

Inhalt:

- 1 Allgemeines
- 2 Geltungsbereich
- 3 Proben für quasistatische Zugprüfungen
- 3.1 Proben für Scherzugprüfungen
- 3.2 Proben für Hochgeschwindigkeitsscherzugversuche
- 3.3 Proben für Schälzugversuche
- 3.4 Proben für Kopfzugversuch
- 4 Beispiele für Probenformen für dynamische Untersuchungen
- 5 Probenanzahl
- 6 Auswertung
- 7 Schrifttum
- 8 Anhang: Begriffserklärungen (informativ)

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
b_0	Probenbreite im Bereich der Lötung	mm
l	Lötnahtlänge	mm
$r_{1,2}$	Innenbiegeradius	mm
t	Blechdicke	mm
t_{\max}	dickere Blechdicke	mm
v_p	Prüfgeschwindigkeit	m/min
A	Einschnürung der Probenbreite	%
DMS	Dehnungsmessstreifen	–
FEL	freie Einspannlänge	mm
F_Z	Zugkraft	kN
L	Überlapplänge	mm
Lo	Messlänge	mm
MIG	Metall-Inertgasschweißen	–
MIG-L	Metall-Inertgaslöten	–
R	Radius	mm
$R_{p0,2}$	Streckgrenze	N/mm ²
WEZ	wärmebeeinflusste Zone	–
WIG	Wolfram-Inertgasschweißen	–
WIG-L	Wolfram-Inertgaslöten	–
Z	Einschnürung der Probendicke	–
ΔL	Probenverlängerung	mm

1 Allgemeines

Der Bedarf an verfügbaren Daten für Werkstoffe im Ausgangszustand sowie nach der Verarbeitung wächst zunehmend. Die Gründe dafür sind vielfältig, genannt seien beispielhaft die Zunahme von Simulationsrechnungen mit ihrem hohen Bedarf an vertrauenswürdigen Daten, die zunehmende Ausschöpfung der Werkstoffpotenziale bis an deren Grenzen oder die Vielfalt der Fertigungsverfahren mit ihren unterschiedlichen Einflüssen auf die Werkstoffeigenschaften.

Werkstoffprüfungen sind dabei von zentraler Bedeutung. Sie liefern streng genommen immer nur einen relativen Vergleich, keine absoluten Aussagen. Dank der Normierung von Verfahren,

insbesondere von Standardprüfungen wie Zug-, Druck- und Scherprüfung, Härteprüfung oder Biegeprüfung lassen sich Daten gewinnen, die für die Auslegung von Bauteilen über die Beurteilung von Werkstoffen und/oder Fertigungsverfahren in der Regel ohne weitere Verifizierung herangezogen werden können. Dennoch sind auch diese Werte immer zu hinterfragen, da Werkstoffzustand, Probengeometrien, Prüfgeschwindigkeiten und andere Größen Einfluss auf das Ergebnis ausüben können. Nur dann ist sichergestellt, dass die verwendeten Daten übertragbar sind.

Eine spezielle Thematik stellt dabei die erstere Prüfung von Lötverbindungen dar. Neben dem Werkstoff (Grundwerkstoff[e]), Hilfsstoffe und Zusatzwerkstoff(e) kommt die Gestaltung der Lötverbindung als zusätzlich beeinflussender Parameter hinzu. Die bestehenden Normen, insbesondere in der zusammenfassenden Darstellung im DIN EN 1797, decken einen wichtigen Teil bestehender Anforderungen ab. Dennoch bestehen inzwischen Lücken aufgrund der technischen Entwicklung und neuer Anforderungen. Wie in den genannten Norm aufgegangene vormalige deutsche Norm DIN 885 Teile 1-3 eignet sich unter anderem gut für die Weiterentwicklung oder die Beurteilung von Lötungen in unterschiedlichen Grundwerkstoffkombinationen. Bereits schwieriger wird es mit der Übertragung derart gewonnener Daten auf Konstruktionen.

Noch mechanisch sind Aussagen daraus für gelötete Blechverbindungen, die heute in vielfältiger Weise in unterschiedlichen Bereichen der Industrie und Handwerk eingesetzt werden. Daraus ist ein mögliches Ansatzpunkt und Ziel dieses Merkblatts her.

Über die Festigkeit hinaus wird das Verhalten einer Lötverbindung durch weitere metallkundliche und metallurgische Vorgänge bestimmt. Es ist nicht ausreichend, eine Charakterisierung nur anhand der Festigkeit vorzunehmen. Im Gegensatz zum Schweißschweißen kann ein Grundwerkstoff beispielsweise mit unterschiedlichen Zusatzwerkstoffen gefügt werden; entsprechend unterschiedlich kann das Eigenschaftsspektrum ausfallen. Die Eigenschaften einer Lötverbindung sind immer abhängig vom Gesamtsystem, bestehend aus Konstruktion, Werkstoff und Verfahren. Neben der Festigkeit, die in der Regel diejenige des verfahrensbeeinflussten Grundwerkstoffs darstellt, sind unter anderem folgende weitere Größen bestimmend, für die für das System Lötverbindung ergänzende Prüfungen erfolgen sollten:

- Aufschmelzverhalten,
- Benetzung,
- Spaltfüllung/Kapillarität,
- Struktur des Lötguts (Sprödphasen).

Eine Darstellung ist in nachfolgenden Teilen dieser Merkblattserie vorgesehen.

2 Geltungsbereich

Dieses Merkblatt behandelt – wenn nicht anders vereinbart und angegeben – die Probenformen für quasistatische und dynamische Zugprüfungen gelöteter Verbindungen aus Blechen, vorzugsweise aus Stahl (das Löten von Mischverbindungen aus Stahl, Aluminium, Kupfer und Titan bilden die Ausnahme und werden hier nicht näher betrachtet), oberflächenbeschichtet oder unbeschichtet im Dickenbereich t bis einschließlich 3,0 mm. Be-

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Löten“

dingt durch Geometrie und Anwendung werden Überlapp- und Bördelverbindungen betrachtet. Es werden existierende Probenformen dargestellt und Fragen der Auswertung von Prüfergebnissen behandelt.

Die hier beschriebenen Zugversuche können auf üblichen Prüfmaschinen durchgeführt werden.

Als Ergänzung zu bestehenden Normen wird das Ziel verfolgt, neue und/oder zusätzliche gängige Prüfverfahren allgemein verfügbar darzustellen. Zudem können Teile des Merkblatts als Vorarbeit für Vorlagen bei der turnusmäßigen Revision existierender Normen herangezogen werden.

Die Darstellung bezieht sich primär auf Hartlötverbindungen, jedoch können bei Verfügbarkeit geeigneter Werkstoffe (insbesondere Lote) die dargestellten Probenformen und Verfahren auf Weich-, Fugen-, Lichtbogen-, oder Laserstrahlötverbindungen¹⁾ übertragen werden.

Wird bei Stählen entgegen der Empfehlung, nicht im kaltumgeformten Bereich zu löten, eine zu prüfende Naht gelegt, so ist der Reckgrad des Blechs im Zugversuch durch vorherige entsprechende Probenverlängerung zu berücksichtigen. Angaben über den Reckgrad können aus Umformsimulationen gewonnen werden.

Um den Einfluss der Nahtanfangs- und -endeffekte mit zu prüfen, wird mittig eine Lötnaht der Länge 25 mm gelötet. Diese Naht wird durchgehend ausgeführt. Ein Heraustrennen der Zugproben aus einer größeren Probe ist unzulässig.

Als mögliche Versagensarten im Zugversuch können auftreten (siehe Bild 1):

- ① Versagen im Grundwerkstoff,
- ② Versagen in der wärmebeeinflussten Zone/in der Verfahrenseinflusszone,
- ③ Versagen in der Übergangszone Lötgut – Grundwerkstoff (Adhäsionsbruch),
- ④ Versagen im Lötgut (Kohäsionsbruch) sowie

Mischbrüche.

Um die Versagensart der Zugprobe bewerten zu können, müssen vorab Vereinbarungen getroffen werden. So muss eine Lötverbindung nicht in jedem Fall die Grundwerkstofffestigkeit erreichen, wie bei Lichtbogen- oder Laserüberlapp-Lötverbindungen (Bild 1). Durch Kapillarität gefüllte Lötverbindungen weisen dagegen hohe Füllgrade auf und versagen bei ordnungsgemäßer Auslegung und Fertigung im Grundwerkstoff.

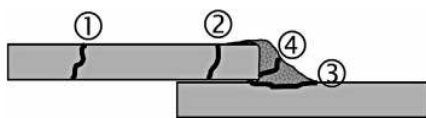


Bild 1. Mögliche Versagensarten gelöteter Verbindungen im Zugversuch, nicht maßstäbliche Skizze.

Daher ist bei der Auswertung folgende Auswertungssystematik anzuwenden:

- Der Bruch erfolgt im Grundwerkstoff: Die ermittelten Werte sind mit denjenigen des verfahrenseinflusszten Grundwerkstoffs zu korrelieren.
- Der Bruch erfolgt in der Lötzone: In diesen Fällen sollte z. B. durch REM- oder vergleichbare Untersuchungen (metallographischer Schliff) geklärt werden, wo genau der Bruch verläuft (reiner Bruch im Lötgut, Mischbruch Lötgut/Grundwerkstoff, Bruch in der Diffusionszone usw.). Erst damit wird eine Korrelation der Festigkeitswerte sinnvoll, da beispielsweise unerwünschte Sprödphasen im Lötgut zu geänderten Systemeigenschaften führen können.

¹⁾ Lichtbogenlötverfahren geht von der Arbeitstemperatur der verwendeten Zusatzwerkstoffe zu den Hartlötverfahren, bedingt durch die verbundenen Spaltweiten und fehlende Kapillarität formal zum Fugenlöten.

3 Proben für quasistatische Zugprüfungen

In Zugprüfungen wird das Verhalten von (gefügten) Proben unter Zugbeanspruchung in Probenlängsrichtung ermittelt. Die Prüfungsgeschwindigkeit bei quasistatischen Zugversuchen ist üblicherweise relativ gering: $v_p \approx 0,1$ m/min. Hochgeschwindigkeitszugversuche, die das Probenverhalten unter erhöhter Belastungsgeschwindigkeit ermitteln, werden bei Dehnraten von ≥ 1 s⁻¹ durchgeführt.

Die quasistatischen Zugversuche werden bei gefügten Proben angewandt, um unmittelbar folgende Verbindungseigenschaften zu ermitteln:

- die Versagensart der Probe,
- das Verhalten der Zugkraft bis zum Probenversagen,
- die Größe der Zugkraft F_Z bis zum Versagen,
- die geometrische Veränderung der Verbindung unter Zugbeanspruchung (Längendehnung L_0 , Einschnürung von Probenbreite A oder Probendicke Z).

Unter Berücksichtigung der Probengeometrie können dann weitere Eigenschaften abgeleitet werden:

- Streckgrenze $R_{p0,2}$ (falls vorhanden) von Grund- oder Zusatzwerkstoff, abhängig von der Versagensart
- Zugfestigkeit R_m von Grund- oder Zusatzwerkstoff, abhängig von der Versagensart.

Hochgeschwindigkeitszugversuche haben als Ziel, die Fließkurve der gelöteten Verbindung zu ermitteln. Hier gilt die DIN EN 10002 nicht mehr.

Zugversuche von gelöteten Verbindungen werden als Scherzugprüfungen und als Scherzugprüfungen durchgeführt, wobei die Scherzugprobe eine Überlappverbindung und die Schälzugprobe z. B. eine Flanschverbindung oder eine Karosserieaußenhautverbindung darstellt.

In der Regel ist anzustreben, die Proben aus dem Grundwerkstoff auszustanzeln, sie mittig zu teilen und diese Hälften in geeigneten Vorrichtungen überlappend zu löten. Bei Kapillarlötverbindungen kann es erforderlich sein, die Prüfstücke aus einer größeren Lötverbindung herauszutrennen (z. B. feste Montageeinrichtung über Distanzfolien), dies ist gesondert anzugeben. Bei Lichtbogen- oder Laserlötverbindungen ist ein Heraustrennen der Proben aus einer größeren Lötverbindung nicht zulässig. Werden die Proben aus Bauteilen herausgetrennt, muss dies angegeben werden.

Eine wichtige Größe beim Zugversuch ist die freie Einspannlänge FEL; die Angabe der Längen der Probenhälften ist hier als Anhaltswert zu verstehen.

Die Lötnahte sollten nicht mehr nachbearbeitet werden.

Ein Heften der Probebleche sollte vermieden werden, es sei denn, die überlötete Heftung selbst ist Gegenstand der Untersuchungen.

3.1 Proben für Scherzugprüfungen

Bei Scherzugprüfungen sind nachfolgend genannte Effekte bei der Auswertung der Ergebnisse zu berücksichtigen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Zum einen verändert sich die Geometrie an der Fugestelle während der Zugbeaufschlagung. So können sich Überlappstöße aufstellen, und die Verbindung wird nicht mehr nur auf Schub, sondern auch auf Kopfzug beansprucht. Dieser Effekt lässt sich durch den geführten Scherzugversuch vermeiden.

Zum anderen ist das Versagen der Proben im Grundwerkstoff ein Effekt. Er ist auf die als „Einspannung“ wirkende Lötnaht zurückzuführen. Wenn die Eigenschaften der Lötzone und nicht der Lötverbindung (als Gesamtheit, siehe DIN EN ISO 857-2) ermittelt werden sollen, bieten taillierte Proben eine Möglichkeit, das