

Institut für Werkstoffe des Bauwesens
Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften

Werkstoffe und Bauchemie

Praktikumsskript

Univ.-Prof. Dr.-Ing. K.-Ch. Thienel

Herbsttrimester

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
1 Stoffkennwerte	3
1.1 Praktikumsinhalt.....	3
1.2 Längenmessung	3
1.3 Temperaturmessung.....	4
1.4 Feuchtemessung	5
1.5 Viskosität von Flüssigkeiten	6
1.6 Rheologie	6
1.7 Elastizitätsmodul.....	8
2 Chemie I.....	9
2.1 Was ist Chemie?.....	9
2.2 Vorstellung Periodensystem der Elemente (PSE)	9
2.3 Die chemische Bindung	9
2.4 Chemische Reaktionen.....	11
2.5 Anhang: Periodensystem der Elemente	14
3 Chemie II.....	15
3.1 Redox-Reaktionen	15
3.2 Aufstellen einer Redox-Gleichung.....	15
3.3 Einfluss von Säuren und Basen auf verschiedene Metalle	16
3.4 Sauerstoffkorrosion von Eisen und Stahlbauteilen	16
3.5 Kontaktkorrosion	17
3.6 Galvanisches Element	17
3.7 Stahl	18
3.8 Veränderung der Stahleigenschaften	18
3.9 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (Zustandsschaubild).....	19
3.10 Stahlgefüge.....	19
3.11 Anhang: Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	20
4 Baustahl	21
4.1 Praktikumsinhalt.....	21
4.2 Bezeichnungen Baustahl/Betonstahl/Spannstahl	21
4.3 Stahl lesen	23
4.4 Spannungs-Dehnungslinie	24
4.5 Zugversuch (DIN EN 10002).....	25
4.6 Dauerbiegeversuch.....	26
4.7 Kerbschlagbiegeversuch (DIN EN ISO 12737).....	26

1 Stoffkennwerte

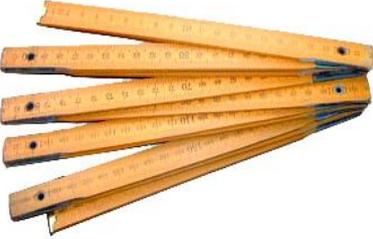
1.1 Praktikumsinhalt

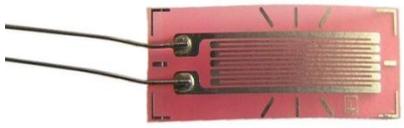
Das Praktikum behandelt folgende Themen:

- Theoretischer Teil:
 - Temperaturmessung
 - Viskosität von Flüssigkeiten
 - Elastizitätsmodul
 - Rheologie
 - REM
- Praktischer Teil:
 - Längenmessung
 - Feuchtemessung

1.2 Längenmessung

Tabelle 1.1: Messgeräte

Notizen:

1.3 Temperaturmessung

Die Temperatur wird mit einem Thermometer erfasst. Unterschieden werden Thermometer in berührungslose und berührende Thermometer.

Zu den Berührungslosen gehören Thermografiekameras, die Temperaturverteilungen in einem Bild sichtbar machen. Mit Hilfe der Thermografie lassen sich Temperaturmessungen flächenförmig erfassen und darstellen.

Unter dem Begriff Berührungsthermometer sind all diejenigen Thermometer zu verstehen, die direkt mit dem Medium in Berührung kommen, dessen Temperatur gemessen werden soll.

Notizen:

1.4 Feuchtemessung

Zur Feuchtemessung von Baustoffen werden verschieden physikalische und chemische Messverfahren eingesetzt. Zu diesen zählen:

- Darr-Wäge-Verfahren:

Das Darr-Wäge-Verfahren ist eine gravimetrische Methode zur Feuchtigkeitsbestimmung. Hierzu wird eine Probe des Baustoffes entnommen, luftdicht verpackt, im Labor gewogen und im Anschluss daran meist bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Das Ziel der Methode besteht darin, den physikalisch gebundenen Wasseranteil in der Probe zu bestimmen. Die anschließende Wägung ergibt das Trockengewicht. Aus der Differenz der beiden Wägungen kann der absolute Feuchtegehalt [M.-%] bestimmt werden.

- CM-Methode:

Bei diesem Verfahren wird der zerkleinerten Baustoffprobe Calciumcarbid zugesetzt. Das dabei in Reaktion mit Wasser entstehende Acetylen wird über den gemessenen Gasdruck mittels einer Eichkurve bestimmt. Aus der Einwaage der Probe kann dann der Feuchtigkeitsgehalt bestimmt werden.

- Haarhygrometer:

Ein Haarhygrometer ist ein Messgerät zur Messung der relativen Luftfeuchtigkeit. Hierbei dienen Haare oder geeignete Kunststofffasern, die sich bei unterschiedlichen Feuchtegehalten unterschiedlich ausdehnen, bei Temperaturänderungen aber konstant bleiben, als Fühler. Die feuchteabhängige Längenänderung wird mit Hilfe einer feinen Mechanik auf einen Zeiger oder Schreibhebel übertragen.

- Taupunktspiegel:

Bei diesem Verfahren wird die Kondensation von Wasserdampf bei Taupunktunterschreitung ausgewertet. Die Temperatur einer verspiegelten Fläche wird so weit abgekühlt, bis diese gerade anfängt zu beschlagen. Die in diesem Moment gemessene Temperatur entspricht der Taupunkttemperatur, aus der sich über den Sättigungsdruck die relative Luftfeuchte berechnen lässt.

- Holzfeuchtebestimmung:

Bei den in der Praxis gebräuchlichen Verfahren zur Bestimmung der Holzfeuchte handelt es sich um indirekte Messverfahren, bei denen die an der jeweiligen Messstelle vorliegende Holzfeuchte über die Ermittlung des Ohmschen Widerstandes (Widerstandsmessmethode), der dielektrischen Eigenschaften (kapazitive Messmethode) oder der Infrarotabsorption (Resonanz des H₂O Moleküls) „geschätzt“ wird. Beim Widerstands-Messverfahren werden in das Holz zwei Elektroden eingeschraubt oder eingeschlagen, über die der elektrische Widerstand des Holzes gemessen wird. Da der Widerstand auch von der Holzart und der Temperatur abhängig ist, sind die Geräte mit Holzarten- und Temperaturschaltern oder speziellen Umrechnungstabellen ausgerüstet. Bei der kapazitiven Widerstandsmessung werden auf das Holz Messbügel oder Sensorflächen angelegt, die Hochfrequenzwellen bis in eine Tiefe von 50 mm aussenden. Die Messung ist von der Rohdichte des Holzes abhängig, so dass am Gerät Umrechnungsschalter notwendig sind.

Notizen:

1.5 Viskosität von Flüssigkeiten

Definition Viskosität:

Die Viskosität kann mit verschiedenen Methoden und Geräten bestimmt werden, u. a. dem Kugelfallviskosimeter und dem Rotationsviskosimeter.

- Das Kugelfallviskosimeter, auch Höppler-Viskosimeter genannt, arbeitet nach dem Prinzip des Kugelfalls im so genannten Stokes'schen Bereich. Die Viskositätsmessung wird hierbei auf eine Zeitmessung reduziert. Relevant ist die Zeit, welche eine Kugel benötigt, eine definierte Strecke im zu vermessenden Fluid zurück zu legen.
- Das Rotationsviskosimeter ist ein Gerät zur Bestimmung der dynamischen Viskosität, bei dem sich die Messflüssigkeit in einem engen Spalt zwischen einem inneren und einem äußeren Zylinder befindet. Einer der beiden Zylinder wird durch einen Motor angetrieben, der jeweils andere verbleibt feststehend. In dem engen Ringspalt zwischen Wand und Rotationskörper wird die viskose Flüssigkeit geschert und bremst dabei die Bewegung des Rotationskörpers ab, was als Messsignal (z.B.: Geschwindigkeitsgefälle) mit verschiedenen Mitteln erfasst werden kann und aus welchem dann die Viskosität bestimmt werden kann.

Definition Thixotropie:

Notizen:

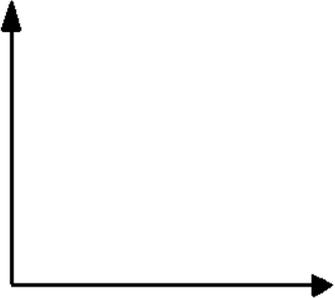
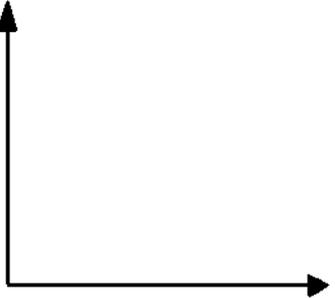
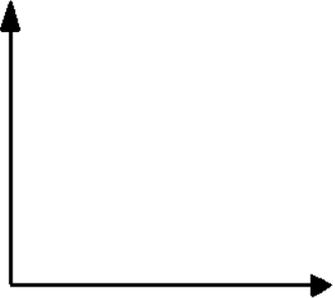
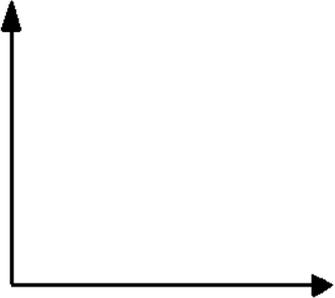
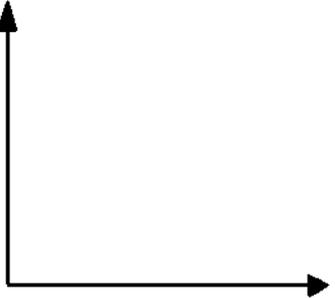
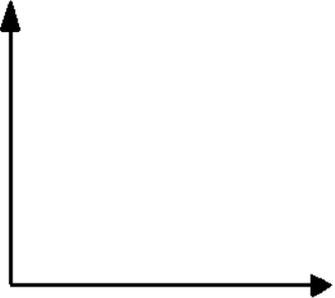
1.6 Rheologie

Unter Rheologie versteht man das Verformungs- und Fließverhalten von Materie unter Einwirkung äußerer Kräfte.

Tabelle 1.2: Einteilung der Formänderungen

	spannungsabhängig		spannungsunabhängig
	sofort auftretend	zeitabhängig	
umkehrbar, reversibel	elastisch ϵ_{el}	verzögert elastisch ϵ_v	Wärmedehnung ϵ_T Feuchtedehnung ϵ_s
nicht umkehrbar, irreversibel	Fließen, plastisch ϵ_{pl}	Kriechen viskos ϵ_{kr}	chemische Dehnung

Tabelle 1.3: Rheologische Grundmodelle

Hooke'sche Feder	Newton'scher Dämpfer	St. Venant'sches Reibungselement
		
		

Kombinationen dieser Grundmodelle können in Reihen- und Parallelschaltung ausgeführt werden und werden im Vorlesungsskriptum „Stoffkennwerte“ ausführlich behandelt.

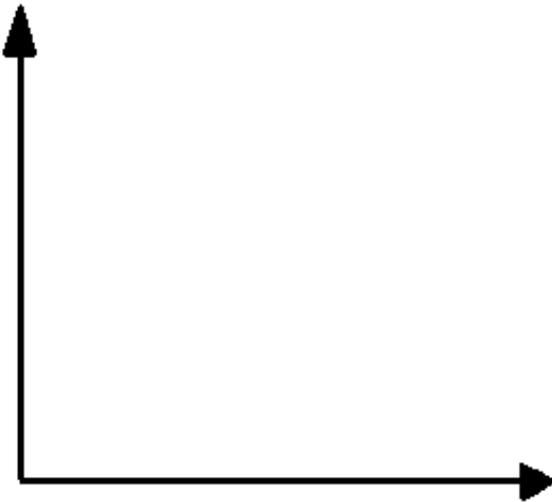
Notizen:

1.7 Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt. Der Elastizitätsmodul wird mit E-Modul oder als Formelzeichen mit E abgekürzt und berechnet sich aus folgender Formel:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Dehnung}} = \tan \alpha$$

Spannungs-Dehnungs-Diagramm:



Beispiel: Bestimmung des E-Moduls eines Stahlstabes.



Beim Ziehen des Stabes mit einer Kraft $F = 1000 \text{ kN}$ verlängert sich der Stab um $0,012 \text{ m}$, geht aber nach dem Nachlassen der Kraft wieder auf seine Ursprungslänge zurück. Seine Ursprungslänge l beträgt 1 m und seine Querschnittsfläche A beträgt 4 cm^2 . Bestimmen Sie den E-Modul!

Notizen:

2 Chemie I

2.1 Was ist Chemie?

2.2 Vorstellung Periodensystem der Elemente (PSE)

- Periodizität, Ordnungszahl, Elektronenkonfiguration und Bohrsches Atommodell, Außenelektronen und chemisches Verhalten
- Beispiele für Metalle, Halbmetalle, Nichtmetalle
- **Versuch 1:** Flammenfärbung
- Trends im PSE: Wie ändern sich Atommasse, Atomradius, Elektronegativität, Ionisierungsenergie?

Notizen

2.3 Die chemische Bindung

- **Ionenbindung** (Elektronenübergang von Metall zu Nichtmetall)
- Elektronegativitäts-Differenz und ionische Bindung
- Beispiele: Natriumchlorid (Kristallgitter) und Calciumcarbonat
- Eigenschaften (Schmelzpunkt, Sprödigkeit)

Notizen

- **Atombindung** (zwischen Nichtmetalle, gemeinsam bindendes Elektronenpaar)

- Polarität
- Dipol

Notizen

- **Übung:** Chemische Wertigkeit und Reaktionsgleichungen
- Ermittlung der Wertigkeit (Beispiele)
- Aufstellen der Reaktionsgleichungen (Beispiele, Hinweis auf Stöchiometrie)

Notizen

- **Van der Waals-Kräfte** (schwach, zwischen Molekülen und Edelgasen)
- Beispiele: permanenter Dipol (H_2O) und momentaner Dipol (Kohlenwasserstoffe)

Notizen

- **Metallische Bindung**

- dichteste Packungen
- positive Atomrümpfe und Elektronengas
- Eigenschaften (Duktilität, Leitfähigkeit, Glanz)

Notizen

2.4 Chemische Reaktionen

- **Analytik** (qualitativ, quantitativ, Strukturanalytik)
- **Versuch 2:** Chloridbestimmung
- **Übung:** Reaktionsgleichung aufstellen
- Gravimetrie (Hinweis auf Masse, Stoffmenge, molare Masse)

Notizen

- **Versuch 3:** Nachweis von Eisen
- Photometrie

Notizen

- **Versuch 4:** Nachweis von Zink

- **Übung:** Reaktionsgleichung aufstellen

Notizen

- **Säure-Base-Reaktion**
- Definition (Protonendonator, Protonenakzeptor)
- **Übung:** Reaktionsgleichungen (allgemein und speziell) aufstellen
- Spezielle Säure-Base-Reaktion: Neutralisation
- Definition pH-Wert und pH Indikator
- **Versuch 5:** Säure-Base-Titration

Notizen

- **Versuch 6:** Carbonatisierung von Beton (Neutralisation)
- **Übung:** Reaktionsgleichung aufstellen

Notizen

- **Versuch 7:** Wirkung von Säuren auf Beton

- **Übung:** Reaktionsgleichungen aufstellen

Notizen

3 Chemie II

3.1 Redox-Reaktionen

- Definition
- Reaktion von Natrium mit Chlor
- Wiederholung der Wertigkeit und Einführung der Oxidationszahl

Notizen

3.2 Aufstellen einer Redox-Gleichung

- Edukt und Produkt
- relevante OZ bestimmen
- Elektronenübergänge formulieren
- Ladungsausgleich
- Stoffausgleich
- Versuch: Entfärbung von Permanganat durch Oxalat
- Formulierung der Teilreaktionen und der Gesamtreaktion

Notizen

3.3 Einfluss von Säuren und Basen auf verschiedene Metalle

- Versuch: Säurekorrosion von Zink, Aluminium und Eisen
- Redox-Gleichungen
- Versuch: Wirkung von Basen auf Zink, Aluminium und Eisen (→ Sonderstellung)
- Redox-Gleichungen

Notizen

3.4 Sauerstoffkorrosion von Eisen und Stahlbauteilen

- Definition (Rost) und Skizze
- Redoxgleichung

Notizen

3.5 Kontaktkorrosion

- Standardpotential und Elektrochemische Spannungsreihe
- Versuch: Strommessung an Elektrodenpaarungen

Notizen

3.6 Galvanisches Element

- Definition und Skizze
- Reaktionsgleichungen

Notizen

3.7 Stahl

- Definition Stahl und Vergleich zu Gusseisen
- Beispiele und Eigenschaften

Notizen

3.8 Veränderung der Stahleigenschaften

- Wiederholung Metallbindung
- Wärmebehandlung (Härten und Glühen)
- Kaltumformen (Walzen, Ziehen)
- Legieren (Austauschmischkristalle, Einlagerungsmischkristalle, Zustandsschaubild)

Notizen

3.9 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (Zustandsschaubild)

- Definition
- Wichtige Linien und Punkte (Liquiduslinie, Soliduslinie, Eutektikum, Eutektoid, Isotherme)
- Reine Phasen (Ferrit, Austenit, Zementit)
- Phasengemische (Perlit, Ledeburit)

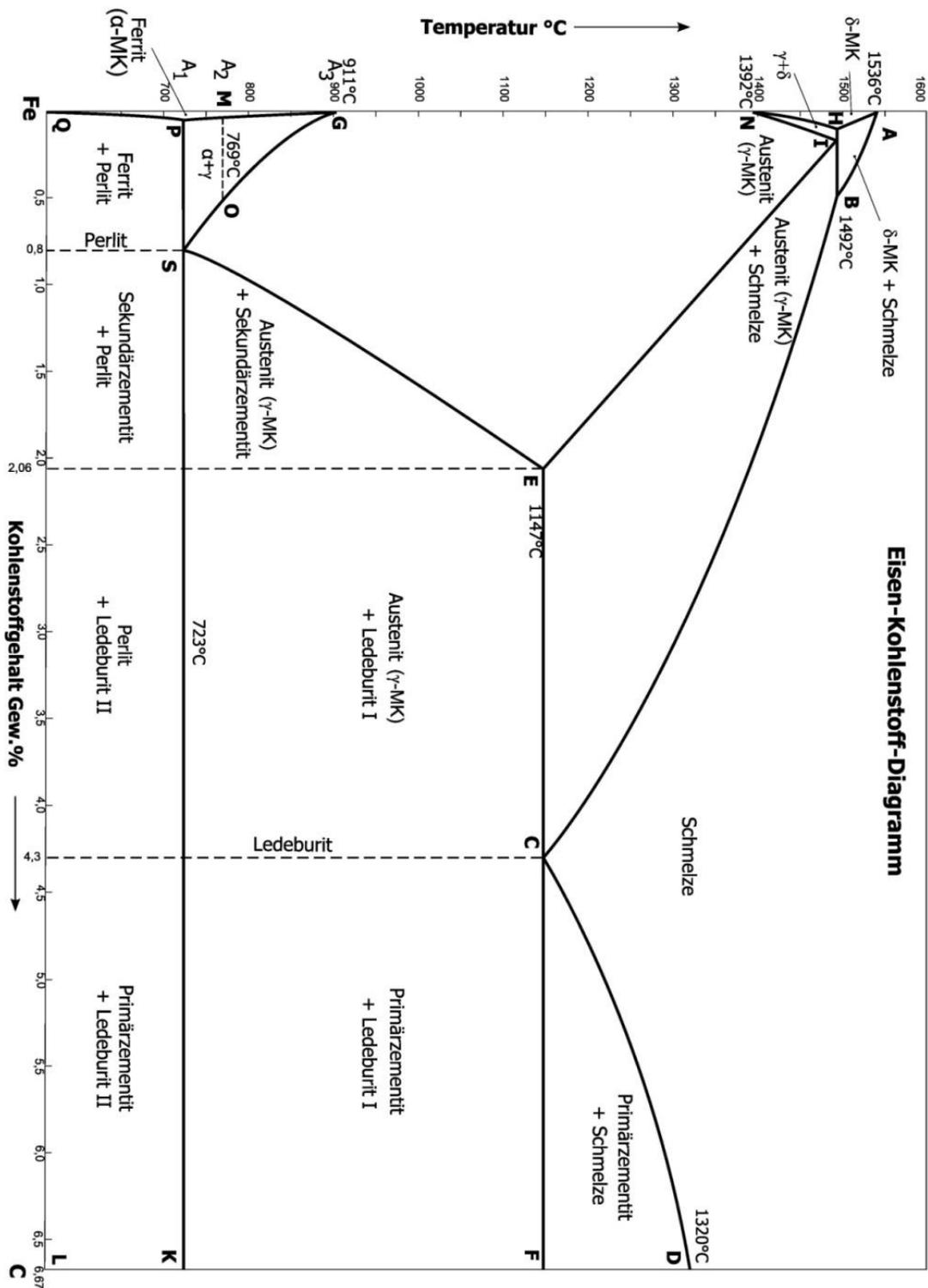
Notizen

3.10 Stahlgefüge

- Kristallisation, Gefüge und Korngrenzen, Metallographie
- Verschiedene Stahlgefüge (Mikroskopie Aufnahmen)

Notizen

3.11 Anhang: Eisen-Kohlenstoff-Diagramm



Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Eisen-Kohlenstoff-Diagramm>, Stand 13.11.2015

4 Baustahl

4.1 Praktikumsinhalt

Das Praktikum behandelt folgende Themen:

- Theoretischer Teil:
 - Vorstellen verschiedener Baustähle
 - Spannungs-Dehnungs-Diagramm Stahl
- Praktischer Teil:
 - Stahllesen
 - Zugversuch
 - Kerbschlagbiegeversuch
 - Dauerbiegeversuch

4.2 Bezeichnungen Baustahl/Betonstahl/Spannstahl

Baustahl:

Betonstahl:

Spannstahl:

Stähle werden nach ihren Eigenschaften unterschieden und in Stahlsorten aufgeteilt. Die Bezeichnung für Stähle in Europa ist in der DIN EN 10027-1 und DIN EN 10027-2 festgelegt. Es werden heute etwa 2500 verschiedene Stahlsorten hergestellt.

Beispiel:

Tabelle 3.1: Baustahlbezeichnungen

	1	2	3	4	5
BSt-sort	Kurzname	BSt 420 S	BSt 500 S	BSt 500 M ²⁾	Wert p % ³⁾
	Kurzzeichen ¹⁾	III S	IV S	IV M	
	Werkstoffnummer	1.0428	1.0438	1.0466	
	Erzeugnisform	Betonstabstahl	Betonstabstahl	Betonstahlmatte ²⁾	
1	Nenndurchmesser d_s mm	6 bis 28	6 bis 28	4 bis 12 ⁴⁾	-
2	Streckgrenze R_e (β_s) ⁵⁾ bzw. 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ ($\beta_{0,2}$) ⁵⁾ N/mm ²	420	500	500	5,0
3	Zugfestigkeit R_m (β_z) ⁵⁾ N/mm ²	500 ⁶⁾	550 ⁶⁾	550 ⁶⁾	5,0
4	Bruchdehnung A_{10} (δ_{10}) ⁵⁾ %	10	10	8	5,0
5	Dauerschwingfestigkeit gerade Stäbe ⁷⁾ N/mm ² $\frac{\text{Schwingbreite}}{2 \delta_A (2 \cdot 10^6)}$	215	215	-	10,0
6	gebogene Stäbe $2 \delta_A (2 \cdot 10^6)$	170	170	-	10,0
7	gerade freie Stäbe von Matten mit Schweißstelle $2 \delta_A (2 \cdot 10^6)$	-	-	100	10,0
8	gerade freie Stäbe von Matten mit Schweißstelle $2 \delta_A (2 \cdot 10^5)$	-	-	200	10,0
9	Rückbiegeversuch mit Biegerollendurchmesser für 6 bis 12	5 d_s	5 d_s	-	1,0
10	Rückbiegeversuch mit Biegerollendurchmesser für 14 bis 16	6 d_s	6 d_s	-	1,0
11	Nenndurchmesser d_s mm 20 bis 28	8 d_s	8 d_s	-	1,0
12	Biegedorndurchmesser beim Faltversuch an der Schweißstelle	-	-	6 d_s	5,0
13	Knotenschwerkraft S N	-	-	$0,3 \cdot A_s \cdot R_e$	5,0
14	Unterschreitung des Nennquerschnittes A_s ⁸⁾ %	4	4	4	5,0
15	Bezogene Rippenfläche f_R	Siehe DIN 488 Teil 2		Siehe DIN 488 T.4	0
16	Chem. Zusammensetzung bei der Schmelzen- u. Stückanalyse ⁹⁾ max.	C	0,22 (0,24)	0,22 (0,24)	0,15 (0,17)
17		P	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)
18		S	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)
19		N ¹⁰⁾	0,012 (0,013)	0,012 (0,013)	0,012 (0,013)
20	Schweißseignung für Verfahren ¹¹⁾	E, MAG, GP, RA, RP	E, MAG, GP, RA, RP	E ¹²⁾ , MAG ¹²⁾ , RP	-

¹⁾ Für Zeichnungen und statische Berechnungen.

²⁾ Mit den Einschränkungen nach Abschnitt 8.3 gelten die in dieser Spalte festgelegten Anforderungen auch für Bewehrungsdraht.

³⁾ p-Wert für eine statistische Wahrscheinlichkeit $W = 1 - \alpha = 0,90$ (einseitig) (siehe auch Abschnitt 5.2.2).

⁴⁾ Für Betonstahlmatten mit Nenndurchmessern von 4,0 und 4,5 mm gelten die in Anwendungsnormen festgelegten einschränkenden Bestimmungen; die Dauerschwingfestigkeit braucht nicht nachgewiesen werden.

⁵⁾ Früher verwendete Zeichen.

⁶⁾ Für die Istwerte des Zugversuchs gilt, dass R_m min. $1,05 \cdot R_e$ (bzw. $R_{p0,2}$), beim Betonstahl BSt 500 M mit Streckgrenzwerten über 550 N/mm² min. $1,03 \cdot R_e$ (bzw. $R_{p0,2}$) betragen muss.

⁷⁾ Die geforderte Dauerschwingfestig. an geraden Stäben gilt als erbracht, wenn die Werte nach Zeile 6 eingehalten werden.

⁸⁾ Die Produktion ist so einzustellen, dass der Querschnitt im Mittel mindestens dem Nennquerschnitt entspricht.

⁹⁾ Die Werte in Klammern gelten für die Stückanalyse.

¹⁰⁾ Die gelten für den Gesamtgehalt an Stickstoff. Höhere Werte sind nur dann zulässig, wenn ausreichende Gehalte an stickstoffabbindenden Elementen vorliegen.

¹¹⁾ Die Kennbuchstaben bedeuten: E = Metall-Lichtbogenhandschweißen, MAG = Metall-Aktivgasschweißen, GP = Gaspressschweißen, RA = Abbrennstumpfschweißen, RP = Widerstandspunktschweißen.

¹²⁾ Der Nenndurchmesser der Mattenstäbe muss mindestens 6 mm beim Verfahren MAG und mindestens 8 mm beim Verfahren E betragen, wenn Stäbe und Matten untereinander oder mit Stabstählen ≤ 14 mm Nenndurchmesser verschweißt werden.

4.3 Stahl lesen

Betonstabstahl besitzt zwei Reihen mit Rippen, deren Anordnung die Stahlsorte und das Herstellwerk kennzeichnet. Abbildung 3.1 zeigt zwei Beispiele von Rippenanordnungen und wie man diese liest.

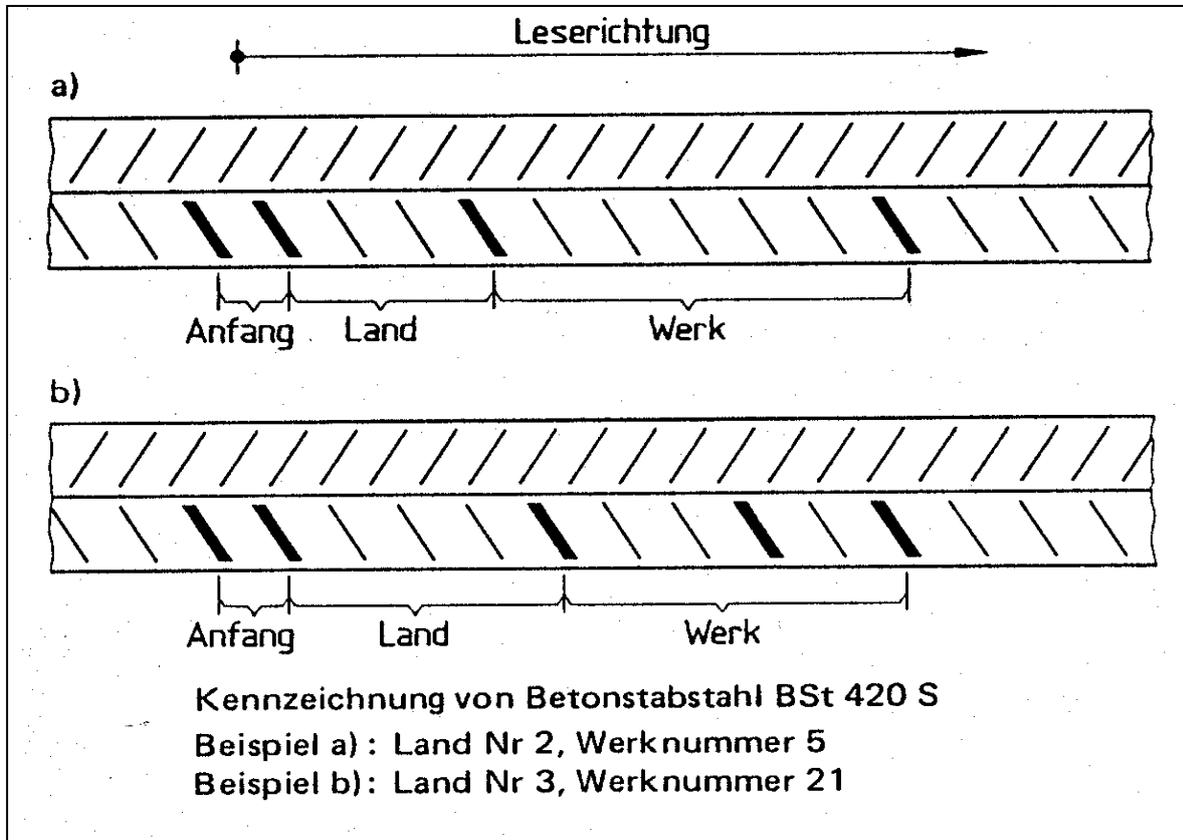


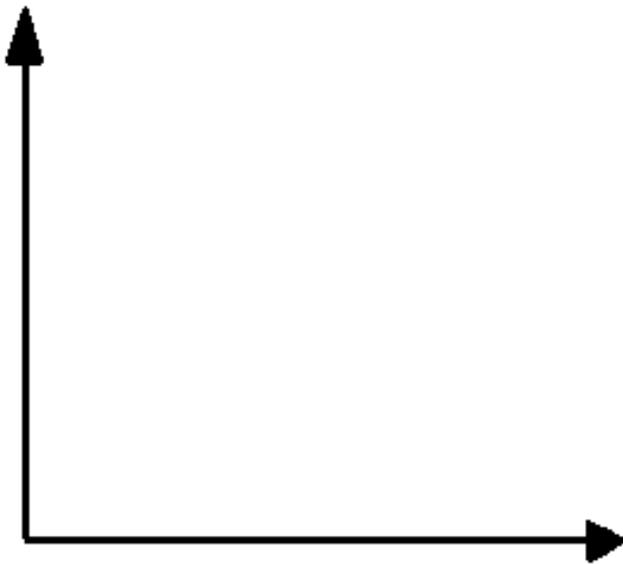
Abbildung 3.1: Beispiele Stahl lesen

Notizen:

4.4 Spannungs-Dehnungslinie

Streckgrenze R_e :

Zugfestigkeit R_m :



Notizen:

4.5 Zugversuch (DIN EN 10002)

Der Zugversuch dient der Ermittlung von Zugfestigkeits- und Verformungskenngrößen und ist in der DIN EN 10002 geregelt. Die Probekörper werden Proportionalitätsstäbe genannt und ihre Geometrie entspricht Abbildung 3.2. Die Länge l_0 der Probe variiert nach Stahlsorte bzw. Metallsorte, bei Baustählen ist sie in der Regel $5 \cdot d_0$, bei Betonstählen $10 \cdot d_0$.



Abbildung 3.2: Zugprobengeometrie

Tabelle 3.2: Zugversuche

Mess- und Kenngröße	Einheit	Probe 1	Probe 2	Probe 3
Material	-			
Vorhandener Durchmesser	mm			
Vorhandene Länge	mm			
Querschnittsfläche	mm ²			
Höchstlast	KN			
Endlänge	mm			
Streckgrenze	N/mm ²			
Zugfestigkeit	N/mm ²			
Bruchdehnung	%			

Notizen:

4.6 Dauerbiegeversuch

Mit diesem Versuch wird geprüft wie oft ein Stahlstab hin- und hergebogen werden kann, bis er bricht.

Tabelle 3.3: Dauerbiegeversuch

Art der Probe	Anzahl der Biegungen

Notizen:

4.7 Kerbschlagbiegeversuch (DIN EN ISO 12737)

Mit dem Kerbschlagbiegeversuch ist es möglich, die Zähigkeit von Werkstoffen zu bestimmen. Untersucht werden hier gekerbte Metallquader bei unterschiedlichen Temperaturen bei schlagartiger Belastung durch einen Pendelhammer. Der Pendelhammer zerschlägt die Probe mit einer vorgegebenen kinetischen Energie und erreicht gegenüber der Ruhelage die Höhe H_1 . Die verrichtete Arbeit wird durch einen Schleppzeiger am Gerät angezeigt und zusammen mit der Prüftemperatur in ein Diagramm eingetragen. Dabei entstehen materialcharakteristische Kurven mit denen Aussagen über die Zähigkeit getroffen werden können, siehe Abbildung 3.3. Bei niedriger Kerbschlagarbeit spricht man von Tieflage der Zähigkeit, der Werkstoff verhält sich spröde. Bei hoher Kerbschlagarbeit spricht man von Hochlage der Zähigkeit. Der Werkstoff verhält sich duktil.

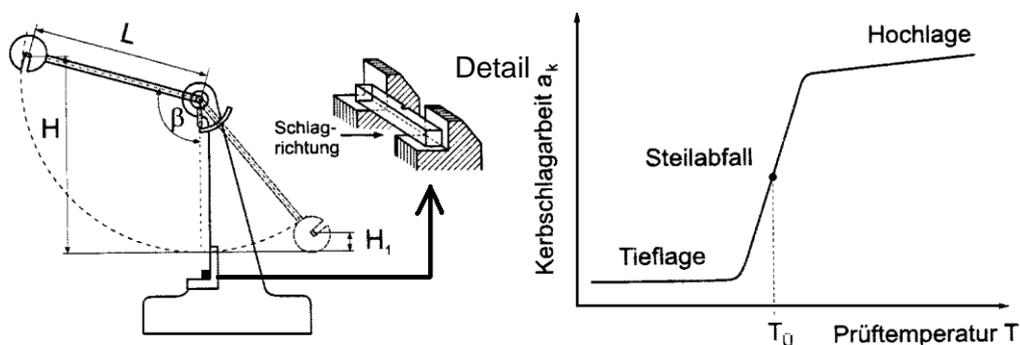


Abbildung 3.3: Aufbau des Pendelschlagwerks und Beispielkurve eines unlegierten Stahls

Tabelle 3.4: Kerbschlagbiegeversuch

Art der Probe	Kerbschlagarbeit [J]		Bruchaussehen [→1 – 2 – 3 – 4 – 5 ←] spröd.....zäh	
	+20°C	0°C	+20°C	0°C
warm verformter Stahl				
kalt verformter Stahl				
Aluminium				

Notizen: