



## TGTM-E im 2. Halbjahr

### Unterrichtsplanung für TGTM-E

## Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis.....	2	Spritzgussform.....		Sonstiges.....	
Lehrplan TGTM.....	3	Fertigungsverfahren.....		Fräswerkzeuge.....	
Vorüberlegungen.....		Umformen.....		Fräserformen.....	
<b>Einleitung.....</b>	<b>4</b>	Walzen.....		Werkzeugtypen.....	
<b>CNC-Koordinaten.....</b>	<b>4</b>	Freiformschmieden.....		Zahnformen.....	
Fräsrichtung.....		Gesenkschmieden.....		Zahnrichtung.....	
Gleichlaufräsen.....		Biegeautomaten.....		wendelgezahnte Fräser.....	
Gegenlaufräsen.....		Trennen.....		kreuzgezahnt.....	
Werkstoffbezeichnung.....		Drehen.....		geradgezahnt.....	
<b>Bezeichnungen metallischer Werkstoffe...5</b>		Stanzen.....		Schrupfräser.....	
nach Zusammensetzung.....		<b>Schneidkeil.....12</b>		<b>3D-Drucker.....20</b>	
unlegierte Stähle.....		Wirkung des Keilwinkel $\beta$ .....		Aufbau des 3D-Druckers.....	
(niedrig-)legierte Stähle.....		im Werkstück (Blech).....		Ablauf.....	
(hoch-)legierte Stähle.....		in der Schneide (Keil).....		CAD: Anforderung an Konstruktionen für 3D-Druck.....	
Schnellarbeitsstähle.....		Trennwirkung durch.....		<b>Hauptnutzungszeit <math>t_h</math>.....21</b>	
NE-Metalle.....		Wahl des Keilwinkels.....		Herleitung.....	
nach Verwendungszweck.....		<b>Winkel und Flächen am Schneidkeil.....12</b>		Vorschubwege.....	
Stähle.....		z.B. Sägezahn z.B. Drehmeißel für Hartguss.....		Formel.....	
Gusseisen.....		Winkel und Flächen am Drehmeißel.....		Fertigungszeiten FZ für IUS.....	
Sonstige Bezeichnungen.....		<b>Spanentstehung.....13</b>		<b>Berechnung von CNC-Koordinaten (Winkelfunktionen).....22</b>	
Stahlgruppen nach Einsatzzweck.....		Spanarten.....		<b>fehlt.....22</b>	
Einteilung nach Gebrauchseigenschaften.....		Reißspan.....		<b>Werkstoffkunde.....22</b>	
Werkstoff-Nr / Stahlschlüssel.....		Scherspan.....		<b>Zugversuch.....22</b>	
Stahl für Bleche.....		Fließspan.....		Zweck.....	
Sintermetalle.....		Ursachen.....		Durchführung.....	
Stahlschlüssel.....		Wirkungen.....		Zugprobe.....	
Einteilung nach Reinheit.....		Spanleitstufe.....		Ablauf.....	
<b>Aufbau metallischer Werkstoffe.....7</b>		Spanformen.....		Standardisierung.....	
Bindungsmechanismus bei Metallen.....		Aufbauschneide.....		Zugkraft $F \leftrightarrow$ Zugspannung $\sigma_z$ .....	
typische Merkmale der Metalle.....		Ursache.....		Längenänderung $\Delta L \leftrightarrow$ Dehnung $\epsilon$ .....	
Verformung von Metallen unter Spannung.....		Folgen.....		Spannungs-Dehnungs-Diagramm.....	
elastische Verformung.....		<b>Drehen.....14</b>		mit ausgeprägter Streckgrenze.....	
plastische Verformung.....		Spanungsgrößen.....		ohne ausgeprägte Streckgrenze.....	
Kaltverfestigung.....		Einflüsse auf die Standzeit.....		Vorgänge im Werkstoff.....	
Legierung.....		<b>Schnittkraft beim Fräsen.....15</b>		elastische Verformung.....	
mikroskopische Struktur.....		Schnittdaten.....		Einschwingverhalten.....	
Wachstum aus der Schmelzen.....		Einstellwerte.....		plastische Verformung.....	
Gefüge.....		Schnittkraft.....		Kaltverfestigung.....	
Gitterfehler.....		Spanungsquerschnitt.....		Einschnürung.....	
<b>Fertigungstechnik.....8</b>		Schnittleistung.....		Kennwerte aus dem Zugversuch.....	
<b>Hauptgruppen der Fertigungsverfahren am Beispiel eines roten Autos.....9</b>		Schnittleistung $P_c$ .....		Streckgrenze $R_e$ – Dehngrenze $R_{p0,2}$ .....	
Urformen.....		<b>Schnittkraftberechnung.....16</b>		(Der) Elastizitätsmodul $E$ .....	
Umformen.....		Grundformel.....		Zugfestigkeit $R_m$ .....	
Trennen.....		Zerspanungsgesetz.....		Bruchdehnung $A$ ( $=A_5$ ) oder $A_{10}$ .....	
Stoffeigenschaft ändern.....		Ermittlung der spezifischen Schnittkraft $k_c$ .....		Brucheinschnürung $Z$ .....	
Fügen.....		$m_c$ Werkstoffkonstante [ ].....		Streckgrenzenverhältnis $V_S$ .....	
Beschichten.....		Korrekturfaktoren.....		Bruchdehnung $A_5 \leftrightarrow A_{10}$ .....	
<b>Einteilung der Fertigungsverfahren.....10</b>		$C_1$ für den Schneidstoff.....		Zusammenhang zwischen $A_5$ , $A_{10}$ und $A_g$ .....	
GA Bleistiftspitzer.....		$C_2$ für den Schneidenverschleißstoff.....		<b>Zugversuch im Mindmap.....25</b>	
<b>Arbeitsplanung.....10</b>		<b>Schnittkräfte beim Drehen.....17</b>		<b>Herstellung einer Kurbelwelle.....26</b>	
Arbeitsplan für TG-Zug erstellen.....		Einfluss der Einstellungen.....		Funktion / Anwendung.....	
<b>Visualisierung.....11</b>		Einstellwinkel $\chi$ .....		Herstellverfahren.....	
Produkte.....		Mittenstellung.....		Fügen ('gebauete' Kw).....	
Aluminiumleitern.....		Neigungswinkel $\lambda$ .....		Gießen.....	
Akkumulator.....		<b>Fräsen.....18</b>		(Gesenk-)Schmieden.....	
(Amphibienfahrzeuge).....		Vergleich der Planfräsverfahren.....		Trennen - Spanen.....	
Anstecknadeln.....		Stirn-Planfräsen.....		Fertigung.....	
Bleiakku.....		Umfangs-Planfräsen.....		Prinzip.....	
Bleistiftspitzer.....		Werkzeuglage.....		Skizze.....	
Bohrer.....		Zeitspannungsvolumen.....		Arbeitsschritte.....	
(Damaszenerklinge).....		Spanbildung.....		Nachbearbeitung.....	
Dosen.....		Schneidenbeanspruchung.....		Merkmale.....	
Druckknopf.....		Oberflächengüte.....		Kosten.....	
Eisenbahnschienen.....		Drehrichtung beim Umfangs-Planfräsen.....		Ausgangsmaterial.....	
Federn.....		Gleichlaufräsen.....		Werkzeug, Vorbereitung.....	
Funkenerosion !.....		Gegenlaufräsen.....		Energiekosten.....	
Kette Rundstahl.....		Bewegungsrichtung.....		Arbeitszeit.....	
Kolben!.....		Schnittverlauf.....		Videos.....	
Generatorwelle!.....		Werkstückoberfläche wird.....			
		Oberflächenqualität.....			
		Schnittkraft.....			
		Lastwechsel.....			



## Literaturverzeichnis

- Schwab 2013: Rainer Schwab, Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung für Dummies, 2013  
EuroTabM46: Roland Gommeringer ua., Tabellenbuch Metall 46.Auflage, 2014  
Bargel/Schulze 2005: H.-J. Bargel, G. Schulze, Werkstoffkunde, 2005  
Doering 1968: Ernst Doering, Technische Wärmelehre, 1968  
Mattheck 2003: Claus Mattheck, Warum alles kaputt geht, 2003  
Tipler 1995: Paul Tipler, Physik, 1995  
Hering 1992: Ekbert Hering ua., Physik für Ingenieure, 1992  
Hütte 29: Ahrendts ua., Hütte - die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften, 1989  
Skolaut 2014: Werner Skolaut (Hrsg.), Maschinenbau - Ein Lehrbuch für das ganze Bachelor-Studium, 2014  
EuroTabM: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall,  
GrundwissenIng8: Dr. Erna Padelt ua., Das Grundwissen des Ingenieurs 8.Auflage, 1970  
Sandvik 1998: , CoroKey - Ausgewählte Werkzeuge zum Drehen - Fräsen - Bohren, 1998  
Klein 2008: Dieter Alex ua., Klein Einführung in die DIN-Normen, 2008  
Musschenbroeck 1729: Pieter van Musschenbroek, Dissertationes physicae experimentalis et geometricae de magnetete, 1729  
Ferguson 1992: Eugene S. Ferguson, Das innere Auge - von der Kunst des Ingenieurs, 1993  
Agricola 1548: Georg Agricola, De Re Metallica libri XII - 12 Bücher vom Berg- und Hüttenwesen, 2003?  
Decker 2009: Decker et al., Maschinenelemente, 2009  
GrundwissenIng14: Ekbert Hering (Hrsg.), Karl-Heinz Modler (Hrsg.), Grundwissen des Ingenieurs, 2007  
SdW: wechselnde Autoren, Spektrum der Wissenschaft,

**Lehrplan TGTM**

Stand 10.09.2010

Vorbemerkungen

...

Im Unterricht des Profulfaches Technik und Management gewinnen die Schülerinnen und Schüler Erfahrungen, Einsichten und erwerben Fähigkeiten, die ihnen die Denk- und Arbeitsweisen der Technik, verknüpft mit wirtschaftswissenschaftlichen Grundlagen anschaulich erschließen. Die Schüler begreifen, dass das Denken in Systemen eine für die Technik typische Vorgehensweise ist und technische Problemlösungen oft Kompromisse verlangen. Sie lernen die Übertragung und Umsetzung ingenieurwissenschaftlicher Erkenntnisse und Verfahren in technische Systeme unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, rechtlicher und sozialer Gesichtspunkte. Lösungsansätze werden analysiert und technische wie wirtschaftliche Bewertungsverfahren durchgeführt. Die technischen und betriebswirtschaftlichen Lehrplaneinheiten sind aufeinander bezogen und werden vernetzt unterrichtet.

...

Ziele des Unterrichts sind:

- Grundlagenwissen aus den Bereichen Maschinenbau und Betriebswirtschaft am Beispiel ausgewählter Themen zu vermitteln,
- Ingenieur- und wirtschaftswissenschaftliche Arbeitsmethoden, Analysieren, Problem lösen, experimentelles Arbeiten und Bewerten erlernen,
- Umsetzen theoretischer Kenntnisse in die Praxis, Arbeiten im Team, systematische Darstellung und Beurteilung von Ergebnissen in einer Projektarbeit.

In der Eingangsklasse planen und realisieren die Schülerinnen und Schüler den Herstellungsprozess von Bauteilen. Sie berücksichtigen hierbei Konstruktion, Werkstoffeigenschaften und Fertigungsverfahren. Um diese technischen Inhalte mit betriebswirtschaftlichen Aspekten zu verbinden, erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler die Grundlagen des Vertragsrechts, sie organisieren und optimieren die Beschaffung und Lagerung des benötigten Materials sowie die Gestaltung des Fertigungsablaufs. In der Buchführung dokumentieren sie die anfallenden Zahlungsströme und ermitteln den wirtschaftlichen Erfolg in einem Jahresabschluss.

Aufbauend auf den Inhalten der Fertigungstechnik aus der Eingangsklasse erarbeiten die Schülerinnen und Schüler in der Jahrgangsstufe 1 nun vertieft computergesteuerte Fertigungsverfahren. Sie lernen die Funktion einer CNC-Maschine kennen und erhalten auf diese Weise Einblick in moderne Fertigungssysteme. Darüber hinaus verbinden sie weitere technische Themen mit betriebswirtschaftlichen Aspekten. Die Kostenrechnung ist ein wesentliches Bindeglied zwischen technischen Lösungen und betriebswirtschaftlichen Fragestellungen. Die Statik als physikalisch-mathematische Grundlage jeder technischen Konstruktion stellt Lösungsverfahren zur Ermittlung von Bauteilbelastungen bereit. Die Grundlagen der Steuerungstechnik ermöglichen den Entwurf von Schaltplänen und SPS-Programmen, um steuerungstechnische Problemstellungen zu lösen. Technik und Management (TG) 3

....

**Eingangsklasse****T 2 Fertigungstechnik****20 Stunden**

- Die Schülerinnen und Schüler entscheiden sich bei der Herstellung von Bauelementen für geeignete Fertigungsverfahren. Sie erstellen Arbeitspläne und berechnen die Prozessdaten.
- |                     |  |
|---------------------|--|
| Fertigungsverfahren | Vgl. LPE 10 Fertigung                              |
| – Umformen          |  |
| – Trennen           | Vgl. LPE 7 Realisierung eines technischen Produkts |
| – Zerspanungsdaten  |  |
| – Hauptnutzungszeit | Vgl. LPE 16 Kostenrechnung                         |
| – Arbeitsplanung    |  |
| – Fügen             |  |

**T 3 Werkstoffe****12 Stunden**

- Die Schülerinnen und Schüler unterscheiden Stahlarten, Gusswerkstoffe und NE-Metalle bezüglich ihrer Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten und wenden die Systematik der Werkstoffnormung an.
- Aus dem Zugversuch ermitteln sie charakteristische Werkstoffkennwerte und normieren diese. Bei der Werkstoffauswahl beachten sie die Wiederverwertbarkeit und Umweltaspekte.
- |  |  |
|--|--|
| Werkstoffnormung                       | Vgl. LPE 7 Realisierung eines technischen Produkts |
| Zugversuch                             |  |
| – Proportionalstab                     |  |
| – Kraft-Verlängerungs-Diagramm         |  |
| – Spannungs-Dehnungs-Diagramm          |  |
| – elastische und plastische Verformung |  |
| – E-Modul                              |  |
| – $R_e$ , $R_{p0,2}$ , $R_m$           |  |
| – Bruchdehnung                         |  |
| – Festigkeitsklassen von Schrauben     |  |

**Vorüberlegungen**

Neben einer Auswahl von Fertigungsverfahren können folgende Themen behandelt werden:  
Fertigungsmethoden: manuelle Fertigung, kurvengesteuerte Automaten, CNC-Fertigung, Fließbandfertigung, Organisationsverfahren bei Fließbandfertigung



## Einleitung

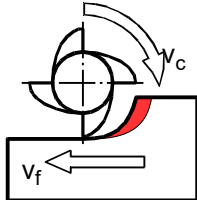
Die Unterrichtseinheit CNC-Koordinaten ist vorgezogen, damit sie vor dem Werkstattunterricht stattfindet.

### CNC-Koordinaten

#### Übung 1

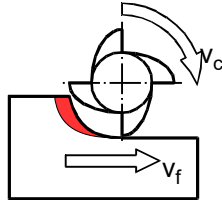
#### Fräsrichtung

##### Gleichlaufräsen



Schnittbewegung mit ...  
Oberfläche wird geschnitten  
→ bessere Qualität  
Werkstück wird nach unten  
gedrückt ⇒ dünne Bleche

##### Gegenlaufräsen



... gegen Vorschubrichtung  
Oberfläche wird geschabt  
→ mehr Verschleiß  
Oberfläche wird von hinten  
durchgeschnitten ⇒ harte  
Oberflächen, z.B. Guss

**Gleichlaufräsen ist besser als Gegenlaufräsen**

Ausnahmen: harte Oberflächen (z.B. Guss), alte Tische

#### Werkstoffbezeichnung

#### Übung 2

- 1) Bei der Fertigung des TG-Zuges werden die Schüler auch fräsen. Die ungewohnte Arbeit mit Koordinaten kostet dort Zeit. Diese Einheit wird eingeschoben, damit es nicht die knappe Zeit in der Werkstatt ist.

[Arbeitsplan\\_AB\\_Fräskoordinaten](#)

- 2) Was ist ein Fräser?

Ein Zapfenfräser arbeitet wie ein Bohrer, darf sich aber quer bewegen.

- 3) Nullpunkt ist unten links, Koordinatenrichtung ist eingetragen.

- 4) Was ist Gleichlaufräsen? (Nicht in die Tiefe gehen)

- 5) Was ist S235?

Im TabB suchen lassen, aber nicht verallgemeinern

[Fräskoordinaten TG-Zug](#)

- 6)



**Bezeichnungen metallischer Werkstoffe**

**Ziel: Werkstoffbezeichnung kennen und im TabB finden.**

[Schwab 2013]: Ggü den alten Bezeichnungen fallen die Leerstellen weg, Zahlen werden durch Bindestriche getrennt.

**.. nach Zusammensetzung**

**unlegierte Stähle**

Stahl = Fe mit max. 2% C

C45E

C Kennbuchstabe (enthält neben Fe nur C)

45 Kohlenstoffgehalt 0,45%

E Zusatzsymbole (hier: wenig S)

**(niedrig-)legierte Stähle**

kein Legierungselement über 5%

30NiCrMo16-6

30 Kohlenstoffgehalt 0,45%

→ Fe und C sind immer drin,  
muss man nicht angeben

Ni, Cr, Mo Legierungselemente Nickel, Chrom ..

→ TaB „Periodensystem“

16 Ni-Gehalt = 16%/4 = 4%

6 Cr-Gehalt = 6%/4 = 1,5%

Mo-Gehalt = nicht angegeben

**(hoch-)legierte Stähle**

mind. ein Legierungselement > 5%

X38CrMoV5-3

X Kennbuchstabe für hochlegierter Stahl

38 Kohlenstoffgehalt 0,38%

Cr, Mo, V Legierungselemente Chrom,  
Molybdän ..

→ TaB „Periodensystem“

5 Cr-Gehalt =

3 Mo-Gehalt = 3%

V-Gehalt nicht angegeben

**Schnellarbeitsstähle**

Stähle für Bohrer, Drehmeißel usw.

HS10-4-3-10

HS Kennbuchstabe für Schnellarbeitsstahl  
'High Speed Steel'

10-4-3-10 Anteile W-Mo-V-Co

10% W, 4% Mo, 3% V, 10% Co

**NE-Metalle**

EN AW – AlZn5Mg3Cu

ENEuropäische Norm (entfällt oft)

AW Aluminium-Halbzeug (Knetlegierung)

AC: Gusslegierung

Al Hauptlegierungselement

Zn5 5% Zink

Mg3 3% Magnesium

CuAnteile Kupfer

**keine Teiler, Elemente und Anteil stehen beieinander**

- 1) *Nehmen Sie das TabB, Kapitel Werkstofftechnik (Griffleiste W), suchen Sie Werkstoffe und nennen Sie mir die Abkürzungen.*  
[EuroTabM46] S.130..144 (Stahl); S.163ff (Gusseisen), S.171..181 (NE-Metalle)  
Alle Abkürzungen durcheinander (!) an der Tafel notieren. Anschließend je ein Beispiel aus den Werkstoff-Gruppen verschieden markieren (Farben). Für die anderen Beispiele geben SuS nach dem Prinzip der Mustererkennung die Farbe an.
- 2) *GA: Erklären Sie die Bedeutung der Werkstoffbezeichnung.*  
Eine Schülergruppe je Werkstoffgruppe.  
Beispiele → [EuroTabM46] S.133 (Einsatzstähle), S.134 (Vergütungsstähle), S.135 (Stähle für Flamm- und Induktionshärtung, S.136 (Werkzeugstähle), S.140 (Automatenstähle), weitere möglich  
Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.125

- 1) *Am TG suchen wir die Werkstoffe meist wegen der Festigkeitswerte. Wie unterscheiden sich diese Werte bei C60 und C60E?*  
Im Rohzustand (normalgeglüht) sind die Festigkeitswerte bei beiden Werkstoffen gleich, der Unterschied kommt erst durch die Wärmebehandlung Vergüten (+QT) zustande.

Beispiele → [EuroTabM46] S.133 (Einsatzstähle), S.134 (Vergütungsstähle), S.135 (Stähle für Flamm- und Induktionshärtung; S.136 (Werkzeugstähle), weitere möglich  
Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.125 (einschließlich Faktoren)

- 1) *16% Ni und 6% Cr wäre nicht niedriglegiert. Bedeutung der Zahlen?*  
Man möchte Kommas und mehrstellige Zahlen in der Bezeichnung vermeiden.
- 2) *Welchen Teiler hat Kohlenstoff?*  
Kohlenstoff hat den Teiler 100 (s.o.):
- 3) *Eselsbrücke für die Elemente mit dem Teiler 4 (M für Mangan statt Mn):*

**Das Cr Co Si Wohnt Meist am Ni**

Teiler heißen im TabB „Faktoren für die Anteile“.

**Erst die Liste der Elemente, dann die Liste der Anteile!**  
**Teiler beachten! → TabB S.....**

Beispiele → [EuroTabM46] S.136 (Werkzeugstähle), S.137f (Nichtrostende Stähle)  
Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.126

- 1) *Entschlüsselung der Legierungsanteile?*  
In der Hoffnung, das SuS den Teiler einsetzen..
- 2) *Warum jetzt wieder keinen Teiler*  
Bei höheren Anteilen braucht es keine Kommastellen. Und wenn alles so einfach wäre, bräuchte man keine Abiturienten :-)

**X → Fe und C sind immer drin, muss man nicht angeben**  
**X → keine Faktoren (außer für C)**

Beispiele → [EuroTabM46] S.136 (Werkzeugstähle)  
Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.125

TG: nicht benötigt

Beispiele → [EuroTabM46] S.171-173 (Al), S.177 (Mg, Ti), S.180-181 (Cu)  
Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.170 (Al Knet-Leg.), S.173 (Al Guss-Leg.), S.179 (Schwermetalle)

Man unterscheidet zwei Legierungstypen:  
Gusslegierungen bestehen aus verschiedenen Kristallen, die wie bei einem Wasser-Salz-Gemisch den Schmelzpunkt senken. Knetlegierungen bestehen aus Kristallen, die 'intern' legiert sind; wegen ihres gleichartigen Aufbaus nehmen sie die Umformarbeit gleichmäßig auf und sind für Umformen geeignet.  
Halbzeug: Halbfertiges Produkt, z.B. Stangen, Rohre, Platten .. werden durch Walzen oder anderen Umformverfahren hergestellt.



**.. nach Verwendungszweck**

**Stähle**

S275JR

**S Verwendungszweck**

- S: structure steel = Baustahl, für Stahlbau
- E: engineering steel = Maschinenbaustahl
- P: pressure vessel steel = Druckbehälterstahl

**275 Eigenschaft**

(hier: Streckgrenze  $R_e = 275 \text{ N/mm}^2$   
 über 275 MPa beginnt plastische Verformung)

**JR Zusatzsymbole**

Kerbschlagarbeit 27J bei RT = 20°C

**Gusseisen**

GJL-150

**G Gusseisen**

**J Iron**

**L Lamellengrafit**

S: Kugelgrafit (Sphärisch)

**150 Eigenschaft**

(hier: Zugfestigkeit  $R_m = 150 \text{ N/mm}^2$ )

**Sonstige Bezeichnungen**

**Stahlgruppen nach Einsatzzweck**

- Einsatz- und Vergütungsstähle
- Stähle für Flamm- und Induktionshärtung  
 → für Wärmebehandlungsverfahren
- Werkzeugstähle  
 → Drehmeißel ..
- Automatenstähle  
 → für Verarbeitung auf Dreh- und Fräsaufmaschinen besonders geeignet

**Einteilung nach Gebrauchseigenschaften**

- Grundstähle: ohne besondere Eigensch.
- Qualitätsstähle: höhere Reinheit  
 → für Wärmebehandlung
- Edelstähle: besonders rein und gleichmäßig  
 → für Vergütung und Randschichthärtung

**Werkstoff-Nr / Stahlschlüssel**

**Stahl für Bleche**

- D C 04 – A – m      Blech
- H C 300 B           höherfestes Blech
- DX53D+Z           veredeltes Blech

**Sintermetalle**

Sint E              Sinter-Aluminium

**Stahlschlüssel**

**Einteilung nach Reinheit**

Allgemeiner Baustahl, Einsatzstahl, Vergütungsstahl, Nitrierstahl, Federstahl, Ventilstahl, Automatenstahl, Werkzeugstahl, Kesselstahl (Druckbehälterstahl?)  
 Beispiele → [EuroTabM46] S.131: S185  
 Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.123  
**Alt: St 37**

**1) Am TG suchen wir die Werkstoffe meist wegen der Festigkeitswerte. Wie unterscheiden sich diese Werte bei S235JR, S235JO und S235J2?**

Bei Baustählen werden häufig Angaben zur Kerbschlagarbeit gemacht (JR, JO..), weil Baustählen bei Kälte, Kerbwirkung und schlagartiger Belastung zum spröden Brechen (ohne Vorankündigung) neigen. Angegeben wird die Kerbschlagarbeit (J für 27J; K für 40 J) und zugehörige Temperatur (R für 20°C, 0 für 0°C, 2 für -20°C). Je niedriger die Temperatur und je höher die Kerbschlagarbeit, desto besser.

**Zusatzsymbole können am TG meist ignoriert werden**

Beispiele → [EuroTabM46] S.164..166  
 Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.163  
**Alt: GG-15**

S.261: J für Iron, weil man im Englischen manchmal J statt I schreibt, um das I nicht mit der 1 zu verwechseln, die im Englischen ebenfalls I geschrieben wird. Da Gusseisen praktisch keinen plastischen Bereich hat, wird weiterhin  $R_m$  angegeben.

**2) Was ist ein Vergütungsstahl?**

Vergütungsstähle sind für das Wärmebehandlungsverfahren Vergüten geeignet, und erreichen nach dem Vergüten deutlich höhere Festigkeitswerte.

Automatenstähle enthalten geringe Anteile von S, Pb (kommt aus der Mode, Bismut als Ersatzstoff siehe NE-Metalle)... die Späne brechen. A. werden verwendet, wenn spanende Fertigung gewünscht ist und keine besonderen Werkstoffeigenschaften gefordert sind. Pb kommt aus der Mode wegen seiner gesundheitsgefährdenden Wirkung.

Beispiele → [EuroTabM46] bei jedem Werkstoff  
 Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.122

Beispiele → [EuroTabM46] S. 143f  
 Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.124

Beispiele → [EuroTabM46]  
 Entschlüsselung → [EuroTabM46] S.183

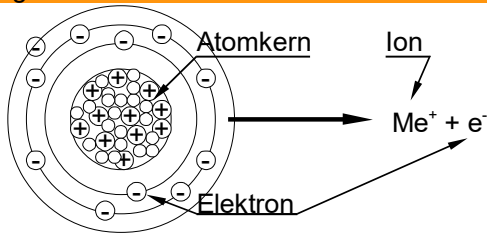
**Sintern = Urformen durch Pressen von Metallpulver**

Grundstahl, Qualitätsstahl, Edelstahl



## Aufbau metallischer Werkstoffe

### Bindungsmechanismus bei Metallen



Me geben leicht die äußeren (Valenz-)elektronen ab. e<sup>-</sup> bilden frei bewegliches Elektronengas und binden Me<sup>+</sup>.

Die Bindung ist richtungsunabhängig (isotrop).

### typische Merkmale der Metalle

#### Elektronenwolke / Elektronengas

→ hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit  
elektrochemische Korrosion, Supraleitung

→ hohe Festigkeit

FO Schildkröttaktik

→ richtungsunabhängige Bindung (Isotropie)

→ Metallatome streben zur dichtesten Packung

→ einfache umformbare Gitter (Kristalle)

Gleitebenen ermöglichen Verschieben und erneute Bindung, Details s.u..

**Erst Umformbarkeit macht Metalle technisch nutzbar.**

→ Atome sind austauschbar → Legierbarkeit

→ metallischer Glanz nach dem Bruch

### Verformung von Metallen unter Spannung

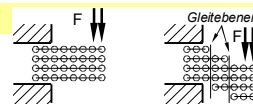
#### elastische Verformung

erfordert Überbiegen o.ä.



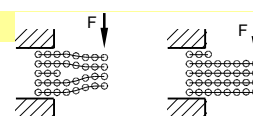
#### plastische Verformung

durch Versatz an Gleitebenen oder Zwillingsbildung



#### Kaltverfestigung

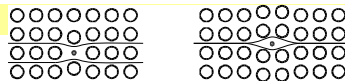
durch Schließen von Gitterfehlern



#### Legierung

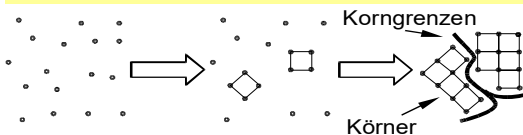
stört Gleitebenen

→ steigert Festigkeit



### mikroskopische Struktur

#### Wachstum aus der Schmelzen



#### Gefüge

- Körner (Kristalle) + Korngrenzen = Gefüge  
(feines Korn erhöht die Festigkeit)

[Schwab 2013] S.45: „Erst bei hohen Temperaturen stellen Korngrenzen Schwachpunkte dar, weil dann ein Korn am anderen abgleiten kann, so wie Menschen auf Glatteis.“

#### Gitterfehler

- Fremdatome (→ erhöhte Festigkeit)
- Lücken (→ Umformbarkeit)
- Verschiebung ganzer Lagen
- Gitterfehler senken die Festigkeit

**Ohne Gitterfehler sind Metalle mechanisch nicht nutzbar.**

[GrundwissenIng8] S.1003: „Metallische Bindung beruht darauf, dass Metalle sehr dazu neigen, positive Atomrümpfe zu bilden, wobei sie Elektronen der äußeren Schale abgeben, die dann nicht mehr zu einem bestimmten Atom gehören, sondern sich gewissermaßen 'frei' zwischen den positiven Atomrümpfen bewegen (freie Elektronen, Elektronengas). Sie bewirken als 'Kitt' den Zusammenhalt der gleichnamig geladenen Metallatomrümpfe. Außerdem ist ihre Beweglichkeit die Ursache für die gute Leitfähigkeit der Metalle für Elektrizität und Wärme.“

### AM Al-Blech mit großen Kristallen

- 1) Welche Struktur ist hier zu erkennen ?
- 2) Welcher Bindungsmechanismus verursacht solche Strukturen ? bzw. Wie sind Metallatome miteinander verbunden ?

Metallatome geben leicht ihre äußeren Valenzelektronen ab. Da im reinen Metall keine Atome vorhanden sind, die Elektronen aufnehmen, bilden sie eine frei bewegl. Elektronenwolke, die für die typischen metallischen Eigenschaften verantwortlich ist. Die richtungsunabhängige Bindung bewirkt, dass Metallatome zu dichten und dichtesten Packungen neigen.

#### FO Bindungsarten

[Tipler 1995] S.1317: Die „Wellenfunktion (der Valenzelektronen) erstreckt sich über das ganze Volumen“

Bindungsarten: [Hering 1992] S.634

Kräfte: Elektromagnet. Kraft bindet Atome zu Molekülen,

schwache und starke Kraft binden Protonen und Neutronen, starke Kraft bindet Quarks. Protonen bestehen aus 2 up- und 1 down-Quarks, Neutronen aus 2 down- und 1 up-Quark.

Isotropie = Unabhängigkeit einer Eigenschaft von der Richtung. Nicht zu verwechseln mit isentrop (= Zustandsänderung mit konstanter Entropie → Thermodynamik)

Salze zerfallen unter elektrischem Strom (Elektrolyse). Ihre thermische Leitfähigkeit beruht auf der engen Kopplung der Ionen, die Gitterschwingungen übertragen, und ist vermutlich geringer als bei Metallen.

- 1) Welche typischen Merkmale folgen aus dem Bindungsmechanismus ?

[Hering 1992] S.684: "In reinen Metallen ist die Wärmeleitfähigkeit durch Elektronen stets ein bis zwei Größenordnungen größer als durch Gitterschwingungen..."

[Hütte 29] B156: Elektrischer Widerstand bei Metallen durch Gittergrenzen und -fehler und durch schwingende Atome.

Salze zerfallen unter elektrischem Strom (Elektrolyse). Ihre thermische Leitfähigkeit beruht auf der engen Kopplung der Ionen, die Gitterschwingungen übertragen, und ist vermutlich geringer als bei Metallen.

Tischtennisbälle (Metallatome) ordnen sich in einer Kiste richtungsunabhängig, im Gegensatz zu Nägeln (Salzionen mit gerichteter Ionenpaarbindung).

- 2) Wie ordnen sich TT-Bälle an ?

Verformung findet in den Gitterebenen statt. Komplizierte Gitter (Zementit, Diamant, Quarz usw.) sind schwerer verformbar. Salze haben gerichtete Pole (Ionen), die bei Verschiebung einer Atomlage zu Abstoßung führen; [Skolaut 2014] S.344 Salze brechen im Spröbruch.

#### FO Gittertypen

Kristall (von grch. *krystallos* bzw. lat. *crystallus* = 'Eis, Bergkristall') bedeutet 'fester, regelmäßig geformter, von ebenen Flächen begrenzter Körper'.

Weil die Atomrümpfe rund erscheinen und ähnlich groß sind, sind sie vielen Kombinationen austauschbar. Fremdatome stören die Gitterebenen und erhöhen die Festigkeit. Salze können kaum Fremdiionen aufnehmen, weil auch die Richtung der Bindungen passen müsste.

Verformung und Bruch findet in den Gitterebenen statt, sodass frische Bruchflächen sehr glatt sind und glänzen.

#### Kurve Kräfte zwischen Atomen

- 1) Vergleiche die harte Feder: Wie verhält sich die Bindung unter Druck

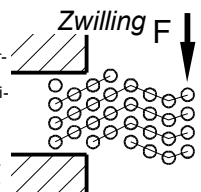
Abstand zwischen 2 Atomen verringert sich, abstoßende Kraft steigt sehr stark an: Metall kann nicht komprimiert werden.

- 2) Wie verhält sich die Bindung unter leichtem Zug

Verschiebung der Atomkerne, federn nach Entlastung ohne Veränderung (außer Hysterese) zurück: elastische Verformung

- 3) Wie verhält sich die Bindung unter großem Zug

Es verschieben sich komplette Lagen des Gitters und springen in ein neues Gitter: plastische Verformung. Die Besonderheit von Metallen ist, dass der Körper nicht nur nicht bricht, sondern eine hohe Festigkeit behält. Zwillingsbildung: Teile eines Kornes klappen in eine spiegelbildliche Lage (besonders hexagonale Gitter)



Kaltverfestigung entsteht durch Schließen der Gitterfehler.

Für monokristallines Fe wird  $R_m \approx 14000 \text{ N/mm}^2$  errechnet, tatsächlich ist  $R_m(\text{Fe}) \approx 150 \text{ N/mm}^2$ . Die Verschiebung entlang der Gitterebene muss also abgeschwächt sein.

Die Verschiebung der Gitterebenen endet an den Korngrenzen oder an Gitterfehlern. Ohne Gitterfehler wären Metalle praktisch nicht verformbar bzw. bearbeitbar, d.h. technisch nicht verwendbar.

Im Bild: Substitutionsmischkristall: Fremdatom ersetzt Wirtsatom, z.B. CuNi. Einlagerungsmischkristall: Fremdatom auf Zwischengitterplätzen, z.B. C in Fe.

#### AM Rogers Connection

- 1) Wie wird Metall fest? Wie erstarrt es aus einer Schmelze?

Wenn die Atome beim Abkühlen Bewegungsenergie verlieren, binden sich an vielen Stellen einzelne Atome. Mit weiterer Abkühlung binden sich weiterer Atome an die Keimzellen, die Kristalle wachsen und bilden ein System von Körnern mit Korngrenzen.

[Schwab 2013] S.45: Korngrenzen haben meist eine Dicke von 1 bis 2 Atom $\varnothing$ .

Bei Stahl erfolgt das Wachstum aus der Schmelze in Dendriten ähnlich wie bei Eisblumen.

"Runde" Kristallen mit höhere Festigkeit entstehen erst beim Umformen.

Korngrenzen beeinflussen die Festigkeit: Je kleiner die Körner, desto höher die Festigkeit (vgl. Kettenglieder beim Kettenhemd: Je kleiner, desto fester). Viele Körner erhöhen die Umformbarkeit, das es mehr Gleitebenen in mehr Richtungen gibt.

Rekristallisation: [Bargel/Schulze 2005]

- 2) Bezug auf Eingangsbeispiel

Gitter beginnen beim Abkühlen an vielen Kristallkeimen zu wachsen, jedes Gitter bildet ein Korn. An den Korngrenzen lagert sich ab: Schlacke, nicht gelöste Fremdstoffe, Grafit in GJ

[EuroTabM]: Schlibilder

- 3) Welche Bauweise hält besser: Mit Zement verbundene große Steine oder feinkörniger Kies mit Zement (= Beton)?

- 4) Folgen von Gitterfehlern

Wie sehr die Form von den äußeren Bedingungen, vor allem Abkühlgeschwindigkeit und Störfaktoren abhängen kann, sieht man bei Eiskristallen an der Fensterscheibe.

- **Verformbarkeit:** Bei plastischer Verformung muss nicht eine ganze Gitterebene verschoben werden, sondern nur bis zur nächsten Lücke. Die theoretische Festigkeit idealer Kristalle ist 100-fach höher als die reale → kann nicht bearbeitet werden könnten.
- **Fremdatome** können leicht von Lücke zu Lücke wandern. Dies ist wichtig beim Ändern von Stoffeigenschaften, (z.B. Aufkohlen)
- **Kaltumformung** nutzt die Gitterfehler aus. Der Werkstoff lässt sich bis zu einer bestimmten Grenze kalt umformen, dabei wird er härter und spröder (Kaltverfestigung). Wenn alle nutzbaren Baufehler genutzt sind, beginnt ein Teil zu reißen.
- **el. und therm. Widerstände** Gitterfehler stören el. und therm. Leitfähigkeit.

positive Atomrümpfe zu bilden, wobei sie Elektronen der äußeren Schale abgeben, die dann nicht mehr zu einem bestimmten Atom gehören, sondern sich gewissermaßen 'frei' zwischen den positiven Atomrümpfen bewegen (freie Elektronen, Elektronengas). Sie bewirken als 'Kitt' den Zusammenhalt der gleichnamig geladenen Metallatomrümpfe. Außerdem ist ihre Beweglichkeit die Ursache für die gute Leitfähigkeit der Metalle für Elektrizität und Wärme."



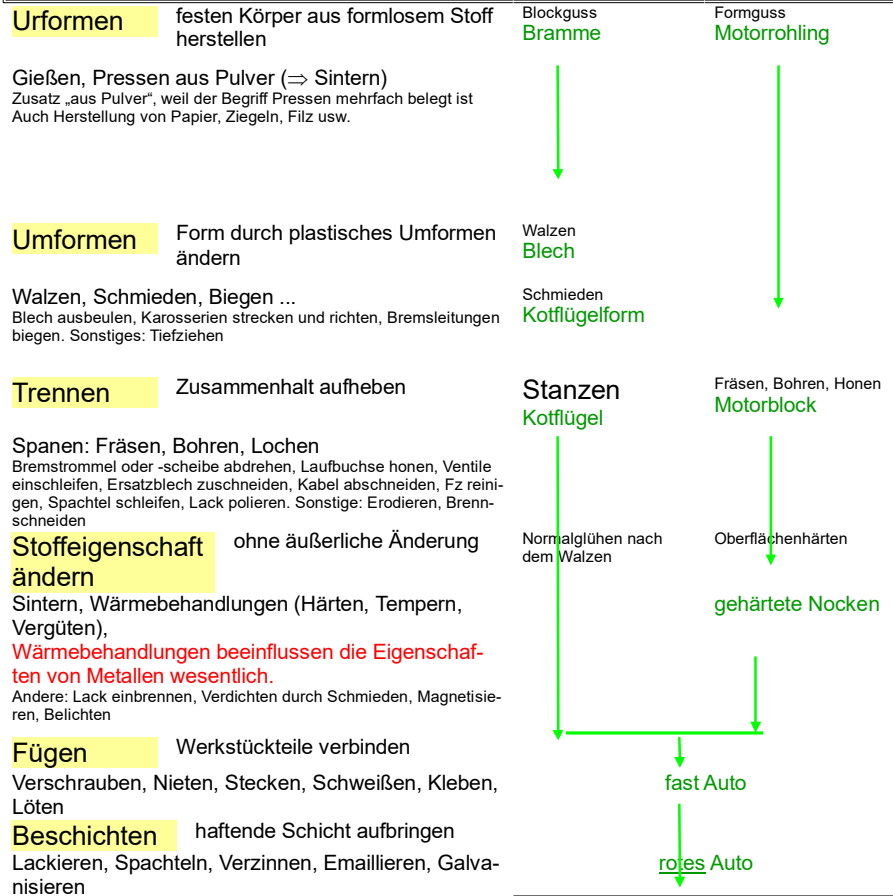
## Fertigungstechnik



# Hauptgruppen der Fertigungsverfahren am Beispiel eines roten Autos

z.B. Roheisen

Das Thema ist zur Einführung vor Fertigungsverfahren geeignet. Stoffeigenschaft ändern vertiefen, weil es keine LPE dazu gibt.



Vertiefung  
TG, Mbm AB Einteilung der Fertigungsverfahren

Modellauto; Klotz Roheisen

1) **Modellauto zeigen: Wie hat es vorher ausgesehen?**  
 TA jeweils nach dem Durchsprechen zur Wiederholung

2) **Klotz Roheisen: wie macht man daraus ein Auto?**

3) **Wir betrachten nur 2 ausgewählte Teile mit ausgewählten Bearbeitungsschritten**

3) **Welcher Arbeitsschritt muss vor allem mit Roheisen oder Schrott erfolgen? Gießen.**  
 Merkmal des Gießens: flüssiger, formloser Stoff erhält die erste Form => Urformen. (Uroma (=Oma vor der Oma), Uraufführung, Urgestein, Urknall, Urvogel, Urform, Urwerte). Bramme = Block (2x2x5m³) für das Walzwerk, heute sparen Dünnbrammen Umformenergie.

**Pressen: AMSinterblech** zeigen; Werkstoff?, Wasserdurchlässigkeit zeigen; warum für Filter und Lager?; wie hergestellt (Tipp: wie Fleischküchle aus formlosem Werkstoff?); Pressen aus Pulver. Vorteile: Hohlräume, hoch- oder unterschiedlich schmelzende Werkstoffe, z.B. **HM-Schneidplättchen** (harte, hochschmelzende verbunden mit klebrigen Metallen) und Fleischküchle. Festigkeit des HM wird wie bei Fleischküchle erst durch Druck und Hitze erreicht. => Sintern, s.u.

**Urformende Arbeiten des Kfz-Mechanikers? keine: Spachteln, Verzinnen gehört zum Beschichten, weil es keine eigene Form herstellt.**

**Urgeformte Teile am Kfz: Gehäuse, Kw und Nw wegen Kosten, Kunststoffteile usw.;**

**Walzen:** Wie wird aus der Bramme ein Blech? **FO Walzen.**

**Umformen: Welcher Unterschied besteht zum Urformen? Es ist eine Form vorhanden, die (um-)geändert wird: Umformen.**  
 Wie wird aus dem Blech ein Kotflügel? **FO Schmieden und Gesenkenformen.**

**Umformende Arbeiten des Kfz-Mechanikers: FO Richtbank, Strecken**

**Umgeformte Kfz-Teile:** Achsschenkel, Bremscheibe, Pleuel, Kw = hochbelastete Teile werden massiv geschmiedet, umgeformte Blechteile sind leicht.

**TA Umformen; Welche weitere Umformung findet am Motorblock statt? keine => Ültg.**  
**Wie muss der Motorblock weiter bearbeitet werden?** Fläche zum Zylinderkopf planfräsen, Zylinder ausdrehen und honen, Löcher zur Befestigung bohren und reiben, Gewinde bohren.  
 Merkmal dieser Verfahren: das ursprüngliche Werkstück wird weniger, es wird etwas getrennt

**FO Honen**  
 Trennende Arbeiten des Kfz-Mechanikers:; Getrennte Kfz-Teile: praktisch alle, außer Spritzgussteile uä.  
 TA Umformen; Welche weitere Umformung findet am Motorblock statt? keine => Ültg.  
 Muss am Kotflügel ebenfalls getrennt werden? Kanten abschneiden, ggfs. Löcher stanzen

**AM Nockenwelle:** Welche Belastungen erfährt der Nocken, welche Eigenschaften muss er haben? Darf man einen harten Werkstoff nehmen, der meist auch spröde ist? Wie muss der Nocken bearbeitet werden? Härten. Wie habt ihr euren Meißel gehärtet? Wärmebehandlung.  
**Video Härten eines Nocken (max 30")**

Wird beim Härten die Form geändert? nicht absichtlich und nur geringfügig, ggfs. nachschleifen. Was wird geändert? Eigenschaft! Bekannte Verfahren (TA s.o.)?

**AM HM-Schneidplättchen:** Die Festigkeit von HM nach dem Pressen genügt nicht: Sintern.  
**AM gegossene Rohrschelle** aus demselben GG; eine wurde durch Hammerschlag zerbrochen, die andere umgeformt worden. Welche unterschiedliche Eigenschaften hatten die beiden Teile? Wie wurde die Sprödigkeit in Zähigkeit geändert? Wärmebehandlung, hier tempern.  
 Stoffeigenschaft ändernde Arbeiten des Kfz-Mechanikers? Einbrennen von Lackierungen, beim Schweißen unabsichtlich Stoffeigenschaft geänderte Teile am Kfz: Nocken, Lager, Ventil Sitzringe, Zahnräder usw. Praktisch alle Metallteile erst durch unerwünschte, dann durch neutralisierende Wärmebehandlungen oder Kaltumformen (Verdichten).  
 Ist das Auto jetzt komplett? Zusammenbauen = Fügen

Fügende Arbeiten des Kfz-Mechanikers? Schrauben, Schweißen, Stecken, Clippen,

Man kann noch gar nicht erkennen, dass es ein Ferrari ist.

Impuls für Spachteln und Verzinnen: vor einer Reparaturlackierung

1BFM / BVJ

1) 6 Hauptgruppen drillmäßig wiederholen; Verfahren zu den Hauptgruppen; in welche Hauptgruppe gehören die Verfahren: Einbrennen, Löten, Spachteln, Verzinnen, Kabelschuh einstecken, Türverkleidung herausnehmen und wieder einsetzen, Ventile einschleifen, usw.

2) Logitech: a) Haus: Wir kommen aus dem Haus, es gießt: Urformen; b) Garage: Nachbar holt sein Auto aus der Garage: Trennen; c) Zaun: Muss jährlich gestrichen werden: Beschichten; d) Dahinter ein Baum: Man muss die Äste herunterbiegen, um an die Kirschen zu kommen: Umformen; e) Kreuzung: Zwei Auto stoßen zusammen: Fügen; f) Schule: Dumm hinein, schlau heraus: Stoffeigenschaft ändern

Ft\_TA\_00\_Fertigungsverfahren\_Ferrari.odt



Seitenumbruch

**Einteilung der Fertigungsverfahren**

Englische Begriffe für die Fertigungsverfahren  
Youtube-Videos finden und  
... auflisten (URL; Titel)  
Gruppenarbeiten mit Smartphones

**GA Bleistiftspitzer**

Gehäuse:

- Rundmaterial aus Mg
  - Erhitzen und Strangpressen ergibt Stange mit Profil des Gehäuses und Riffelung im Griff
  - auf Länge sägen (Kreissäge)
  - Prägungen auf dem Gehäuse können beim Einklemmen für die folgenden Schritte erfolgen
  - kegelige Bohrung für den Bleistift
  - zylindrische Bohrung für die Bleistiftspitze
  - Tasche für die Schneide fräsen
  - Gewinde vorbohren
  - Gewindebohren
- Schneide
- aufgewickelte Stahlband
  - Stanzen (1. Durchgangsbohrung; 2. Kontur)
  - Schneide schleifen
  - Schneide härten (möglich, nicht wahrscheinlich)
- Montage
- Teile zusammensetzen
  - Schraube einschrauben

**Fertigungsverfahren\_Einteilung\_AB**

- 1 Finden Sie für jedes Gruppe der Fertigungsverfahren ein Teil, das so gefertigt wird.

**Einfacher Bleistiftspitzer aus Metall**

2016 hatten ca. 40% der Schüler einen solchen Spitzer; dabei eingerechnet sind auch Modelle mit zusätzlichen Kunststoffgehäusen.

- 1 Überlegen Sie, wie der Bleistiftspitzer gefertigt wird.
- 2 Betrachten Sie das Gehäuse aus Mg und die Schneide aus St erst als Einzelteile. Gehen Sie von Halbzeug aus, das Sie im TabB finden, wobei die genaue Größe und der Werkstoff keine Rolle spielt.
- 3 Berücksichtigen Sie auch die Montage der Teile, die Herstellung der Schraube ist nicht Teil der Aufgabe.
- 4 Benennen Sie jeden Fertigungsschritt und skizzieren Sie jedes Zwischenprodukt.

**Vertiefung****Bleistiftspitzer (Maus)**

Ft\_TA\_00\_Fertigungsverfahren.odt

**Arbeitsplanung****Arbeitsplan für TG-Zug erstellen****Vertiefung****Hausaufgabe****FO Grundplatte des TG-Zuges**

- 1) Wie wird die Grundplatte hergestellt (Einzelteilfertigung unter Schulbedingungen)

**AB Arbeitsplan****AB Einzelteile des DLM**

Benennung, Zeichnungsnummer, Werkstoff → Zeichnung  
Halbzeug → TabB „Flachstahl“  
Kernlochbohrer → TabB „Gewinde „ M4

- 2) Selbst konstruierte Teile des TG-Zuges
- 3) Jeder erstellt alle Arbeitspläne für seine Einzelteile des TG-Zuges
- 4) und trägt die benötigte Zeit ein → wird im Teilfach Management benötigt

TZ\_TA\_Arbeitsplanung.odt

Seitenumbruch



## Visualisierung

### Produkte

#### Aluminiumleitern

*Aluminiumleitern – So wird's gemacht (04'59")*

Schmelzofen – Legieren – Rundprofil gießen – Sägen – Profil Extrudieren – Richten – Nieten – Aufkleber – Montage – Pressen

#### Akkumulator

*Batterien und Akkus – So wird's gemacht (04'36")*

Tiefziehen (Rohlinge mit fortschreitendem Ziehen) Pulver pressen – Falz formen – Schneiden – kleben – Füllen mit elektrolyt – Lötten – Bördeln – Etiketten aufschrumpfen

#### (Amphibienfahrzeuge)

*Amphibienfahrzeuge – So wird's gemacht (04'59")*

Schweißen – Pressen – WIG-Schweißen – Füllen mit Fett – Rostschutz beschichten – Zahnrad fräsen – Getriebe schalten – Variomatic – Schrauben – Polyethylen – Vakuumpresse – Ketten Nieten

#### Anstecknadeln

*Anstecknadeln – So wird's gemacht (04'38")*

Kupiersäge – Kleben – Schneiden – Stoffeigenschaften ändern (Lösemittel, Vulkanisieren) – Gießtrichter schneiden – messingstift stecken – Schleuderguss – Füllen – Polieren mit Steinen (Bezeichnung) – Galvanisieren – Füllen mit farbe – Tampondruck

#### Bleiakku

*Akku Blei – So wird's gemacht (05'00")*

Blei schmelzen und gießen – Füllen – Stecken -

#### Bleistiftspitzer

*bleistiftspitzer – Maus (05'14")*

Extrudieren – auf Länge sägen – Bohren – Schlitz fräsen – Gewindebohren – Klingen aus Bandstahl stanzen – Klingen schleifen – Schrauben sortieren - Verschrauben

#### Bohrer

*Bohrer – So wird's gemacht*

4:58": Stabmaterial – Zentrierbohren Runddrehen – Fräsen – Bohren – Einstechen – Innendrehen Schleifen

#### (Damaszenerklinge)

0'0":

#### Dosen

*Dosen Getränke – So wird's gemacht*

4'45": Alu-Coil → Ronde stanzen – Becher formen – Tiefziehen kaum zu sehen – Oberfläche ätzen – Reinigen – Spülen – Trocknen – Bedrucken – Lackieren – Beschichten – Bördeln kaum zu sehen

#### Druckknopf

*Druckknopf – So wird's gemacht (08'14")*

Messingband – Stanzumformen – Schmelzen – Brammen gießen – Walzen bis 0,3 mm – Streifen schneiden – Nieten in Ausrichtung sortieren – Transmissionsantrieb – Lackieren – Draht biegen

#### Eisenbahnschienen

0'0":

#### Federn

*federn – So wird's gemacht (05'00")*

Biegeautomaten – Steuerung durch Nocken

## Funkenerosion !

0'0":

### Kette Rundstahl

0'0":

### Kolben!

0'0": Gravieren, Schleifen

### Generatorwelle!

0'0":

### Spritzgussform

0'0":

## Fertigungsverfahren

### Umformen

#### Walzen

*Aluminiumfolie – So wird's gemacht (04'48")*

*Eisenbahnschienen – Maus (06'32")*

Stahlstäbe – Erhitzen im Ofen – Entzundern mit Wasserstrahl – mehrstufiges Walzen – Richten

#### Freiformschmieden:

*Schmieden klassisch – Maus (06'01")*

*Dampfhammer – Krupp um 1900 nach ZDF (0'11")*

*Damaszener Klingen – Galileo 2006 (08'51")*

Brennschneiden – Schmiedehammer – Feuerschweißen – Umformen – Schleifen – Ätzen – Härten (schlecht bis falsch erklärt)

*Schmieden Generatorwelle – Maus (11'18")*

*Schmiedestahl – Sow ird's gemacht (04'29")*

#### Gesenkschmieden

*Funkenersoison - FWU*

#### Biegeautomaten

*federn – So wird's gemacht (05'00")*

*Flüssiggasflaschen*

#### Trennen

#### Drehen

*Drehen - GS Achern (14:37")*

#### Stanzen

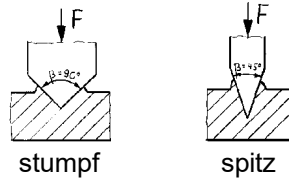
*Druckknopf - Galileo (08:14")*

Ft\_TA\_Visualisierung.odt

Youtube-Videos finden und listen! Als HA vergeben?  
Wasserhahn: Zwei Filme mit der Maus zeigen die Entwicklung der Fertigungstechnik



Schneidkeil



AM Plastilin, verschiedene Keile Grundform der Schneiden = Keile

- 1) Welche Schneide übt den größeren Druck aus? 2) Welche Folge hat der Druck für den Werkstoff? 3) Bei welchem Keil muss der Werkstoff weiter fließen? 4) Welche andere Wirkung, die wir vom Holz spalten kennen, ist größer?

Wirkung des Keilwinkel β

im Werkstück (Blech)

Table with 4 columns: Effect, blunt chisel, sharp chisel, comparison (+, >, <). Rows: Druck => Werkstofffließen, nötige Verformung, Spaltwirkung.

in der Schneide (Keil)

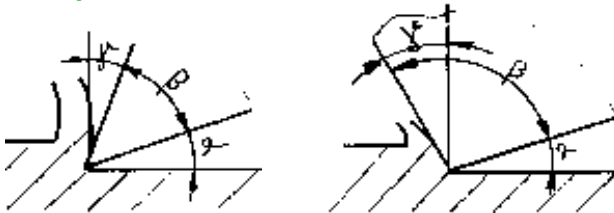
Table with 4 columns: Property, blunt chisel, sharp chisel, comparison (+, >, <). Rows: Festigkeit, Wärmeableitung, Schneidentemperatur, Verschleiß.

Wahl des Keilwinkels:

- Spitzer Keil wenn möglich (weiche Wkstf), stumpfer Keil wenn nötig (harte, zähe W.) - Weiche Werkstoffe erlauben kleine Keilwinkel, harte Werkstoffe erfordern große Keilwinkel

Winkel und Flächen am Schneidkeil

z.B. Sägezahn z.B. Drehmeißel für Hartguss



Trennwirkung durch

Druck des Schneidkeils staucht das Werkstück => Werkstoff fließt => Werkstück reißt bevorzugt im Bereich der Stauchung (höchster Druck); an den Korngrenzen (schwächste Stelle) oder vor der Spitze des Schneidkeils (größte Kräfte)

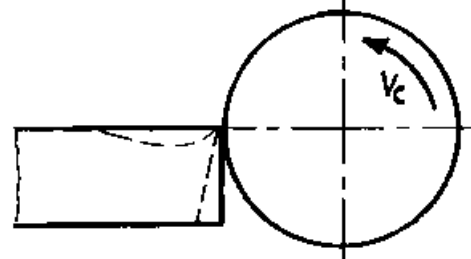
- 5) Ültg: der spitze Keilwinkel scheint ideal, warum wendet man ihn nicht immer an?

FO Keilwinkel beim Spanen für verschiedene Stoffe

Keilwinkel muss aus Spanwinkel und Freiwinkel ausgerechnet werden. Andere mögliche Formulierung: so spitz wie möglich (weiche Werkstoffe), so stumpf wie nötig (harte Werkstoffe).

Wdhg: 3 verschiedene Werkstoffe und Bilder von 3 verschiedenen Keilwinkeln zuordnen lassen.

Ein: AM Pappmodell von Drehmeißel und Werkstück an die Tafel kleben:



Der Meißel bewegt sich ja gar nicht - v. am Werkstück andeuten. An der Freifläche reiben Werkzeug und -stück - Freifläche aufklappen. Wie kann der Schnitt erleichtert werden - Spanfläche aufklappen. z.B. Schaber für Öltaschen und tragende Oberflächen haben beta < 0.

alpha = Freiwinkel > 0°

Klein: Reibung, Temperatur und Verschleiß; groß: schwacher Keilwinkel, Punktlast an der Schneide; großer Verschleiß. 3° bei harten und 12° bei zähen Werkstoffen (federn hinter der Hauptschneide zurück).

alpha + beta + gamma = 90°

Die Summe von Frei-, Keil- und Spanwinkel beträgt 90°.

beta = Keilwinkel > 0°

Klein: bessere Schneidwirkung (s.u.), aber geringere Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit

FO Keilwinkel beim Spanen

EuroTabM39 S246 „Drehen, Richtwerte“

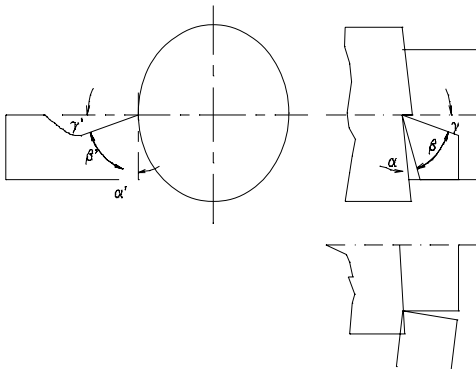
gamma kann kleiner als Null werden. Schnittwinkel delta = alpha + beta

Wdhg: Bilder mit verschiedenen Bezeichnungen der Winkel.

TG: ab hier überspringen und direkt zum Drehen

Winkel und Flächen am Drehmeißel

FO entwickeln



6 Wie wird die Außenfläche bearbeitet?

AM Kolben mit Kolbenbolzen und Pleuel

AM Holzmodell

gegen VA eines Drehwerkstückes halten. TA offline!: 3-Tafel-Projektion in der Folge VA, SR und DA entwickeln, um Ansichten zu üben. Konturen zunächst dünn weiß zeichnen, entwickelte Formen am Holzmodell zeigen und in korrespondierenden Farben als Volllinie zeichnen.

- Wo werden die (meisten) Späne abgenommen - (Haupt-)Schneide in Vorschubrichtung - Spanquerschnitt in DA zeigen - (Neben-)schneide, bearbeitet die Oberfläche - Wo ist die Hauptschneide in den anderen Ansichten? Wie groß soll alpha sein, wie groß ist es hier? - Hauptfreifläche und -winkel freilegen und zeigen; - Wie groß soll gamma für kleine Schnittkraft sein, wie groß ist er - Hauptspanfläche und -alpha zeigen - Wo ist die Nebenschneide und "Nebenspan"fläche? - Nebenspanfläche und -winkel freilegen und zeigen - Wo sind Haupt- und Nebenkeilwinkel - Kann eine Ecke vollkommen spitz sein: nein - Also muss man eine (genormte) Eckenrundung r angeben: je größer, desto besser Oberflächengüte und desto fester. - Vorteile großer Keilwinkel: Festigkeit - Modelle mit verschiedenen epsilon und gleichen beta - Warum haben diese Meißel nicht die gleiche Festigkeit - Eckenwinkel epsilon zwischen Haupt- und Nebenschneide, je größer, desto stabiler

AB, damit die Schüler den TA nicht abschreiben müssen

AB Begriffe am Schneidteil eines Werkzeuges



## Spanentstehung

FO Spanentstehung, FO Gefüge in der Scherzone (Drehen)

Durch den eindringenden Keil wird der Werkstoff vor der Spanfläche gestaucht, getrennt und fließt als Span ab.

### Spanarten

#### Bilder

#### Entstehung

#### Span

Video Spanentstehung ca. 13'

Vorbereitung: Wdhg metallisches Gefüge = Korn + Korngrenzen

Kurzbeschreibung: Zeigt Spanvorgänge beim Drehen unter dem Mikroskop. Sehr anschaulich für Verständnis der Vorgänge beim Spanen.

Begriffe: Spanwinkel, Aufbauschneide, Fließspan, Reißspan, Scherspan, Korn, Spanfläche.

#### Nachbesprechung

Spanwinkel ist nur ein Einfluss, aber man kann die anderen oft nicht beeinflussen

Fließspan bei großem Spanwinkel und weichem Werkstoff

Reißspan bei kleinem (negativen) Spanwinkel und hartem Werkstoff

Scherspan ist Mittelding und erwünscht

Zusätzliche neue Begriffe

**Aufbauschneide** entsteht, wenn sich Werkstoffteile vor der Schneide ablagern. Besondere Beanspruchung der Schneide, da die Aufbauschneide zunächst mit der wirklichen Schneide verschleißt, später abreißt und Material der Schneide herausreißen kann.

**Korngefüge des Werkstoffes** und Einfluss auf Spanvorgang.

TG: nur Video und Vertiefung, Rest zur Info

Ein Wie nimmt der Meißel den Span ab ?

⇒ EuroM52 S.96 „Spanbildung, -formen“

### Scherspan

schuppenförmiges Abscheren der Spanteile und z.T. Verschweißen  
Übergang zum Fließspan

0025 Spanentstehung; Einleitung; Versuchs Aufbau; Mikroskop, Vorgänge beim Spanen

0060 Spanvorgänge unter Mikroskop: **Bildbreite, Korngefüge**

0080 **Fließspan**: entsteht **ohne große Rissbildung** vor dem Keil wegen örtlicher großer Spannung. Es entstehen wenige kleine Risse auf der Unterseite und wird **durch große Spanwinkel und plastische Verformbarkeit begünstigt**.

0106 **Spanwinkel >0** : kaum Scherrisse

0120 **Spanwinkel =0** : mehr Stauchung, mehr Scherung, mehr Scherrisse

0146 **Spanwinkel <0** : viel mehr Verformung, viel mehr Scherrisse; Werkstückoberfläche

teils verdichtet; große Beanspruchung der Spanfläche; **Materialablagerung an der Schneide = Aufbauschneide**; Scherrisse an der Spanunterseite, beinahe Scherspan

0169 **Scherspan** : unveränderte Bedingung, aber **größere Schnitttiefe**; Haften an Spanfläche, Stauchen, Reißen

0192 **abgerundete Spitze** : **Übergang von Frei- zu Spanfläche**; **Man kann sehen, bei welchem Spanwinkel was auftritt**; **sehr negativer Spanwinkel: Schaben**

0262 **Fließ- und Scherspan**: **wechselndes Verhalten je nach Korngröße**

0294 **Reißspan** : **spröder Werkstoff (grobes Korn)**, **kaum plastische Verformung**,

schlechte Oberfläche durch Herausreißen

0365 abgerundete Oberfläche, geringen Schnitttiefe; zunächst Verdichtung, dann je größer der Spanwinkel, desto typischer die Rissbildung

### Ursachen

#### Werkstoff

#### Spanwinkel $\gamma$

#### Schnittg. $v_c$ , Vorschub $f$

### Wirkungen

#### Oberfläche

#### Maßhaltigkeit

#### Schnittkraft

Scherwinkel  $\Phi \approx 19$

spröde mit grobem, heterogenem Gefüge

klein

kleines  $v_c$ , großes  $f$

rau

schlecht

schwankend

Zerspanung schwingungsarm

Scherwinkel  $\Phi \approx 32$

zäh, verformbar mit gleichmäßigem Gefüge

groß

großes  $v_c$ , kleines  $f$

glatt

gut

ruhigeres Arbeiten der Werkzeuge

⇒ erwünscht wg. guter Oberfläche

⇒ lange Fließspäne stören Arbeitsablauf

### Spanleitstufe

Ültg: Wie kann die Spanform vom Werkzeug beeinflusst werden

beeinflusst Spanformen = vereinigt beide Vorteile

Fließspäne werden nachträglich gebrochen

⇒ z.B. kurze Wendelspane

⇒ gute Oberfläche, ungestörte Arbeit

### Spanformen

Einflüsse:  $v_c, f, h$  ↓ : Spanlänge ↑;  $\gamma$  ↓ : breitere, dünnere, längere Späne;  $\lambda$  ↓ : Späne laufen gegen Werkstück und können brechen.

Ültg: Neben den Spanarten unterscheidet man auch Spanformen.

EuroM52 S96 „Spanformen“

Band-, Wirr-, Wendel-, Spiralspäne: nach Eignung für die Handhabung (Spanabfuhr Entsorgung)

Einflüsse: Reichard10 S.99ff

Wenn nicht schon bei Werkzeugverschleiß

Ültg: aus dem Video heraus

### Aufbauschneide

Werkstoff lagert sich vor der Schneide ab

### Ursache

kleine oder negative Spanwinkel, niedrige  $v_c$ , zähe

Werkstoffe, Verwandtschaft zum Schneidwerkstoff

### Folgen

Änderung der Schneidengeometrie ⇒ Verschlechterung von Maßhaltigkeit und Oberfläche, Verschleiß.

### Vertiefung

Ab einer werkstoff- und werkzeugabhängigen Grenzgeschwindigkeit nimmt die Bildung der Aufbauschneide ab, aber bei sehr zähen Werkstoffen (z.B. Cu, Al99, Zn-Legierungen) kann die Geschwindigkeit nicht erreicht werden. Verwandtschaft der Werkstoffe liegt z.B. bei Al und  $Al_2O_3$  vor.

Verschweißen und Losreißen von Teilchen ⇒ Verschleiß

[EuroTabM46] S.300 Spanbruchdiagramm



Drehen  
AB entwerfen

- 1) Wie entsteht ein Span? Wie schneidet der Meißel durch Metall? Betrachtung am Beispiel Drehen, weil es leichter darstellbar ist.  
AM Drehteil, z.B. Kolbenbolzen, Drehmeißel, Späne
- 2) TA Drehteil, Meißel, Span. Winkel? →  $\alpha, \beta, \gamma$  eintragen  
Kraft von der Spanfläche auf den Span  
→ Span gleitet über Spanfläche → Reibung, Wärme, Umformung im Span, Scherung  
→ Spankräfte bewirken elastische + plastische Verformung um die Scherzone herum → Rückfederung der elast. Vf. bewirkt Reibung an der freifläche →  $\gamma$  darf nicht zu klein sein.  
→ Keilwirkung = voreilender Riss → Meißelspitze wird nicht unmittelbar belastet  
Video Spanbildung beim Drehen
- 4) Welche Wirkungen haben  $\alpha, \beta, \gamma$ ? TA ergänzen.

Drehen  
Spanentstehung

**Scherzone**

$d = \text{Frei}\ddot{a}$   
 $d \downarrow - \downarrow$  Oberflächenqual.

$\beta = \text{Keil}\ddot{a}$   
 $\beta \uparrow - \uparrow$  Standzeit  
 $\uparrow$  Schnittkraft

$\gamma = \text{Span}\ddot{a}$   
 $\gamma \uparrow - \downarrow$  Schnittleistung  $P_c$   
 $\downarrow - \uparrow$  Reibung, Verschleiß

Schnittleistung

$P_c = F_c \cdot v_c$  abh. von Werkstoff, Schneidstoff, Schmirgel

$= a \cdot f \cdot \frac{v_{cut,el}}{h \cdot v_c} \cdot C_1 \cdot C_2$

Schnittgeschwindigkeit  $v_c$

$v_c = \pi \cdot d \cdot n$

$v_c \uparrow - \uparrow$  Oberflächenqualität (glatter Schnitt) zum Schlichten

$v_c \downarrow - \downarrow$  Reibung, Leistungsbedarf zum Schneiden  
= großer Materialabtrag mit großem Spanquerschnitt

Werkzeugwinkel  $\neq$  Wirkwinkel  
Überlagerung  $v_c, v_f$

**weitere Einflüsse durch**

Neigung  $\phi$

Einstellwinkel  $\alpha$

Mittenstellung

über auf unter Nick  
→ senkieren (Meißel wird nicht in das Teil gezogen)

- 1) Welche Einflüsse haben  
TA Wirkwinkel: Neigungswinkel, Mittenstellung, Einstellwinkel,  $v_c, v_f$
- 2) TA Wirkwinkel

- 1) Woher kommt die Schnittbewegung? Was stellt man an der Maschine ein?  $n$
- 2) Was braucht der Meißel?  $v_c$
- 3) Wie werden die Größen umgerechnet?

Spanungsgrößen

AB Spanungsgrößen beim Drehen  
AB Spanungsgrößen beim Fräsen

Einflüsse auf die Standzeit

AB [Sandvik 1998] S.8

Vertiefung

- 1) Wdhg von der Kurbelwelle: Wie groß ist die Schnittleistung?  
AB Schnittkräfte

Überleitung

Spanungsgrößen beim Fräsen  
Vergleich Gleichlauf – Gegenlauf fräsen  
CNC-Koordinaten ermitteln  
Koordinatenberechnung (Pythagoras,  
Zur Übung: AB Kontrollmaßberechnung



**Schnittkraft beim Fräsen**

**Schnittdaten**

Werte → TabB "Schnittdaten Fräsen" (I)

- $v_c$  Schnittgeschwindigkeit
  - $f_z$  Vorschub je Zahn
  - $a_p$  max. Schnitttiefe
- sind abhängig von
- Schneidstoff (HM, HSS)
  - Werkstoff
  - Schruppen / Schlichten bzw. Grob- /Feinbearbeitung

**Einstellwerte**

Formeln → TabB (II, III)

- $n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$  (Drehzahl)
- $V_f = f_z \cdot z \cdot n$  (Vorschubgeschwindigkeit)

**Schnittkraft**

Formeln → TabB (II)

Schnittkraft  $F_C = 1,2 \cdot A \cdot k_C \cdot C$

- Korrekturfaktor 1,2 für Fräsen
- Spanungsquerschnitt  $A = a_p \cdot f_z$
- spez. Schnittkraft  $k_C$  → TabB (II), hängt ab von:
  - Werkstoff
  - Spanungsdicke  $h = f_z \cdot \sin \kappa$  bzw.  $h \approx f_z$  für  $d = 1,2 \dots 1,6 \cdot a_e$  (Bild → II)
- Korrekturfaktor C für Schnittgeschwindigkeit  $v_c$

**Schnittleistung**

**Schnittleistung  $P_C$**

- $P_C = z_e \cdot F_C \cdot v_c$
  - Korrekturfaktor 1,2 für Fräsen
  - Anzahl Schneiden im Eingriff  $z_e$  → TabB II
- Antriebsleistung  $P_{Mot}$   
berücksichtigt Verluste in der Maschine

-  $P_M = \frac{P_C}{\eta}$

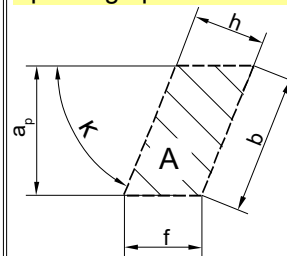
- $\eta$  Wirkungsgrad der Fräsmaschine  
= wichtigste Kenngröße des Ingenieurs

**Fräsen\_AB\_TG-Zug**

1) Schaftfräser Ø14 HSS in Al,  $z = 6$ , Schruppen. Ges.: Schnittdaten, Schnittkraft, Schnittleistung

Fundstellen	[Euro-TabM46]				
I "Schnittdaten, Fräsen"					
II "Schnittkraft, Stirnfräsen"					
III "Drehzahldiagramm"					

**Spanungsquerschnitt**

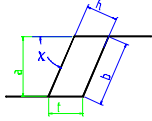


Ft\_TA\_39\_Schnittkraftberechnung.odt



Schnittkraftberechnung

(typische Ingenieurslösung) Span- und Spanungsgrößen



größer

Die grünen Angaben a und f sind Spangrößen, die Blauen sind Spanungsgrößen.

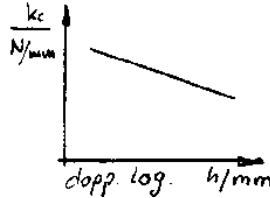
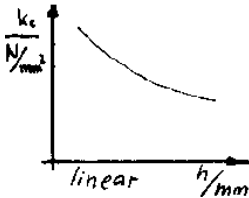
Grundformel

F\_c = A · k\_c · C\_1 · C\_2 = h · b · k\_c · C\_1 · C\_2 = f · a · k\_c · C\_1 · C\_2

- F\_c Schnittkraft [N]
A Spanungsquerschnitt [mm]
k\_c spezifische Schnittkraft [N/mm^2]
- spezifisch = bezogen auf die Spanfläche
- ≠ const, hängt von vielen Faktoren ab
- wird in Versuchen ermittelt

Zerspanungsgesetz

- 1) F\_c ≈ b (proportional der Eingriffslänge der Hauptschneide) => k\_c ist unabhängig von b
2) k\_c = f (Spanungsdicke h, Werkstoff).



Ermittlung der spezifischen Schnittkraft k\_c

- aus Tabellen
- Zwischenwerte interpolieren
oder:

k\_c = k\_{c1.1} / h^{m\_c} für Zwischenwerte

- k\_{c1.1} Hauptwert der spezifischen Schnittkraft [N/mm^2]
- h Spanungsdicke in mm [ ]
- m\_c Werkstoffkonstante [ ]

Korrekturfaktoren

- C\_1 für den Schneidstoff
C\_2 für den Schneidenverschleißstoff

Ingenieurwissenschaften

verfolgen zuallererst brauchbare Lösungen

Vertiefung

AB Übungsaufgaben zu Schnittkraft und -leistung

AB Übungsaufgaben zu Schnittkraft- und Leistung

Video Vorgänge beim Spanen

- 1) Ein Aufgabe 1a: Eine Welle aus 20MnCr5 soll mit einer Spannungsdicke von h= 0,2mm und einer Spanungsbreite b=0,5mm überdreht werden. Wie groß ist die Schnittkraft F\_c ?
2) Entnehmen Sie den Lösungsweg aus dem Tabellenbuch [EuroTabM] „Schnittkraft, Drehen“
3) Vorgänge bei der Spanentstehung FO Zerspanvorgang
Der Zusammenhang zwischen A, h, b, f, und a ergibt sich aus der Geometrie AB Spanungsgrößen beim Längsdrehen

Immer mit Einheiten rechnen!

- Als Konstrukteur wäre euch das egal, aber als TG'ler interessiert euch natürlich brennend
4) Einflussfaktoren auf die (spezifische) Schnittkraft und ihre Auswirkungen auf die Berechnung (im Detail siehe Reichard)
- Die Scherkraft ist proportional zur Scherfläche, diese steckt im Spanungsquerschnitt A
- Durch die Spanungsbreite b verändert sich der Spanvorgang nicht, außer dass die doppelte Spanungsbreite b auch die doppelte Schnittkraft benötigt. Die Schnittkraft ist also proportional zu b, das ist in der Formel mit dem Spanungsquerschnitt berücksichtigt.
- Der Umformgrad hängt vom Scherwinkel phi und vom Werkstoff ab. Der Scherwinkel hängt wiederum von der Spanungsdicke h und dem Werkstoff ab. Die spezifische Schnittkraft hängt also von der Spanungsdicke h und dem Werkstoff ab.
- Mit steigender Spanungsdicke h wird der Span immer weniger umgeformt, d.h. doppelte Spanungsdicke h bzw. doppelte Spanmenge benötigt nicht mehr doppelte Schnittkraft. Die spezifische Schnittkraft k\_c sinkt mit der Spanungsdicke h.

Einheiten:

Viele ingenieurstypische Formeln werden ohne Einheit gerechnet, entweder weil der Umrechnungsfaktor in der Formel enthalten ist oder weil die Einheit keinen Sinn ergäbe (wie hier mit mm^m). Obwohl die Einheit scheinbar vernachlässigt wird, muss sie hier noch viel stärker beachtet werden, weil in der „richtigen“ (nicht cm statt mm) Einheit eingesetzt werden muss. In „normalen“ Gleichungen ist dies nicht notwendig, weil man die Einheit noch umrechnen kann, hier dient das Rechnen mit Einheiten der Kontrolle des Rechenweges.

[EuroTabM] „Schnittkraft, spezifische“

Lsg Aufgabe 1a

F\_c = h · b · k\_c = 0,2mm · 0,5mm · 2225 N/mm^2 = 222,5 N oder
F\_c = h · b · k\_{c1.1} / h^{m\_c} = 0,2 · 0,5 · 1465 N / 0,2^{0,26} = 222 N/mm^2

Die Korrekturfaktoren wechseln gelegentlich in den TabB [EuroTabM46] S.319 „Drehen, Schnittkraft und Schnittleistung“ [EuroTabM46] S.329 „Fräsen, Schnittkraft und Schnittleistung“ [EuroTabM46] S.335 „Bohren, Schnittkraft und Schnittleistung“

Zum Verständnis der Ingenieurwissenschaften:

Technische Probleme sollen mit vertretbarem Aufwand gelöst werden und können nicht wie in der Physik von der realen Umwelt getrennt werden. Die zugrundeliegenden Zusammenhänge sind meist so komplex, dass sie mathematisch gar nicht gelöst werden können. Man versucht deshalb, die Lösung technischer Probleme in möglichst einfach handhabbaren Formeln, Diagrammen oder Tabellen nieder zu legen. Ggf. notwendige Kennwerte werden in standardisierten Versuchen ermittelt, Abweichungen vom vorgegebenen Parametern in Korrekturfaktoren eingebracht. Sollten die Zusammenhänge selbst dafür zu komplex werden, werden Sicherheitsfaktoren eingeführt. Alle Angaben stammen dann entweder aus Versuchen oder aus Erfahrungswerten, mathematische Lösungsanteile stammen meist von Ingenieuren. Die Beiträge der Mathematiker oder Physiker hinken oft um Jahrhunderte hinterher (z.B. Festkörperphysik oder Statik von Kathedralen), moderne numerische Verfahren (FE?) stammen häufig von Ingenieuren.

Ingenieurslösungen sind nicht exakt im physikalisch-mathematischen Sinne, aber brauchbar. Wenn große Sicherheitsfaktoren nicht möglich sind (z.B. im Flugzeugbau), muss großer Aufwand in Forschung vorher und Wartung nachher betrieben werden.

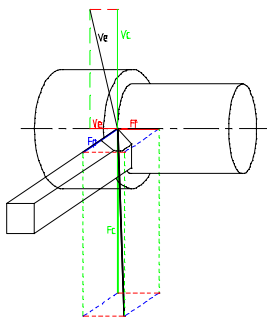
Programmablaufplan gemäß Handskizze





### Schnittkräfte beim Drehen

Zur Verdeutlichung der 6 Freiheiten dient ein Flugzeug, das Bewegungen in 6 Richtungen ausführen kann.



- $F_c$  Schnittkraft
- $F_f$  Vorschubkraft
- $F_p$  Passivkraft
- $F$  Zerspankraft

FO Flugzeug

vektorielle Addition  
(Parallelogramm)!

1) Wdh.:

AB Spanungsgrößen beim Drehen

2) Welche Kräfte und Bewegungen muss die Meißelspitze übertragen?

AB Einstellungen und Schnittkraft beim drehen

} **Aktivkraft, bestimmt die Maschinenleistung**

Passivkraft, auch Rückkraft, bewirkt Reibung und Verformung von Werkstück und Maschine (lange Werkstücke werden ballig).

$$\begin{aligned}
 &+ v_c \text{ Schnittgeschwindigkeit} \\
 &+ v_f \text{ Vorschubgeschwindigkeit} \\
 &+ v_e \text{ gibt's nicht} \\
 &= v_w \text{ Wirkgeschwindigkeit}
 \end{aligned}$$

Vorschubbewegung ermöglicht zusammen mit der Schnittbewegung eine stetige oder mehrmalige Spanabnahme während mehrerer Umdrehungen. Statt Umdrehung sind auch Hübe möglich (Hobeln, Stoßen). Zustellbewegung bestimmt die Dicke der jeweiligen Schicht im Voraus. Nachstellbewegung gleicht Werkzeugverschleiß, thermische Längenänderungen usw. aus. Anstellbewegung führt das Werkzeug an das Werkstück heran.

### Einfluss der Einstellungen

#### Einstellwinkel $\chi$

zwischen Hauptschneide und Werkstückachse  
 Bestimmt die Verteilung zwischen  $F_f$  und  $F_p$ .

Ütg: Wie die Kräfte und Geschwindigkeiten verändern sich auch die Winkel am Meißel im Einsatz. Während die Werkzeugwinkel am ruhenden Werkzeug betrachtet werden, hängen die Wirkwinkel von den verschiedenen Einstellungen ab.

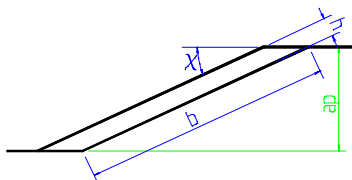
Vergleiche Flugzeug: Gieren

FO Einfluss des Einstellwinkels  $\chi$  auf Passiv- und Vorschubkraft

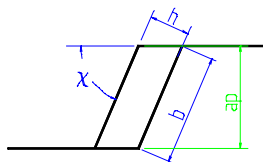
Kräfteverteilung Schroedel S65

FO zweckmäßige Wahl des Einstellwinkels Zerspantechnik S.8

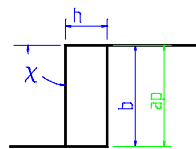
$\chi < 30^\circ$



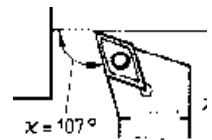
$\chi = 45 \dots 75^\circ$



$\chi = 90^\circ$



$\chi > 90^\circ$



große Spannsbreite

⇒ geringe spezifische Schneidenbelastung

⇒ harte Werkstoffe

Schälspan

⇒ gute Oberfläche, ⇒ Schlichten.

große Passiv-(Rück-)Kräfte

Kompromiss zwischen Schneidenbelastung und Kräften  
 ⇒ Schruppen

geringe Passivkraft

⇒ schlanke, schwingungsfähige Werkstücke und

⇒ zum Schlichten.

Formdrehen, Freistiche usw.  
 Spitze ist bruchgefährdet.

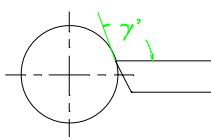
Die Spannsbreite nimmt zu, d.h. ein längerer Teil der Schneide ist im Einsatz und die spezifische Schneidenbelastung nimmt ab. Kräfte werden senkrecht zur Oberfläche übertragen. Um die Vorschubkraft zu erzeugen, muss man radiale Kräfte aufbringen. Diese kosten zwar keine Leistung, verformen aber Maschine und Werkstück.

#### Erklärung Schälspan

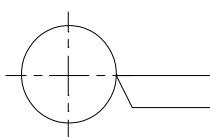
Große Passivkraft erzeugt ballige Körper, da das Werkstück weggedrückt wird, ohne dass das Werkzeug folgt.

### Mittenstellung

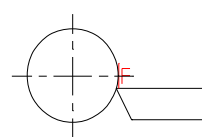
über Mitte



auf Mitte



unter Mitte



verringert Wirkspanwinkel  
 ⇒ Schnittkraftverringern  
 ⇒ Schruppen (gelegentlich)

ist die Regel beim Formdrehen zwingend.

Werkzeug wird weniger in das Werkstück gezogen  
 ⇒ Schlichten (gelegentlich)

Vergleiche Flugzeug: Nicken

FO Wirkungen des Neigungswinkels  $\lambda$

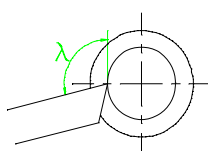
#### Wirkwinkel und Werkzeugwinkel sind unterschiedlich

Vgl. Wirkwinkel beim Drehen von Trapezgewinden,  $v_c$  und  $v_e$  sind unterschiedlich (wegen  $v_f$ )

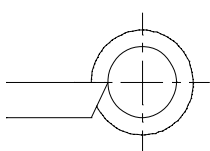
FO Werkzeugwinkel und Wirkwinkel

### Neigungswinkel $\lambda$

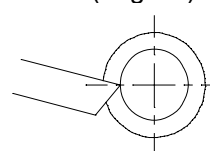
$\lambda > 0$  (positiv)



$\lambda = 0$



$\lambda < 0$  (negativ)



Span weg von der Oberfläche ab  
 ⇒ Schlichten  
 Spananschnitt an der Spitze  
 ⇒ Verschleiß

Span auf die Oberfläche  
 ⇒ spanbrechend ⇒ Schruppen  
 Spananschnitt an der Schneide  
 ⇒ unterbrochener Schnitt

ziehender Schnitt ist negativ!  
 Winkelkonvention wie beim Spanwinkel  $\gamma$ .



Fräsen

Definition und Verfahren

Vergleich der Planfräsverfahren

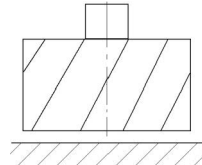
[EuroTabM] 44.Auflage einarbeiten!

AB Fräsen (Roßhart)

Werkzeuglage

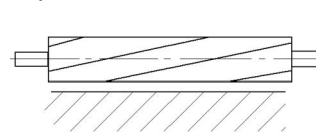
Stirn-Planfräsen

Fräserachse senkrecht ..



Umfangs-Planfräsen

... parallel zur Oberfläche



Skizze

FO Planfräsverfahren

Zeitspannungsvolumen

leichter zu wechseln  
größer, da die kürzere Ein-  
spannung größere Kräfte  
erlaubt.

geringer

die größere Vorschübe beim Stirnplanfräsen  
senken auch den Energiebedarf je Spa-  
nungsvolumen

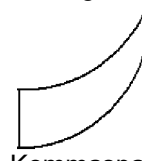
Spanbildung

gleichmäßig oder



doppelter Kommaspan

ungleichmäßig



Kommaspan

FO Stirnplanfräsen

Schneidenbeanspruchung

niedriger, wegen gleichmä-  
ßiger Späne

höher durch schlagartigen  
Ein- oder Austritt

Oberflächengüte

glatter, da  
- gleichmäßige Belastung  
- Schichten durch Neben-  
schneide

rauer, da ungleichmäßige  
Belastung  
und wegen erschwerten Flusses des Kühl-  
schmierstoffes

Stirn-Planfräsen meist besser als Umfangs-Planfräsen

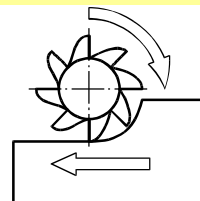
Ausnahmen: Scheibenfräser, gleichzeitiges Fräsen mehrerer Ebenen, Mischverfahren Stirn-  
Umfangs-Planfräsen

Durchmesser des Messer-  
kopfes.

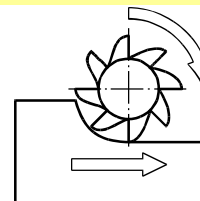
FO Umfangsplanfräsen

Drehrichtung beim Umfangs-Planfräsen

Gleichlaufräsen



Gegenlaufräsen



Bewegungsrichtung

Schneidenbewegung mit ...

... gegen Vorschubrichtung

Es gilt die Vorschubbewegung des Werkstü-  
ckes

Schnittverlauf

schlagartiger Eintritt

schlagartiger Austritt

Werkstückoberfläche wird

geschnitten  
Einschnitt in die alte Oberfläche

geschabt, gedrückt  
Einschnitt in die neue Oberfläche

Schaben erhöht Werkzeugverschleiß

Oberflächenqualität

besser  
erkennbar am matten Glanz

schlechter

Schnittkraft

abnehmend

zunehmend

Lastwechsel

waagrecht: Werkstück  
wird geschoben  
→ spielfreier Antrieb nötig  
(Kugelumlaufspindel)

senkrecht: Werkstück wird  
aus der Halterung gezogen  
→ Rattermarken

AM Kugelumlaufspindel  
FO Tischführung

Sonstiges

Werkstück wird nach unten  
gedrückt → dünne Bleche

Oberfläche wird von hinten  
durchgeschnitten → harte  
Oberflächen, z.B. Guss  
schabender Anschnitt →  
Freiflächenverschleiß →  
kürzere Standzeit

Standzeit = Zeit im Eingriff bis zum Nach-  
schleifen

Gleichlaufräsen ist besser als Gegenlaufräsen

Ausnahmen: harte Oberflächen (z.B. Guss), alte Tische



**Fräswerkzeuge**

**Fräserformen**

**Werkzeugtypen**

**Zahnformen**

spitzgezahnt / hinterdreht

**Zahnrichtung**

wendelgezahnte Fräser

- + ruhiger Lauf, geringe Schnittkräfte
- + gute Spanabfuhr
- + Axialkräfte (aufs Spindellager richten)

kreuzgezahnt

- + Vorteile wie wendelgezahnt ohne Axialkraft
- nur für schmale Fräser

geradgezahnt

**Schrupfräser**

Zähne auf Lücke => kurze, dicker Späne

*AB Fräswerkzeuge*

Hinterdrehen von Formfräsern notwendig

Vgl. Bohrer: schwach gewendelte Bohrer sind ebenfalls Typ H. Der Typ W ist bei allen spannenden Werkzeugen am besten an den größeren Spanräumen zu erkennen.

[EuroTabM46] S.332 „Bohren, Schnittdaten“

*FO Fräser verschiedener Typen*

Hinterdrehte Fräser haben eine spiralförmige Freifläche, damit der Freiwinkel bei durch Nachschleifen verringertem Durchmesser konstant bleibt: konstanter Freiwinkel heißt aber auch, dass das Verhältnis Abnahme der Spanfläche zu Durchmesser verringering konstant bleibt, sodass das Fräserprofil erhalten bleibt, wenn der Spanwinkel korrekt eingehalten wird.

*AM Fräser mit verschiedener Zahnrichtung*

kombinierte Fräser möglichst gegenläufige wenden.

*AM Schrupfräser*

Ft\_TA\_32\_Fraesen.odt



## 3D-Drucker

### Aufbau des 3D-Druckers

- 3 Achsen + Extruder
- Heizspulen, Temperatursensoren
- Endstopp als Referenzmarken
- Schrittmotoren (Stepper, ohne Lageregelung)
- Ansteuerung von Motoren und Heizung über RAMPS (Leistungselektronik)
- Steuerung über Arduino Mega (=Kleincomputer)
- Treiber übersetzt G-Befehle in Signale für Stepper
- erhält G-Befehle vom PC (SW: Replicator, Pronterface ..)
- Slicer erzeugt G-Befehle aus SLT-Datei (Einstellungen: Schichtdicke, Verfahrensgeschwindigkeit, Support-Verfahren, Füllgrad von massiven Körpern ..)
- SLT-Datei von CAD-Programm (SW: Inventor), Scanner oder fertig aus Internet-Katalogen (Thingiverse.com...)
- 

### CAD: Anforderung an Konstruktionen für 3D-Druck

- druckt ab XY-Ebene in +z-Richtung (Achtung bei älteren Inventorversionen und Drehteilen)
- Überhänge mit  $< 60^\circ$  zur Waagerechten müssen gestützt werden (→ Support)
  - Support macht Slicer, wenn es in den Einstellungen vorgegeben ist
  - Support muss manuell mühselig entfernt werden.
- massive Teile bekommen ca. 3 Außenschichten, innen wird nicht massiv gedruckt. Anzahl der Außenschichten, Füllgrad, Füllmuster kann man im Slicer einstellen.

### Ziel:

- Aufbau und Funktion kennenlernen
- Selbst drucken

Details: [https://ulrich-rapp.de/stoff/..](https://ulrich-rapp.de/stoff/)

### Ablauf

- Drucker aufstellen und justieren
- Umbau ABS ↔ PLA
- Winkligkeit kontrollieren und korrigieren
- Teile konstruieren und drucken (TG-Zug, Schachspiel ..)
- Zeit organisieren :
  - Vormittags nur kurze Probedrucke
  - Größere Teile vormittags konstruieren, Druckplatte voll machen, über Nacht drucken



Seitenumbruch

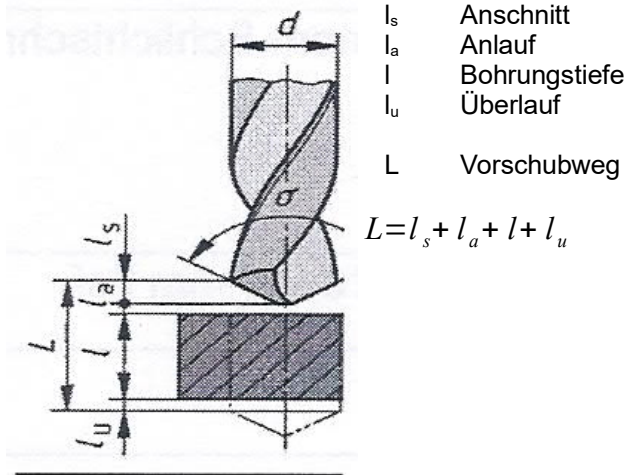
Hauptnutzungszeit  $t_h$

ist die Zeit, in der eine Maschine  
– ihre eigentliche Funktion erfüllt  
– mit Arbeitsvorschub fährt

Herleitung

Vorschubwege

z.B. Durchgangsbohrung



Formel

$$t = \frac{s}{v_f}$$

$$t_h = \frac{L}{v_f \cdot i} = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$

$t_h$  Hauptnutzungszeit  
 $v_f$  Vorschubgeschw.  
 $i$  Anzahl der Schneiden  
 $n$  Bohrerndrehzahl

Fertigungszeiten FZ für IUS

$$FZ = t_h + \text{Nebenzeiten}$$

Nebenzeiten: z.B Rüstzeiten

Vertiefung

Ein: Wie lange braucht man für eine Bohrung?

Bei einer Bohrmaschine ist die Hauptnutzungszeit der Bohrvorgang, aber nicht Rückhub, Spannen des Werkstückes, Wechsel des Werkzeuges ...

[EuroTabM] „Hauptnutzungszeit, Bohren“

AB Hauptnutzungszeit beim Bohren



### Berechnung von CNC-Koordinaten (Winkelfunktionen)

fehlt

### Werkstoffkunde

#### Zugversuch

##### Zweck

- dient der Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei einachsiger Zugbeanspruchung
- liefert wichtige Werkstoffkennwerte, die auf viele andere Belastungsarten übertragbar sind.

##### Durchführung

##### Zugprobe

- wegen ihres Einflusses auf das Ergebnis sind genormt:
- Form (rund oder flach)
  - Zylinderköpfe (glatt oder Gewinde)
  - Oberfläche (Rz 6,3)
  - Längenverhältnis (Proportionalstäbe)

Kurzer Prop.-Stab rund bzw. beliebig	Langer Prop.-Stab (für Sonderfälle)
$\frac{L_0}{d_0} = 5$ bzw. $\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} = 5,65$	$\frac{L_0}{d_0} = 10$ bzw. $\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} = 11,3$

##### Ablauf

man zieht die Zugprobe langsam und ruckfrei bis zum Bruch und zeichnet die Kraft F und Länge L auf.

##### Standardisierung

Werkstoffkennwerte werden unabhängig von den Maßen des Bauteiles angegeben.

##### Zugkraft F ↔ Zugspannung $\sigma_z$

$$\sigma_z = \frac{F}{S_0} \quad \text{in} \quad \left[ \frac{N}{mm^2} = MPa \right] \quad S_0 = \text{Anfangsquerschnitt}$$

##### Längenänderung $\Delta L$ ↔ Dehnung $\epsilon$

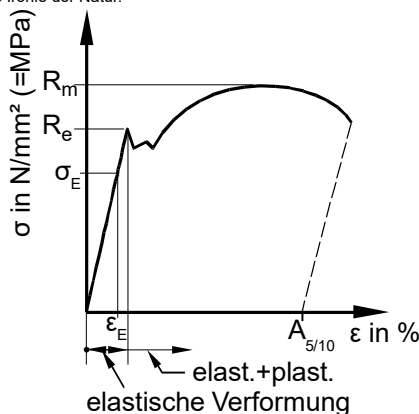
$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L} \quad \text{in} \quad [\% \text{ oder o.E.}] \quad L_0 = \text{Anfangsmesslänge}$$

Die Werte werden aufgezeichnet im

##### Spannungs-Dehnungs-Diagramm

##### mit ausgeprägter Streckgrenze

[Schwab 2013] S.154: „... ausgeprägte Streckgrenze [tritt] nur bei wenigen Werkstoffen auf[...] .. ausgerechnet bei den einfachen Baustählen, der meistgebrauchten metallischen Werkstoffgruppe, eine Ironie der Natur.“



- 3) Beschreiben Sie den Kurvenverlauf (makroskopische Vorgänge)
  - 4) Gleichmaßdehnung  $A_g$  ist verzichtbar
  - 5) dann Bezug auf die mikroskopischen Vorgänge
- AB verschiedene gezogene Zugproben

Quellen: DIN EN 10002:2001 Metallische Werkstoffe - Zugversuch in [Klein 2008], [Hering 1992], [Bargel/Schulze 2005]

- 1) Ein: Bauarbeiter unter schwebender Last; Bungeespringen  
Was gibt dennoch einigermaßen Sicherheit?
- 2) Aufbau und Ablauf mündlich entwickeln, anschließend Zugversuch in der Werkstatt durchführen oder Video zeigen.

Prüfungen sind lange üblich, z.B. enthält [Musschenbroeck 1729] Hinweise zu Prüfmaschinen und Spannungsprüfungen bei Drähten [Ferguson 1992] S.204, Fußnote 9). Ein anderes Beispiel ist [Agricola 1548]

-> [EuroTabM] „Zugversuch“

FO verschiedene Zugproben

FO Einfluss des Längenverhältnisses auf die Bruchdehnung

AM Papierstreifen

FO gespannte und umgeformte Gewinde

Abhängig vom Längenverhältnis ist z.B. die Bruchdehnung A, weil die Verformung nach der Einschnürung nicht von der Anfangslänge abhängt.

Die Proportionalitätsfaktoren  $k = 5,65$  bzw.  $11,3$  ([Bargel/Schulze 2005] S.98; [EuroTabM] „Baustähle, unlegierte“) für beliebige Querschnitte wurden im Abi bisher nicht verwendet, sondern nur  $L_0/d_0 = 5$  bzw.  $L_0/d_0 = 10$  für runde Proportionalstäbe, gelegentlich mit Umrechnung in entsprechende Flachproben.

Die Proportionalitätsfaktoren  $k = 5$  für runde Stäbe und  $k = 5,65$  für beliebige Stäbe können ineinander umgerechnet werden.

$$\frac{L_0}{\sqrt{S_0}} = \frac{L_0}{\sqrt{\pi/4 \cdot d_0^2}} = \frac{L_0}{\sqrt{\pi/4} \cdot d_0} = \frac{1}{\sqrt{\pi/4}} \cdot \frac{L_0}{d_0} = \frac{1}{\sqrt{\pi/4}} \cdot 5 \approx 5,65$$

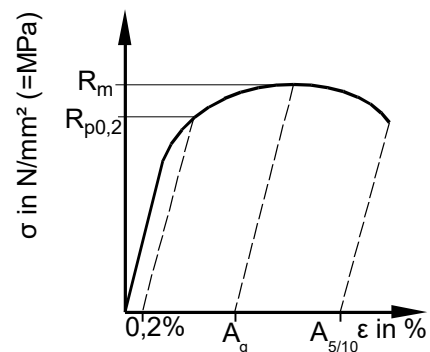
Langsam und ruckfrei wegen dynamischer Kräfte, vergleiche: Spalten von Holz. Was langsam ist, hängt vom Werkstoff ab.

Damit die Ergebnisse unabhängig von der Probengröße werden, bezieht man sie auf Querschnittsfläche und Länge der Probe. Den Einfluss von Oberfläche und Längenverhältnis vernachlässigt man zunächst. Wenn es genauer sein muss: Im TabB sind die Streckgrenzen  $R_e$  bei Stahl abhängig von der Erzeugnisdicke angegeben, und bei der Bruchdehnung gibt man das Längenverhältnis als Index an, z.B.  $A_5$  oder  $A_{10}$ , wg. des seines Einflusses. Andere Beispiele: zulässige Stromdichte Spannung ist auf Fläche bezogene Kraft.

Ingenieure rechnen mit Zugspannungen, die auf den Anfangsquerschnitt bezogen sind, und ignorieren, dass der Querschnitt kleiner und die tatsächlichen Spannungen größer werden, weil man Bauteile kaum noch beeinflussen kann. Dagegen betrachten Festkörperphysiker bei der Untersuchung von Werkstoffverhalten die tatsächlichen Spannungen im engsten Querschnitt.

100% = 1, kann in der Formel auch entfallen

##### ohne ausgeprägte Streckgrenze



AB SDD kombiniert mit Gitterbildern und 2ten Achsen F und  $\Delta L$

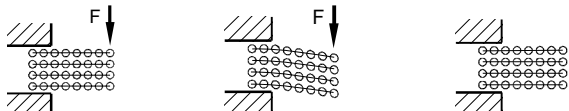


### Vorgänge im Werkstoff

Metallische Gitter sind einfach angeordnet

#### elastische Verformung

vorher unter Last nachher



Werkstoff verhält sich wie eine Feder und nimmt nach Entlastung die ursprüngliche Form wieder an.

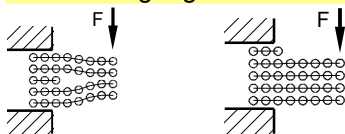
#### Einschwingverhalten

#### plastische Verformung



Werkstoff wird bleibend verformt

#### Kaltverfestigung.



Gitterfehler werden geschlossen, die Streckgrenze eines Metalles steigt beim Umformen (Walzen, Schmieden ..)

Hinweise: Einen gebogenen Draht kann man nicht einfach an der Biegestelle zurückbiegen. Bis zur Bruchdehnung bleiben Zugproben zylindrisch, weil bereits gedehnte Bereiche eine höhere Festigkeit bekommen und die weitere Dehnungen erstmal woanders stattfindet.

#### Einschnürung

Nach Überschreiten von  $R_m$  tritt Einschnürung der Probe ein. Die Kraft im Diagramm sinkt bis zum Bruch.

#### Kennwerte aus dem Zugversuch

Es gilt das Hooke'sche Gesetz:  $\sigma = E \cdot \epsilon$

Streckgrenze  $R_e$  – Dehngrenze  $R_{p0,2}$

= Grenze des elastischen Bereiches [N/mm<sup>2</sup> = MPa]

#### (Der) Elastizitätsmodul E

[kN/mm<sup>2</sup>] (E-Modul)

– ist ein Maß für die Steifigkeit

–  $E = \frac{\sigma_E}{\epsilon_E}$  mit einem Wertepaar ( $\sigma_E$ ;  $\epsilon_E$ ) von der Hooke'schen Geraden

#### Zugfestigkeit $R_m$

in [N/mm<sup>2</sup> = MPa]

– das Überschreiten von  $R_m$  führt zum Bruch

#### Bruchdehnung A (=A<sub>5</sub>) oder A<sub>10</sub>

in [% oder ohne Einheit]

– Bleibende Verformung nach dem Bruch

– Index = Längenverhältnis der Zugprobe

→ starker Einfluss auf die Bruchdehnung (s.u.)

#### Brucheinschnürung Z

→ TabB

$$Z = \frac{S_0 - S_U}{S}$$

#### Streckgrenzenverhältnis $V_s$

$$V_s = \frac{R_e}{R_m}$$

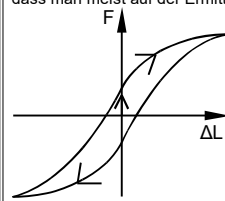
#### Vertiefung

1) Ordnen Sie Kurven mit verschiedenen Streckgrenzenverhältnissen zu:

Bruchgetrenntes Pleuel, FO Tiefziehen

Seil einer Hängebrücke (plastische Verformung erwünscht, um Überlastung anzuzeigen). Zum Thema → [Schwab 2013] „Kerbschlagbiegeversuch“

Tatsächlich ist die elastische Verformung im oberen Bereich nicht genau linear. Doch die Abweichungen von der Geraden sind schwer zu ermitteln und meist vernachlässigbar, sodass man meist auf der Ermittlung der Proportionalitätsgrenze verzichtet.



Hysteresis beim Zugversuch

Auch beim elastischen Verformen von Material kommt es durch innere Reibung zu einer Hysteresis [Bargel/Schulze 2005] S.112. Deshalb wollen Radfahrer möglichst steife Fahrradbauteile.

#### AB Hysteresis

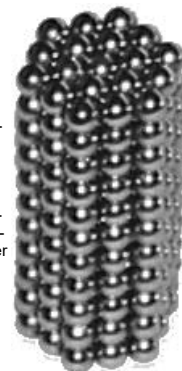
Man unterscheidet: (1) linear elastisches Verhalten, für das das Hooke'sche Gesetz gilt (gilt für alle Festkörper für kleine Verformungen bis  $\epsilon=0,1\%$ ); (2) nicht-linear-elastisches Verhalten, z.B. Gummi und (3) anelastisches Verhalten (elastische Hysteresis): der Werkstoff gibt nicht mehr die ganze Verformungsenergie zurück [Hütte 29] D42. [Hering 1992] S.92.

Mit der Dehnung  $\epsilon$  erfolgt eine Verringerung des Querschnittes. Ihr Maß ist die Querkürzung  $\nu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon}$

bzw. die Poisson- oder Querdehnzahl  $\nu$ . Sie beträgt für Stahl  $\nu = 0,3$  [Decker 2009] S.30.

#### Sechseckige Säule aus Nanodots, Elmo:

Bei Verdrehung ist die elastische und plastische Verformung gut zu sehen. Wenn man die mittleren Magnete entnimmt, wird die plast. Verformung zufälliger



Nach der 2011 geltenden Theorie entsteht die Einschwingphase ([Grundwissen14] S.533: Lüders-Dehnung) durch Zwischengitteratome (ZGA: C, N), die etwas größer als die Zwischengitterplätze sind und das Wirtsgitter verzerren. Durch die energetische Situation bewegen sich die ZGA bei angelegter (Zug-)Spannung auf die Versetzungen zu, bilden dort s.g. Cottrell-Wolken und blockieren plast. Vfg. (erhöhen Streckgrenze). Wenn sie bei  $R_{mH}$  endlich doch beginnt, verlieren die C-Wolken ihre Wirkung und die relativ hohe Spannung dehnt den Werkstoff. Ohne Alterung zeigt der Werkstoff keine ausgeprägte Streckgrenze mehr. [de.Wikipedia.org/„Cottrell-Wolke“], [Bargel/Schulze 2005] S.105f., [Schwab 2013] S.156f.

Umklappen eines nichtorthogonalen Gitters ist ebenfalls möglich. Gleitebenen gehören zu den typischen metallischen Eigenschaften. Sie werden möglich durch Isotropie (richtungsunabhängige Bindung) der Metalle, die zu einfachen und dichten Gittern führt.

Die Verschiebung endet an den Korngrenzen oder an Gitterfehlern.

Ohne Gitterfehler wären Metalle praktisch nicht verformbar bzw. bearbeitbar. Für monokristallines Fe wird  $R_m = 14000 \text{ N/mm}^2$  errechnet, tatsächlich ist  $R_m$  (Fe100)  $\approx 150 \text{ N/mm}^2$ . Die Verschiebung entlang der realen Gitterebene muss also abgeschwächt sein.

Bruchmechanismen siehe [SdW] 01/2000

Die auf den Ausgangsquerschnitt bezogene Spannung sinkt im Diagramm jenseits von  $R_m$ , die tatsächliche Spannung unter Berücksichtigung des verengenden Querschnitts steigt aber weiter an; es tritt sogar noch Kaltverfestigung auf. Die tatsächliche Spannung spielt für den Ingenieur aber keine Rolle, solange er den Querschnitt an belasteten Stellen nicht wachsen lassen kann – wie die Natur es bei Bäumen, Knochen usw. tut ([Mattheck 2003]).

#### → [EuroTabM] „Zugversuch“

[Schwab 2013] S.149: R kommt von engl.: resistance für mechanischen Widerstand. DIN EN 10002:2001 unterscheidet Obere ( $R_{mH}$ ) und untere ( $R_{mL}$ ) Streckgrenze [Klein 2008], [Bargel/Schulze 2005]. Ich verwende die obere Streckgrenze  $R_e$  wie in → [EuroTabM] „Zugversuch“.  $R_e$  auch technische Elastizitätsgrenze.

Dehngrenze: Bei Werkstoffen ohne ausgeprägte Streckgrenze ist der Übergang von elastischer zu plastischer Verformung, von der Geraden zur Kurve, messtechnisch nur schwer erfassbar, außerdem wird der Werkstoff dort nicht voll ausgenutzt. Deshalb verwendet man die Dehngrenze, bei der ein bestimmtes Maß an plast. Verformung auftritt,  $R_{p0,2}$  ist die gängigste.

#### → [EuroTabM] „Elastizitätsmodul“; Tabellenwerte → [Hütte 29] E66 und D44

Der (!) E-Modul ist der Proportionalitätsfaktor zwischen Normalspannung und Dehnung. Bildlich ist er eine Federkonstante oder die Steigung der Hooke'schen (!) Geraden und damit die gedachte Spannung für 100% Dehnung. Vergleiche auch Schubmodul G für Schubspannungen und Kompressionsmodul K für hydrostatischen Druck.

[Bargel/Schulze 2005] S.97: Es gibt nichtlineare Elastizität (z.B. Grauguss), der E-Modul für Zug und Druck muss nicht symmetrisch sein (z.B. Sinterwerkstoffe, Nichtmetalle).

#### E-Modul aus SDD ermitteln (HP96/97-3)

$R_m$  ist eine rechnerische Größe mit dem Anfangsquerschnitt  $S_0$ , die für Konstruktionen zweckmäßig ist. Will man das Werkstoffverhalten untersuchen, legt man den tatsächlichen Querschnitt zugrunde und erhält eine wesentlich größere Spannung.

[Schwab 2013] S.150: A kommt von vermutlich von frz. allongement für Dehnung.  $A_5$  oder  $A_{5,65}$  oder ohne Index sind kurze;  $A_{10}$  und  $A_{11,3}$  lange Prop.-Stäbe.

#### FO Zugprobe: Folgen des Längenverhältnisses

[Bargel/Schulze 2005] S.96: Die Rückfederung parallel zur Hooke'schen Geraden ist eine Vereinfachung, die bei höheren Temperaturen oder Kriechversuchen nicht zulässig ist.

Verhältnis kleinster Querschnitt nach Bruch zu Anfangsquerschnitt.

Verformungskennwerte (Bruchdehnung, Brucheinschnürung, Dehnung bei Höchstkraft) dienen nicht der Konstruktion, aber der Beurteilung des Werkstoffverhaltens.

Wird benötigt bei:

- Festigkeitsklassen von Schrauben
- Umrechnung von Brinellhärten auf  $R_m$
- Anhaltswert der Verformbarkeit für Umformverfahren

Gespeicherte Energie im elastischen Bereich, Verformungsenergie im plastischen Bereich (Zähigkeit) und freiwerdende elastische Energie beim Bruch berechnen [Hering 1992] S.92



**Video Zugversuch**

Zeigt Durchführung des Zugversuches und Ermittlung der Kennwerte

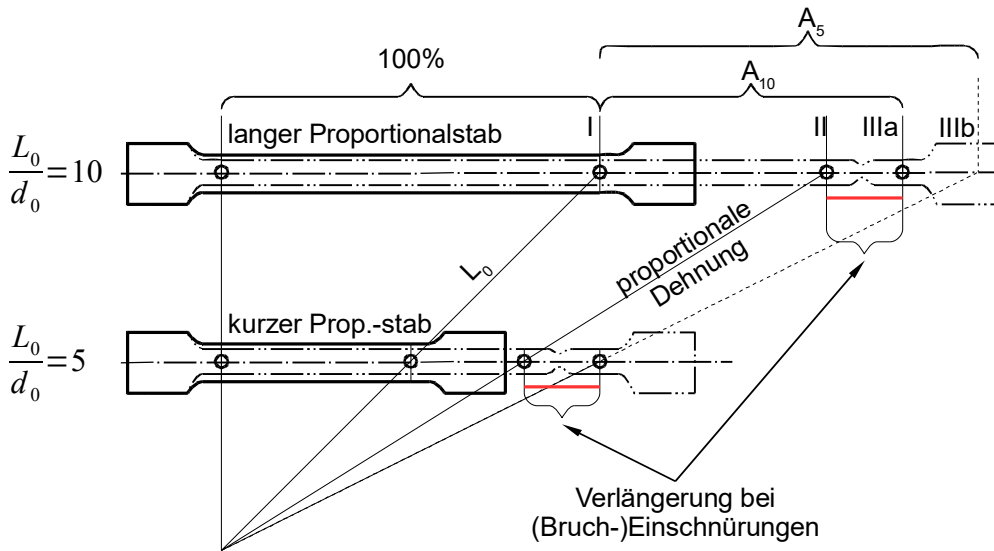
- 0050 Universalprüfmaschine
- 0075 genormter Prüfstab mit Gewindeköpfe
- 0100 genormte Geschwindigkeit, Dehnung, Schleppeizer für  $F_m$
- 0147 Einschnürung

- 0160  $R_m = F_m / S_0$
- 0170 Spannungs-Dehnungs-Diagramm
- 0185  $R_{eH}$ ,  $R_{eL}$ ,  $R_m$
- 0195 Diagrammschreiber, Kraftanzeige
- 0234 ohne ausgeprägte Streckgrenze,  $R_{p0.2}$ ,  $F_m$  und  $\epsilon$ -Anzeige; mehrmaliges Be- und Entlasten mit steigender Kraft zur Ermittlung von  $R_{p0.2}$
- 0330 Zeichnerische Ermittlung
- 0340 Bruchdehnung messen
- 0376 Vergleich St-60 und St-37 im Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit Kraftanzeige

**Bruchdehnung  $A_5 \leftrightarrow A_{10}$**

$A_5, A_{5,65}$  = Bruchdehnung am kurzen Prop.-Stab  
 $A_{10}, A_{11,3}$  = Bruchdehnung am langen Prop.-Stab  
 $A_5, A_{10}$  : zylindrische Probe  
 $A_{5,65}, A_{11,3}$  : Flachprobe

[Schwab 2013] S.146: „Der kurze Proportionalstab ist Standard... Früher hat man den [langen Proportionalstab] gerne angewendet, weil die Längenmesstechnik noch nicht so ausgefeilt war. Heute findet man ihn eher selten, weil er von der Herstellung her teurer ist.“  
 [Schwab 2013] S.155f: „Statt A5 wird seit einiger Zeit gerne auch nur A oder A5,65 verwendet, statt A10 auch A11,3. Das hängt mit den Faktoren 5,65 und 11,3 zusammen, ... die auch bei .. Proben und anderen Querschnittsformen sinnvoll sind.“



- 1) *Unterschied langer / kurzer Proportionalstab?*  
 Phase I: unbelastete Zugproben aus gleichem Werkstoff
- 2) *Verhalten im elastischen Bereich?*  
 Phase II: Proben werden dünner und länger, Dehnung ist bei gleicher Kraft bei den Proben proportional gleich
- 3) *Verhalten bei Einschnürung?*  
 Phase III: Dehnung findet fast (weglassen) Kraft steigt nicht mehr nur noch im Bereich der Einschnürung statt, die Längenänderung ist bei beiden Proben gleich → die Dehnung ist bei gleicher Kraft in einer längeren Probe proportional geringer.
- 4) *Bruchdehnung?*  
 Nach dem Bruch werden die Bruchstücke gegeneinander gedrückt und die Bruchdehnung gemessen.

$A_g$  = Gleichmaßdehnung

**Zusammenhang zwischen  $A_5, A_{10}$  und  $A_g$**

Die Bruchdehnung  $A_{5/10}$  [%] setzt sich zusammen aus der Gleichmaßdehnung  $A_g$  [%], die bei beiden Proben gleich ist, und der Längenänderung  $x$  [mm] bei der Brucheinschnürung, bezogen auf die ursprüngliche Länge  $L_5$  bzw.  $L_{10}$  [mm]. Bei gleichem Querschnitt gilt:  $L_{10} = 2 \cdot L_5$

$$A_5 = A_g + \frac{x}{L_5} \Rightarrow \frac{x}{L_5} = A_5 - A_g$$

$$A_{10} = A_g + \frac{x}{L_{10}} = A_g + \frac{x}{2 \cdot L_5} \Rightarrow \frac{x}{L_5} = 2 \cdot (A_{10} - A_g)$$

$$A_5 - A_g = \frac{x}{L_5} = 2 \cdot A_{10} - 2 \cdot A_g \Rightarrow$$

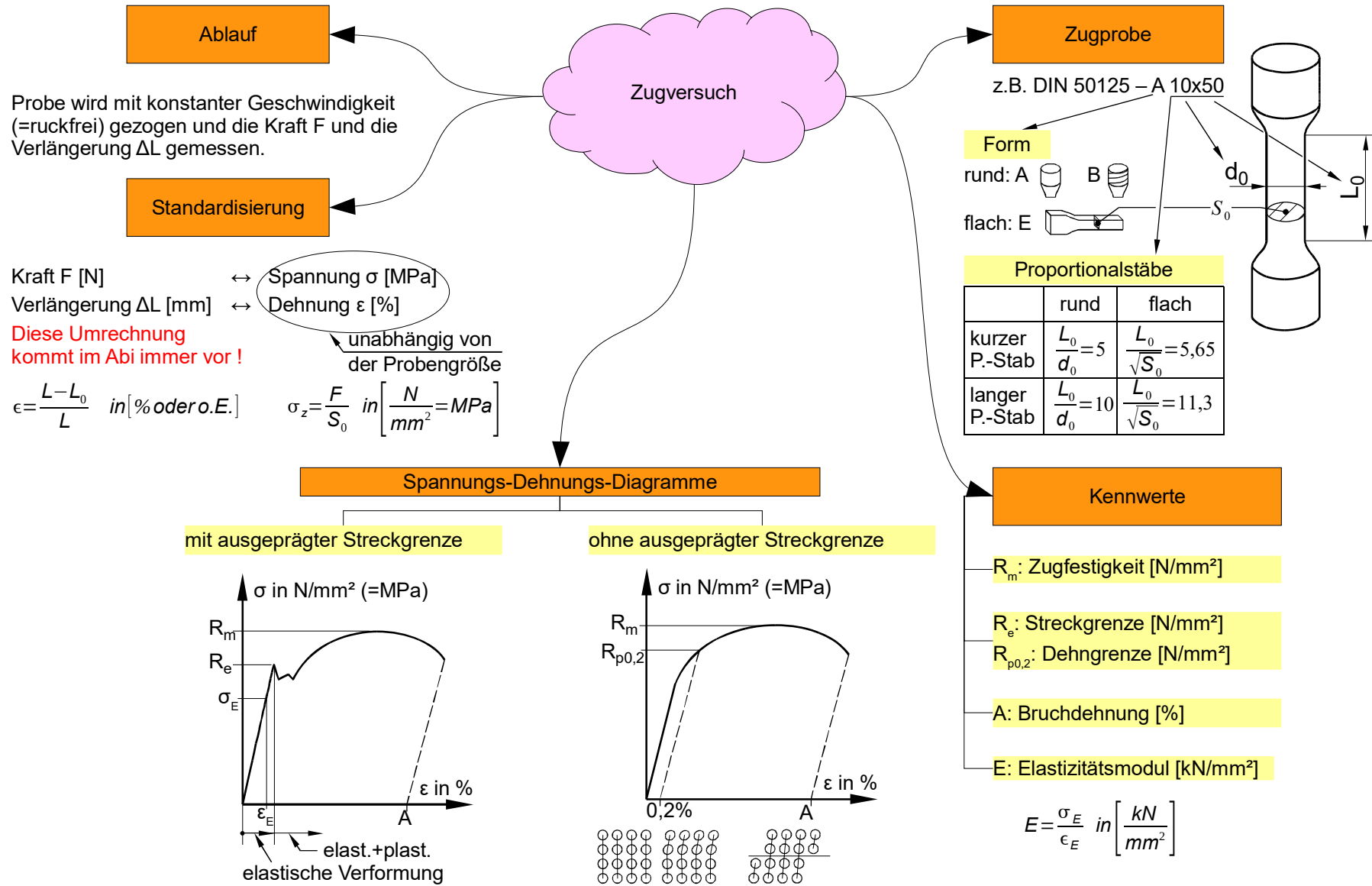
$$A_g = 2 \cdot A_{10} - A_5$$

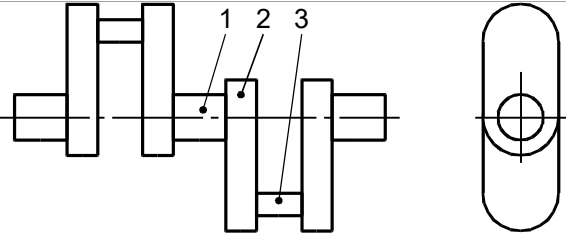
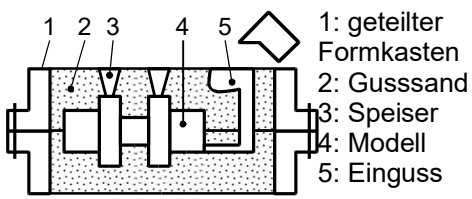
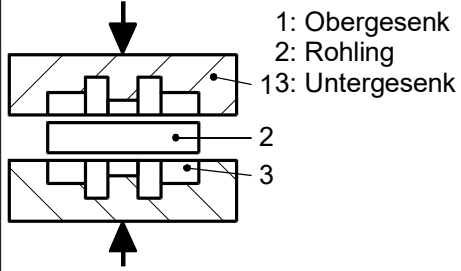
[Bargel/Schulze 2005] S.99: Nennt die Gleichung „hinreichend genau“.

[Schwab 2013] S.149, Sinngemäß: „Es wurde genau untersucht und festgestellt, dass das Volumen einer Probe immer konstant bleibt.“ [Bargel/Schulze 2005] S.99: „Die mit der Längenänderung verbundene Verminderung des Querschnitts ist .. überwiegend darauf zurückzuführen, dass das Volumen annähernd konstant bleiben muss.“  
 Meine Vermutung: Es handelt sich wohl um die Frage, wie genau man es nimmt.

[Schwab 2013] S.149, Sinngemäß: „Bis  $R_m$  wird die Probe zwar länger und dünner, aber sie bleibt zylindrisch. Ursache ist eine Art innere Regelung durch Kaltverfestigung: Dort, wo die Probe etwas stärker gedehnt wird, steigt die Festigkeit, deshalb findet die weitere Dehnung zunächst an anderen Stellen statt. Die innere Regelung funktioniert nur bis zur so genannten Gleichmaßdehnung  $A_g$ , die laut SDD (S.148) und Text bei  $R_m$  auftritt. Gemessen wird sie wie  $A_5$  und  $A_{10}$  abzüglich des elastischen Anteil.“ [Schwab 2013] S.155: „Die Gleichmaßdehnung .. ist ein Kennwert, der in der Umformtechnik sehr wichtig ist, vor allem, wenn es um Ziehen, Biegen oder Strecken geht. Die Gleichmaßdehnung wird immer im Höchstlastpunkt des Zugversuches erreicht.“ [Bargel/Schulze 2005] S.99: „In der Regel sinkt bei Einschnürung der Probe die übertragene Prüfkraft.“  
 Meine Vermutung: Auch hier geht es wohl nur um die Genauigkeit. Für mich klingt es jedenfalls seltsam, dass die Brucheinschnürung genau im Maximum des Diagramms ohne Knick beginnen soll.





<b>Herstellung einer Kurbelwelle</b> [EuroTabM], [EuroTabM46]		AM Kurbelwelle, Nockenwelle o.ä., Lempaket Verbrennungsmotor 1 Welche Funktion hat dieses Teil? 2 Wie kann man eine Kurbelwelle (Nockenwellen sind leichter) herstellen?	
		1: Kurbellager 2: Kurbelwange 3: Kurbelzapfen	
		<b>Funktion / Anwendung</b> Kurbeltrieb (Kw + Pleuel) wandelt oszillierende in drehende Bewegung Nockenwelle öffnet Ventile	
<b>Herstellverfahren</b>		<b>Fügen ('gebaute' Kw)</b>	
		Einzelteile: Wellenstücke, Kurbelwangen, Kurbelzapfen werden mit Schrauben gefügt. Geringe Festigkeit,	
		Nur für kleine (Moped) oder sehr große Motoren. Die größte Kw (gebaut?) MAN-2Takt-Schiffsdiesel 14K98MC7 mit 14 Zyl. 116kPS und 30 m Länge [mot 3/2011, S.8]	
<b>Gießen</b>		<b>(Gesenk-)Schmieden</b>	
<b>Fertigung Prinzip</b> 1) Welche Arbeitsschritte sind erforderlich? 2)		<b>Trennen - Spanen</b>	
Flüssiges Material wird in eine Negativform gegossen und erstarrt		Halbzeug wird durch Schläge im Gesenk (Negativform) umgeformt. Freiformschmieden mit Hämmern aller Größe (Hand- bis Dampfhammer) ist ungenauer, aber für Kleinserien zu bevorzugen	
<b>Skizze</b> - Modell/Gesenk sind größer als Fertigteil wegen Schwindmaß [EuroTabM] → Gießereitechnik -		Form wird durch Spanen herausgearbeitet	
			
<b>Arbeitsschritte</b> - Schmelztemperatur siehe EKD - Verlorene Modelle werden ausgeschmolzen und benötigen keine geteilte Form (Wachsausschmelzverfahren) - Große Teile (Kw für Schiffsmotoren) werden Freiformgeschmiedet		1: Obergesenk 2: Rohling 13: Untergesenk	
- Modell erstellen (Positiv) - Modell in Gießsand einformen (Negativ) - Modell ausformen (geteilte Form) - Gusseisen schmelzen ~ 1400°C - Mit flüss. Gusseisen ausgießen - Sandform zerstören		- Gesenk erstellen (negativ) - Rohling auf auf Rekristallisationstemperatur bringen ~1250°C - Rohling im Gesenk geschmieden	
<b>Nachbearbeitung</b>		- Funktionsflächen spanen (schruppen)	
- Ausformen, entgraten, putzen - Speiser usw. entfernen - Funktionsflächen spanen (schlichten) - Wärmebehandlung		- Entgraten - Funktionsflächen spanen (schlichten) - Wärmebehandlung	
		- Funktionsflächen spanen (schlichten) - Wärmebehandlung Ft_TA_00_Kurbelwellen.odt	

<b>Merkmale</b> <i>Kw</i> <i>Klangprobe mit Nw aus GG und Ventil aus Stahl</i> <i>Schnittbilder schrauben</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– alle Formen möglich</li> <li>– preisgünstig</li> <li>– Vorteile des Gusseisens <ul style="list-style-type: none"> <li>– schmierend</li> <li>– schwingungsdämpfend</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– hohe Festigkeit</li> <li>– Kaltverfestigung</li> <li>– Fasern nicht unterbrochen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mit Standardausstattung herstellbar</li> <li>– Späne sind teuer!</li> </ul>
<b>Kosten</b>	1) <i>Welches Verfahren ist billiger ?</i> 2) <i>Welche Faktoren haben Einfluss auf den Preis?</i>	3) <i>Schätzen Sie Fertigungskosten je Stück für 1, 500 und 100000 Stück ab</i>	
<b>Ausgangsmaterial</b> wird 'eingangs' der Fertigung eingesetzt 1) <i>Menge anhand der Kw abschätzen</i> 2) <i>Preis: 2,50 €/kg (07/2010, legierter Stahl)</i>	<b>Gusseisen, Schrott</b> Volumengleich mit Endprodukt + Einguss, Speiser, ..	<b>Rundstahl</b> Volumengleich mit Endprodukt	<b>Rundstahl</b> Mit dem Hüllvolumen der Kw
<b>Werkzeug, Vorbereitung</b>	<b>Modell:</b> Herstellung 500€, Lebensdauer ∞	<b>Gesenk:</b> Preis 100k€, Lebensdauer 10000 Kw	<b>Programm:</b> Preis: 500€; Lebensdauer ∞ <b>Drehmeißel:</b> Preis: 40€; Standzeit: 2h
<b>Energiekosten</b> 3) <i>Energiekosten 10Ct/kWh</i> 4) <i>[EuroTabM] →Spez. Wärmekapazität; → Schmelzwärme</i>	<b>Gießtemperatur 1450°C [EuroTabM] → „Eisen-Kohlenstoff-Diagramm“</b>	<b>Rekristallisationstemperatur (Stahl): 1250°C [EuroTabM]?</b>	<b>Antriebsenergie</b> z.B.42CrMo4 mit HM $f=0,5\text{mm} \sim h \rightarrow kc = 3890 \text{ N/mm}^2$ $F_c = A \cdot kc \cdot C = 0,5 \cdot 4\text{mm}^2 \cdot 3890 \text{ MPa} \cdot 1 = 7,78 \text{ kN}$ $P_c = F_c \cdot v_c = 7,78\text{kN} \cdot 100\text{m/min} = 13\text{kW}$ bei 0,5 Zerspanzeit ~ 65 Ct
<b>Arbeitszeit</b> 5) <i>Arbeitskosten 75€/h</i>	<b>Einformen, Ausformen, Putzen: 10min</b> <b>Maschinenstunde: 200€</b> <b>Arbeiter: 0,5</b>	<b>Schmieden: 10min</b> <b>Maschinenstunde: 500€</b> <b>Arbeiter: 1</b>	<b>Spanen: 1Std</b> <b>Maschinenstunde: 200€</b> <b>Arbeiter: 0,5</b>
<b>Videos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gießen, Hand und Maschinenformen <ul style="list-style-type: none"> <li>– Handformen (Prinzip) 3:45 – 9:30</li> <li>– Automatisierung 9:30 – 14:00</li> </ul> </li> <li>– Motorblock - So wirts gemacht 2008</li> <li>– Gusspfannen Herstellung 1'-5'</li> </ul>	<b>Gesenk:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Hammerköpfe schmieden - Die Maus 2005 0:00-1:35</li> <li>– Das Fett muss weg - Günter Ederer 1994; 25:30-28'</li> <li>– Stechbeitel - So wirts gemacht 2009 ab 0:45'</li> </ul> <b>Freiform:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dampfhammer - ZDF</li> <li>– Schmiedestahl - So wirts gemacht 2:30 - 3:30</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– CNC-Maschinen – Deckel (geht auf Kosten und Zeiten ein) 0:00 – 1:30 (2 Stunden für kleines Teil)</li> <li>42CrMo4 = legierter Vergütungsstahl → [EuroTabM46] S.135</li> <li>Drehen, Schnittkraft und -Leistung → [EuroTabM46] S.319</li> <li>Drehen, Schnittdaten → [EuroTabM46] S.316..318</li> <li style="text-align: right;"><i>Ft_TA_00_Kurbelwellen.odt</i></li> </ul>