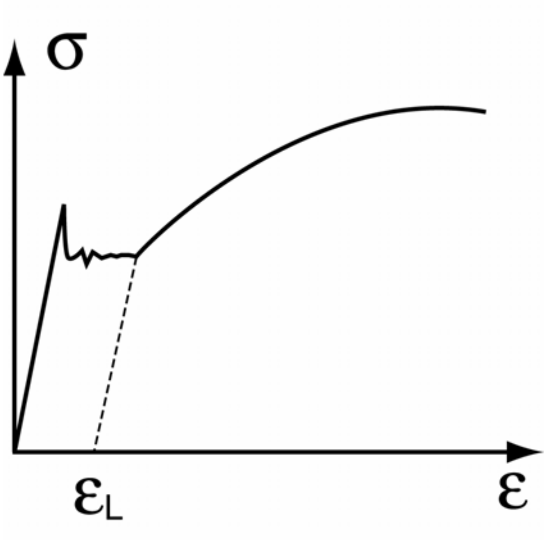
1 Plastizität 3 Punkte

Blech soll kalt umgeformt werden. Das Material zeigt im Zugversuch ein Verhalten gemäss Bild.



a) Wie heisst die Erscheinung im Bereich $0 < \varepsilon_p < \varepsilon_L$?
b) Worauf ist sie zurückzuführen?
c) Warum ist dieses Verhalten ungünstig für den Umformprozess?
d) We können die Nachteile umgangen werden.
e) Sind diese Massnahmen nachhaltig, was ist zu tun?

2 Wahre Spannung, wahre Dehnung 4 Punkte

Ein Rundstab aus Stahl wird durch eine Zugkraft F_1 plastisch gedehnt bis zu der Nenndehnung $\varepsilon_{pl} = 15\% < A_g$. Dabei ist das Volumen konstant geblieben.

a) Wie gross sind dann die Nenndehnung und die Nennspannung sowie die wahre (logarithmische) Dehnung und die wahre Spannung?

b) Wie groß ist der Quotient $\frac{F}{\Delta l}$ (Federkonstante), wenn der Stab nach Entlastung wieder neu belastet wird, jetzt nur im elastischen Bereich?

Gegeben
Anfangslänge des Stabes $l_0 = 1m$
Anfangsdurchmesser $d_0 = 20mm$
Maximalwert der Zugkraft: F1= 90000N
E-Modul des Stabes: 210000MPa

3 Rekristallisation 5 Punkte

Ein Aluminiumblech wird auf unterschiedliche Dicken (Verformungsgrade in % gemäss Bild) ausgewalzt und anschliessend einem Rekristallisationsprozess unterworfen.

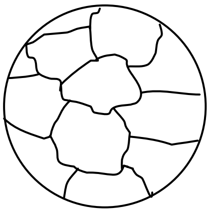
a) Welche zwei Hauptbedingungen müssen erfüllt sein, dass eine Rekristallisation abläuft?

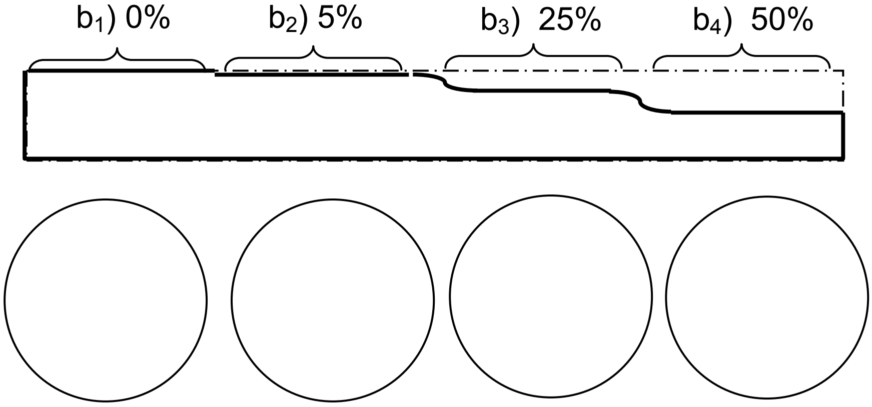
b) Zeichnen Sie qualitativ die Korngrössen nach der Behandlung. Erklären Sie die Bilder.

c) Beschreiben Sie das Gefüge nach sehr langer Glühzeit.

d) Wie verändern sich beim Glühen die charakteristischen Materialeigenschaften?

Ausgangskorngrösse vor dem Umformen und der Wärmebehandlung



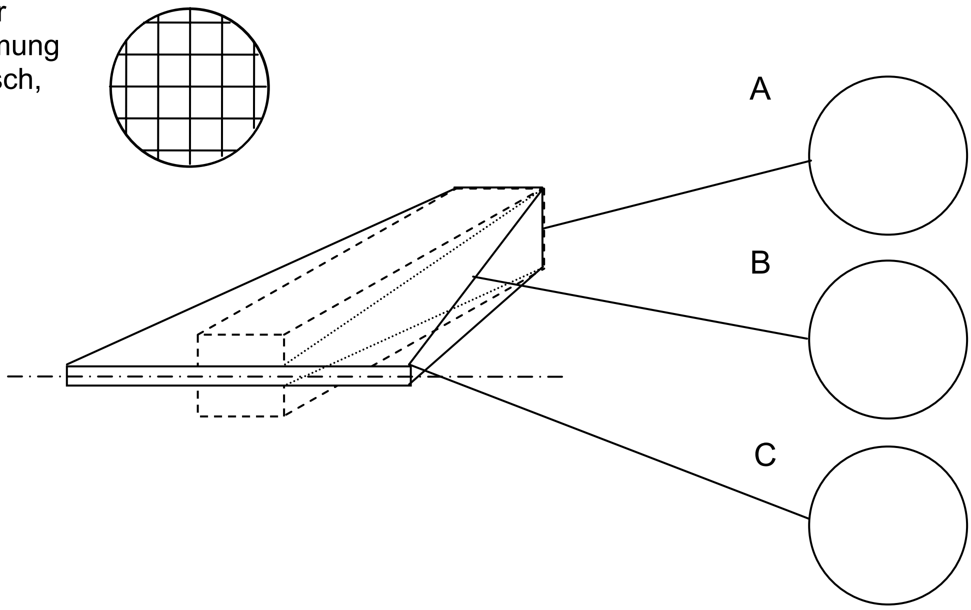


4 Rekristallisation

Ein prismatisches Werkstück wird kalt zu einem Keil umgeformt und danach einem Rekristallisationsprozess unterworfen.

a) Skizzieren Sie schematisch das entstandene Gefüge an den Enden und in der Mitte des Keiles.
b) Erklären Sie die Vorgänge.
c) Wie läuft die Rekristallisation ab?

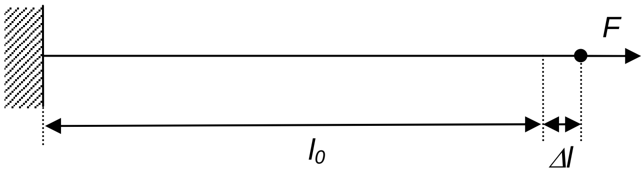
Gefüge vor Kaltumformung (schematisch, kubische Körner):



5 Plastische Dehnung: Energieaufnahmevermögen

Ein Steinschlagfangnetz soll den Absturz von Felsblöcken auf eine Strasse verhindern. Das Netz besteht aus Seilen, die aus Stahldrähten aufgebaut sind.
Im Zugversuch wurde mit diesem Draht bei einer Messlänge von l_{10} eine Bruchverlängerung von Δl_1 gemessen, bei einer Probe der Länge l_{20} eine solche von Δl_2.

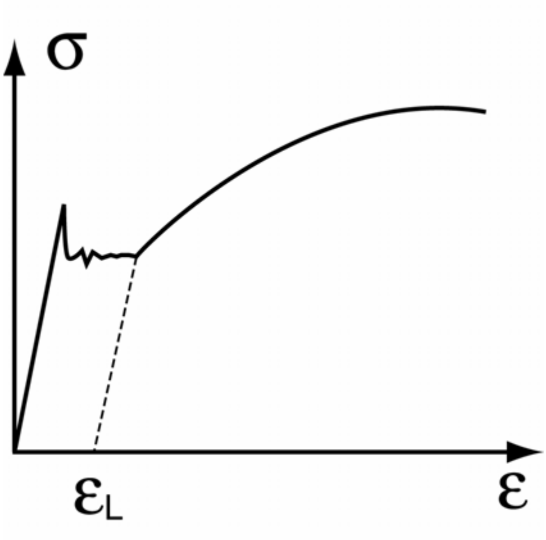
a) Welche Energie kann ein Draht der Länge l_{30} bis zum Bruch durch plastisches Fliessen aufnehmen (näherungsweise Berechnung)?
b) Wie gross ist die elastische Energie des Drahtes unmittelbar vor dem Bruch? Annahme: Bruchspannung = R_m.
c) Sie möchten die Fliesskurve für den Bereich der Gleichmassdehnung mit der Ludwikgleichung beschreiben. Der Exponent n von ε sei n=0.5. Wie gross wählen Sie den Vorfaktor C von ε? (Der Einfluss der Dehngeschwindigkeit werde vernachlässigt).



Drahtlänge	l_{30}	=	3	m
Drahtdurchmesser	d	=	2	mm
Drahtquerschnitt	A	=	3.14	mm^2
Festigkeit des Drahtes	R_m	=	1400	N/mm2
Elastizitätsgrenze des Stahldrahtes	$R_{p0.2}$	=	950	N/mm2
Länge Probe 1	l_{10}	=	0.1	m
Länge Probe 2	l_{20}	=	0.2	m
Totale plast. Verlängerung bis Bruch Probe 1	Δl_1	=	0.007	m
Totale plast. Verlängerung bis Bruch Probe 2	Δl_2	=	0.012	m

1 Plastizität

Blech soll kalt umgeformt werden. Das Material zeigt im Zugversuch ein Verhalten gemäss Bild.



a) Wie heisst die Erscheinung im Bereich $0 < \varepsilon_p < \varepsilon_L$?
b) Worauf ist sie zurückzuführen?
c) Warum ist dieses Verhalten ungünstig für den Umformprozess?
d) We können die Nachteile umgangen werden.
e) Sind diese Massnahmen nachhaltig, was ist zu tun?

Lösung:

a) Lüdersdehnung. $\{0.5\}_{0.5}$

b) Fremdatome hindern Versetzungen am Laufen und erhöhen damit die Streckgrenze. $\{0.5\}_{1}$

c) Ungleichmässiges Fliessverhalten, unerwünschte Fliessfiguren. $\{0.5\}_{1.5}$

d) Plastische Vorverformung (mit $\varepsilon_p \geq \varepsilon_L$ *.)* $\{0.5\}_{2}$

e) Nach einer gewissen Zeit sind die Fremdatome wieder in die Versetzungen zurückdiffundiert und erzeugen bei plastischer Verformung erneut ein Lüdersband (Reckalterung). $\{0.5\}_{2.5}$

Massnahme: Weitere plastische Verformung (Dressurstich). $\{0.5\}_{3}$

2 Wahre Spannung, wahre Dehnung

Ein Rundstab aus Stahl wird durch eine Zugkraft F_1 plastisch gedehnt bis zu der Nenndehnung $\varepsilon_{pl} = 15\% < A_g$. Dabei ist das Volumen konstant geblieben.

a) Wie gross sind dann die Nenndehnung und die Nennspannung sowie die wahre (logarithmische) Dehnung und die wahre Spannung?

b) Wie groß ist der Quotient $\frac{F}{\Delta l}$ (Federkonstante), wenn der Stab nach Entlastung wieder neu belastet wird, jetzt nur im elastischen Bereich?

Gegeben
Anfangslänge des Stabes $l_0 = 1m$
Anfangsdurchmesser $d_0 = 20mm$
Maximalwert der Zugkraft: F1= 90000N
E-Modul des Stabes: 210000MPa

Lösung
a)
Nenndehnung: Gegeben: $\varepsilon_{pl} = 15\%$

Nennspannung $\sigma = \frac{F_1}{A_0} = \frac{90000N}{314mm^2} = 287\text{N/mm}^2$ Formel {0.5}$_{0.5}$ Wert {0.5}$_1$

Wegen Volumenkonstanz:

Wahre Dehnung: $\varphi = \ln(1+\varepsilon_{pl}) = \ln(1.15) = 0.14$ Formel {0.5}$_{1.5}$ Wert {0.5}$_2$

Querschnitt $A_1 = \frac{A_0 \cdot l_0}{l_0 \cdot (1+\varepsilon_{pl})} = \frac{A_0}{1.15} = \frac{314mm^2}{1.15} = 273mm^2$

Wahre Spannung: $\sigma_W = \frac{F_1}{A_1} = \frac{90000N}{273mm^2} = 330N/mm^2$ Formel {0.5}$_{2.5}$ Wert {0.5}$_3$

b)
Federkonstante des vorverformten Stabes:

$$\frac{F}{\Delta l} = \frac{\sigma \cdot A_1}{l_1 \cdot \varepsilon} = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot A_1}{l_1 \cdot \varepsilon} = \frac{E \cdot A_1}{l_1} = \frac{210000MPa \cdot 273mm^2}{1150mm} = 49.82\frac{kN}{mm}$$

Formel {0.5}$_{3.5}$ Wert {0.5}$_4$

3 Rekristallisation

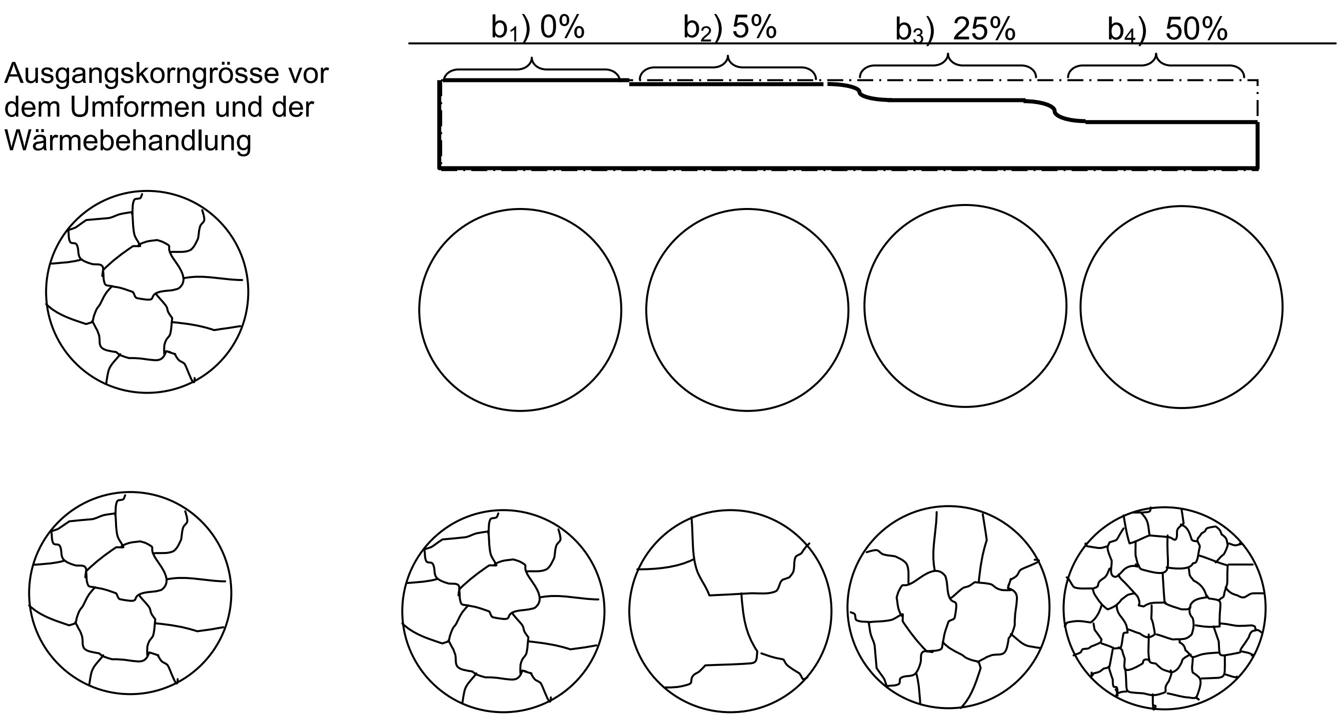
Ein Aluminiumblech wird auf unterschiedliche Dicken (Verformungsgrade in % gemäss Bild) ausgewalzt und anschliessend einem Rekristallisationsprozess unterworfen.

a) Welche zwei Hauptbedingungen müssen erfüllt sein, dass eine Rekristallisation abläuft?

b) Zeichnen Sie qualitativ die Korngrössen nach der Behandlung. Erklären Sie die Bilder.

c) Beschreiben Sie das Gefüge nach sehr langer Glühzeit.

d) Wie verändern sich beim Glühen die charakteristischen Materialeigenschaften?



Lösung

*a) Für die Rekristallisation sind eine minimale **Umformung** und eine **minimale Temperatur** erforderlich.* $2x\{0.5\}_1$

b_1) Keine Umformung, keine Rekristallisation, das Ausgangskorn bleibt erhalten. $\{0.25\}_{1.25}$
b_2) Kleine Verformung, es entsteht grobes Korn (da wenig Keime vorhanden) $\{0.25\}_{1.5}$
b_3) Mittlere Verformung, mittlere Korngrösse nach Rekristallisation $\{0.25\}_{1.75}$
b_4) Starke Verformung, feines Korn. $\{0.25\}_2$

Bewertung Zeichnungen:
b_1 wie Ausgangskorn $\{0.5\}_{2.5}$
b_2 - b_4 in abnehmender Korngrösse, unabhängig von Ausgangskorngrösse $\{0.5\}_3$

*c) **Kornvergrösserung** wegen 120°-Regel, kleine Körner werden aufgefressen.*
Sekundärrekristallisation (bei grossen Verformungsgraden): Minimum der freien Enthalpie durch wenig Korngrenzen. $\{1\}_4$
d) Aufhebung der Verfestigung durch Versetzungen. (Feinkorn: verfestigende Wirkung) $\{1\}_5$

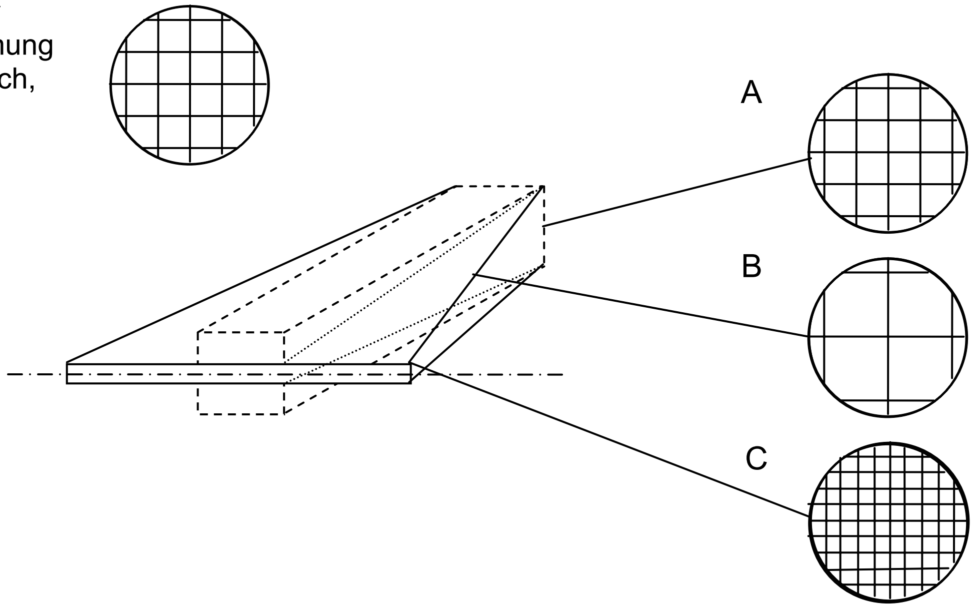
4 Rekristallisation

Ein prismatisches Werkstück wird kalt zu einem Keil umgeformt und danach einem Rekristallisationsprozess unterworfen.

a) Skizzieren Sie schematisch das entstandene Gefüge an den Enden und in der Mitte des Keiles.
b) Erklären Sie die Vorgänge.
c) Wie läuft die Rekristallisation ab

Lösung:

Gefüge vor Kaltumformung (schematisch, kubische Körner):



a)
(Erklärung für Korrektur, als Zeichnung verlangt: Bei A liegt gar ***keine*** *Verformung vor,* ***keine Rekristallisation****, Gefüge unverändert.*
*Bei B liegt wenig Verformung vor, d.h****. wenig Keime****, es entsteht* ***grobes Korn****.*
Bei C liegt starke Verformung vor, ***viele Keime****, es entsteht* ***feines Korn****. Nach der Rekristallisation sind Körner nicht mehr abgeplattet)*

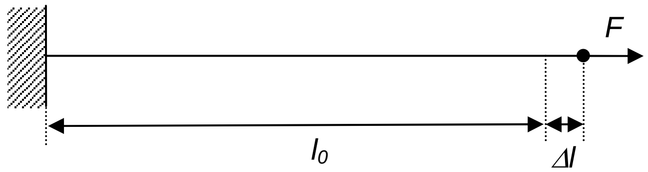
b) *An Stellen, wo das Kristallgitter durch* ***Versetzungen*** *gestört ist, bilden sich* ***Kristallisationskeime****, welche zu Körnern anwachsen, bis sie an Nachbarkörner stossen.*
Je stärkere Verformung, umso mehr Keime, umso ***feineres*** *Gefüge.Für die Rekristallisation braucht es eine Mindest****verformung*** *des Gefüges und genügend* ***hohe Temperatur****.*

*c) Ab Erreichen der erhöhten Temperatur dauert es eine (Inkubations-)****Zeit****, bis die Rekristallisation startet.*

5 Plastische Dehnung: Energieaufnahmevermögen

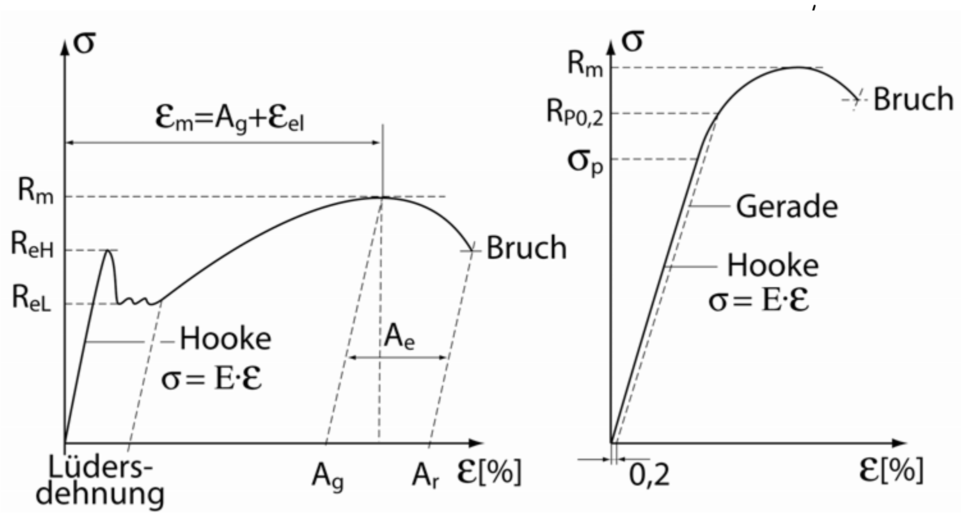
Ein Steinschlagfangnetz soll den Absturz von Felsblöcken auf eine Strasse verhindern. Das Netz besteht aus Seilen, die aus Stahldrähten aufgebaut sind.
Im Zugversuch wurde mit diesem Draht bei einer Messlänge von l_{10} eine Bruchverlängerung von Δl_1 gemessen, bei einer Probe der Länge l_{20} eine solche von Δl_2.

a) Welche Energie kann ein Draht der Länge l_{30} bis zum Bruch durch plastisches Fliessen aufnehmen (näherungsweise Berechnung)?
b) Wie gross ist die elastische Energie des Drahtes unmittelbar vor dem Bruch? Annahme: Bruchspannung = R_m.
c) Sie möchten die Fliesskurve für den Bereich der Gleichmassdehnung mit der Ludwikgleichung beschreiben. Der Exponent n von ε sei n=0.5. Wie gross wählen Sie den Vorfaktor C von ε? (Der Einfluss der Dehngeschwindigkeit werde vernachlässigt).



Drahtlänge	l_{30}	=	3	m
Drahtdurchmesser	d	=	2	mm
Drahtquerschnitt	A	=	3.14	mm^2
Festigkeit des Drahtes	R_m	=	1400	N/mm2
Elastizitätsgrenze des Stahldrahtes	$R_{p0.2}$	=	950	N/mm2
Länge Probe 1	l_{10}	=	0.1	m
Länge Probe 2	l_{20}	=	0.2	m
Totale plast. Verlängerung bis Bruch Probe 1	Δl_1	=	0.007	m
Totale plast. Verlängerung bis Bruch Probe 2	Δl_2	=	0.012	m

Lösung:



a) Die bleibende Verlängerung Δl nach Bruch kommt zustande aus einem <u>längenproportionalen</u> Anteil Δl_g, der plastischen Gleichmassdehnung - allenfalls eine Lüdersdehnung enthaltend - und einem <u>längenunabhängigen</u> Anteil Δl_e wegen der Brucheinschnürung. Die Gleichmass<u>dehnung</u> ist für alle drei Teile gleich gross: $A_{1g} = A_{2g} = A_{3g} = A_g$. *Die Einschnür<u>verlängerung</u> ist für alle drei Teile gleich:* $\Delta l_{1e} = \Delta l_{2e} = \Delta l_{3e} = \Delta l_e$

Für die Probe 1 ist gegeben: $\Delta l_1 = \Delta l_{1g} + \Delta l_e = l_{10} \cdot A_g + \Delta l_e = 0.007m$

Für die Probe 2 ist gegeben: $\Delta l_2 = \Delta l_{2g} + \Delta l_e = l_{20} \cdot A_g + \Delta l_e = 0.012m$

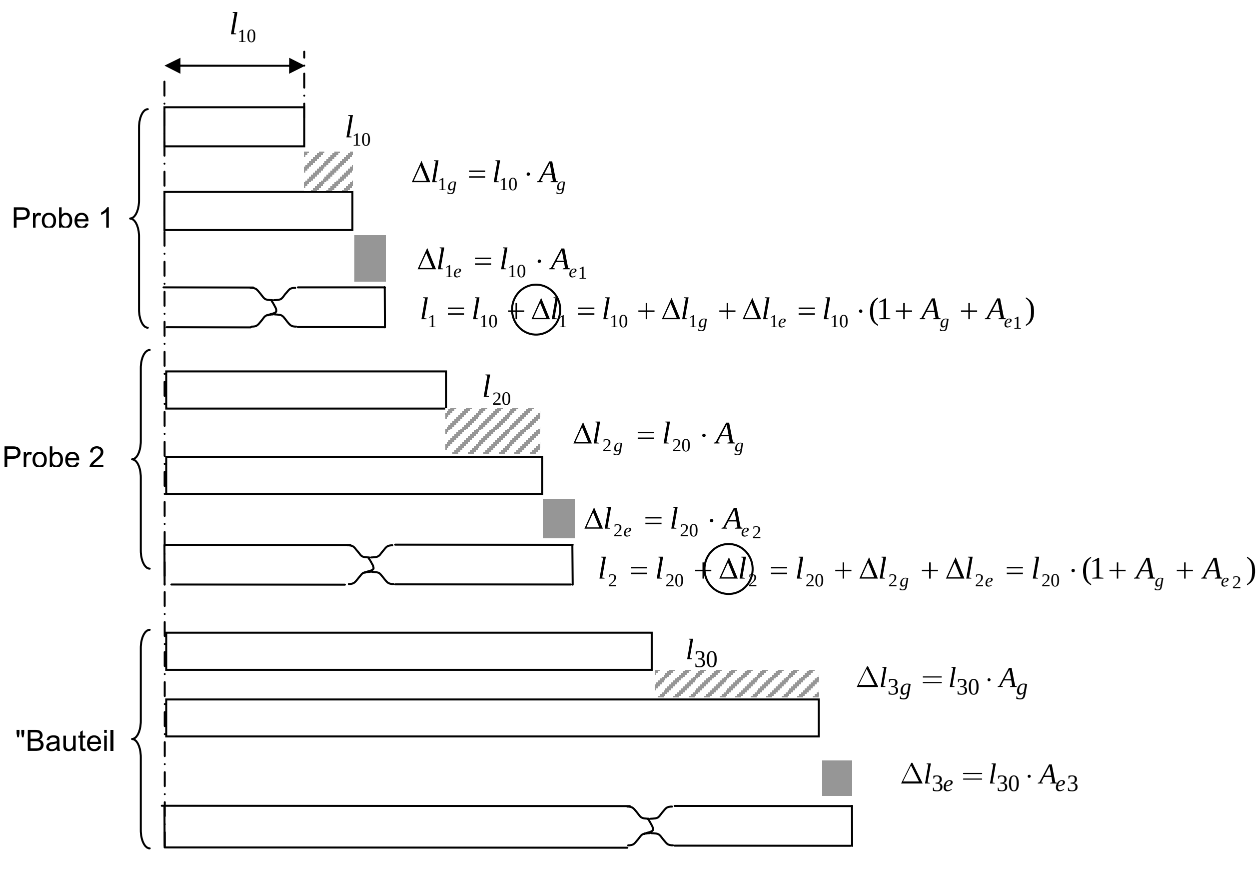
Subtraktion ergibt:

$$A_g = \frac{\Delta l_2 - \Delta l_1}{l_{20} - l_{10}} = \frac{0.012 - 0.007m}{0.2m - 0.1m} = 0.05$$

eingesetzt $\Delta l_e = \Delta l_1 - l_{10} \cdot A_g = 0.007m - 0.1m \cdot 0.05 = 0.002m$

Verlängerung eines Drahtes der Länge l_3 = 3 m bis zum Bruch:

$\Delta l_3 = l_{30} \cdot A_g + \Delta l_e = 3m \cdot 0.05 + 0.002m = 0.152m$

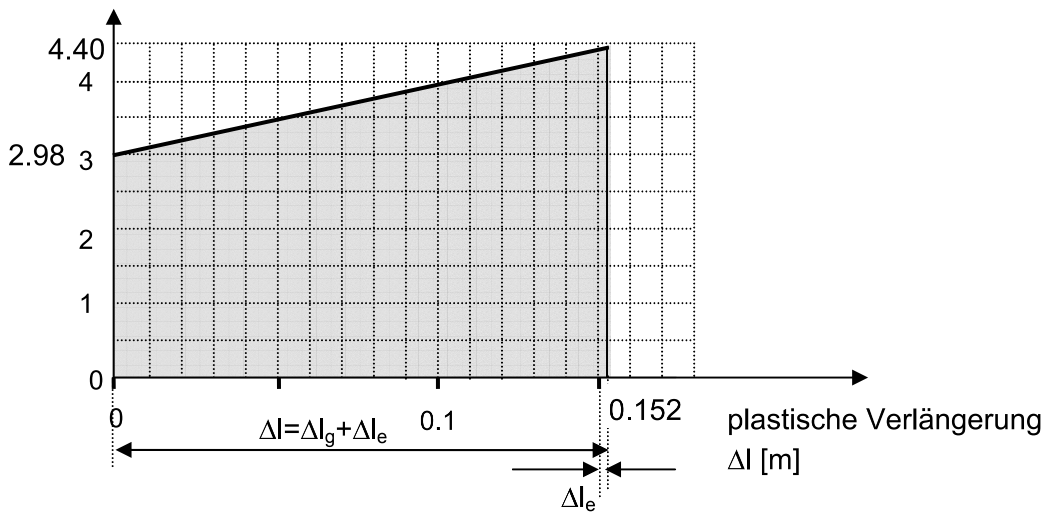


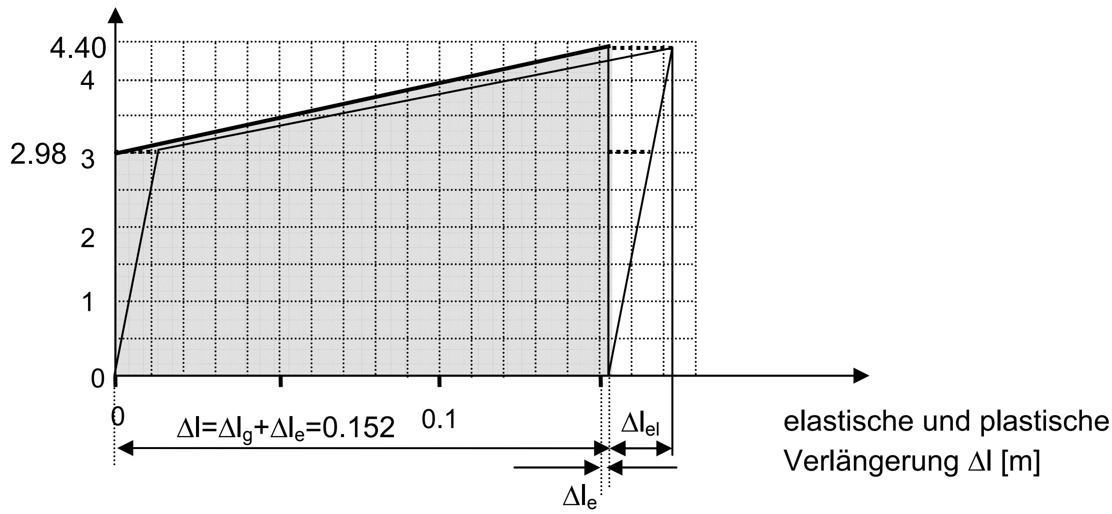
$$l_3 = l_{30} + \Delta l_3 = l_{30} + \Delta l_{3g} + \Delta l_{3e} = l_{30} \cdot (1 + A_g + A_{e3}) = l_{30} \cdot (1 + A_g) + \Delta l_{1e}$$

Zugkraft F im Draht [kN]

- bei Erreichen der Elastizitätsgrenze: $F_{RP} = R_{p0.2} \cdot A = 950 \cdot 3.14 \frac{N}{mm^2} \cdot mm^2 = 2980N$

- bei Maximalspannung: $F_m = R_m \cdot A = 1400 \cdot 3.14 \frac{N}{mm^2} \cdot mm^2 = 4400N$





Die durch plastische Verformung bis zum Bruch aufgenommene Arbeit E_B ist Kraft mal Weg, im Diagramm also die graue Fläche:

$$E_B = \frac{R_{p0.2} + R_m}{2} \cdot A \cdot \Delta l_3 = \frac{950 + 1400}{2} \frac{N}{mm^2} \cdot 3.14mm^2 \cdot 0.152m = 561J$$

b) Elastische Energie des Drahtes kurz vor dem Bruch:
Elastische Dehnung vor dem Bruch: $\varepsilon_{el} = R_m / E = 1400/210000 = 0.0067$
Für einen Draht der Länge l = 3m ergibt sich die elastische Verlängerung Δl_{el} kurz vor Bruch:
$\Delta l_{el} = \varepsilon_{el} \cdot l_{30} = 0.0067 \cdot 3m = 0.02\ m$

Die gespeicherte elastische Energie ist $\frac{F_B \cdot \Delta l_{el}}{2} = \frac{4396N \cdot 0.02m}{2} = 44\ J$

c) Ludwikgleichung $\sigma_S = R_{eL} + C \cdot \varepsilon_p^n$ *Nach C aufgelöst und R_m, $R_{0.2p}$ und A_g eingesetzt:*

$$\underline{\underline{C}} = \frac{\sigma_S - R_{eL}}{\varepsilon_p^n} = \frac{R_m - R_{0.2p}}{A_g^n} = \frac{1400 - 950MPa}{0.05^{0.5}} = \underline{\underline{2013MPa}}$$