

Laborprotokoll

der LVA

Chemische Technologie Anorganischer Stoffe (161.006)

zum Thema:

Pulvermetallurgie

Betreuender Assistent

Univ.Ass. Dipl.Ing. Dr. Christian Gierl

Datum: 01.11.2009

Verfasser: SVATUNEK Dennis, 0725292

Gruppenpartner: Felix BIEGGER

Hermine SCHMIDTBAUER

Christian WEISSENSTEINER

Einleitung

Die Pulvermetallurgie (PM) beschäftigt sich mit dem Einsatz von Metallpulvern zur Produktion von Bauteilen durch Formgebungs- sowie Sinterprozesse, sowie der Herstellung dieser Pulver.

Die Anforderung an die Pulver ist relativ hoch:

- Für die Automatisierung von PM-Prozessen wird ein Pulver benötigt welches eine ausreichende Fließfähigkeit besitzt
- Die Füllichte soll sehr hoch sein, dadurch kann der Pressvorgang verbessert und verkürzt werden, da der Pressstempel einen kürzeren Weg zurücklegen muss
- Die Pressdichte soll gering sein um die erwünschte Gründichte bei geringem Pressdruck zu erreichen
- Um die Sinterzeit sowie Sintertemperatur gering zu halten soll das Pulver sehr sinterfreudig sein, dies erreicht man durch chemisch reine Pulver
- Die Eigenschaften des Pulvers müssen auch über Jahre hinweg konstant sein, da sonst das Herstellungsverfahren ständig auf die neuen Eigenschaften adaptiert werden müsste.

Die Herstellung solcher Pulver kann auf verschiedene Arten erfolgen und liefert auch Pulver mit verschiedenen Eigenschaften. Als Beispiel sei hier nur die relativ moderne Wasserverdüsung erwähnt. Bei diesem Verfahren wird ein Strahl einer flüssigen Schmelze eines Metalls mithilfe eines starken Wasserstrahls zerstäubt. Dabei entstehen, nach dem Trocknen des Schlamms, harte zerfrante Pulver welche mit einer Oxidschicht überzogen sind, weshalb das Pulver im Anschluss reduzierend geglüht wird um die Oxidschicht zu entfernen.

Im wesentlichen gibt es zwei Produktgruppen die Motivation schaffen pulvermetallurgische Verfahren anzuwenden:

Formteile:

Die Herstellung von Formteilen mittels Pulvermetallurgie bietet hauptsächlich wirtschaftliche Vorteile, da große Stückzahlen von selbst komplex aufgebauten Formteilen sehr schnell und mit großer Präzision gefertigt werden können.

Werkstoffe:

Das pulvermetallurgische Verfahren wird für Werkstoff vor allem dann benützt, wenn eine Herstellung des gewünschten Materials über die klassische Schmelzmetallurgische Art nicht möglich ist wie zum Beispiel bei der Herstellung eines W-Cu-Tränkwerkstoff. Die Herstellung eines solchen Werkstoffes ist auf „klassische“ schmelzmetallurgische Art nicht möglich, da Kupfer und Wolfram nicht

mischbar sind. Auch können durch die pulvermetallurgische Herstellungen Eigenschaftsverbesserungen, z.B. durch feinere Gefüge, herbeigeführt werden. Auch die Erzeugung von Formteilen mit bestimmter Porosität wird relativ einfach, so können z.B. selbstschmierende Lager, das sind poröse Werkstoffe welche Schmierstoffe aufnehmen, speichern und langsam wieder abgeben, einfach, in großer Stückzahl, sehr präzise und billig produziert werden.

Generell kann man sagen, dass die Pulvermetallurgie einige entscheidende Vorteile gegenüber anderen Verfahren hat. Hier sind vor allem die engeren Gewichtstoleranzen der Produkte sowie die Möglichkeiten auch nicht mischbare oder schmelzbare Materialien zu einem Werkstoff zu verarbeiten. Auch benötigt man zur Herstellung meist weniger Werkzeuge als in schmelzmetallurgischen Verfahren. Eine weitere hervorragende Eigenschaft dieses Verfahrens ist, wie schon erwähnt, dass man große Stückzahlen komplizierter Formteile schnell und mit enormer Präzision fertigen kann.

Jedoch hat die Pulvermetallurgie auch Nachteile. Die als Ausgangsmaterialien verwendeten Pulver sind relativ teuer und die Produktion von niedrigen Stückzahlen ist meist unwirtschaftlich.

Daher wird dieses Verfahren hauptsächlich zur Herstellung von großen Mengen an Formteilen sowie für Spezialwerkstoffe benutzt.

Im praktischen Teil dieser Übung stellten wir über das pulvermetallurgische Verfahren aus zwei verschiedenen Pulvermischungen Formteile her, welche im Anschluss auf mechanische Eigenschaften überprüft wurden. Weiters wurde die Formänderung der Formteile während der Herstellung beobachtet.

Charakterisierung der Pulvermischung

Es wurden 2 verschiedene Pulver verwendet:

Reineisen: ASC 100.29 (+0,6% HWC)

Fe-Cu-Mischung: ASC 100.29 + 3% Cu (+0,6% HWC)

Vor Herstellung der Grünlinge wurden beide Pulvergemische im Bezug auf Fließverhalten sowie Schüttdichte charakterisiert.

Fließverhalten

Das Fließverhalten beider Pulver wurde nach DIN EN ISO 4490:2008 bestimmt.

Allerdings wurde die Messung nur 2 mal durchgeführt anstatt 3 mal wie in der Norm beschrieben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 vermerkt. Messung 2 bei der Bestimmung des Reineisenpulvers sowie Messung 2 bei der Fe-Cu-Mischung wurde durch Klopfen am Trichter gestartet. Weiters wurde vor der Messung keine Kalibration durchgeführt.

Tabelle 1 Ergebnisse der Bestimmung der Fließfähigkeit

	Reineisen	Fe-Cu-Mischung
Messung 1	36,4 s/50g	34,0 s/50g
Messung 2	36,1 s/50g	34,4 s/50g
Ermittelte Fließfähigkeit	36,3 s/50g	34,2 s/50g

Füllichte

Die Füllichte wurde laut DIN ISO 3923-1 bestimmt, allerdings mit Hilfe eines 12,18 cm³ fassenden Zylinders anstatt des geforderten Zylinders mit 25cm³. Auch der Abstand zwischen der Öffnung und der Oberkante des Zylinders wurde nicht auf Einhaltung der 2,5 cm Abstand kontrolliert. Der Nenndurchmesser der Trichteröffnung betrug 2,5mm. Die Ergebnisse der Füllichtebestimmungen sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 Füllichtebestimmung

	Reineisen	Fe-Cu-Mischung
Messung 1	3,09 g/cm ³	3,72 g/cm ³
Messung 2	3,22 g/cm ³	3,74 g/cm ³
Ermittelte Füllichte	3,16 g/cm³	3,73 g/cm³

Hier ist zu bemerken, dass die Fe-Cu-Mischung eine größere Füllichte hat. Dies liegt wohl an der höheren Dichte von Kupfer sowie möglicherweise an einem Unterschied zwischen den Partikelgrößen wodurch eine dichtere Schüttung zusammenkommt.

Herstellung der Grünlinge

Als Grünling wird ein noch nicht gesinterter Pressling bezeichnet. Zur Herstellung wurde Pulver in eine Schwebematrize gefüllt und mit Hilfe einer Presse mit definierter Kraft verpresst. So wurden für beide Pulver jeweils 6 quadratische Grünlinge hergestellt, immer 2 wurden mit einem Druck von 300 , 450, 600 MPa gepresst. Zur Bestimmung der Zugfestigkeit mussten Proben laut DIN ISO 2740 hergestellt werden. Dazu wurde die in der Norm beschriebene hantelförmige als Matrize verwendet. Hier wurde von beiden Pulver jeweils 3 gleiche Proben hergestellt welche alle mit einem Druck von 600 MPa verpresst wurden.

Die einzelnen Proben werden im folgenden in Folgender Form bezeichnet:

[Pulverart] [Pressdruck in MPa] [Art der Probe] [Laufende Nummer]

Das reine Eisenpulver wird mit „Fe“ gekennzeichnet, die Eisen-Kupfer-Mischung als „Cu“. Die Art der Probe wird mit „S“ für die quadratische Schlagproben sowie mit „Z“ für die hantelförmigen Zugproben bezeichnet. Fe600S1 ist also die erste Schlagprobe aus reinem Eisenpulver die mit einem Druck von 600MPa verpresst wurde.

Charakterisierung der Grünkörper

Gründichte der Schlagproben

Die Gründichte der quadratischen Schlagproben wurden über einfaches Vermessen der Ausmaße der Probe sowie abwiegen berechnet. Die Messwerte sowie Ergebnisse sind in Tabelle 3 vermerkt.

Tabelle 3 Gründichte der Schlagproben

Grünprobe	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	V [cm ³]	m [g]	Dichte [g/cm ³]	Mittelwert der Dichte [g/cm ³]
Fe300S1	55,37	10,35	9,13	5,23	33,87	6,47	6,46
Fe300S2	55,40	10,37	6,21	3,57	23,03	6,46	
Fe450S1	55,40	10,42	6,33	3,65	24,86	6,80	6,82
Fe450S2	55,41	10,42	8,38	4,84	33,10	6,84	
Fe600S1	55,42	10,40	8,41	4,85	34,40	7,10	7,11
Fe600S2	55,42	10,36	8,18	4,70	33,47	7,13	
Cu300S1	55,36	10,38	9,22	5,30	34,23	6,46	6,47
Cu300S2	55,42	10,34	8,95	5,13	33,20	6,47	
Cu450S1	55,38	10,41	8,50	4,90	33,61	6,86	6,83
Cu450S2	55,43	10,41	8,45	4,88	33,18	6,80	
Cu600S1	55,43	10,41	8,10	4,67	33,25	7,11	7,11
Cu600S2	55,43	10,41	8,31	4,80	34,03	7,10	

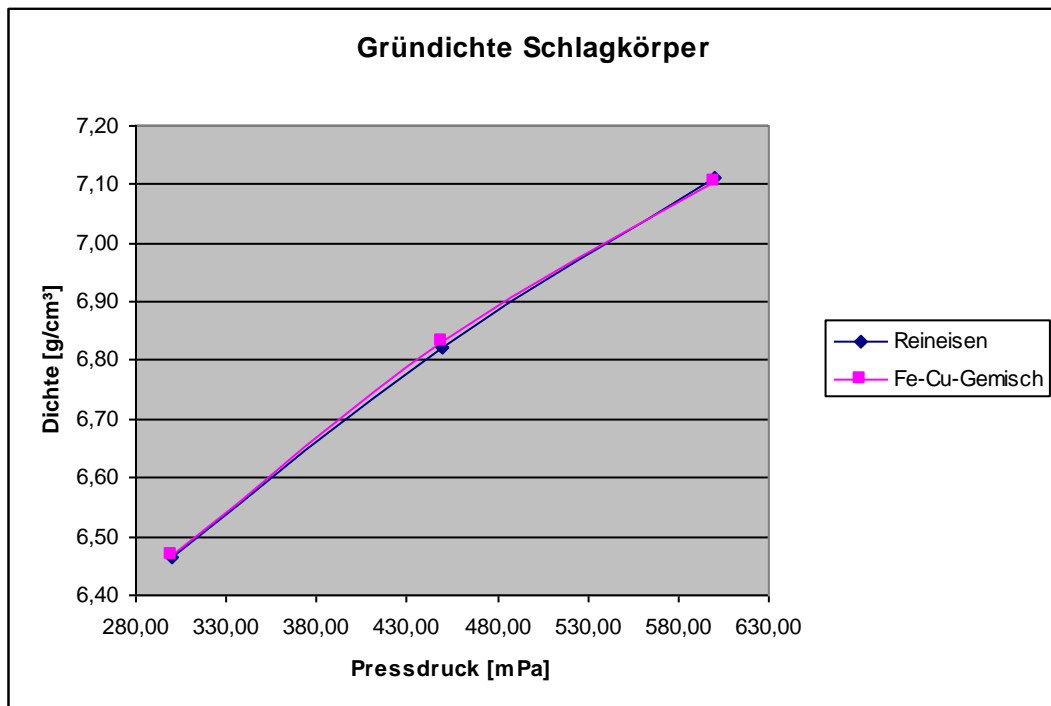


Abb. 1 Gründichte Schlagkörper

Erwartungsgemäß ist die Dichte umso höher je größer der Pressdruck war. Beide Pulver haben in etwa dieselbe Verpressbarkeit. Der geringe Unterschied der Dichten kann nicht als signifikant angesehen werden aufgrund der doch relativ großen Fehler im bestimmen des Volumens der Grünkörper.

Gründichte der Zugproben

Die Gründichte der Zugproben war nicht so einfach zu bestimmen, da die Grundfläche eine kompliziertere Form hatte. Da aber die Grundfläche der Matrize bekannt war, sie betrug 1 Square Inch, konnte, unter der Annahme das der Pressling nach dem Pressen in alle Richtungen gleich auffedert, die Grundfläche dadurch bestimmt werden, dass man den Auffederungsfaktor durch Messen einer Länge bestimmt. Wenn man nun annimmt das alle Längen der Grundfläche sich um den selben Faktor vergrößert haben kann man die Grundfläche bestimmen, indem man die Grundfläche der Matrize mit dem Quadrat des Auffederungsfaktors multipliziert und zur ursprünglichen Grundfläche addiert.

Tabelle 4 Gründichte der Zugproben

Zugprobe	L [mm]	H [mm]	m [g]	Auffederungs- faktor [%]	Grundfläche [cm²]	Volumen [cm³]	Gründichte [g/cm³]
Fe600Z1	89,95	5,72	26,60	0,28	6,49	3,71	7,17
Fe600Z2	89,96	6,00	27,18	0,29	6,49	3,89	6,98
Fe600Z3	89,96	5,86	26,71	0,29	6,49	3,80	7,02
Cu600Z1	89,98	5,90	26,56	0,31	6,49	3,83	6,93
Cu600Z2	89,98	5,84	26,93	0,31	6,49	3,79	7,10
Cu600Z3	89,98	5,50	25,10	0,31	6,49	3,57	7,03

Die gemittelten Gründichten betragen:

Zugproben aus reinem Eisen: 7,06 g/cm³

Zugproben aus Fe-Cu-Mischung: 7,02 g/cm³

Die Gründichte der Fe-Cu-Mischung ist etwas kleiner, jedoch kann wieder nicht von einem signifikanten Unterschied ausgegangen ist.

Sinterung der Proben

Zuerst wurde bei 600 °C das Presshilfsmittel (Wachs) ausgetrieben, daraufhin wurde 30 Minuten bei 1120 °C gesintert. Abschließend kühlte die Probe noch 30 Minuten aus. In Tabelle 5 und 6 sind die Dichten nach dem Sintern vermerkt. Abb. 2 zeigt die Sinterdichte in Abhängigkeit vom Pressdruck.

Tabelle 5 Sinterdichte der Schlagproben

Sinterprobe	l [mm]	b [mm]	h [mm]	V [cm ³]	m [g]	Dichte [g/cm ³]
Fe300S1	55,37	10,34	9,12	5,22	33,66	6,45
Fe300S2	55,32	10,38	6,17	3,54	22,90	6,46
Fe450S1	55,38	10,38	6,29	3,62	24,71	6,83
Fe450S2	55,35	10,36	8,40	4,82	32,91	6,83
Fe600S1	55,41	10,39	8,38	4,82	34,19	7,09
Fe600S2	55,37	10,38	8,13	4,67	33,27	7,12
Cu300S1	55,75	10,45	9,32	5,43	34,03	6,27
Cu300S2	55,75	10,44	8,96	5,21	33,00	6,33
Cu450S1	55,80	10,47	8,56	5,00	33,41	6,68
Cu450S2	55,78	10,48	8,39	4,90	32,98	6,72
Cu600S1	55,81	10,51	8,25	4,84	33,05	6,83
Cu600S2	55,81	10,47	8,32	4,86	33,81	6,95

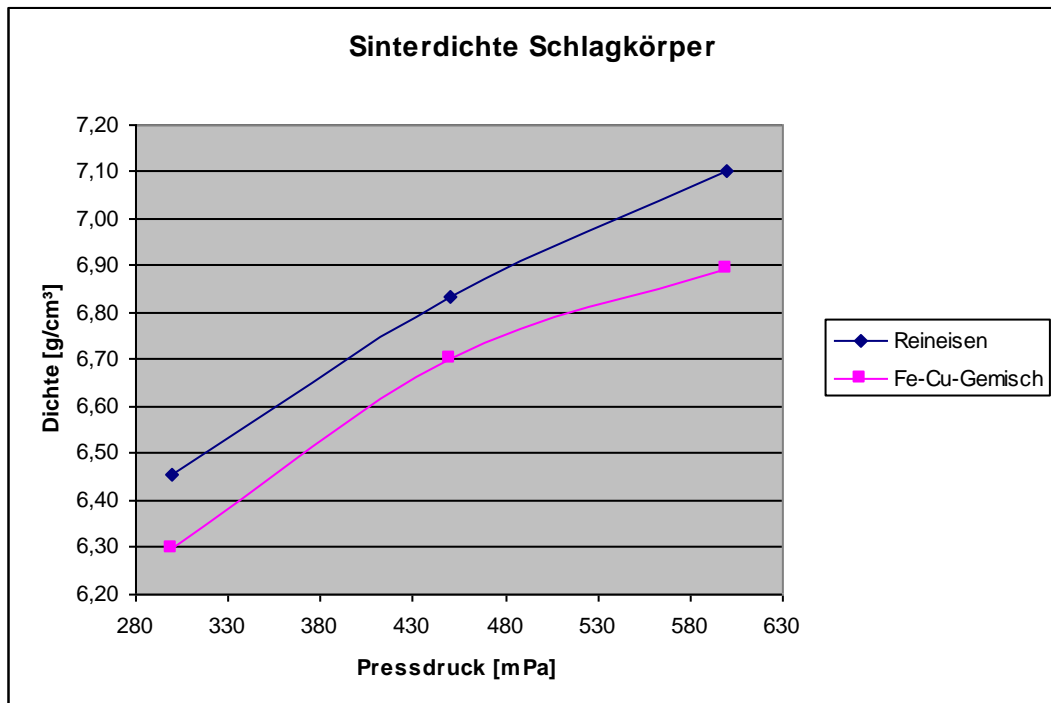


Abb. 2 Sinterdichte Schlagkörper

Tabelle 6 Sinterdichte der Zugproben

Sinter- proben	l [mm]	mittlere b [mm]	H [mm]	Auffederungs- faktor [%]	m [g]	Grundfläche [cm²]	Volumen [cm³]	Sinter- dichte [g/cm³]
Fe600Z1	89,92	5,90	5,86	0,25	26,45	6,48	3,80	6,96
Fe600Z2	89,87	5,79	6,01	0,19	27,02	6,48	3,89	6,94
Fe600Z3	89,87	5,80	5,89	0,19	26,55	6,48	3,81	6,96
Cu600Z1	90,58	5,84	5,85	0,98	26,39	6,58	3,85	6,86
Cu600Z2	90,58	5,87	5,95	0,98	26,77	6,58	3,91	6,84
Cu600Z3	90,58	5,85	5,54	0,98	24,95	6,58	3,64	6,85

Hier ist zu erkennen, dass die Eisenproben tendenziell eine Höhere Dichte als die Fe-Cu-Proben erreichen, obwohl die Gründichten annähernd gleich waren. Dies ist auf ein Aufschmelzen des Kupfers während des Sinterns und ein Eindringen zwischen die Eisenkörner zu erklären, da beim Erstarren des Kupfers zur Ausbildung von Cu-Fe-Mischkristallen kommt, die die Eisenkörner auseinander drücken. Dies wird „Kupferschwelle“ genannt.

Maßänderung

Die Maßänderung beim Sintern wurde nach der Norm DIN ISO 4492 bestimmt. Berechnet wird die Maßänderung beim Sintern nach folgender Formel:

$$\Delta d_{GS} = \frac{d_s - d_G}{d_G} * 100$$

d_s ... Länge des Sinterkörpers

d_G ... Länge des Grünkörpers

Die Maßänderungen aller Proben sind in Tabelle 7 vermerkt.

Tabelle 7 Maßänderung aller Proben

Proben	Maßänderung Δd_{GS} [%]
Fe300S1	0,00
Fe300S2	-0,14
Fe450S1	-0,04
Fe450S2	-0,11
Fe600S1	-0,02
Fe600S2	-0,09
Cu300S1	0,70
Cu300S2	0,60
Cu450S1	0,76
Cu450S2	0,63
Cu600S1	0,69
Cu600S2	0,69
Fe600Z1	-0,03
Fe600Z2	-0,10
Fe600Z3	-0,10
Cu600Z1	0,67
Cu600Z2	0,67
Cu600Z3	0,67

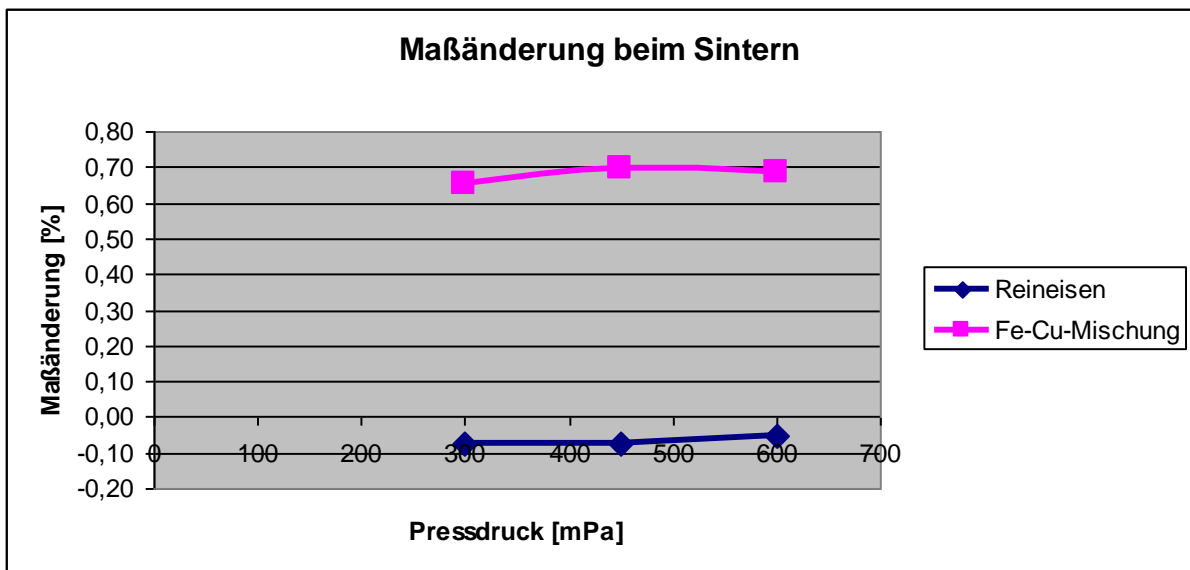


Abb. 3 Maßänderung beim Sintern der Schlagproben

In Abb. 3 ist deutlich ersichtlich, dass die Maßänderung beim Sintern der Reineisenproben schwach negativ ist, die Proben ziehen sich beim Sintern zusammen. Dies ist beim normalen Sintervorgang zu erwarten, da die Atome in den Korngrenzen der einzelnen Pulverteilchen mobil werden und dadurch die einzelnen Teilchen zusammenschmelzen. Die Triebkraft für diesen Vorgang ist die Oberflächenspannung welche eine Minimierung der Oberfläche anstrebt. Die Eisen-Kupfer-Proben jedoch erfahren einen großen Volumenzuwachs. Dies ist wieder auf die Kupferschwelle zurückzuführen.

Schlagzähigkeit

Die Messung der Schlagzähigkeit wurde über einen Pendelschlagversuch nach Charpy durchgeführt. Die Messergebnisse wurden auf cm^2 Querschnitt normiert. Es wurde aus jeweils 2 Bestimmungen der Mittelwert bestimmt, die Ergebnisse sind in Tabelle 8 verzeichnet.

Tabelle 8 Schlagzähigkeit der Schlagproben

Probenart	Pressdruck [MPa]	Schlagzähigkeit [J/cm^2]
Fe	300	9,54
Fe	450	21,30
Fe	600	32,04
Cu-Fe	300	6,81
Cu-Fe	450	14,57
Cu-Fe	600	24,05

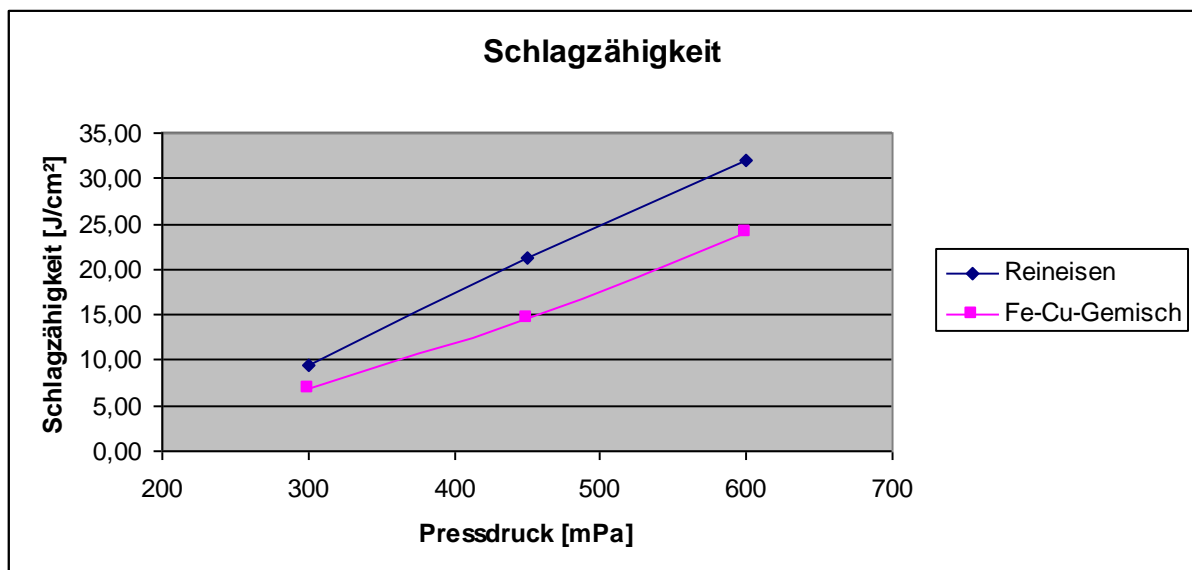


Abb. 4 Schlagzähigkeit der Schlagproben

Abb. 4 zeigt die Schlagzähigkeit der gesinterten Proben in Abhängigkeit des Pressdrucks. Hier ist zu sehen, dass die Schlagzähigkeit in diesem Bereich fast linear mit dem Pressdruck verknüpft ist und bei zunehmenden Pressdruck höher wird. Dies ist wahrscheinlich auf ein engeres Gefüge nach dem Sintern aufgrund von höherer Dichte der Grünlinge zurückzuführen. Die Reineisenproben sind schlagzäher als die Proben mit Kupfer.

Härtemessung

Es wurde die Vickershärte mit einer Belastung von 10kg ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 vermerkt.

Tabelle 9 Vickershärte der Schlagproben

Probenart	Pressdruck [MPa]	HV10
Fe	300	34
Fe	450	53
Fe	600	63
Cu-Fe	300	64
Cu-Fe	450	92
Cu-Fe	600	96

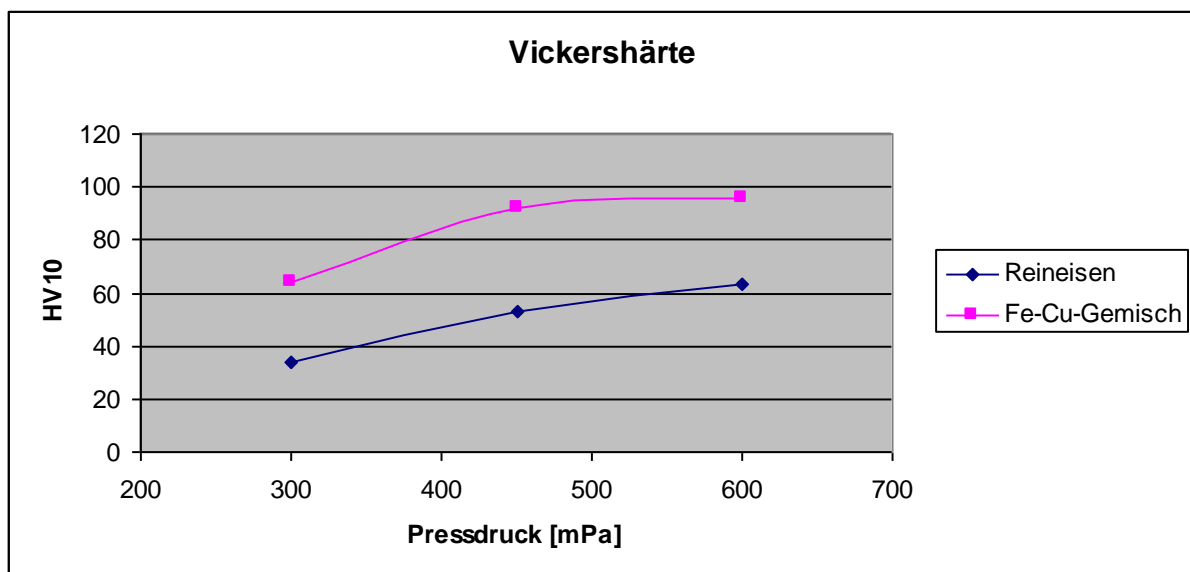


Abb. 5 Vickershärte der Schlagproben

In Abb. 5 sieht man die Vickershärte in Abhängigkeit des Pressdruckes. Die Härte nimmt wieder mit zunehmendem Druck zu, was auf eine erschwerte Plastische Verformung bei dichteren Proben zurückzuführen ist. Die Reineisenproben sind wesentlich weicher als die Fe-Cu-Proben. Man kann im Vergleich mit der Schlagzähigkeitsmessung feststellen, dass ein Zusatz von Cu zu Eisen das Material wesentlich härter macht, jedoch auch wesentlich spröder.

Auswertung der Zugversuche

Es wurden jeweils zwei Eisen und zwei Eisen-Kupfer-Proben zum Zugversuch verwendet. Die zu ermittelten Kenndaten wurden nach DIN EN 10002-1 bestimmt. Die Zugprüfung wurde automatisiert durchgeführt. Als Dilatometer diente eine Kamera, die per Computer die Längenänderungen aufzeichnete. Die Gemessenen Daten wurden in Form einer Excel-Tabelle als Kraft/Markierungsabstand-Wertepaar ausgegeben. Um ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm zu erstellen mussten Spannung sowie Dehnung zuerst berechnet werden. Dies erfolgte nach folgenden Formeln.

$$\text{Dehnung } \varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100$$

L... Messlänge (Markierungsabstand)

L₀...Anfangsmesslänge (Anfangsabstand der Markierungen)

$$\text{Spannung } \sigma = \frac{F}{S_0}$$

F...gemessene Kraft in N

S₀=Höhe*Breite in der Mitte...Zugprobenquerschnitt am Anfang in mm²

Die ermittelten Diagramme sind in Abbildung 6-9 zu sehen.

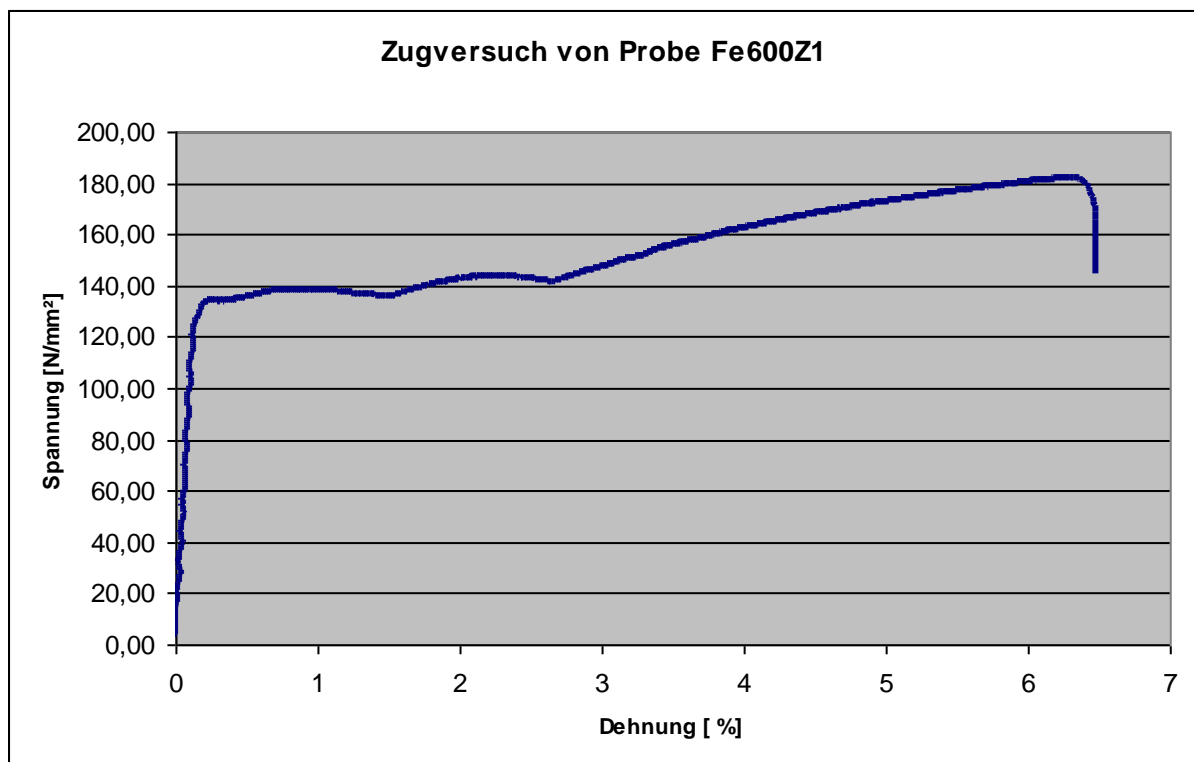


Abb. 6 Zugversuch Fe600Z1

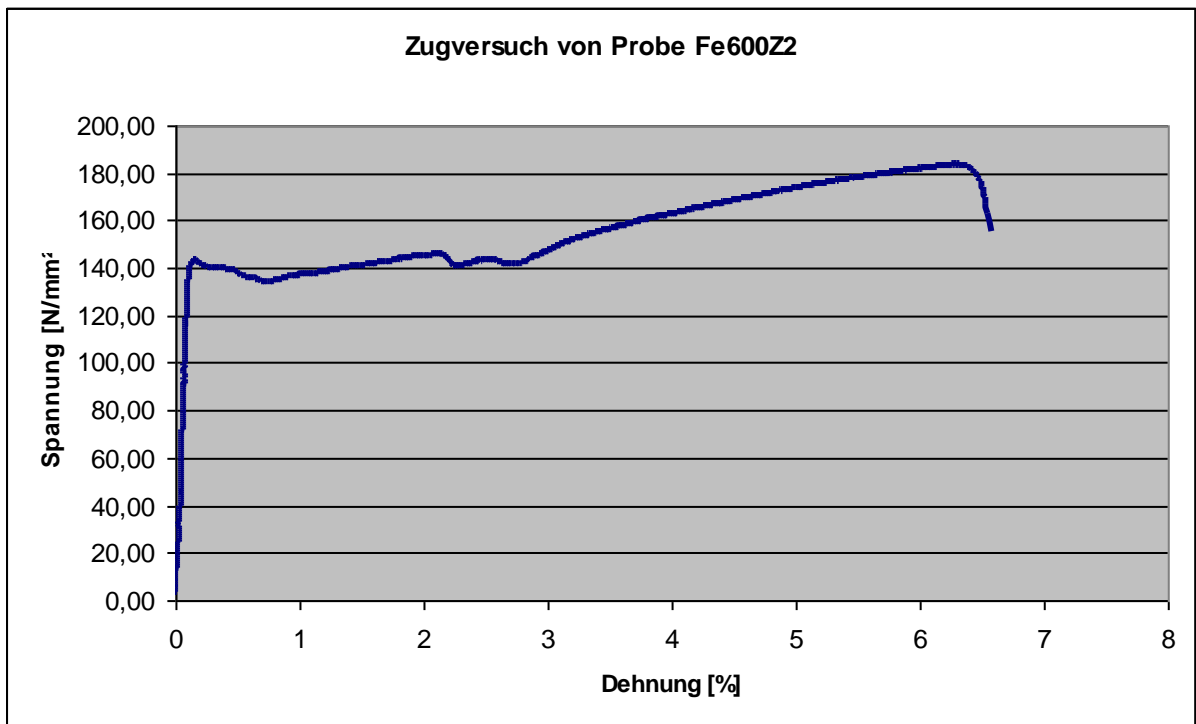


Abb. 7 Zugversuch Fe600Z2

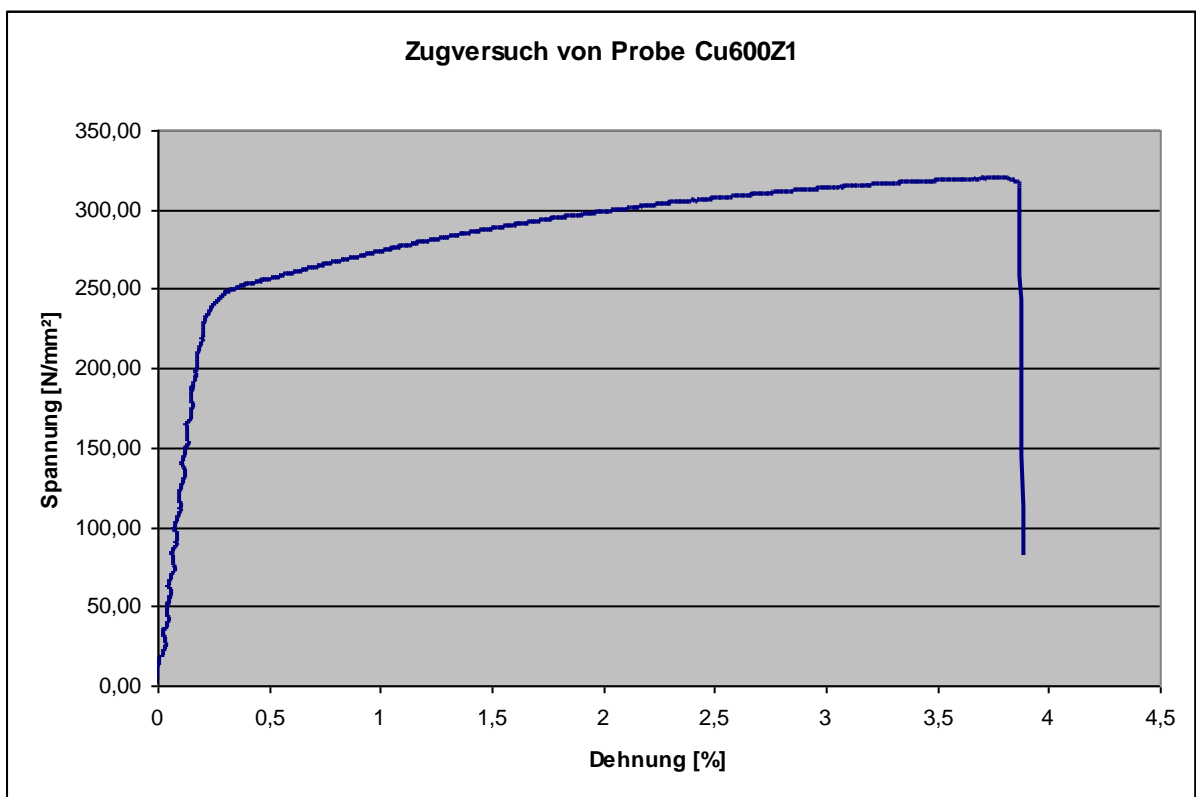


Abb. 8 Zugversuch Cu600Z1

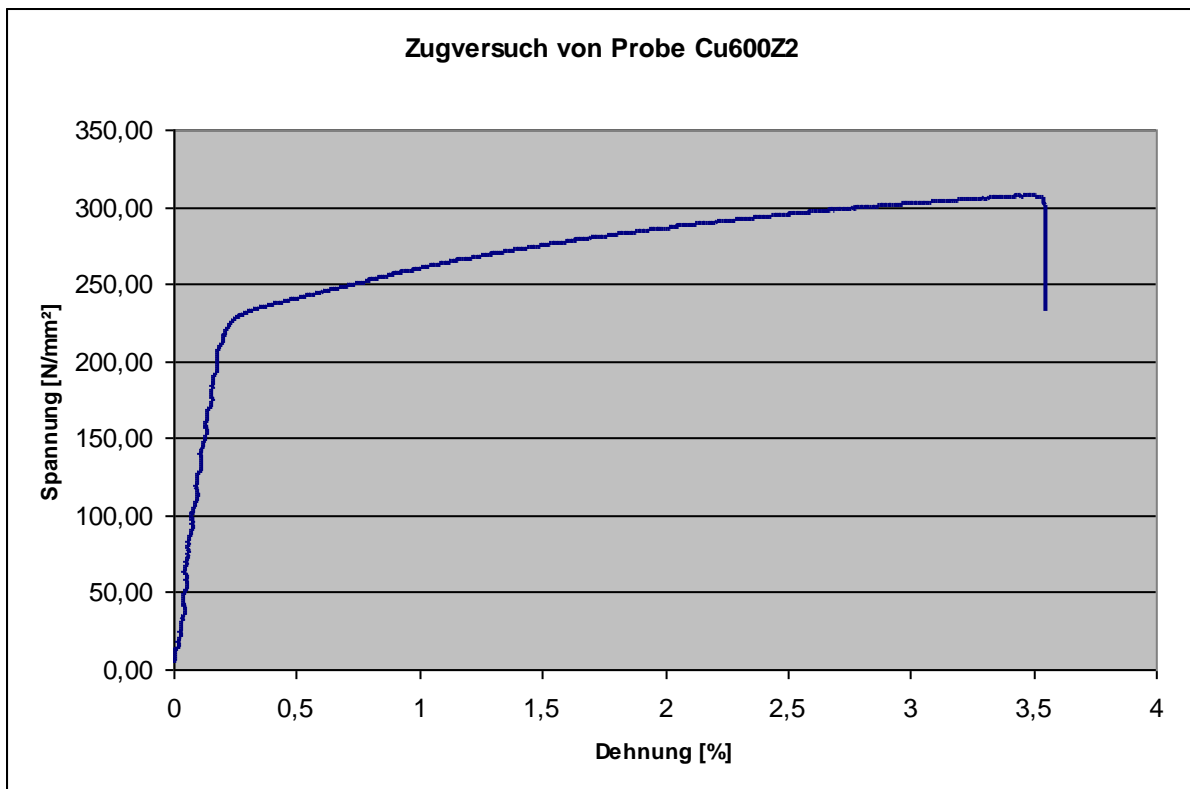


Abb. 9 Zugversuch Cu600Z2

Bei den Reineisenproben ist zwischen elastischer und plastischer Verformung ein unstetiger Bereich zu beobachten, die sogenannte Lüdersdehnung. Bei den Fe-Cu-Proben gibt es hier einen stetigen Übergang. Daher wurde bei den Reineisenproben eine Streckgrenze und beim Fe-Cu-Gemisch eine Dehnungsgrenze bestimmt.

Bestimmt wurden Zugfestigkeit, Bruchdehnung, E-Modul und Streck- bzw. Dehnungsgrenze.

Die Zugfestigkeit R_m ist definiert durch den Quotient der größten Zugkraft durch den Anfangsquerschnitt, also der größten gemessenen Spannung.

Die Bruchdehnung ist die prozentuale Verlängerung der Zugprobe nach dem Bruch. Um sie zu bestimmen wird vom Abrisspunkt eine Gerade parallel zur Hook'schen Gerade gelegt, der Schnittpunkt mit der x-Achse ergibt die Bruchdehnung.

Das E-Modul ergibt sich aus der Steigung der Hook'schen Gerade, das ist der lineare Verlauf zu Beginn der Zugprüfung, die die elastische Verformung beschreibt. Siehe Abb. 10.

Die Streckspannung ist der Wert bei der die Zugkraft erstmals konstant bleibt oder abfällt, bei einem merklichen Abfall ist zwischen einer oberen (R_{eH}) und unteren (R_{eL}) Streckgrenze zu unterscheiden. In unserem Fall gibt es zwar einen merklichen Abfall, jedoch kann eine untere Streckgrenze nicht eindeutig identifiziert werden.

Die Dehngrenze ist die Spannung bei einer nichtproportionalen Dehnung, in unserem Fall bei einer Dehnung von 0,2%. Bestimmt wird sie wie in Abb.11 zu sehen ist. Der Schnittpunkt der schwarzen Gerade, welche parallel zur Hook'schen Gerade liegt, mit der blauen Kurve ist die Dehngrenze.

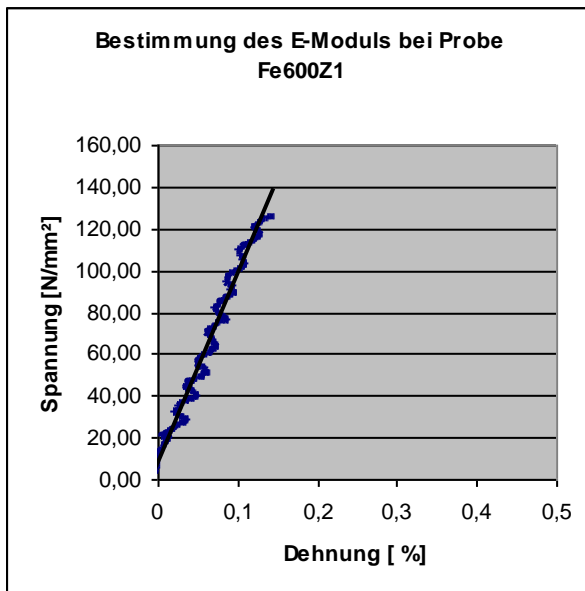


Abb. 10 Bestimmung des E-Moduls

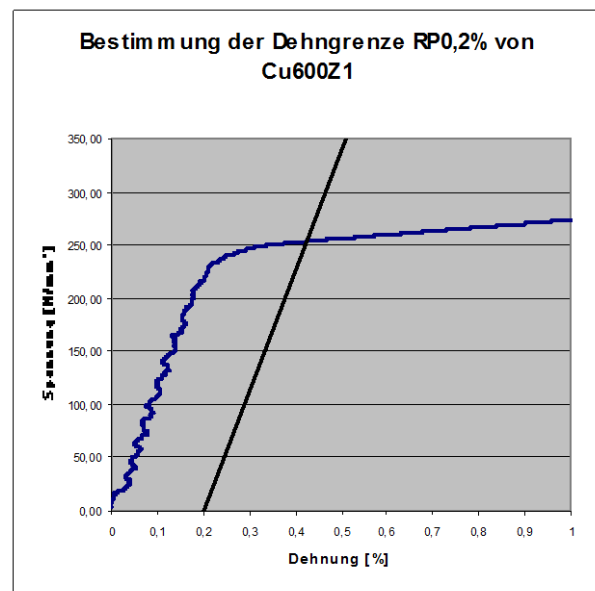


Abb. 11 Bestimmung der Dehngrenze

Die ermittelten Werte sind in Tabelle 10 angeführt.

Tabelle 10 Ergebnisse der Zugversuche

	Reineisen, 600 MPa, Probe 1	Reineisen, 600 MPa, Probe 2	Fe-Cu-Gemisch, 600 MPa, Probe 1	Fe-Cu-Gemisch, 600 MPa, Probe 2
Zugfestigkeit [MPa]	182,26	183,66	319,55	306,92
Bruchdehnung [%]	6,30	6,44	3,60	3,29
E-Modul [GPa]	90,6	133	113	115
Streckgrenze R_{eH} [MPa]	134,15	143,32	-	-
Dehngrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	-	-	253,53	236,86

Die Mittelwerte sind in Tabelle 11 verzeichnet.

Tabelle 11 Mittelwerte der Zugversuche

	Reineisen, 600 MPa	Fe-Cu-Gemisch, 600 MPa
Zugfestigkeit [MPa]	182,96	313,24
Bruchdehnung [%]	6,37	3,45
E-Modul [GPa]	111	114
Streckgrenze R_{eH} [MPa]	138,74	-
Dehngrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	-	245,20

Literaturwerte:

Tabelle 12 Literaturwerte

	Zugfestigkeit	E-Modul	Streckgrenze/Dehngrenze (0,2%)
Reines Eisen	220-280 N/mm ²	210 kN/mm ²	90-140 N/mm ²
Kupfer	200 N/mm ²	120 kN/mm ²	40-80 N/mm ²

(Quelle: Winnacker/Küchler; Chemische Technik, 5.Auflage, Band 6a Metalle
www.kupfer-institut.de)

Interpretation des Zugversuchs

Die Fe-Cu-Probe weist eine höhere Zugfestigkeit auf als die Reineisen-Probe, sie hält also höhere Zugbelastungen aus. Jedoch lassen sich die Reineisenproben um fast 3% mehr verformen, bis es zu einem Zerreißen kommt, sie sind also wesentlich duktiler als das Fe-Cu-Gemisch. Diese Beobachtung stimmt auch mit den zuvor bei Härte und Schlagzähigkeitsmessung bestimmten Werten überein. Die Eisen-Kupfer-Probe ist wesentlich härter und damit auch wesentlich spröder. Das E-Modul beider Materialien ist in etwa gleich.

Vergleicht man die gemessenen Werte mit den Literaturwerten aus Tabelle 12 sieht man, dass die Zugfestigkeit des reinen Eisens doch deutlich unter der Literaturangabe liegt. Betrachtet man allerdings die Zugfestigkeit des Fe-Cu-Gemisches so ist sie wesentlich höher als der Literaturwert für Reineisen. Aufgrund Ermangelns eines Vergleichswertes für eine Eisenprobe mit 2% Cu wurde der Wert für reines Cu auch herbeigezogen. Jedoch liegt der Wert unserer Probe auch weit darüber. Die Streckgrenze des Reineisens liegt im Bereich der Literaturangabe. Die Dehngrenze der Fe-Cu-Legierung liegt wiederum weit darüber.

Die Messwerte der Reineisenprobe entsprechen daher sehr gut der Literaturangabe.