

Über die Scherfestigkeit und den Lochleibungsdruck von Nieten und Nietverbindungen¹

Von Dr.-Ing. e. h. Stefan Gállik, Budapest

I. Die Scherfestigkeit der Niete

1. Die reine Scherfestigkeit

Nach der theoretischen Elastizitätslehre besteht zwischen der Scher- und Zugfestigkeit der Zusammenhang

$$\tau = \frac{m}{m+1} \cdot \sigma;$$

dem entspricht für $m \sim 3-4$ der Wert $\frac{\tau}{\sigma} = 0,70$ bis $0,80$.

Die auf die innere Reibung aufgebaute DUGUET-MOHRsche Theorie gibt $\tau = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \cdot \sigma$ an, wonach mit dem Wirkungswinkel $\alpha = 53$ bis 58° , ist: $\frac{\tau}{\sigma} = 0,66$ bis $0,80$.

TETMAJER fand nach seinen Versuchen mit Schweißeisen (Mitteilungen III. Bd.) den Wert $\frac{\tau}{\sigma}$ mit $0,75$ bis $0,80$.

BAUSCHINGERS Versuche ergaben für Flußeisen und weichen Stahl den Wert von $0,71$ bis $0,78$.

Nach den unten genannten neuesten Versuchen von Dr. GEHLER ist dieses Verhältnis für Siliziumstahl von 4900 bis 5800 kg Festigkeit $0,74$.

Verfasser fand nach den neueren, in Diósgyőr durchgeführten Versuchen diese Verhältniszahl

für Flußeisen und Kohlenstoffstahl	0,74
für Siliziumstahl	0,78

Die für die reine Scherfestigkeit gefundenen Werte stimmen also sehr gut miteinander überein.

2. Die Scherfestigkeit der Niete in Verbindungen

Die Scherfestigkeit der geschlagenen Niete, d. h. die Festigkeit der Nietverbindungen (τ_v) ist nicht identisch mit der Scherfestigkeit des Nietmaterials, sondern

¹ Im Auftrag des vom kön. ung. Handelsministeriums entsandten Baustahl-Ausschusses vom Verfasser erstatteter Bericht.

übersteigt diese wesentlich, und zwar nicht nur wegen der auftretenden Reibung, da diese in der letzten Phase des Zerreißen — wo die Nietlöcher sich bereits dehnen und die Bleche sich schon strecken — nur einen kleinen Wert besitzen dürfte, sondern hauptsächlich wegen der Verfestigung, welche die Niete beim Pressen des Setzkopfes erfahren, und noch im höheren Maße wegen der Stauchung beim Schlagen.

Die Feststellung der tatsächlichen Scherfestigkeit erfolgt durch Zerreißversuche mit genieteten Laschenverbindungen. Einige diesbezügliche Versuchsreihen teilen wir im nachstehenden mit.

3. Versuche mit Nietverbindungen

a) Versuche von F. ENGESSER.

„Versuche über die Festigkeit von Nietverbindungen“ (Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing. 1889, S. 324).

Die Zugfestigkeit des bei den Versuchen verwendeten Materials war bei den Blechen 3430, bei den Nieten $\sigma_n = 3820$ kg/qcm. Die Scherfestigkeit der zweischnittigen Nietverbindung, ob warm oder kalt eingezogen, betrug:

	$\tau_v = 3550$ kg/qcm = $0,93 \cdot \sigma_n$
dieselbe ohne Reibung	3320 kg/qcm = $0,87 \cdot \sigma_n$
die Reibung beim Reißen also.....	200 kg/qcm
die Reibung beim Beginn des Gleitens.....	890 kg/qcm

b) Versuche von L. TETMAJER.

a) „Angewandte Elast.- und Festigkeitslehre“, Wien 1906, S. 296 bis 310.
Die Festigkeit der Nietverbindung bei Flußeisen war nach TETMAJER:

$$\tau_v = 0,86 \cdot \sigma_n.$$

Die durch die Nietung erzeugte Reibung: 800 bis 1000 kg/qcm.

β) Mitteilungen d. E. M. P. A. (Zürich, III. Bd. 1886).

Das Verhältnis zwischen der Scherfestigkeit der Nietverbindung und der des Nietmaterials $\left(\frac{\tau_v}{\sigma_n}\right) = 1,19$ bis $1,24$, durchschnittlich $1,21$.

c) Die Versuche in Diósgyőr vom Jahre 1898.

Nach den ersten Versuchen des Verfassers im Jahre 1898 war die Verhältniszahl $\left(\frac{\tau_v}{\sigma_n}\right)$:

bei Nieten mit 4000 kg Zugfestigkeit	$\frac{\tau_v}{\sigma_n} = 0,83$
bei Nickelstahlnieten mit 6000 kg Zugfestigkeit	$\frac{\tau_v}{\sigma_n} = 0,87$

d) Österreichische Versuche vom Jahre 1914.

Nach den Endergebnissen der durch K. HABERKALT veröffentlichten österreichischen Versuche (Österr. Wochenschrift f. öff. Baudienst, 1914, S. 832) war das Verhältnis zwischen der Scherfestigkeit der Nietverbindungen (bezogen auf den Lochdurchmesser) und der Zugfestigkeit des Nietmaterials das folgende:

I. Nickelstahl, mit Zugf. $\sigma_n = 5350$ bis 6080 kg/qcm	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma_n}\right) = 1,04$	} für Stahl durchschn. 0,94
II. Karbonstahl, $\sigma_n = 6600$ bis 7000 kg/qcm	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma_n}\right) = (0,73)$	
III. Karbonstahl, $\sigma_n = 5500$ bis 6500 kg/qcm	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma_n}\right) = 0,94$	
IV. Flußeisen, $\sigma_n = 3900$ bis 4000 kg/qcm	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma_n}\right) = 0,83$	

Bemerkungen: 1. Auffallend ist die hohe Verhältniszahl bei den Ni-Stahlnieten. Von 16 Versuchen war in 4 Fällen die Verhältniszahl zwischen 1,30 bis 1,50, was nur durch die Annahme zu erklären ist, daß zwischen den Nieten zufälligerweise einige von höherer Festigkeit waren, oder daß die Nietung derart ausnahmsweise fest war, daß ein beträchtlicher Teil der Reibung auch beim Reißen noch wirksam war. Welche außergewöhnlich hohe Werte die Reibung erreichen kann, zeigen die Angaben von *CONSIDÈRE*, nach welchen bei Durchschnittswerten von 800 bis 1500 kg/qcm in einigen Fällen Werte von 2200 und 3400 vorkommen.

Wir haben den Durchschnittswert unter I durch Weglassung der vier extremen Werte gebildet.

2. Desgleichen ist der niedrige Wert des Verhältnisses bei Kohlenstoffstahl II auffallend. Auch *HABERKALT* bemerkt, daß hier bei den meisten Versuchen die Nietköpfe abgesprungen sind oder die Nietschäfte in mehrere Stücke zerbrachen; dieses Material war also zu spröde. *HABERKALT* meint, daß ein Material mit so hoher Festigkeit wohl durch die Nietung ein Härten erfahren kann, und empfiehlt aus diesem Grunde die Anwendung eines weicheren Nietmaterials.

Die für Flußeisen und weichen Stahl gefundenen Verhältniszahlen entsprechen den von anderen Forschern gefundenen Werten.

e) *Die Versuche der Gute-Hoffnungs-Hütte.*

Nach der Veröffentlichung von Dr. *BOHNY* (siehe „*OTTO MOHR* zum achtzigsten Geburtstag“, Berlin 1916) ist für Nickelstahlniete von 5500 bis 6500 kg/qcm Festigkeit $\tau_v = 1,11 \cdot \sigma_n$
 für Kohlenstoffstahlniete von 5500 bis 6500 kg/qcm Festigkeit $\tau_v = 0,85 \cdot \sigma_n$

f) *Die Dresdener Versuche.*

In der neuesten Zeit führte Dr. *GEHLER* in Dresden ähnliche Versuche aus (siehe *SCHAPER*, Bautechnik 1926, H. 17) mit Silicium-Stahlnieten und Nietverbindungen von 5000 bis 5700 kg/qcm Festigkeit und fand

die Scherfestigkeit der Niete $\tau = 0,74 \cdot \sigma_n$
 „ „ der Nietverbindungen $\tau_v = 1,19 \cdot \tau = 0,88 \cdot \sigma_n$

g) *Versuche des Deutschen Eisenbauverbandes.*

I. Berichte des Ausschusses für Versuche im Eisenbau. H. 1, B. Bericht-erstatte: Dr. *KÖGLER*. Berlin 1915. J. Springer.

Tafel 1

Die Art der Nietung	Bruchbeanspruchung beim Beginn des Gleitens		Bruchbeanspruchung		Verhältnis $\left(\frac{\tau_v}{\sigma_B}\right)^1$
	τ_{vs} kg/qcm	0/0	in den Nieten	im Bleche	
			τ_v	σ_B	
1. Zweiseitige Stoßverbindungen mit 3—3 Nieten					
Handnietung	686	100	2920	3910	0,75 ¹
Pneumatische Nietung ...	694	101	2880	3880	0,74
Kniehebelnietung	980	143	2970	4000	0,74

¹ Die hier mitgeteilten Werte $\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$ sind nicht gleichwertig mit den oben angeführten anderen Daten, da hier σ nicht die Zugfestigkeit des Nietmaterials, sondern die des Bleches bedeutet. Die Zugfestigkeit des Nietmaterials wurde — wie auch Dr. *KÖGLER* erwähnt — nicht festgestellt,

Die Art der Nietung	Bruchbeanspruchung beim Beginn des Gleitens		Bruchbeanspruchung		Verhältnis $\left(\frac{\tau_v}{\sigma_B}\right)$
	τ_{vS} kg/qcm	‰	in den Nieten	im Bleche	
			τ_v	σ_B	
2. Stoßverbindungen mit verschiedenen Nietdurchmessern					
⊙ 21 mm			3045	—	—
⊙ 23 mm			2933	3955	0,74
⊙ 25 mm			2874	3744	0,77
⊙ 27 mm			2900	4003	0,73

II. „Versuche mit Nietverbindungen.“ Berichterstatler. Prof. RUDELOFF. Berlin 1912.

Tafel 2

Die Art der Nietung	Scherbeanspruchung beim Beginn des Gleitens		Bruchbeanspruchung		Verhältnis $\left(\frac{\tau_v}{\sigma_B}\right)$
	τ_{vS} kg/qcm	‰	in den Nieten	im Bleche	
			τ_v	σ_B	
1. Zweiseitiger Stoß mit 3—3 Nieten					
Handnietung	610	100	2970	3940	0,75 ²
Pneumatische Nietung ...	650	106	2980	3930	0,76
Kniehebelnietung	924	151	3010	3990	0,75
2. Zweiseitiger Stoß mit 2—2 Nieten					
Handnietung	254 ³		2890	3880	0,75
Pneumatische Nietung ...	420 ³		2780	3740	0,74
Kniehebelnietung	806		2900	3900	0,74

h) Die neueren Versuche in Diósgyőr von 1927—1928.

Im Auftrag des ungarischen Stahlausschusses hat der Verfasser in der neuesten Zeit Versuche durchgeführt, welche Niete und Nietverbindungen aus Flußeisen, Kohlenstoff-Manganstahl und Siliziumstahl betrafen.

sondern nur gesagt, daß es ein normales Flußeisenmaterial war. Wenn folglich das Nietmaterial nicht dasselbe (3900 bis 4000 kg) an Festigkeit hatte wie die Bleche, sondern z. B. eine Festigkeit von 3500 kg, so erhöht sich die Verhältniszahl von 0,75 auf 0,84, entspricht also sofort den für Flußeisenniete gefundenen anderen Werten.

² Für die Verhältniszahl $\frac{\tau_v}{\sigma}$ gilt dieselbe Bemerkung wie oben, d. h. daß sie wahrscheinlich kleiner ist als in der Wirklichkeit, nachdem nur die Festigkeit des Bleches, nicht aber die des Nietmaterials angegeben ist.

³ Die gefundenen Werte der Reibung bei Stoßverbindungen mit 2—2 Nieten sind abnormal niedrig. Auf diese Erscheinung weist bereits KÖGLER hin, wofür er die Erklärung gibt, daß die leichten Laboratoriumsversuchsstücke sowohl bei der Handnietung wie bei der pneumatischen Nietung derartigen Erschütterungen ausgesetzt sind, die bei Bauwerken mit ihren viel größeren Maßen und fest aneinander geschraubten Bestandteilen nicht vorkommen können.

Wir können noch hinzufügen, daß beim zweiseitigen Stoß das erste Niet, mangels der nötigen Aneinanderpressung noch nicht vollkommen schließt, hingegen findet der zweite Niet schon besser zusammengedrückte Bleche usw. Deshalb schreibt auch die Baupraxis vor, daß in Fällen, wo nach der Berechnung nur ein oder zwei Niete notwendig sind, die Zahl der Niete um eins zu erhöhen ist.

Die Hauptresultate sind in Tafel 3—8 zusammengestellt:

Tafel 3
Zerreißversuche mit Nietmaterial

Material	ϕ mm	Anzahl der Versuche	Zug- festigkeit σ	Fließ- grenze σ_s	Dehnung %/	Kon- traktion %/	$\left(\frac{\sigma_s}{\sigma}\right)$ %/
Flußeisen.....	20	3	4010	2450	30.0	56	61
Kohlenstoffstahl....	20	3	5310	3350	25.0	49	63
Siliziumstahl.....	20	2	4700	3310	29.5	63	70
„.....	22	2	4850	3360	29.5	55	69

Tafel 4
Die Scherfestigkeit der Niete
(Ergebnisse von 66 Versuchen)

		Flußeisen	Kohlenstoffstahl	Siliziumstahl
Fließgrenze	τ_s Mittelwert kg/qcm	1170 bis 1800 1440	1650 bis 2090 1910	1500 bis 2180 1920
Scher- festigkeit	τ Mittelwert kg/qcm	2810 bis 3280 3010	3680 bis 4260 3890	3540 bis 3860 3715
Verhältnis- zahlen	$\left(\frac{\tau_s}{\tau}\right)$	48 %	49 %	52 %
	$\left(\frac{\tau}{\sigma}\right)$	75 %	73 %	78 %

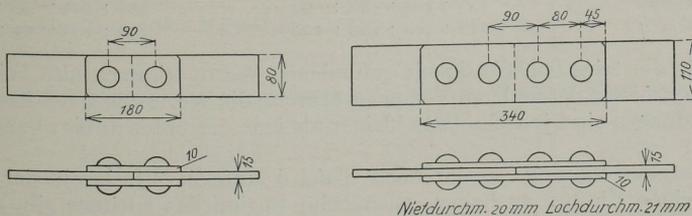


Abb. 11 a—b. Die Scherversuche mit Nietverbindungen

Tafel 5 Die Scherfestigkeit der Nietverbindungen

Art der Nietung: *H* = Handnietung; *P* = pneumatischer Hammer; *M* = Maschinennietung, Druckdauer 5 sek;
MM = Maschinennietung, Druckdauer 10 sek

Figur	Anzahl der Versuche	Art der Nietung	Material der Niete								
			Flußeisen			Kohlenstoffstahl			Siliziumstahl		
			τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$
I	17	MM	2010	3460		2290	5120		2050	4800	
II	6	MM	1905	3260	0/0	—	4660	0/0	—	—	0/0
Mittel			1970	3390	84,6	2290	4950	93,2	2050	4800	102
I	17	M	1680	3370		1590	4680		1600	4780	
II	8	M	1820	3370		1910	4650		1590	4650	
Mittel			1710	3370	84	1720	4670	88	1595	4720	100
I	7	P	1950	3470		1910	4860		1750	4510	
II	6	P	1230	3300		1470	4340		1710	4300	
Mittel			1560	3385	84,5	1690	4600	86,6	1740	4430	94
I	20	H	1640	3300		1890	4710		1910	4490	
II	8	H	1200	3290		1230	4220		1260	4420	
Mittel			1510	3280	82	1670	4550	85,7	1750	4470	95
Hauptmittelwerte											
Berechnet nach dem			τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$
Nietdurchm.			1690	3370	84 ^{0/0}	1840	4690	88,5 ^{0/0}	1780	4600	98 ^{0/0}
Lochdurchm.			1530	3060	76,5	1670	4250	80	1590	4170	88,4

Tafel 6
Einfluß der Art der Nietung

	Fließgrenze (τ_{vs})				Scherfestigkeit (τ_v)			
	MM	M	P	H	MM	M	P	H
Flußeisen	115	100	91	88	101	100	100	97
Kohlenstoffstahl	133	100	98	97	106	100	99	97
Siliziumstahl	128	100	109	109	102	100	94	95

Die für die reine Scherfestigkeit gefundenen Werte stimmen also vollkommen mit den Ergebnissen der anderen Versuche überein, die Werte für die Scherfestigkeit der Verbindungen sind jedoch etwas kleiner als jene der unter a) bis e) angeführten Versuche.

Die Art der Nietung scheint nach Tafel 6 auf die Festigkeit der Nietverbindung keinen Einfluß zu haben, auch beim Beginn des Gleitens gibt es keinen nennenswerten Unterschied zwischen der Hand- und Maschinennietung. Hingegen erhöht sich bei der Maschinennietung mit größerer Druckdauer (Spalte MM) die Streckgrenze bedeutend.

Es fällt auf, daß die prozentuelle Höhe der Scherfestigkeit bei Siliziumstahl merklich größer ist als bei Kohlenstoffstahl. Trotzdem können wir nicht anraten, die Scherbeanspruchung des Si-Stahles entsprechend zu erhöhen, weil der Beginn des Gleitens beim Si-Stahl nicht höher, sondern sogar ein wenig tiefer ist.

Außer den Versuchen mit Stoßverbindungen wurden, zwar in kleinerem Maße, auch Versuche mit einfachen Überlappungen durchgeführt. Die Ergebnisse waren folgende:

Tafel 7
Versuche mit einfachen Überlappungen

Material der Niete	Anzahl d. Versuche	Nietung	Mit 1 Niet			Mit 2 Nieten			Mit 3 Nieten		
			τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right)$
Flußeisen	12	M	—	—	0/0	1400	3310	82,6	1300	3060	76,5
	6	H	—	3180	79,5	1590	3250	81	1540	3380	84,5
Kohlenstoffstahl	6	M	—	—	—	1700	4520	85	1250	4620	87
	6	H	—	4280	80,5	2170	4700	88,5	1440	4140	78
Siliziumstahl . . .	6	M	—	4050	86	1950	3970	84	2000	3900	83

Tafel 8
Hauptmittelwerte der Ergebnisse mit Überlappungen

Berechnet nach	Flußeisen			Kohlenstoffstahl			Siliziumstahl		
	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right) 0/0$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right) 0/0$	τ_{vs}	τ_v	$\left(\frac{\tau_v}{\sigma}\right) 0/0$
Lochdurchm.	1460	3240	81	1640	4450	84	1970	3970	84

Nach den Hauptmittelwerten in Tafel 5 und 8 zeigt sich also zwischen Scherfestigkeiten von zweischnittigen und einschnittigen Verbindungen kein bestimmter Unterschied.

4. Ergebnisse

Den angeführten Versuchsergebnissen gemäß ist das Verhältnis zwischen der Scherfestigkeit der Nietverbindung und der Zugfestigkeit des Nietmaterials $\left(\frac{\tau_v}{\sigma_n}\right)$

	für Flußeisen	Kohlenstoffstahl	Si-Stahl
nach den älteren Versuchen	0,83	0,87	—
nach den neueren Diósgyőrer Versuchen	0,77	0,80	0,88
nach Dr. GEHLER	—	—	0,88

Demgemäß können wir vorläufig mit folgenden Werten rechnen:

Flußeisen	0,80
Kohlenstoffstahl	0,84
Si- und Ni-Stahl	0,88

Es ist zu bemerken, daß bei Nickelstahl dieses Verhältnis auch noch höher sein kann, der sehr verschiedenen Versuchsergebnisse wegen ist jedoch zu empfehlen, dieses Verhältnis fallweise durch Versuche festzustellen.

Es ist noch zu bemerken, daß bei der Berechnung obiger Werte die Scherfestigkeiten auf den Nietlochdurchmesser bezogen sind. Wenn man also auch bei der statischen Berechnung mit dem Lochdurchmesser rechnet — wie z. B. in Deutschland —, so ist der berechnete Widerstand der Verbindung tatsächlich nur dann vorhanden, wenn die Niete die Löcher voll ausfüllen.

In Ungarn rechnen wir mit dem wirklichen Nietschaftdurchmesser; in diesem Falle wäre also der berechnete Scherwiderstand auch dann vorhanden, wenn die Nietschäfte gar keine Stauchung erlitten hätten. In der Wirklichkeit aber füllen die Nietschäfte die Löcher im allgemeinen doch gut aus; bei unserer Rechnungsweise gibt es also eine um 8 bis 10% höhere Sicherheit.

II. Welche Umstände beeinflussen die Güte der Nietung?

5. Die durch die Nietung erzeugte Reibung

Zur Feststellung des Reibungswiderstandes haben ENGESSER und CONSIDÈRE besondere Versuche durchgeführt, und zwar in der Weise, daß sie die Lochung des mittleren Bleches länglich oder mit größerem Durchmesser herstellen ließen. Sie haben auf diese Weise den Reibungswiderstand mit 800 bis 1000 kg/qcm gefunden, bezogen auf die Scherfläche (bei zweischnittigen Nietungen daher auf die zweifache Fläche).

Etwas kleinere Werte ergeben die Versuche des Deutschen Eisenbauverbandes, nach welchen der Reibungswiderstand bei Hand- und Druckluftnietung zwischen 600 bis 700 kg, bei Maschinennietung zwischen 900 bis 1000 kg sich änderte.

Die Verhältniszahlen der durch die Hand-, Druckluft- und Maschinennietung erzeugten Reibung können nach den deutschen Versuchen mit 100 : 105 : 145 und nach den österreichischen Versuchen mit 100 : 105 : 114 angenommen werden.

Nach den Diósgyőrer Versuchen waren bei Flußeisen die Verhältniszahlen 88 : 91 : 100, bei Stahlmaterial hingegen konnte kein wahrnehmbarer Unterschied festgestellt werden. Ein großer Unterschied zeigte sich jedoch bei der Maschinennietung, wenn die übliche Druckdauer von 4 bis 5 Sec. auf 8 bis 10 Sec. erhöht wurde. Es erfolgte nämlich eine Zunahme des Beginns der Gleitung bei Flußeisen um 15%, bei Stahl um rund 30%.

Allgemein wird von Forschern festgestellt, daß die Reibung auf die Scherfestigkeit der Nietverbindungen keinen oder einen sehr geringen Einfluß hat, demnach übt auch die Art der Nietung (Hand-, Druckluft- oder Maschinennietung) auf die Scherfestigkeit keinen merkbaren Einfluß aus.

Dieser Umstand ist auch erklärlich, nachdem beim Eintritt der starken Verschiebungen die Reibung bereits überwunden ist, die Dehnung der Bleche beginnt, ihre Dicke abnimmt und so die zusammenpressende Wirkung der Nietköpfe auch aufgehoben ist.

6. Einfluß der Temperatur

Diesbezüglich hat CONSIDÈRE eingehende Versuche gemacht (Anwendung von Eisen und Stahl, Wien 1888, 272 bis 279), wobei er feststellte, daß für die Reibung eine Nietung bei 600 bis 700° (Dunkelrotglut), für die Scherfestigkeit aber eine Temperatur von 550 bis 600° (Verschwinden der Dunkelrotglut) die günstigste ist.

Bei zu großer Hitze, z. B. bei Hellrotglut (900 bis 1000°) oder bei einer noch höheren Temperatur, wird das Niet zu weich und unfähig zur Aufnahme der Stauchungsarbeit, gradeso, wie ein bei zu hoher Temperatur gewalztes Eisen eine niedrigere Festigkeit und Streckgrenze aufweisen wird, als ein solches, welches bei einer richtigen Temperatur gewalzt wurde.