



TGTM-E im 2. Halbjahr

Unterrichtsplanung für TGTM-E

Inhaltsverzeichnis

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

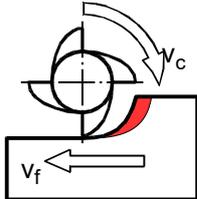
Die Unterrichtseinheit CNC-Koordinaten ist vorgezogen, damit sie vor dem Werkstattunterricht stattfindet.

CNC-Koordinaten

Übung 1

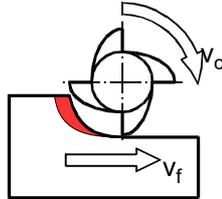
Fräsrichtung

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]: Gü 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

Cu Anteile 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

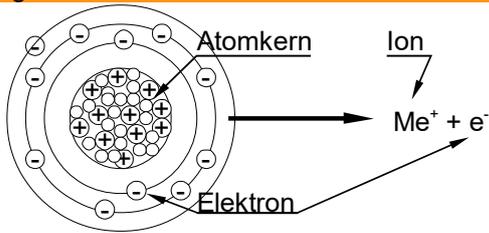
Sintern = Urformen durch Pressen von Metallpulver

Grundstahl, Qualitätsstahl, Edelstahl



Aufbau metallischer Werkstoffe

Bindungsmechanismus bei Metallen



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

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

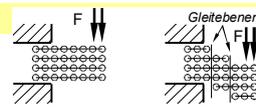
elastische Verformung

erfordert Überbiegen o.ä.



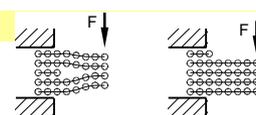
plastische Verformung

durch Versatz an Gleitebenen oder Zwillingsbildung



Kaltverfestigung

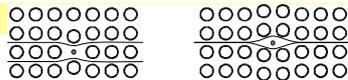
durch Schließen von Gitterfehlern



Legierung

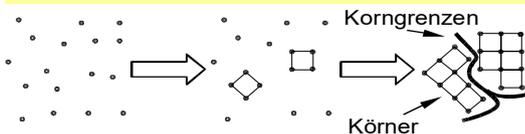
stört Gleitebenen

→ 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

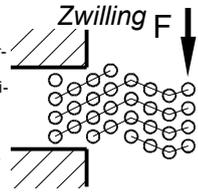
Abstand zwischen 2 Atomen verringert sich, abstoßende Kraft steigt sehr stark an: Metall kann nicht komprimiert werden.

- 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 ϕ .

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."

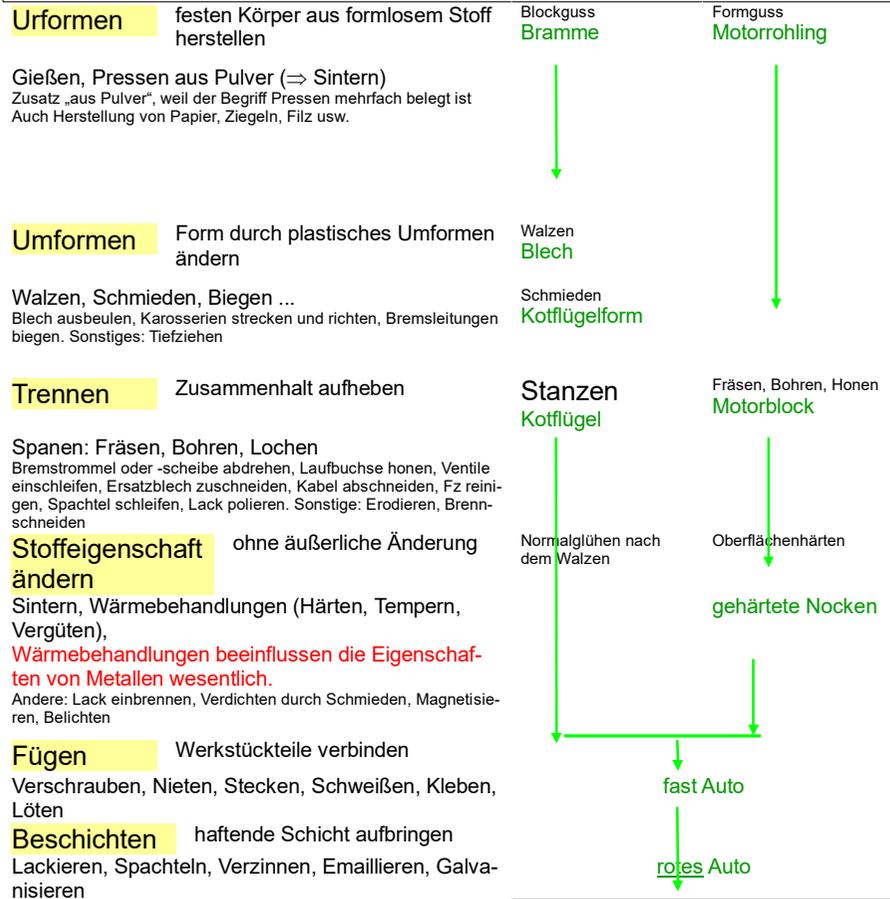


Fertigungstechnik

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.



Urformen festen Körper aus formlosem Stoff herstellen
 Gießen, Pressen aus Pulver (⇒ Sintern)
 Zusatz „aus Pulver“, weil der Begriff Pressen mehrfach belegt ist
 Auch Herstellung von Papier, Ziegeln, Filz usw.

Umformen Form durch plastisches Umformen ändern
 Walzen, Schmieden, Biegen ...
 Blech ausbeulen, Karosserien strecken und richten, Bremsleitungen biegen. Sonstiges: Tiefziehen

Trennen Zusammenhalt aufheben
 Spanen: Fräsen, Bohren, Lochen
 Bremsstrommel oder -scheibe abdrehen, Laufbuchse honen, Ventile einschleifen, Ersatzblech zuschneiden, Kabel abschneiden, Fz reinigen, Spachtel schleifen, Lack polieren. Sonstige: Erodieren, Brennschneiden

Stoffeigenschaft ändern ohne äußerliche Änderung
 Sintern, Wärmebehandlungen (Härten, Tempern, Vergüten),
 Wärmebehandlungen beeinflussen die Eigenschaften von Metallen wesentlich.
 Andere: Lack einbrennen, Verdichten durch Schmieden, Magnetisieren, Belichten

Fügen Werkstückteile verbinden
 Verschrauben, Nieten, Stecken, Schweißen, Kleben, Löten

Beschichten haftende Schicht aufbringen
 Lackieren, Spachteln, Verzinnen, Emaillieren, Galvanisieren

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 herunter biegen, um an die Kirschen zu kommen: Umformen; e) Kreuzung: Zwei Auto stoßen zusammen: Fügen; f) Schule: Dumm hinein, schlau heraus: Stoffeigenschaft ändern



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 aufschrumpten

(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

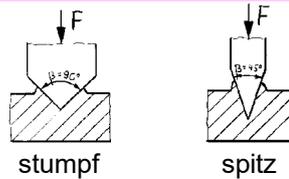
Druckknopf - Galileo (08:14")

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)

Druck \Rightarrow Werkstofffließen	-	<	+
nötige Verformung	-	>	+
Spaltwirkung	-	<	+

in der Schneide (Keil)

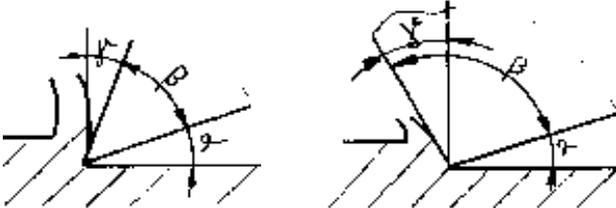
Festigkeit	+	>	-
Wärmeableitung	+	>	-
Schneidentemperatur	+	<	-
Verschleiß	+	<	-

Wahl des Keilwinkels:

- Spitzer Keil wenn möglich (weiche Wkfstf), 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



α = Freiwinkel $> 0^\circ$

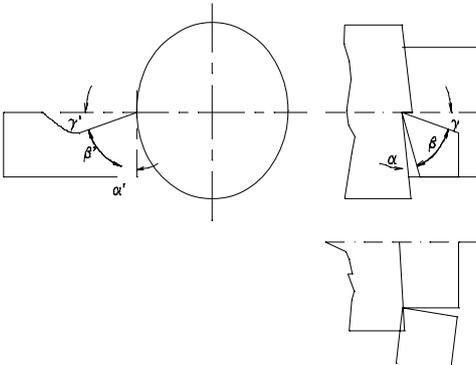
klein: Reibung, Temperatur und Verschleiß; groß: schwacher Keilwinkel, Punktlast an der Schneide; großer Verschleiß. 3° bei harten und 12° bei zähen Werkstoffen (federn hinter der Hauptschneide zurück).

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

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

Winkel und Flächen am Drehmeißel

FO entwickeln



Trennwirkung durch

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

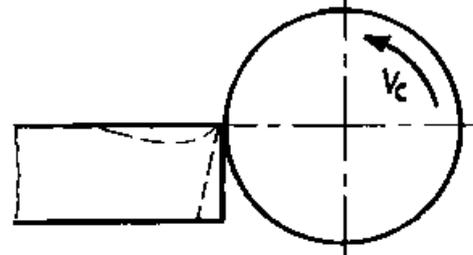
- 5) Ültg: der spitze Keilwinkel scheint ideal, warum wendet man ihn nicht immer an?

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 $\beta < 0$.

β = Keilwinkel $> 0^\circ$

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

FO Keilwinkel beim Spanen

EuroTabM39 S246 „Drehen, Richtwerte“

γ kann kleiner als Null werden. Schnittwinkel $\delta = \alpha + \beta$

Wdhg: Bilder mit verschiedenen Bezeichnungen der Winkel.

TG: ab hier überspringen und direkt zum Drehen

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 α sein, wie groß ist es hier? - Hauptfreifläche und -winkel freilegen und zeigen;
- Wie groß soll γ für kleine Schnittkraft sein, wie groß ist er - Hauptspanfläche und - \angle zeigen
- Wo ist die Nebenschneide und "Nebenspan"fläche? - Nebenspanfläche und -winkel freilegen
- 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 ϵ und gleichen β - Warum haben diese Meißel nicht die gleiche Festigkeit - Eckenwinkel ϵ 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 γ

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: $v_c, f, h \downarrow$: Spanlänge \uparrow ; $\gamma \downarrow$: breitere, dünnere, längere Späne; $\lambda \downarrow$: 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? → α, β, γ 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. Vfg. bewirkt Reibung an der freifläche → γ darf nicht zu klein sein.
→ Keilwirkung = voreilender Riss → Meißelspitze wird nicht unmittelbar belastet
Video Spanbildung beim Drehen
- 4) Welche Wirkungen haben α, β, γ ? TA ergänzen.

Drehen
Spanentstehung

Scherzone

elast. + plast. Verformung
Einfluss auf Oberflächequalität

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

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

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

Schnittleistung

abh. von Werkstoff, Schneidstoff, Schmirgel

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

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

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 ϕ

Einstellwinkel α

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

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

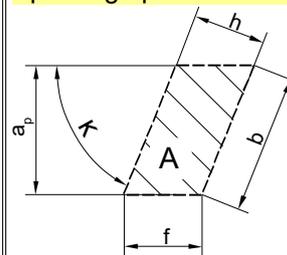
- η Wirkungsgrad der Fräsmaschine
= wichtigste Kenngröße des Ingenieurs

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

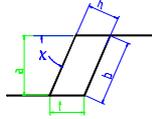


Ft_TA_39_Schnittkraftberechnung.odt



Schnittkraftberechnung

(typische Ingenieurslösung) Span- und Spanungsgrößen



größer

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

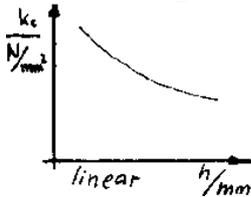
Grundformel

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“ Genaue Berechnung „Scherfläche x Scherfestigkeit + Umformkraft + Reibungsverluste = Schnittkraft“ ist in der Praxis schwierig weil die Umformung vom Scherwinkel phi und die Scherfestigkeit von Kühlung und v_s abhängen und die Reibungsverluste nicht genau bekannt sind. Deshalb löst man solche Aufgaben typisch für Ingenieure mit Näherungsformeln und Tabellenwerten.
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.

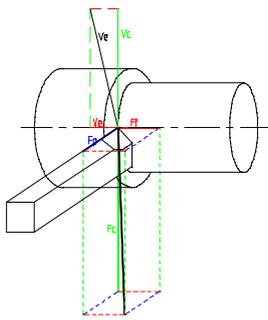
Ingenieurslösungen sind nicht exakt im physikalisch-mathematischen Sinne, aber brauchbar. Wenn große Sicherheitsfaktoren nicht möglich sind (z.B. im Flugzeugbau), muss großer Aufwand in Forschung vorher und Wartung nachher betrieben werden.

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).

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

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 χ

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.

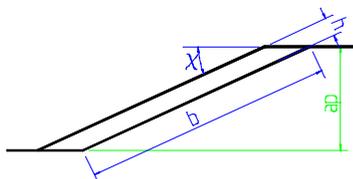
Vergleiche Flugzeug: Gieren

FO Einfluss des Einstellwinkels χ auf Passiv- und Vorschubkraft

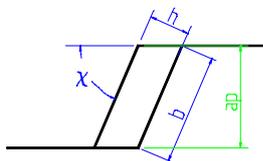
Kräfteverteilung Schroedel S65

FO zweckmäßige Wahl des Einstellwinkels Zerspantechnik S.8

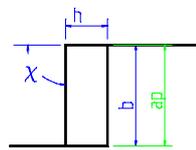
$\chi < 30^\circ$



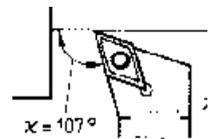
$\chi = 45 \dots 75^\circ$



$\chi = 90^\circ$



$\chi > 90^\circ$



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.

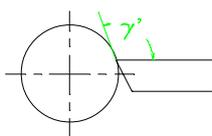
Die Spannsbreite nimmt zu, d.h. ein längerer Teil der Schneide ist im Einsatz und die spezifische Schneidenbelastung nimmt ab. Kräfte werden senkrecht zur Oberfläche übertragen. Um die Vorschubkraft zu erzeugen, muss man radiale Kräfte aufbringen. Diese kosten zwar keine Leistung, verformen aber Maschine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

Erklärung Schälspan

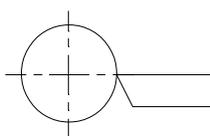
Große Passivkraft erzeugt ballige Körper, da das Werkstück weggedrückt wird, ohne dass das Werkzeug folgt.

Mittenstellung

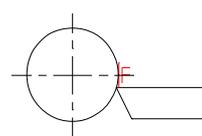
über Mitte



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: Steigen oder Sinken

FO Abhängigkeit der Wirkwinkel von der Lage des Werkzeuges

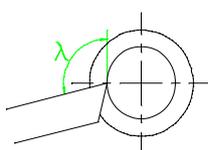
Wirkwinkel und Werkzeugwinkel sind unterschiedlich

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

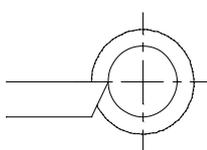
FO Werkzeugwinkel und Wirkwinkel

Neigungswinkel λ

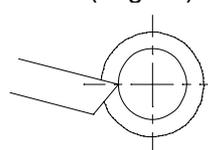
$\lambda > 0$ (positiv)



$\lambda = 0$



$\lambda < 0$ (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 γ .



Fräsen

Definition und Verfahren

Vergleich der Planfräsverfahren

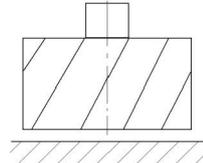
[EuroTabM] 44.Auflage einarbeiten!

AB Fräsen (Roßhart)

Werkzeuglage

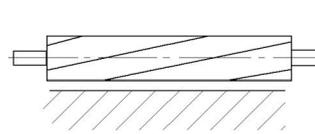
Stirn-Planfräsen

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

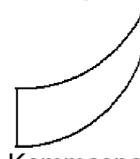
Spanbildung

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

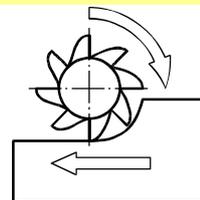
Ausnahmen: Scheibenfräser, gleichzeitiges Fräsen mehrerer Ebenen, Mischverfahren Stirn-
Umfangs-Planfräsen

Durchmesser des Messer-
kopfes.

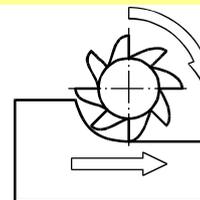
FO Umfangsplanfräsen

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

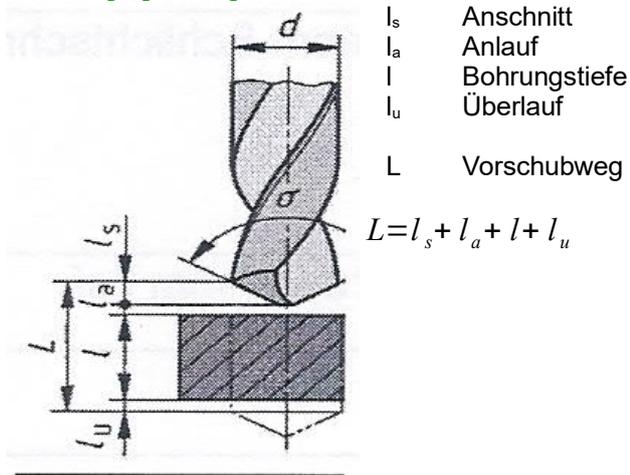
Hauptnutzungszeit t_h

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

Herleitung

Vorschubwege

z.B. Durchgangsbohrung



Formel

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

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

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 σ_z

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

Längenänderung ΔL ↔ Dehnung ϵ

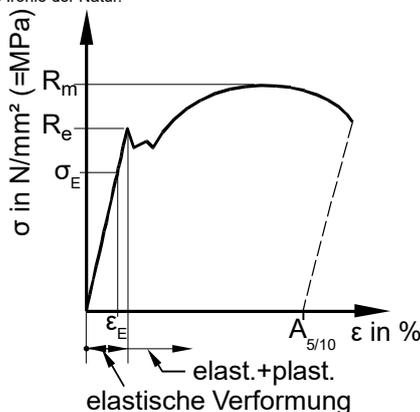
$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L} \quad \text{in} \quad [\% \text{ oder o.E.}] \quad L_0 = \text{Anfangsmesslänge}$$

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.

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

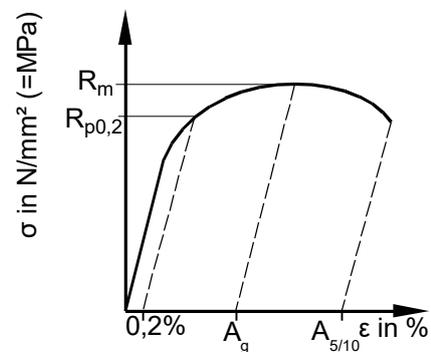
Langsam und ruckfrei wegen dynamischer Kräfte, vergleiche: Spalten von Holz. Was langsam ist, hängt vom Werkstoff ab.

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



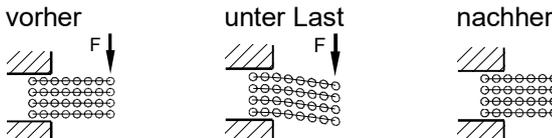
AB SDD kombiniert mit Gitterbildern und 2ten Achsen F und ΔL



Vorgänge im Werkstoff

Metallische Gitter sind einfach angeordnet

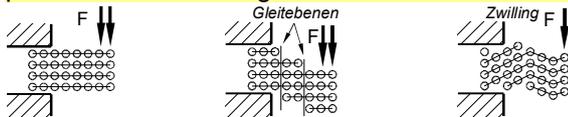
elastische Verformung



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

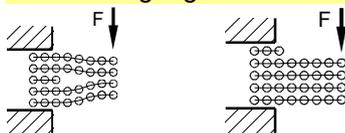
Einschwingverhalten

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/mm² = MPa]

(Der) Elastizitätsmodul E

[kN/mm²] (E-Modul)

- ist ein Maß für die Steifigkeit
- $E = \frac{\sigma_E}{\epsilon_E}$ mit einem Wertepaar (σ_E ; ϵ_E) von der Hooke'schen Geraden

Zugfestigkeit R_m

in [N/mm² = MPa]

- das Überschreiten von R_m führt zum Bruch

Bruchdehnung A (=A₅) oder A₁₀

in [% oder ohne Einheit]

- Bleibende Verformung nach dem Bruch
- Index = Längenverhältnis der Zugprobe
→ starker Einfluss auf die Bruchdehnung (s.u.)

Brucheinschnürung Z

→ TabB

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

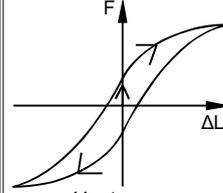
Streckgrenzenverhältnis V_s

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

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 ϵ erfolgt eine Verringerung des Querschnittes. Ihr Maß ist die Querkürzung $\nu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon}$ bzw. die Poisson- oder Querdehnzahl ν . 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_m wie in → [EuroTabM] „Zugversuch“. R_p 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

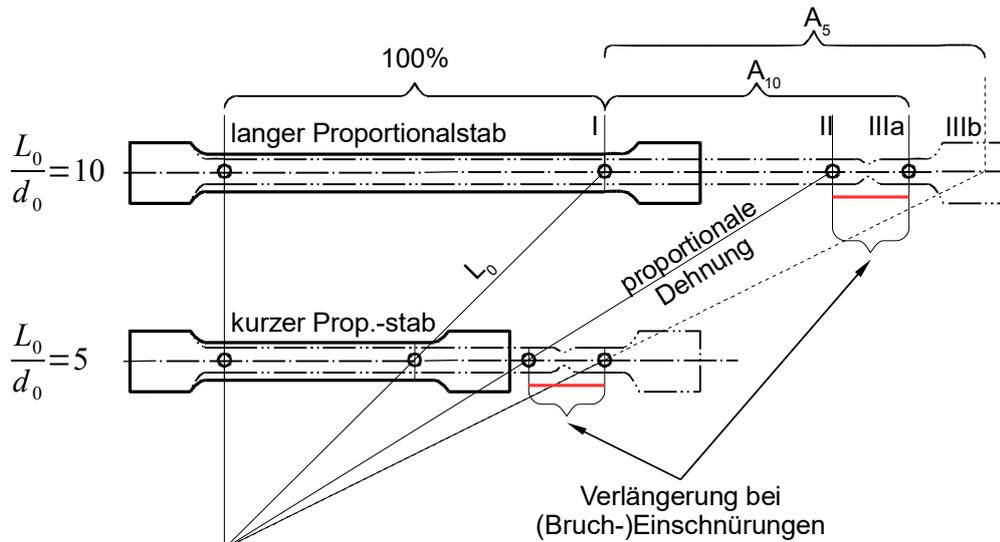
0050 Universalprüfmaschine
0075 genormter Prüfstab mit Gewindeköpfe
0100 genormte Geschwindigkeit, Dehnung, Schleppzeiger für F_m
0147 Einschnürung

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 ϵ -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 A_5 wird seit einiger Zeit gerne auch nur A oder $A_{5,65}$ verwendet, statt A_{10} auch $A_{11,3}$. 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: $L_{10} = 2 \cdot L_5$

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

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

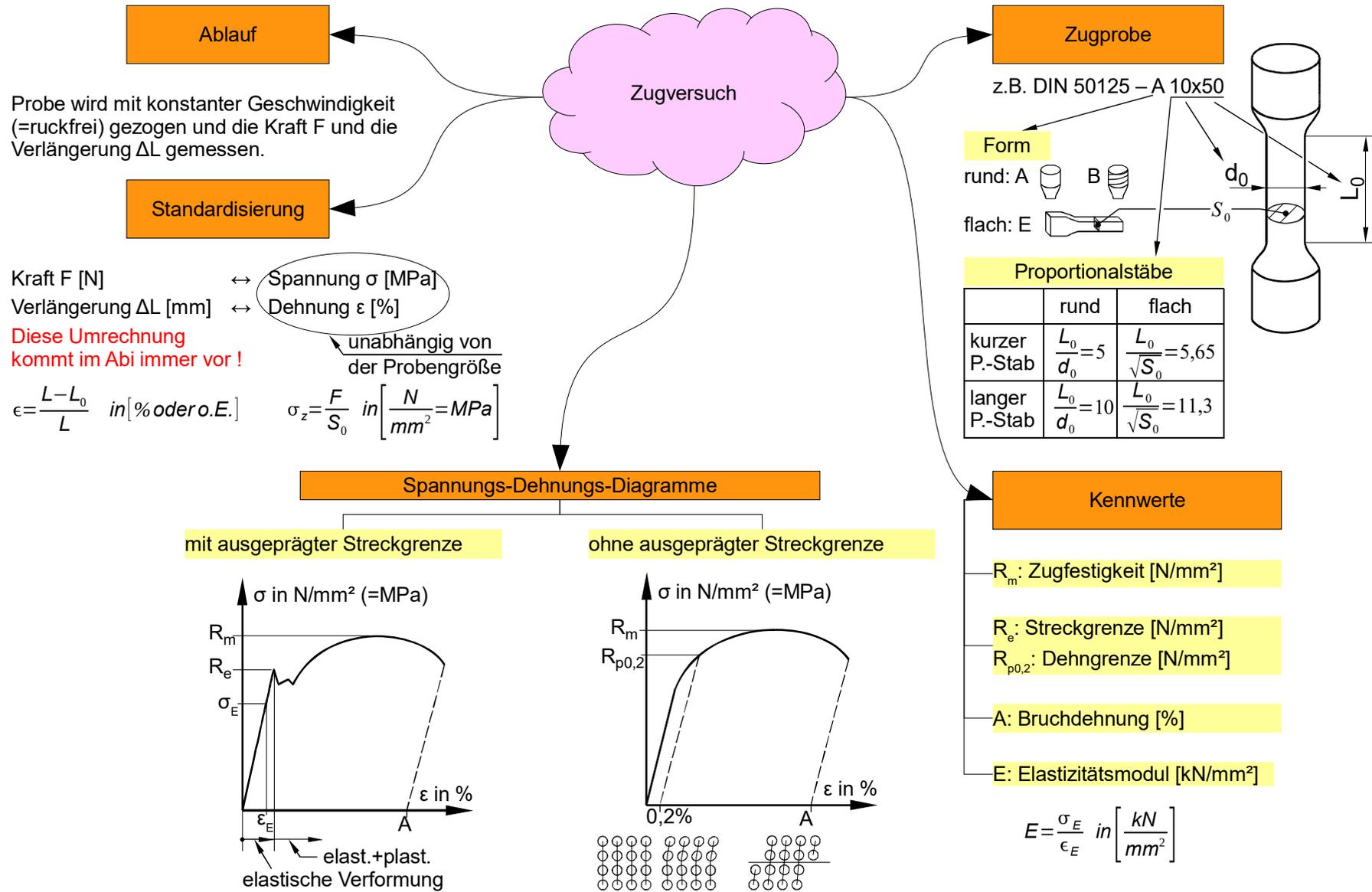
$$A_5 - A_g = \frac{x}{L_5} = 2 \cdot A_{10} - 2 \cdot A_g \Rightarrow$$

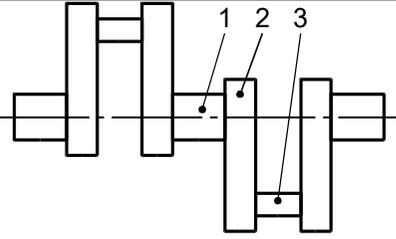
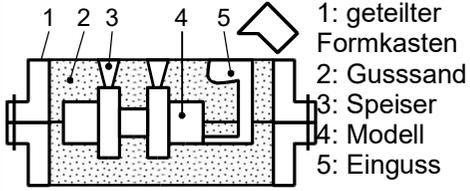
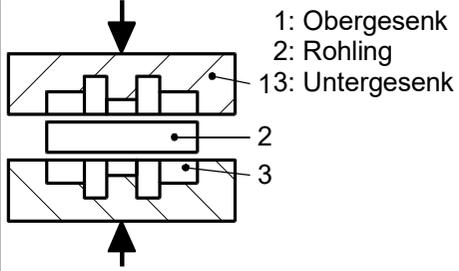
$$A_g = 2 \cdot A_{10} - A_5$$

[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.



Herstellung einer Kurbelwelle [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	
		Funktion / Anwendung Kurbeltrieb (Kw + Pleuel) wandelt oszillierende in drehende Bewegung Nockenwelle öffnet Ventile	
Herstellverfahren		Fügen ('gebaute' Kw)	
		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]	
Gießen		(Gesenk-)Schmieden	
Fertigung Prinzip 1) Welche Arbeitsschritte sind erforderlich? 2)		Trennen - Spanen	
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	
Skizze - Modell/Gesenk sind größer als Fertigteil wegen Schwindmaß [EuroTabM] → Gießereitechnik -		Form wird durch Spanen herausgearbeitet	
			
Arbeitsschritte - Schmelztemperatur siehe EKD - Verlorene Modelle werden ausgeschmolzen und benötigen keine geteilte Form (Wachsausschmelzverfahren) - Große Teile (Kw für Schiffsmotoren) werden Freiformgeschmiedet		1: geteilter Formkasten 2: Gussand 3: Speiser 4: Modell 5: Einguss	
- 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	
Nachbearbeitung		- 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	

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