beim Gewindedrehen

[Sandvik-Katalog 1995 S.258] begründet die Schnittfolge mit der Spanbildung, Drehmeißel sollen sowieso immer etwa um den Steigungswinkel geneigt sein. Die Schnittfolge hänge von Schneidengeometrie, Gewindesteigung, Werkzeugmaschine und Werkstückstoff ab.

[Reichard10 S.134f]: begründet die Schnittfolge mit den unterschiedlichen Wirkwinkeln bei normalen symmetrischen, nicht geneigten Drehmeißeln. Die Schnittfolge solle so gewählt werden, dass die Seite mit dem größeren Spanwinkel, d.h. die Vorschubrichtung (linke Flanke des Drehmeißels bei Rechtsgewinden), die jeweils größere Spanarbeit übernimmt. Erst der letzte Schnitt zum Schlichten erfolgt beidseitig gleichmäßig. „Das Gewindeprofil wird in 6 .. 14 Schnitten auf sein Fertigmaß gebracht“

[Reichard10 S.135]: CNC-Drehmaschinen verfügen über einen entsprechenden Zyklus zum Gewindedrehen, der weiter ausgefeilt ist. Das Bild zeigt aber einen symmetrischen Zyklus, sodass die Begründung „unsymmetrische Wirkwinkel“ nicht stichhaltig ist.

Gewindeprofil hängt auch vom Neigungswinkel ab. Dieser soll etwa dem Steigungswinkel entsprechen, der innerhalb einer Profilart schwanken kann, z.B. haben metrische Gewinde Steigungen von  $4^\circ$  (M1,6) bis  $1,6^\circ$  (M68). Es werden deshalb Gewindedrehmeißel für verschiedene Steigungsbereiche angeboten [Hengst, Sandvik]. Nicht klar ist mir, ob diese Meißel wirklich die Profilverzerrung ausgleichen oder nur unterschiedliche Profiltiefe haben.

LH-Gewinde können mit RH-Meißeln gedreht werden, wenn die Neigung geändert und in Richtung „vom Spannfutter weg“ gedreht wird. Dies gilt nicht für unsymmetrische Freiwinkel, z.B. für Rohrgewinde oder bei Wendeschnidplatten [Sandvik]

für mehrgängige Gewinde, bei eingängigen Gewinden wirkt ein angestellter Strehler gleichzeitig wie Vorschneider, Mittelschneider usw.

#### FO4 Drehbank von Maudslay (1797) [Strandh, Die Maschine]

Techn. Handbuch Leipzig  
Coronant J. C.

Heft 2005/06 13/0



## Gewinde bohren

### Gewindebohren

#### Begriffe

#### Anschnitt

Aufschneiden = plastische Verformung

elastische Verformung

Spannuten, Spanwinkel  $\gamma$

### Handgewindebohrer

meist zwei- oder dreiteilig für weniger Kraft.

Vorschneider: 1 Ring, 50% Schneidanteil

Mittelschneider: 2 Ringe, ca 33% Schneidanteil

Fertigschneider: 0 Ringe, ca. 17% Schneidanteil

### Maschinengewindebohrer

- meist einteilig mit kurzem Anschnitt
- unterschiedlicher Spannutenverlauf

### Kombi-Gewindebohrer,

### Gewindebohren auf Automaten

### Sonstiges

### Gewindeschneiden

#### Aufschneiden

Außengewinde  $\varnothing$  um 0,1xP kleiner vordrehen

#### Schneideisen

Schneidkluppen, Gewindeschneideisen

Ültg: übliches Verfahren im Betrieb der Schüler (bei kleinen Stückzahlen)?

zentriert, verringert Kraft, übernimmt die ganze Schneidarbeit, verringert nutzbare Gewindelänge.

**FO1-Modell Aufschneiden**

Innengewinde werden größer als der Kern  $\varnothing$  vorgebohrt, sonst wird das Werkzeug überlastet. Gewindebohren braucht mehr Kraft als Vorbohren. Werte für Kernlochbohrungs  $\varnothing$  siehe

**EuroTabM39 S.171 „Gewinde“**

Weitere Angaben siehe [Hengst92].

#### Faustregel?

Fertigschneider liegen etwa 0,02 .. 0,09mm über dem theoretischen Gewindemaß [Klingelberg S.707]

**FO2 Spannuten bei Gewindebohren**

Drall der Spannuten führt die Späne:

- rechts für Grundlöcher (bei Rechtsgewinden)
- links schiebt Späne vor für kurze Durchgangslöcher

für weiche und zähe Werkstoffe kleine  $\gamma$  und 3 große Spannuten, für harte und spröde Werkstoffe große  $\gamma$  und 4 kleine Spannuten (gilt auch für andere Werkzeuge, z.B. Fräser.) ungerade Spannuten lassen Außen  $\varnothing$  schwer prüfen.

Spannvolumen eines 3teiligen Handgewindebohrersatzes  $\Rightarrow$  EuroM50 S.101 „Gewindebohren“. Bei Blechen werden einteilige Gewindebohrer verwendet (Muttergewindebohrer, Einscheider).

Schnittgeschwindigkeiten und Kernlochbohrungs  $\varnothing$  für Maschinengewindebohrer  $\Rightarrow$  Hengst-Katalog

**FO3 Maschinengewindebohrer**

**FO4 Bohrgewinden**

Kombi-Gewindebohrer mit Spiralbohrerteil, nur für Durchgangslöcher geeignet mit einer Blechdicke  $s < 1,2 \dots 1,8 d$  je nach Werkstoff;

**FO5 Gewindebohren auf Automaten**

Anschleifen von Gewindebohrern Klingelberg S.714

erhöht die Standzeit des Werkzeuges erheblich [Quelle?]

für kleine Durchmesser geschlossen

bei offenen Schneideisen kann der  $\varnothing$  geringfügig verändert werden

für größere  $\varnothing$  mit auswechselbaren Schneidbacken. Zum Vorschneiden werden die Schneidbacken angestellt, Fertigschneiden wie Profildrehen. Nach dem Schnitt löst der Kopf selbsttätig aus, sodass der Schneidkopf ohne Wechsel der Drehrichtung einfach zurückgezogen werden kann (Hengst 92 S14.7)





## Gewindeprüfung

ca. 90' Zeitbedarf

### geometrische Bestimmungsgrößen

Gewindeprofil, Außen $\varnothing$ , Steigung, Nenn $\varnothing$ , Kern $\varnothing$ , Flanken $\varnothing$ , Flankenwinkel

### Lehren

- nicht zuverlässig (Taylorscher Grundsatz)
- aber sehr einfach handhabbar

### Flankenmessschraube

Gewindemesseinsätze Kegel und Kimme

misst Flanken $\varnothing$  immer zu groß (systematischer Messfehler)

### Dreidrahtmethode

- genaueste mechanische Messmethode

Ein Gewinde ist durch fünf Größen eindeutig festgelegt: Außen-, Kern- und Flankendurchmesser, Steigung und (Teil-)Flankenwinkel.

Der Außendurchmesser wird gemessen oder mit einer üblichen Grenzlehre (Rachenlehre oder Lehdorn) gelehrt.

Steigung, Teilflankenwinkel und Flankendurchmesser sind geometrisch voneinander abhängig, sodass in der Regel das Prüfen des Flankendurchmessers stellvertretend für alle Größen genügt.

### Messmikroskop

- 1) ?
- 2) ?

Aus praktischen Gründen oft nur den Flanken $\varnothing$  prüfen

Bestimmungsgrößen sind geometrisch abhängig, d.h. man kann keine Größe ändern ohne eine andere zu beeinflussen

Toleranzen für Gewinde siehe Westermann Tabellen Metalltechnik, Braunschweig 1996, S.261

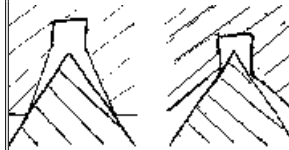
Gewindelehren werden trotz ihrer Nachteile häufig eingesetzt, weil sie einfaches zu handhaben sind.

#### AM Gewindegrenzlehre

*Wiederholung: Begründen Sie die Form der Ausschlussseite*

Taylorscher Grundsatz: die Gutseite prüft alle Formen und Maße, und ist deshalb ein ideales Abbild des Gewindes; die Ausschlussseite prüft nur Flanken $\varnothing$ , deshalb sind Flanken gekürzt und nur wenige Gewindegänge vorhanden. Dennoch bleiben Fehlinterpretationen möglich, z.B. bei Fehlern des Flankenwinkels oder der Steigung. Gutseite nutzt stark ab

misst nur Flanken $\varnothing$  relativ ungenau  
für Lehren ungeeignet



#### AB Gewindeprüfen Dreidrahtmethode

Für größere Innengewinde auch mit Kugeln oder mit Tastern möglich

#### Querverweis zur Kontrollmaßberechnung

TZ Gewindeprüfung

Gewindemessung

- aus Kostengründen nur bei Präzisionsgewinden (Messspindeln, Vorschubspindeln)
- Außen\_Bolzen wird mit Bügelmessschraube oder Grenzlehrring geprüft, Kern\_Mutter analog
- Steigungsprüfung mit
  - Gewindekämmen auf Lichtspalt
  - mit Messschieber oder Gewindemessgeräten mit Feinzeiger misst man den Abstand mehrerer Gewindegänge und kann die Steigung errechnen
  - Koordinatenmessgeräte
- Steigung von Messspindeln soll funktionsgerecht zusammen mit der Mutter gemessen werden, damit alle tragenden Flanken in die Messung eingehen.
- Flankendurchmesser wird geprüft mit
  - mit Kimme und Kegel bzw. Kimme und Schneide (EuroM50 S26 B1, HTFT1-9 S58). Es handelt sich um Einsätze für Bügelmessschraube o.ä., die nach Flanken\_ und Steigung ausgewählt werden. Kegel und Kimme werden gegeneinander gedreht, Messschraube auf Null gestellt, sie zeigt dann mit dem Gewinde den Flanken\_ an. Bei Muttergewinden werden Kugeleinsätze verwendet.
  - Dreidraht-Methode (EuroM50 S26 B1, HTFT1-9 S58) ist das sichere Verfahren.

#### FO Gewindeprüfung mit dem Messmikroskop



## Verspannungsschaubild bei Schraubverbindungen

(alternativ: Dehnschrauben für Zylinderköpfe)

- Das Verspannungsdiagramm soll hier nur dem Verständnis von Schraubenverbindungen allgemein und Dehnschrauben im Besonderen dienen.

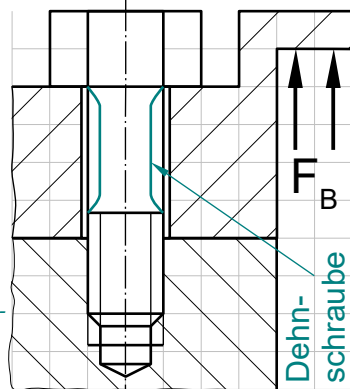
### Verhalten einer Schraubverbindung beim Anziehen

Schraube

- Zugkraft → wird länger

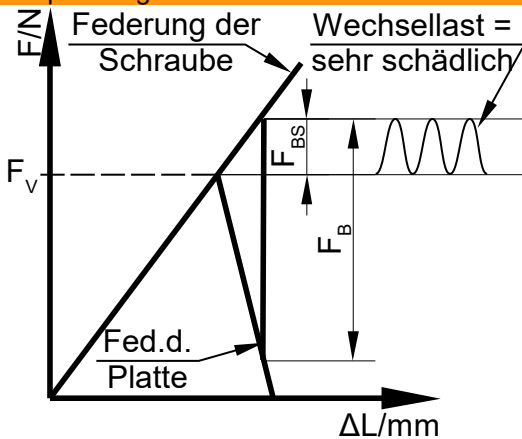
Zylinderkopf (gespannte Teile)

- Druckkraft → wird gestaucht (kürzer)



Dehnschraube erst später einzeichnen

### Verspannungsschaubild einer Schraubverbindung



Schraube

- zusätzliche Zugkraft → wird noch länger

Zylinderkopf (gespannte Teile)

- kann sich in der längeren Schraube entspannen
  - Druckkraft wird kleiner
  - Schraube wird entlastet

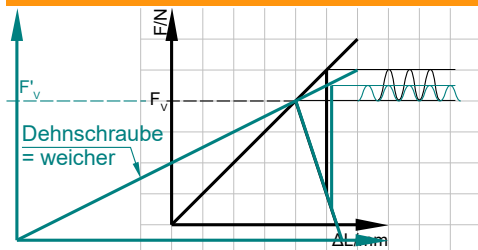
Die Schraube nimmt nur einen Teil der Betriebslast auf.

### Was macht Teile kaputt?

Kleine wechselnde Kräfte belasten mechanische Bauteile mehr als große gleichbleibende Kräfte.

Kerben (z.B. Gewinde) verstärken die Belastung.

### Trick: Dehnschrauben



### Vertiefung

#### Vergleiche: Bungeespringen

Wenn das Bungeeseil die Belastung ganz sicher halten soll, müsste man eine Stahltrosse verwenden, aber die entstehende dynamische Last würde den Springer schädigen → auch hier macht man das Seil dünner, um die dynamische Last zu reduzieren.

### Verspannungsschaubild für Kfz optional

- [Roloff/Matek 1995] S160f: "Befestigungsschrauben werden nur dann berechnet, wenn größere Kräfte zu übertragen sind und ein etwaiger Bruch schwerwiegende Folgen haben kann (z.B. bei Kraftmaschinen), wenn die Verbindung unbedingt dicht sein muss (z.B. bei Druckbehältern), oder nicht rutschen darf (z.B. bei Kupplungen) oder wenn eine „gefühlsmäßige“ Auslegung zu unsicher ist."

TZ 1: Schraubverbindung schematisch zeichnen und erläutern

TZ 2: Überschrift setzen und das Verhalten entwickeln

1 Wie verändert sich eine (Zylinderkopf-) Schraube beim Anziehen?

Beim Anziehen der Schraube entsteht Zugkraft, die die Schraube dehnt → Federkennlinie.

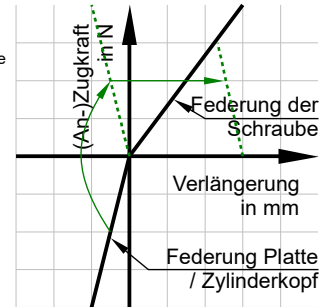
2 Wie verändert sich der Zylinderkopf beim Anziehen der Schraube?

Im gespannten Teil wirkt Druckkraft (-y), die Teile werden gestaucht (-x). Wichtig: Die Kennlinie ist steiler als bei der Schraube, weil die Platten mehr Querschnitt haben.

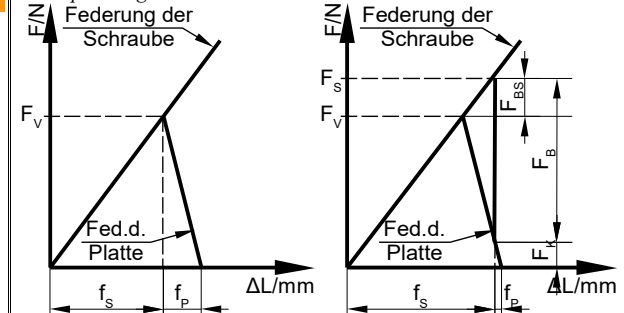
3 Erklären, Diagramm skizzieren

4 Das Diagramm ist so nicht aussagekräftig und muss verfeinert werden.

Grüne Linien: Die Federlinie der Platte (Zylinderkopf) wird um die x-Achse gespiegelt, und dann nach rechts verschoben, bis sich die beiden Federkennlinien an der Stelle der Vorspannkraft schneiden, die für beide Teile gleich groß ist.



### 1 Verspannungsschaubild



F\_V Vorspannkraft wird beim Anziehen der Schraube eingebracht und ist für die Schraube und die Platte gleich → hier schneiden sich die Federkennlinien von Platte und Schraube.

f\_s, f\_P Federweg der Schraube bzw. der Platte

2 Wie verändert sich die Schraube, wenn Verbrennungsdruck hinzu kommt?

Die Schraube wird durch die Betriebslast F\_B zusätzlich belastet und gedehnt.

3 Wie wirkt sich die Last / die verlängerte Schraube auf die Platte aus?

Die Platte gewinnt in der weiter gedehnten Schraube Raum, kann sich ausdehnen und drückt dadurch nicht mehr so stark auf die Schraube → Schraube wird teilweise entlastet → demzufolge nimmt die Schraube nur einen Teil von F\_B auf. Wie groß der Anteil ist, hängt auch von der Art der Krafteinleitung durch den Zylinderkopf ab.

F\_B Betriebskraft auf die Verbindung, z.B. durch Verbrennungsdruck auf den Zylinderkopf

F\_s Schraubenkraft unter Wirkung der Betriebslast

F\_BS Anteil der Schraube an der Betriebskraft

F\_K Restliche Klemmkraft zwischen Zylinderkopf und Motorblock. Sie ist nötig für die Dichtigkeit oder die Reibung, die Querkräfte aufnehmen muss. Für die Klemmkraft muss das Setzverhalten der Verbindung und die Streuung im Anzugsmoment beachtet werden.

4 Verbrennungsdruck ist nicht konstant. Wie wird die Schraube belastet?

1 Wie zieht man einen Pfosten, wenn die Körperkraft nicht ausreicht? Wie bricht man einen Draht ohne Werkzeug? → rütteln, hin- und herbiegen

Untere Steine der Pyramiden von Gizeh tragen seit 2500 v.u.Z. Mio t Last. Wie würden sie aussehen, wenn man sie in der ganzen Zeit mit einem kleinen Hammer bearbeitet hätte?

2 Welche Belastung hält eine Zylinderkopfschraube?

Wird mit wechselnder Last durch Verbrennungsdruck (25 Hz bei 3000/min) belastet.

1 Wie kann der Konstrukteur dafür sorgen, dass der wechselnde Anteil FBS der Schraubenkraft geringer wird, auf wenn die statische Last dadurch größer wird?

Dehnschrauben (Dünnschaftschrauben)

2 Dehnschrauben sind dünner → in Zeichnung eintragen. Welche Auswirkungen hat dies im Verspannungsschaubild?

3 Dehnt sich eine dünnere Schraube mehr oder weniger bei gleicher Kraft? Wird die Kennlinie flacher oder steiler? → flacher (eintragen)

4 Wie verändert sich die Wechsellast der Schraube? → wird geringer

Die statische Belastung (Vorspannkraft F\_V) wird größer, weil die Klemmkraft beibehalten werden muss. Eintragen nur auf Nachfrage.

In der Regel können Schrauben, die wegen ihrer Kerben besonders empfindlich sind, wesentlich mehr statische (unveränderliche) als dynamische (veränderliche) Spannungen aushalten.

Für geringere dynamische Betriebslasten akzeptiert man also höhere Vorspannkräfte. Bloße Vergrößerung der Vorspannung bei gleicher Schraube ergibt aber keine Änderungen der Betriebslast. Diese Überlegungen führten zur Entwicklung von Dehnschrauben.

Dehnschrauben haben einen kleineren Querschnitt und dadurch eine flachere Federkennlinie. Bei gleicher Vorspannkraft sind sie zwar mit größeren Spannungen belastet, aber sie nehmen einen kleineren Anteil der Betriebslast auf, weil sie sich stärker ausdehnen und dadurch die Platte stärker entlastet wird. Dies ist besonders vorteilhaft bei dynamischer Belastung. Zudem entfallen die Gewindekerben am engsten Querschnitt.





## Literaturverzeichnis

- BadZtg: , Badische Zeitung,
- Balzert 1995: Helmut Balzert, Lehrbuch der Software-Technik, Heidelberg 1998
- Bargel/Schulze 2005: H.-J. Bargel, G. Schulze, Werkstoffkunde, Berlin 2005
- Barlow 1996: Janelle Barlow, Claus Moeller, Eine Beschwerde ist ein Geschenk: der Kunde als Consultant, Wien 1996
- Bartens 2008: Werner Bartens, Vorsicht Vorsorge!, Frankfurt 2008
- Böge Aufg.: Alfred Böge ua., Aufgabensammlung Technische Mechanik, 1999
- Böge, Techn. Mechanik: Alfred Böge, Technische Mechanik Statik - Dynamik - Fluidmechanik - Festigkeitslehre, 2009
- Bosch 21: Ulrich Adler ua., Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, Stuttgart 1991
- Crilly 2007: Tony Crilly, 50 Schlüsselideen Mathematik, Heidelberg 2007
- Decker 2009: Decker et al., Maschinenelemente, München 2009
- Duden 2006: -, Duden - Die deutsche Rechtschreibung, Mannheim 2006
- Duden7 1989: Günther Drosowski et al., Duden - Das Herkunftswörterbuch, Mannheim 1989
- Dutschke 1996: Wolfgang Dutschke, Fertigungsmesstechnik, Stuttgart 1996
- EuroM56: Ulrich Fischer ua., Fachkunde Metall 56.Auflage, Haan-Gruiten 2010
- EuroRBM: , Europa Rechenbuch Metall, Haan-Gruiten
- EuroTabM: diverse, Tabellenbuch Metall, Haan-Gruiten
- EuroTabM: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall, Haan-Gruiten
- EuroTabM46: Roland Gommeringer ua., Tabellenbuch Metall 46.Auflage, Haan-Gruiten 2014
- EuroTabM47: Roland Gommeringer ua., Tabellenbuch Metall 47.Auflage, 2017
- EuroWzm: Roland Kilgus ua., Der Werkzeugbau, 1997
- Ferguson 1992: Eugene S. Ferguson, Das innere Auge - von der Kunst des Ingenieurs, Basel 1993
- Geiger 1998: Walter Geiger, Qualitätslehre (auch: DGQ-Band 11-20), Braunschweig 1998
- Glaap 1993: Winfried Glaap, ISO 9000 leichtgemacht, München 1993
- Greßler 1995: U.Greßler, R.Göppel, Qualitätsmanagement - Eine Einführung, Köln 1995
- Gross 2015: Dietmar Gross u.a., Technische Mechanik 3, Berlin 2015
- Haberhauer 2008: Horst Haberhauer, Ferdinand Bodenstern, Maschinenelemente - Gestaltung, Berechnung, Anwendung, Berlin Heidelberg 2008
- Hering 1992: Ekbert Hering ua., Physik für Ingenieure, Düsseldorf 1992
- HJTabKfz: Elbl, Föll, Schüler, Tabellenbuch Fahrzeugtechnik, Stuttgart 2004
- Jorden 2009: Walter Jorden, Form- und Lagetoleranzen, München 2009
- Klein 2008: Dieter Alex ua., Klein Einführung in die DIN-Normen, Berlin 2008
- Klingenberg 1967: G. Brühem u.a., Klingenberg - Technisches Hilfsbuch, Berlin Heidelberg 1967
- Koller 1994: Rudolf Koller, Norbert Kastrup, Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte, Berlin Heidelberg 1994
- Mattheck 2003: Claus Mattheck, Warum alles kaputt geht, Karlsruhe 2003
- MemoryJogger II: Michael Brassard, Diane Ritter, Memory Jogger - Ein Taschenführer mit Werkzeugen für kontinuierliche Verbesserung und erfolgreiche Planung, Berlin, Wien, Zürich 1994
- Moivre 1733: Abraham de Moivre, The Doctrine of Chances, London 1733
- Müller-Breslau I: Heinrich F.B. Müller-Breslau, Die graphische Statik der Baukonstruktionen, Leipzig 1901
- Pfeifer 1993: Tilo Pfeifer, Qualitätsmanagement, München 1993
- Pfeifer 1996: Tilo Pfeifer, Praxishandbuch Qualitätsmanagement, München 1996
- Pfeifer 1996: Tilo Pfeifer, Praxishandbuch Qualitätsmanagement, München 1996
- Porath 1997: Bernd Porath, Qualitätsmanagement für Kfz-Betriebe, Renningen 1997
- QZ: diverse, QZ - Qualität und Zuverlässigkeit,
- Reichard 1993: Alfred Reichard, Fertigungstechnik 1, Hamburg 1993
- Rinne 1991: Horst Rinne, Hans-Joachim Mittag, Statistische Methoden der Qualitätssicherung, München Wien 1991
- Roloff/Matek 1995: Matek et al., Maschinenelemente, Braunschweig 1995
- Schneider21: Andrej Albert ua., Bautabellen für Ingenieure, 21.Auflage,, Köln 2014
- SdW: wechselnde Autoren, Spektrum der Wissenschaft,
- Shewhart 1939: Walter A. Shewhart, W. Edwards Deming, Statistical method from the viewpoint of quality control, Washington 1939
- Singh 2007: Simon Singh, Big Bang - Der Ursprung des Kosmos und die Erfindung der modernen Naturwissenschaft, München 2007
- Skolaut 2014: Werner Skolaut (Hrsg.), Maschinenbau - Ein Lehrbuch für das ganze Bachelor-Studium, Berlin Heidelberg 2014
- Steinhilper 2007 I: Albers u.a., Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1, Berlin 2007
- Tipler 1995: Paul Tipler, Physik, 1995
- Voigt 1997: Hans-Dietrich Voigt, Qualitätssicherung - Qualitätsmanagement, Hamburg 1997
- Voigt 2010: Hans-Dietrich Voigt, Andreas Mockenhaupt, Qualitätssicherung - Qualitätsmanagement, Hamburg 2010
- Wikipedia: , , 07.03.2010, 16:45, <http://de.wikipedia.org/wiki>

