

Werkstoffeigenschaften historischer Stähle der Messehalle 12 in Leipzig bei erhöhten Temperaturen

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden werkstoffliche Untersuchungen an historischen Stahlkonstruktionen beschrieben. Im Zuge des Umbaus der Messehalle 12 in Leipzig sollen Teile der ursprünglichen Tragkonstruktion denkmalgerecht ertüchtigt und in das neu entstehende Gebäude integriert werden. Um die Standsicherheit nachweisen zu können, wurden Materialuntersuchungen der Stähle und der Nietverbindungen sowohl unter Umgebungstemperatur als auch bei erhöhten Temperaturen durchgeführt. Aus den Versuchsergebnissen wurden in Analogie zu den Regelungen des Eurocode 3 Rechenwerte für die Nachweisführung abgeleitet.

Stichworte historischer Stahl; Werkstoffeigenschaften; Nachweisführung; Heißbemessung

1 Bauvorhaben

1.1 Ausgangszustand

Die Messehalle 12 (ehemals Messehalle 9) wurde im Jahr 1924 als Halle der Schwerindustrie auf dem Gelände der Messe Leipzig errichtet (Bild 1). Das Haupttragwerk besteht aus einer dreischiffigen genieteten Rahmenkonstruktion in Stahlbauweise, wobei gemäß [1] der zu Bauzeiten innovative höherfeste Stahl der Linke-Hoffmann-Lauchhammer-Werke (LHL-Stahl) zum Einsatz kam. Gemäß [1] handelt es sich hierbei um einen reinen Kohlenstoffstahl ohne weitere Zusätze, der im Vergleich zu den damals gängigen Flusseisen eine um 30% höhere Tragfähigkeit aufweist. Dieser wurde ab 1923 entwickelt und zwischen 1924 und 1929 als St.48 eingesetzt [2].



Bild 1 Foto der Messehalle aus der Bauzeit, tragende Stahlkonstruktion im ursprünglichen Zustand [3]
Photo of the exhibition hall from the construction period, load-bearing steel structure in its original state [3]

Material properties of historical steels from exhibition hall 12 in Leipzig at elevated temperatures

This paper describes material investigations on historic steel structures. In the course of the reconstruction of the exhibition hall 12 in Leipzig, parts of the original load-bearing structure are to be restored and integrated into the new building. In order to verify the resistance of the structure, material tests were carried out on the steels and the riveted joints both under ambient temperature and at elevated temperatures. In analogy to the regulations of Eurocode 3, calculation values for the verification were derived from the test results.

Keywords historical steel; material properties; verification; design in case of fire

In den 1950er-Jahren erfuhr die Messehalle 12 umfassende Umbaumaßnahmen und wurde als sowjetischer Pavillon genutzt (Bild 2). Unter anderem wurden die in Anlehnung an Vierendeelträger ausgeführten schlanken Stahlstützen mit massiven Ummantelungen aus Stahlbeton versehen. Der auf diese Weise erzeugte Tragfähigkeitsgewinn war erforderlich, um zusätzliche Lasten abzutragen, die aus der flächigen Verkleidung der Tragkonstruktion mit Glas resultierten.

In der in den 1950er-Jahren entstandenen Form wurde das Bauwerk, mit einem zwischenzeitlichen Umbau der Fassade des sog. Nordportikus in den 1970er-Jahren, bis Anfang der 1990er-Jahre als Messehalle genutzt und stand seitdem leer. 2018/19 erfolgte als erster Bauabschnitt der Um- und Neubau des nördlichen Gebäude-



Bild 2 Innenansicht des Mittelschiffs der Messehalle 12 in den 1950er-Jahren [3]
Interior view of the central section of exhibition hall 12 in the 1950s [3]

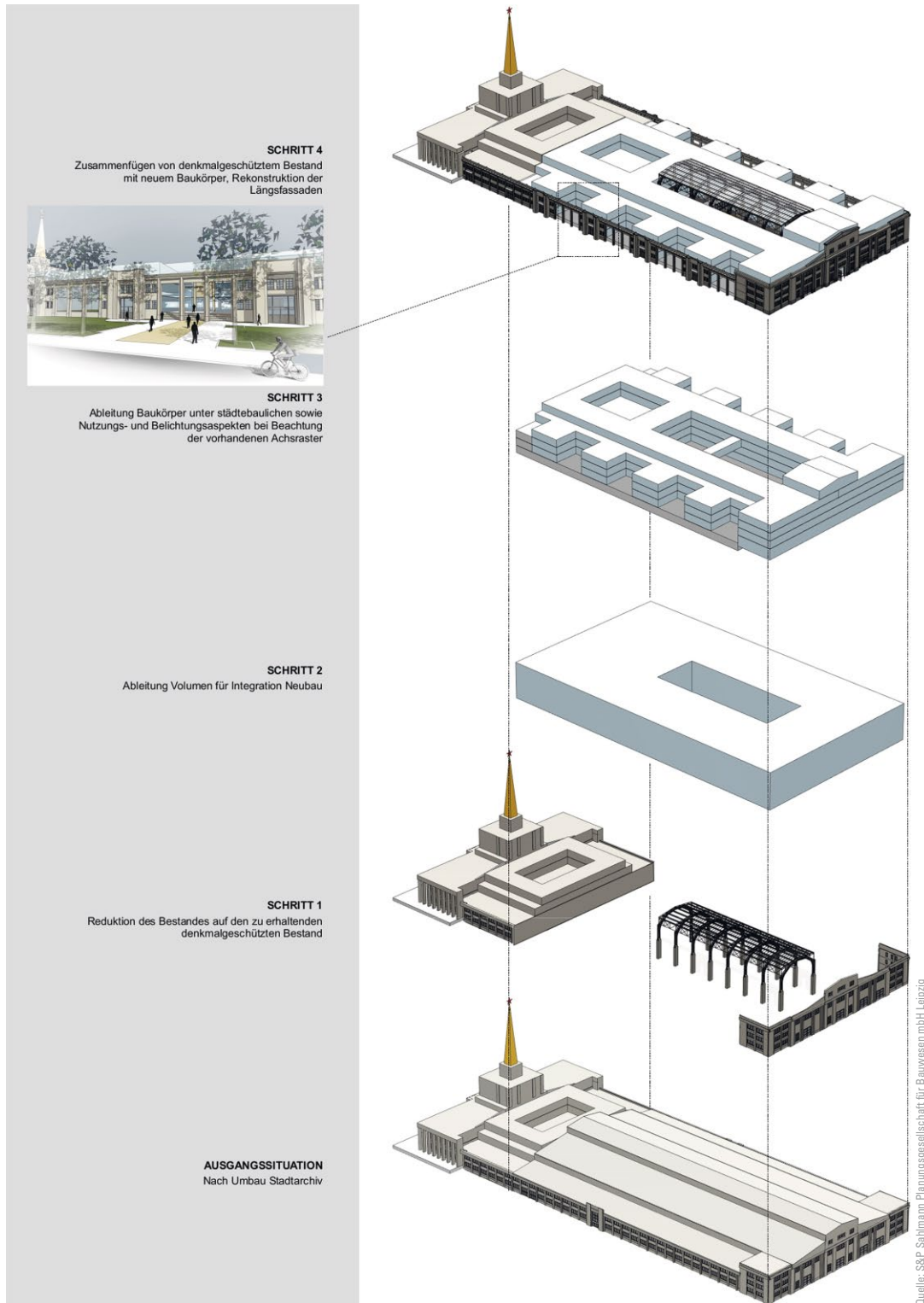


Bild 3 Umbaukonzept
Reconstruction concept

teils. Dieser beherbergt seit Fertigstellung das neue Stadtarchiv.

1.2 Umbaukonzept

Im Zuge der Wiederbelebung des Standorts Alte Messe Leipzig wird derzeit durch die S&P Sahlmann Planungsgesellschaft für Bauwesen mbH Leipzig der Um- und Neubau des zweiten und dritten Bauabschnitts der Mes-

sehalle 12 geplant. Die Auftraggeber LEVG mbH und LGH aus Leipzig streben den Bau eines Büro- und Labor-komplexes an.

Im Zusammenhang mit dem Umbau ist zu berücksichtigen, dass bestimmte Bereiche des Bestandsgebäudes dem Denkmalschutz unterliegen. Neben der nach Südwesten ausgerichteten rückwärtigen Fassade (südlicher Portikus) betrifft dies die tragende Stahlkonstruktion der Hallenschiffe. Die denkmalgerechte Sanierung soll mit dem Ziel



Bild 4 Probenentnahme
Sampling

erfolgen, den ursprünglichen Zustand des Stahltragwerks aus dem Jahr 1924 wiederherzustellen. Sowohl die Verkleidung der Konstruktion als auch die Stahlbetonummantelung der Stützen werden folglich entfernt.

Das durch die Firma S&P vorgeschlagene Umbaukonzept ist in Bild 3 schematisch dargestellt. Hinsichtlich der tragenden Stahlkonstruktion ist die denkmalgerechte Erhaltung von acht Rahmen geplant, wobei eine Änderung des statischen Systems dahingehend erfolgt, dass nur die Konstruktionsbestandteile des Mittelschiffs erhalten werden. Alle Seitenschiffe sowie die übrigen Rahmen werden abgebrochen.

Die Bestandskonstruktion aus Stahl wird in Form eines Atriums in den zu erstellenden Neubau integriert. Zusätzlich zu den Stahlrahmen werden auch die darauf aufliegenden Kranbahnträger sowie der zugehörige Kran erhalten. Eine Nutzung der historischen Stahlrahmen als Unterkonstruktion und lastabtragende Konstruktion für das

neu zu errichtende Dach und die Dachlasten des Atriums ist jedoch nicht vorgesehen.

2 Experimentelle Untersuchungen

Obwohl das historische Stahltragwerk nicht mehr maßgeblich am Lastabtrag beteiligt sein wird, muss die Standicherheit sowohl unter Umgebungsbedingungen als auch im Brandfall gewährleistet sein. Als essenzielle Eingangsgröße für die Nachweisführung sind Informationen zur Temperaturabhängigkeit der Werkstoffeigenschaften erforderlich. Um diese zu erhalten, wurden experimentelle Untersuchungen sowohl unter Umgebungsbedingungen als auch bei erhöhten Temperaturen durchgeführt. Neben Stahlblechen aus den nicht für die Erhaltung vorgesehenen Rahmen und Kranbahnträgern wurden auch Nietverbindungen analysiert. Um die Streubreite der relevanten Werkstoffeigenschaften möglichst umfassend abzubilden, wurden unterschiedliche Rahmenebenen sowie Konstruktionsbestandteile (z. B. Binder, Knotenblech, Stütze (Bild 4)) berücksichtigt.

2.1 Konstruktionsstahl

2.1.1 Umgebungstemperatur

Für den historischen Konstruktionsstahl wurden

- mechanische Eigenschaften und
- chemische Eigenschaften

SPANNUNGS-DEHNUNGS-DIAGRAMM MESSEHALLE 12

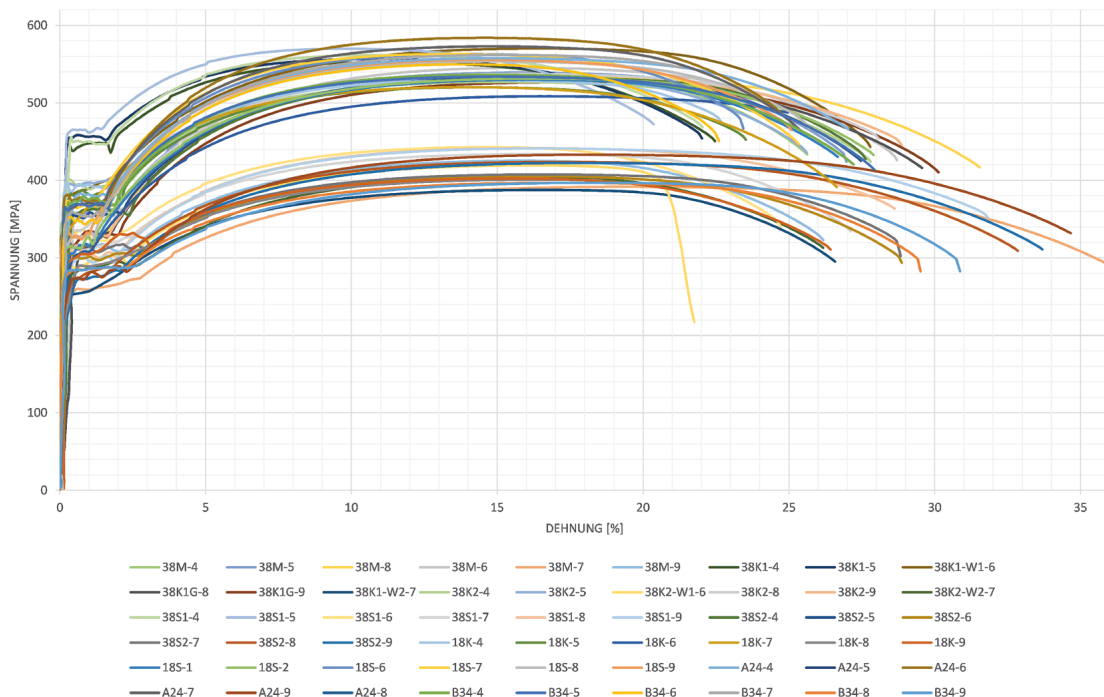


Bild 5 Spannungs-Dehnungslinien von Proben aus historischem Stahl
Stress-strain curves of specimens made of historical steel

bestimmt sowie

- metallografische Untersuchungen

durchgeführt.

Mithilfe von Zugversuchen mit Dehnungsmessung wurden die Streckgrenze, die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung, die Gleichmaßdehnung und der E-Modul an insgesamt 54 Proben bestimmt. Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Gesamt-Stichprobe eine erhebliche Streuung aufweist. Die Versuchsergebnisse lassen sich in drei Gruppen aufteilen, deren Festigkeitseigenschaften in etwa mit denen der heutigen Festigkeitsklassen S 235, S 275 und S 355 vergleichbar sind (Bild 5). Diese Feststellung lässt vermuten, dass nicht ausschließlich der in [1]

beschriebene LHL-Stahl zum Einsatz kam. Anhand der Zuordnung der Ergebnisse zu den Entnahmestellen kann nicht eindeutig auf einen gezielten Einsatz höherfester Stähle für bestimmte hoch beanspruchte Konstruktionsbestandteile geschlossen werden. Jedoch ist festzustellen, dass die der Gruppe 3 zuzuordnenden Proben mit den ungünstigsten Festigkeitseigenschaften in allen Fällen aus Steifen, Winkeln und Verstärkungsblechen entnommen wurden.

Eine statistische Auswertung in Form der minimalen und maximalen Messwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen der Streckgrenze R_{eH} , der Zugfestigkeit R_m und des E-Moduls ist in Tab. 1 für die drei aus Bild 5 ersichtlichen Gruppen ausgewiesen.

Tab. 1 Statistische Auswertung der Zugversuche unter Umgebungstemperatur
Statistical evaluation of tensile tests under ambient temperature

	min	max	Mittelwert m_x	Standardabweichung s_x
Gruppe 1, $n = 4$				
R_{eH} [MPa]	448	466	456	7,3
R_m [MPa]	552	570	560	7,7
E-Modul [MPa]	188.679	219.780	204.682	12.736,6
Gruppe 2, $n = 31$				
R_{eH} [MPa]	306	401	355	27,3
R_m [MPa]	509	584	542	17,6
E-Modul [MPa]	168.067	237.812	201.129	21.596,6
Gruppe 3, $n = 19$				
R_{eH} [MPa]	252	335	293	21,3
R_m [MPa]	388	444	418	18,3
E-Modul [MPa]	167.645	227.531	193.393	18.929,8
Gesamt-Stichprobe, $n = 54$				
R_{eH} [MPa]	252	466	341	50,1
R_m [MPa]	388	584	500	63,4
E-Modul [MPa]	167.645	237.812	198.694	20.111,6

Tab. 2 Ergebnisse der chemischen Analyse, durchschnittlicher Masseanteil [%]
Results of chemical analysis, average mass content [%]

	Gruppe 1, $n = 4$	Gruppe 2, $n = 28$	Gruppe 3, $n = 28$
C	0,205	0,256	0,130
Si	0,190	0,179	0,008
Mn	0,693	0,553	0,398
P	0,043	0,035	0,029
S	0,036	0,040	0,055
Cr	0,018	0,015	0,033
Mo	0,004	0,003	0,007
Ni	0,050	0,045	0,063
Al	0,002	0,002	0,001
Cu	0,143	0,120	0,168
V	0,001	0,001	0,000
N	0,005	0,002	0,004
CEV	0,338	0,363	0,220

Obwohl zahlreiche Konstruktionsbereiche mit $R_{eH} \geq 318$ MPa und $R_m \geq 480$ MPa die Anforderungen aus [4, 5] an einen „hochwertigen Baustahl St.48“ erfüllen, erlaubt die Gesamt-Stichprobe des geprüften Stahls vor dem Hintergrund einer sicheren Nachweisführung lediglich die Einordnung in die Kategorie Baustahl St.37 der Herstellungszeit ($R_{eH} \geq 245$ MPa und $R_m \geq 370$ MPa).

Die chemischen Eigenschaften wurden mittels optischer Emissionsspektrometrie ermittelt. Tab. 2 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse in Form des Masseanteils der aufgeführten chemischen Elemente in %. Für die drei aus Bild 5 ersichtlichen Gruppen ist jeweils der Mittelwert aus allen Messungen angegeben. Das Kohlenstoffäquivalent wird mit

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu + Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} \text{ bestimmt.}$$

Grundsätzlich ist festzustellen, dass der untersuchte Stahl aufgrund des erhöhten Kohlenstoffäquivalents nur eingeschränkt den Anforderungen aus [6] an heutige Stähle

entspricht. Die höherfesten Stähle der Gruppen 1 und 2 wurden mit Silizium halbberuhigt bzw. beruhigt vergossen, während die Stähle aus Gruppe 3 ohne Zugabe von Silizium unberuhigt vergossen wurden. Auch der im Vergleich zu Gruppe 3 erhöhte Anteil an Kohlenstoff und Mangan liefert einen Hinweis auf die verbesserten Festigkeitseigenschaften. Demgegenüber tendieren die unberuhigt vergossenen Stähle aus Gruppe 3 zu einem erhöhten Schwefelanteil, welcher v. a. im Kernbereich aufgrund der fehlenden Desoxidation vorzufinden ist.

Die metallografischen Untersuchungen zeigen unterschiedliche Mikro- und Makrogefügestrukturen der verschiedenen Einzelkomponenten, was auf den Stand der Technik bei der Stahlvergießung und Walzbehandlung zur Herstellungszeit zurückzuführen ist. Typische Bilder der Mikrostruktur für die aus Bild 5 ersichtlichen Gruppen sind in Bild 6 dargestellt. Die unberuhigt vergossenen Proben aus Gruppe 3 zeigen ausgeprägte Seigerungszone im Kernbereich und reinere Speckschichten im Randbereich.

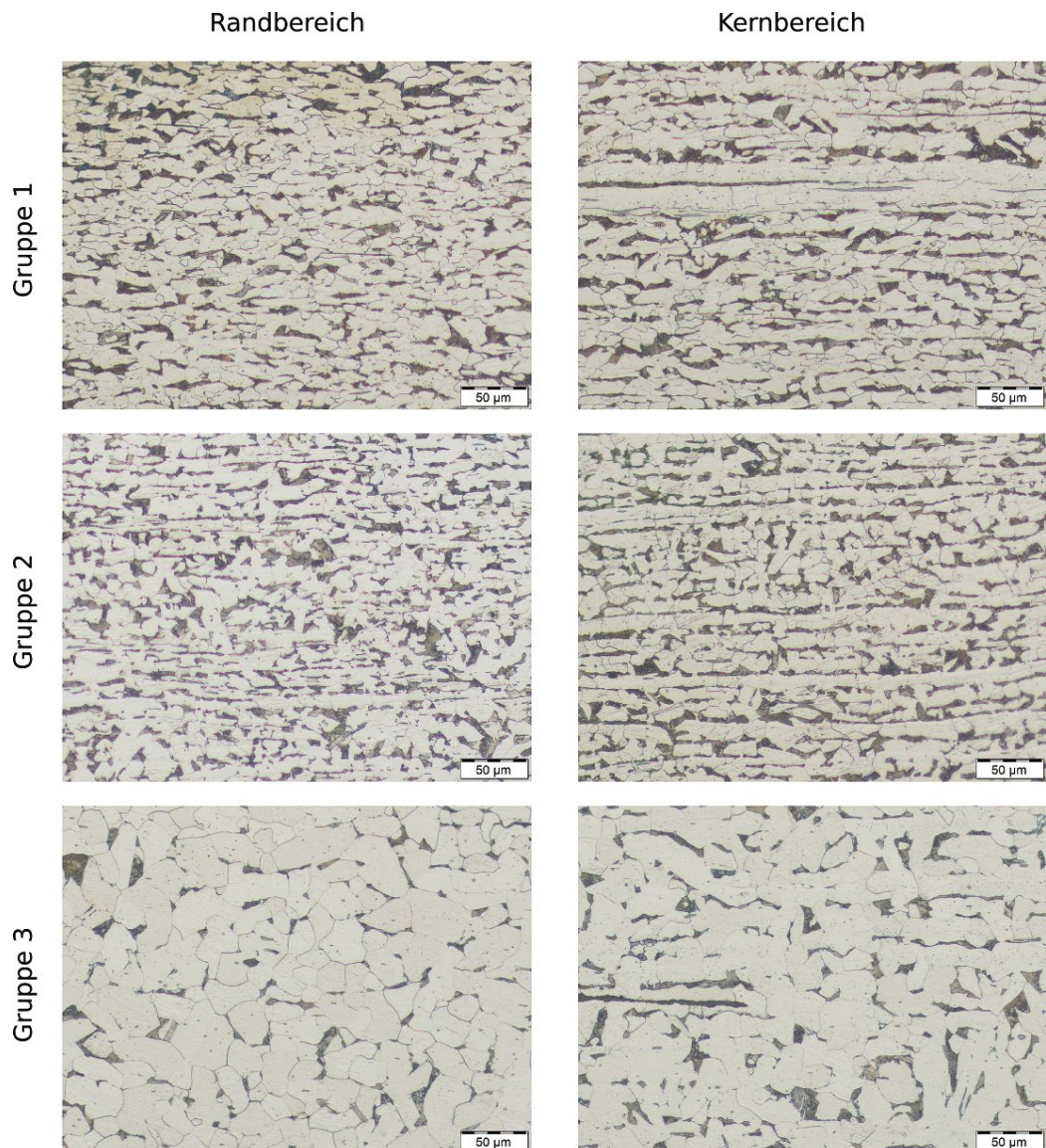


Bild 6 Typische Mikro-Gefügestrukturen von Proben aus historischem Stahl
Typical micro structure of specimens made of historical steel

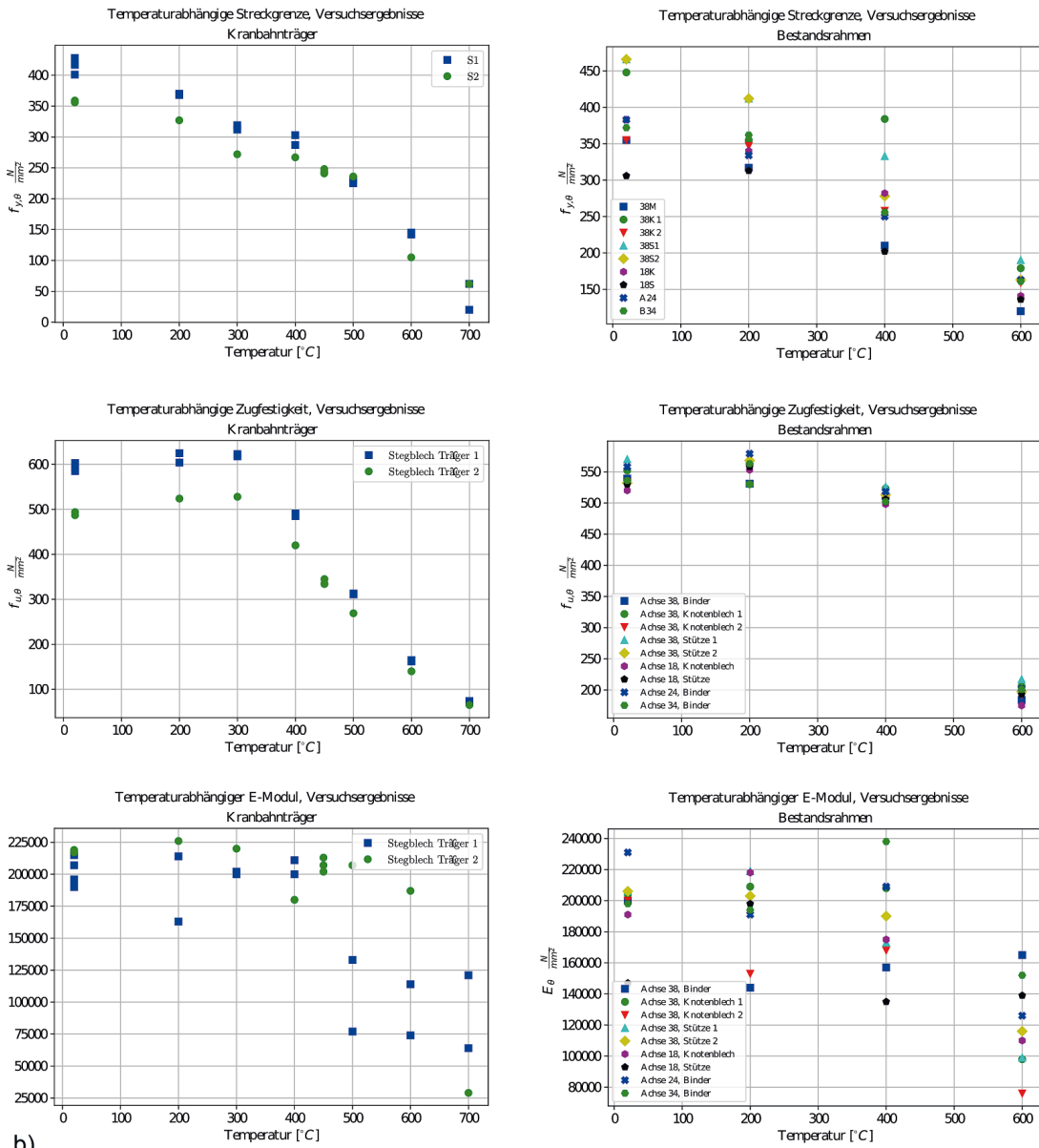
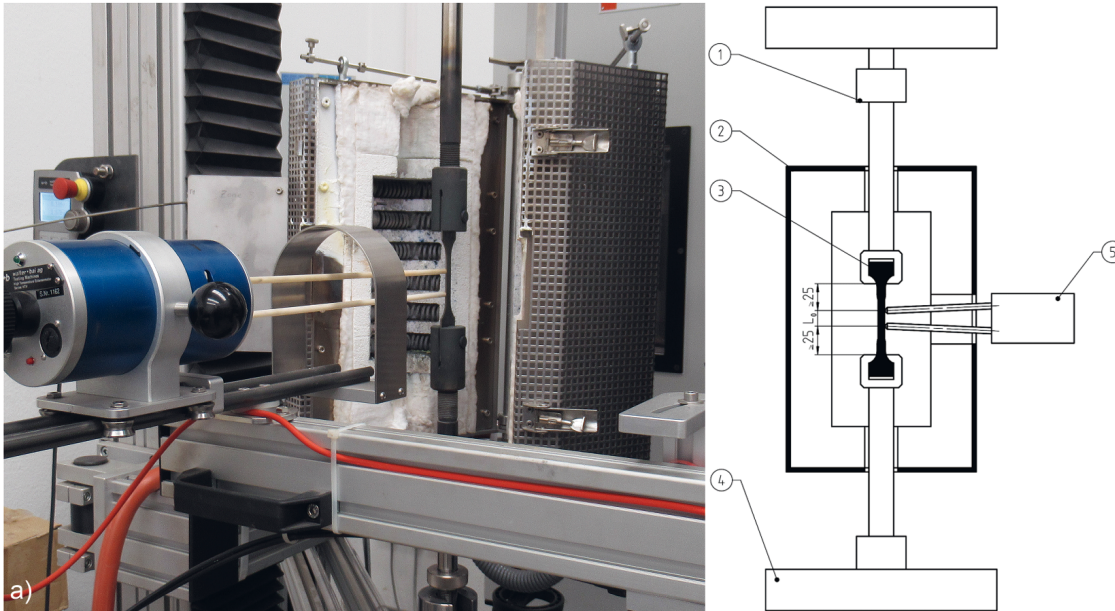


Bild 7 a) Versuchsaufbau für Heißzugversuche (1 – Kraftmessdose, 2 – Elektroofen, 3 – Probekörper, 4 – Querhaupt, 5 – Dehnungsmesser), b) temperaturabhängige mechanische Eigenschaften

a) Test setup for hot tensile tests (1 – load cell, 2 – electric furnace, 3 – test specimen, 4 – cross member, 5 – extensometer), b) temperature dependent mechanical properties

Quelle: MIFA Leipzig GmbH

Analog zur chemischen Analyse sind im Vergleich zwischen den Gruppen 1 und 2 nur geringe Unterschiede festzustellen. Aufgrund des höheren Kohlenstoffgehalts (Tab. 2) zeigen diese gegenüber der Gruppe 3 jedoch einen deutlichen höheren Perlitanteil. Zudem sind bei den Gruppen 1 und 2 feinkörnigere Gefüge und, v. a. im Kernbereich, ein aus dem Herstellprozess resultierendes sekundäres Zeilengefüge zu beobachten.

2.1.2 Erhöhte Temperaturen

Für die Beschreibung des Tragverhaltens von Strukturen im konstruktiven Stahlbau bei moderaten Temperaturen $\leq 700^\circ\text{C}$ und Stählen, die außerhalb der aktuellen Normung liegen, werden stationäre Heißzugversuche durchgeführt. Hierbei wird bei einer gegebenen konstanten Temperatur der Spannungs-Dehnungszusammenhang bestimmt. Die Ergebnisse erlauben die Ermittlung von Abminderungsfaktoren der Eigenschaften unter Umgebungstemperatur in Analogie zu [7].

Entsprechende Versuche wurden für insgesamt 50 Proben und Temperaturen von $T = [200, 300, 400, 450, 500, 600, 700]^\circ\text{C}$ durchgeführt (Bild 7). Aus den festgestellten Spannungs-Dehnungslinien wurden die Streckgrenze, die Zugfestigkeit und der E-Modul bestimmt. Die Proben stammen in allen Fällen aus Konstruktionsbereichen, die für die Festigkeitseigenschaften unter Umgebungstemperatur den Gruppen 1 und 2 zugeordnet wurden. Dies liegt darin begründet, dass die für die Heißzugversuche erforderliche Probenform aus den für die Gruppe 3 charakteristischen Winkeln und Verstärkungsblechen nicht gewonnen werden kann.

Analog zu den mechanischen Eigenschaften unter Umgebungstemperatur weisen auch die mechanischen Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen, insbesondere die Streckgrenze und der E-Modul, eine erhebliche Streuung auf. Dennoch sind, v. a. für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit, funktionale Zusammenhänge erkennbar.

Erwartungsgemäß ist eine deutliche Abnahme der Streckgrenze mit zunehmender Temperatur festzustellen. Im Gegensatz zu den Daten aus [7] für heutige Stähle tritt diese nicht erst ab einer Temperatur von 400°C auf, sondern ist bereits bei vergleichsweise geringen Temperaturerhöhungen zu beobachten. Demgegenüber zeigt die Zugfestigkeit mit zunehmender Temperatur zunächst einen leichten Anstieg und fällt erst ab Temperaturen von ca. 300°C unter den Ausgangswert bei Umgebungstemperatur. Zwischen den Proben aus den Gruppen 1 und 2 ist kein signifikanter Unterschied zu beobachten.

Diese Feststellungen decken sich mit den bereits 1936 in [8] beschriebenen grundsätzlichen Einflüssen der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Stahl. Die in [9] auf Basis experimenteller Untersuchungen (fünf Versuche, keine Dehnungsmessung) festgestellte Übereinstimmung der Temperaturabhängigkeit der Festigkeitseigen-

schaften historischer Stähle mit den in [7] spezifizierten Daten kann ausdrücklich nicht bestätigt werden.

2.2 Nietverbindungen

2.2.1 Umgebungstemperatur

Für die Nietverbindungen der historischen Stahlkonstruktion wurden

- mechanische Eigenschaften

bestimmt sowie

- metallografische Untersuchungen

durchgeführt. Hierfür wurden aus verschiedenen Querschnittsteilen mithilfe eines Bohrkerngeräts Niete inkl. der umgebenden Stahlbleche entnommen.

Mithilfe von Scherversuchen am reinen Niet (zweischnit-
tig) wurde die Scherfestigkeit τ der Verbindungsmittel bestimmt und daraus über den Zusammenhang

$$f_u \approx \frac{\tau}{0,8}$$

näherungsweise die Zugfestigkeit f_u berechnet. Eine Durchführung von Zugversuchen war aufgrund der geringen Bauteildimensionen nicht möglich. Bei den Versuchen wurden Scherfestigkeiten von 304 N/mm^2 bis 398 N/mm^2 ermittelt. Die variierenden Festigkeiten sind auf unterschiedliche Abkühlverläufe nach dem Glühen während des Setzens des Niets zurückzuführen. Von einer gezielten Nutzung von Nieten mit unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften für hoch beanspruchte Konstruktionsbestandteile ist analog zum Konstruktionsstahl nicht auszugehen. Die Versuchs- und Berechnungsergebnisse erlauben gemäß [10] eine Einordnung der vorgefundenen Niete in die Kategorie St 38.13 der Herstellungszeit.



Bild 8 Nietverbindung mit ausgeprägten Seigerungslinien
Rivet joint with pronounced segregation lines

Quelle: MFPA Leipzig GmbH

Im Rahmen der metallografischen Untersuchungen wurde makroskopisch eine variierende Homogenität (Vorkommen von Seigerungen (Bild 8)) sowie bei 2/3 der Proben eine ungenügende Passgenauigkeit vorgefunden. Etwa 1/3 der Proben zeigte eine deutliche Außermittigkeit des Schließkopfs. In allen Fällen weisen die Nietverbindungen eine dünne Zunderschicht auf, die durch das Glühen der Niete vor dem Setzen verursacht wurde.

2.2.2 Erhöhte Temperaturen

Für die Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften der Nietverbindungen bei erhöhten Temperaturen wurden analog zum Konstruktionsstahl stationäre Heißzugversuche durchgeführt. Abweichend von der Vorgehensweise unter Umgebungstemperatur wurden aus der Bestandskonstruktion entnommene Scher-Lochleibungsverbindungen geprüft (Bild 9). Die zweischnittigen Verbindungen bestanden in allen Fällen aus einem Einzel Niet mit angrenzenden Bauteilen, zumeist Stegblech und zwei Winkelprofile. Ein Versagen der Nietverbindung trat unter Umgebungstemperatur in allen Fällen in Form eines Versagens des Niets auf. Bei erhöhten Temperaturen war in der Mehrzahl der Fälle das Stegblech versagensbestimmend. Da zum einen eine separate experimentelle Untersuchung der Tragfähigkeit für Abscheren und Lochleibung und zum anderen eine diesbezügliche Unterscheidung innerhalb eines Datensatzes nicht möglich bzw. nicht zielführend ist, wird auch bei einem Lochleibungsversagen die zugehörige Traglast über den Nietquerschnitt in eine Scherfestigkeit umgerechnet.

Die Scherfestigkeit der Verbindung weist eine deutliche Abnahme in Abhängigkeit von der Temperatur auf, welche analog zur Streckgrenze des Konstruktionsstahls und im Gegensatz zu dessen Zugfestigkeit bereits bei vergleichsweise geringen Temperaturerhöhungen zu beobachten ist.

3 Rechenwerte mechanischer Eigenschaften

Aus den in Abschn. 2 beschriebenen Versuchsergebnissen werden im Folgenden Rechenwerte für die Nachweis-

führung unter Umgebungstemperatur und im Brandfall abgeleitet.

3.1 Konstruktionsstahl

3.1.1 Umgebungstemperatur

Für den Baustahl St.37 der Herstellungszeit gilt in Anlehnung an [4] für die Streckgrenze

$$f_{yk} = 245 \text{ N/mm}^2$$

und für die Zugfestigkeit

$$f_{uk} = 370 \text{ N/mm}^2.$$

Die Nutzung der in [4] ausgewiesenen Mindestwerte als 5%-Quantil liegt auf der sicheren Seite, da bei statistischer Auswertung der Stichprobe nach [11], Anhang D höhere charakteristische Werte resultieren würden.

Der materialeitige Teilsicherheitsfaktor wird aus der Stichprobe gemäß [11], Anhang D separat für Streckgrenze und Zugfestigkeit bestimmt. Auf der sicheren Seite liegend wird mit

$$\gamma_M = 1,27$$

das ungünstigere der beiden Ergebnisse für die Nachweisführung empfohlen.

Im Hinblick auf den Elastizitätsmodul sollte auf der sicheren Seite liegend ungünstig der minimale oder der maximale Messwert berücksichtigt werden:

$$E_{\min} = 168.000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\max} = 238.000 \text{ N/mm}^2$$

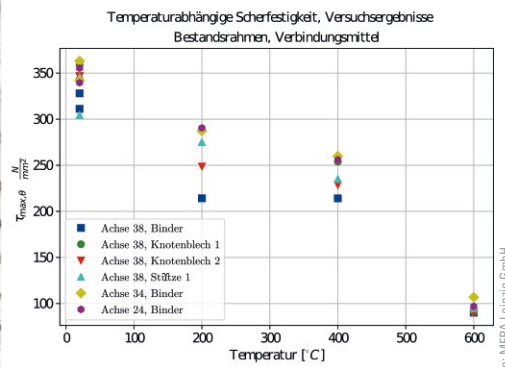
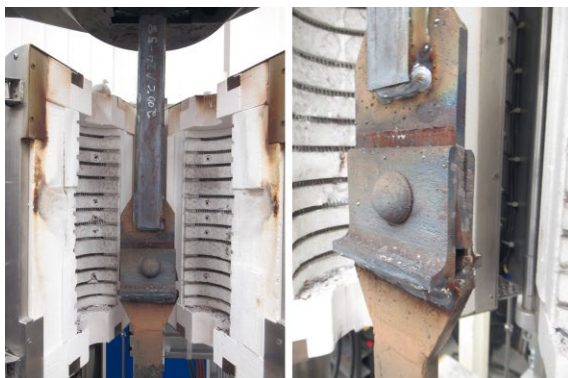


Bild 9 a) Probekörper für Heißzugversuch, b) temperaturabhängige Schertragfähigkeit
a) Specimen for hot tensile test, b) temperature-dependent shear strength

3.1.2 Erhöhte Temperaturen

Um für eine Nachweisführung im Brandfall nutzbare Werte zu erhalten, werden aus den Versuchsergebnissen in Analogie zu der in [7] verankerten Vorgehensweise Abminderungsfaktoren der Werkstoffeigenschaften unter Umgebungstemperatur abgeleitet. Hierfür werden im ersten Schritt für alle Untersuchungsstellen die temperaturabhängigen Abminderungsfaktoren \bar{k}_θ aus dem Verhältnis der Versuchsergebnisse unter erhöhten Temperaturen zum Bezugswert bei Umgebungsbedingungen bestimmt. Für den Bezugswert unter Umgebungstemperatur werden jeweils Messergebnisse aus dem gleichen Konstruktionsbereich genutzt.

Sofern für eine Temperatur mehrere Versuchsergebnisse vorliegen, wird auf der sicheren Seite liegend für den Bezugswert unter Umgebungsbedingungen der Maximal-

wert und bei erhöhten Temperaturen der Minimalwert berücksichtigt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Bild 10 dargestellt. Im Fall der Streckgrenze und des E-Moduls sind zusätzlich die Werte $k_{\theta,EC}$ aus [7], Tabelle 3.1 angegeben.

Die Rechenwerte $k_{\theta,calc}$ der Abminderungsfaktoren ergeben sich für jede Temperatur aus dem Mindestwert der Messergebnisse und der Eurocode-Daten:

$$k_{\theta,calc}(T) = \min[\bar{k}_\theta(T), k_{\theta,EC}(T)]$$

Auf der sicheren Seite liegend bleiben versuchstechnisch festgestellte Anstiege von Werkstoffeigenschaften mit steigender Temperatur unberücksichtigt, sodass in allen Fällen monoton fallende Funktionen resultieren (Bild 10) (Tab. 3).

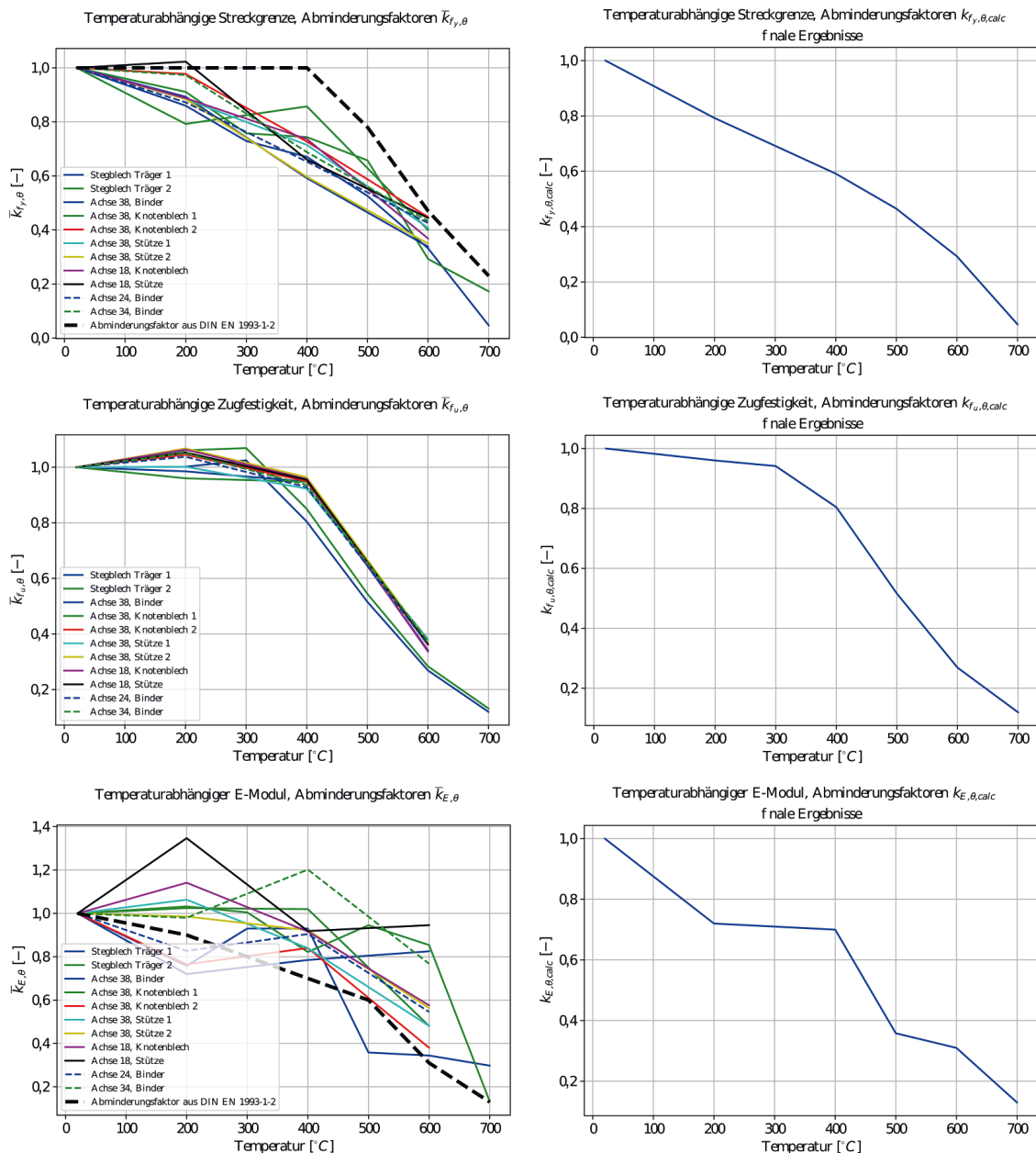


Bild 10 Temperaturabhängige Abminderungsfaktoren der mechanischen Eigenschaften von historischem Stahl
Temperature-dependent reduction factors of the mechanical properties of historical steel

3.2 Nietverbindungen

3.2.1 Umgebungstemperatur

Für Niet- und Schraubeneisen St 38.13 gilt in Anlehnung an [10] für die Zugfestigkeit

$$f_{uk} = 380 \text{ N/mm}^2.$$

Die Nutzung des in [10] ausgewiesenen Mindestwerts als 5%-Quantil liegt auf der sicheren Seite, da bei statistischer Auswertung der Stichprobe nach [11], Anhang D höhere charakteristische Werte resultieren würden.

Der materialeitige Teilsicherheitsfaktor aus der Stichprobe gemäß [11], Anhang D beträgt

$$\gamma_{M, \text{mess}} = 1,1.$$

Auf der sicheren Seite liegend und den Regelungen aus [12, 13] folgend wird die Nutzung des im Eurocode verankerten Werts

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

empfohlen.

Tab. 3 Temperaturabhängige Abminderungsfaktoren der mechanischen Eigenschaften von historischem Stahl und Nietverbindungen
Temperature-dependent reduction factors of the mechanical properties of historical steel and riveted joints

Temperatur T [°C]	$k_{f_y, \theta, \text{calc}}$ [-]	$k_{f_u, \theta, \text{calc}}$ [-]	$k_{E, \theta, \text{calc}}$ [-]	$k_{b, \theta, \text{calc}}$ [-]
20	1,00	1,00	1,00	1,00
200	0,792	0,960	0,720	0,653
300	0,692	0,941	0,710	0,653
400	0,592	0,804	0,700	0,653
500	0,465	0,516	0,358	0,437
600	0,292	0,269	0,310	0,220
700	0,047	0,119	0,130	-

3.2.2 Erhöhte Temperaturen

Die Ermittlung der Abminderungsfaktoren für die Scherfestigkeit der Nietverbindungen erfolgt analog zu der für den Konstruktionsstahl angewendeten Vorgehensweise. Es sei an dieser Stelle noch einmal explizit darauf hingewiesen, dass ein Versagen der Nietverbindung bei Scherbeanspruchung sowohl durch Abscheren des Niets als auch durch Lochleibung der Bleche auftreten kann. Beide Versagensarten sind durch die experimentell ermittelten Abminderungsfaktoren abgedeckt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Bild 11 und Tab. 3 ausgewiesen.

4 Zusammenfassung und Einordnung der Ergebnisse

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden umfangreiche Werkstoffuntersuchungen beschrieben, die mit dem Ziel der Nachweisführung unter Umgebungstemperatur und im Brandfall für die denkmalgeschützte stählerne Tragkonstruktion der Messehalle 12 in Leipzig durchgeführt wurden. Das Stahltragwerk aus dem Jahr 1924 weist Konstruktionsstähle unterschiedlicher Kategorien von „Baustahl St.37“ bis „hochwertiger Baustahl St.48“ auf. Ein gezielter Einsatz höherfester Stähle für hoch beanspruchte Konstruktionsbestandteile kann nicht festgestellt werden. Jedoch wurden Proben mit geringer Streckgrenze und Zugfestigkeit in allen Fällen aus Winkeln, Steifen und Verstärkungsblechen und in keinem Fall aus Stegblechen oder Knotenblechen entnommen. Die ebenfalls untersuchten Niete weisen zu großen Teilen ausgeprägte Seigerungen sowie eine mangelnde Passgenauigkeit auf.

Anhand von Proben, die aus Steg- und Knotenblechen gewonnen wurden und somit in allen Fällen eine mittlere bis hohe Streckgrenze und Festigkeit unter Umgebungstemperatur aufweisen, wurden Heißzugversuche durchgeführt, um die Temperaturabhängigkeit der Festigkeitseigenschaften der historischen Konstruktionsstähle zu untersuchen. Im Gegensatz zu den Daten aus [7] für heutige Stähle und den Feststellungen aus [9] ist eine Abnahme der Streckgrenze bereits bei vergleichsweise geringen Temperaturerhöhungen zu beobachten. Die Zugfestigkeit

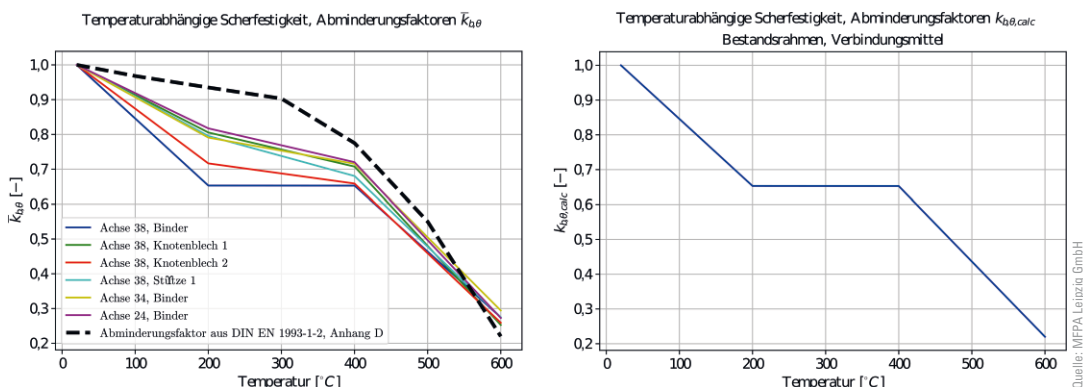


Bild 11 Temperaturabhängige Abminderungsfaktoren der Scherfestigkeit der Nietverbindungen
Temperature-dependent reduction factors of the shear strength of the riveted joints

zeigt dagegen zunächst einen leichten Anstieg und fällt erst ab Temperaturen von ca. 300 °C unter den Ausgangswert bei Umgebungstemperatur. Beide Beobachtungen stehen in Übereinstimmung mit den bereits 1936 in [8] beschriebenen grundsätzlichen Einflüssen der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften von Stahl.

Die aus den Versuchsergebnissen ermittelten temperaturabhängigen Abminderungsfaktoren für die Streckgrenze der untersuchten historischen Konstruktionsstähle liegen erheblich unterhalb der in [7] für heutige Stähle ausgewiesenen Daten. Auf Basis der vorliegenden Untersuchungen muss folglich der Schluss gezogen werden, dass eine Heißbemessung historischer Konstruktionen unter Nutzung der temperaturabhängigen Festig-

keitseigenschaften bzw. Abminderungsfaktoren aus [7] zu deutlich auf der unsicheren Seite liegenden Ergebnissen führt. Gleiches gilt für die Heißbemessung historischer Nietverbindungen. Diese grundlegenden Schlussfolgerungen können bzw. müssen aus Sicht der Verfasser auf andere historische Stähle und Stahlkonstruktionen übertragen werden.

Die im Rahmen des vorliegenden Beitrags ausgewiesenen temperaturabhängigen Abminderungsfaktoren können für die Heißbemessung anderer historischer Stahlkonstruktionen als Anhaltspunkt dienen. Eine belastbare Quantifizierung der temperaturabhängigen Festigkeitseigenschaften ist jedoch nur mithilfe experimenteller Untersuchungen für die konkret eingesetzten Stähle möglich.

Literatur

- [1] Franck, E. (1924) *Die Eisenbauten der Messehalle 9 in Leipzig und der LHL-Hochbaustahl*. Der Bauingenieur 5, S. 647–651.
- [2] Werner, F.; Seidel, J. (1992) *Der Eisenbau. Vom Werdegang einer Bauweise*. Berlin: Verlag Bauwesen.
- [3] Linke, Dähne & Partner Restauratoren (2020) *Leipzig, Alte Messe, Messehalle 12, Erläuterungsbericht zur Archivrecherche und Bauaufnahme vor dem Abbruch*. Internes Dokument.
- [4] Bargmann, H. (2012) *Historische Bautabellen, Normen und Konstruktionshinweise 1870 bis 1960*. Düsseldorf: Werner Verlag.
- [5] Zentralblatt der Bauverwaltung; Amtliche Mitteilungen (1925) *Erllass, betreffend Eisenbauwerke; Vorläufige Vorschriften für die Lieferung von Eisenbauwerken aus hochwertigem Baustahl St.48*. Ausgabe Juni 1925.
- [6] DIN EN 10025-2:2019-10 (2019) *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*; Deutsche Fassung EN 10025-2:2019. Berlin: Beuth. Ausgabe Okt. 2019.
- [7] DIN EN 1993-1-2:2010-12 (2010) *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*; Deutsche Fassung EN 1993-1-2:2005 + AC:2009. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [8] Oberhoffer, P.; Eilender, W.; Esser, H. (1936) *Einfluß der Temperatur auf die Eigenschaften von Stahl* in: Oberhoffer, P.; Eilender, W.; Esser, H. [Hrsg.] *Das technische Eisen*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 267–286.
- [9] Zehfuß, J.; Sothmann, J.; Spennes, G.; Upmeyer, J.; Winkler, M.; Molochnikova, O. (2022) *Praxisbeispiele zu erfolgreichen Brandschutzlösungen* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2022*. Berlin: Ernst & Sohn.
- [10] DIN 1613:1924-09 (1929) *Flußstahl gewalzt, Schraubeneisen, Nieteisen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Sept. 1924.
- [11] DIN EN 1990:2021-10 (2021) *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010. Berlin: Beuth. Ausgabe Okt. 2021.
- [12] DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12 (2010) *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [13] DIN EN 1993-1-8:2010-12 (2010) *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.

Autor:innen

Dipl.-Ing. Manuel Neck (Korrespondenzautor)
m.neck@mfpa-leipzig.de
MFPA Leipzig GmbH
Metallbau, Befestigungs- und Fügetechnik
Hans-Weigel-Straße 2b
04319 Leipzig

Dr.-Ing. Susanne Reichel
s.reichel@mfpa-leipzig.de
MFPA Leipzig GmbH
Zentrum für Innovation und Berechnung
Hans-Weigel-Straße 2b
04319 Leipzig

Dipl.-Ing. (FH) Markus Thieme
m.thieme@sup-sahlmann.com
S&P Sahlmann
Planungsgesellschaft für Bauwesen mbH Leipzig
Rathenaustraße 19
04179 Leipzig

Zitieren Sie diesen Beitrag

Neck, M.; Reichel, S.; Thieme, M. (2023) *Werkstoffeigenschaften historischer Stähle der Messehalle 12 in Leipzig bei erhöhten Temperaturen*. Stahlbau 92, H. 6, S. 345–355.
<https://doi.org/10.1002/stab.202200076>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 1. November 2022; angenommen: 7. Februar 2023.