



# Bewertung von Zugversuchen

## Qualität des Messergebnisses und Wiederholen von Messungen

### INHALT:

1. Einleitung	S.1
2. Mitgeltende Normen und Richtlinien	S.2
3. Ziel des Zugversuchs	S.2
4. Definition der spezifischen Probenform bzw. Probenlage	S.3
5. Beurteilung der Messergebnisse	S.3
5.1. Bewertung der Messgüte und Wiederholen von Messungen	S.4
5.2. Statistische Bewertung von Messergebnissen	S.5
6. Hinweise zur Dokumentation der Versuchsergebnisse	S.5

Vom Arbeitskreis „Qualitätssicherung“ im BDG erstellte Richtlinie

### 1. Einleitung

Diese BDG-Richtlinie gilt für den Zugversuch nach EN ISO 6892-1 (Metallische Werkstoffe, Zugversuch Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur).

Diese BDG-Richtlinie beschreibt eine praktische Vorgehensweise bei der Bewertung von Zugversuchen. Damit das Ergebnis einer Messung weiterverwendet und richtige Rückschlüsse gezogen werden können, muss neben dem ermittelten Wert der Messgröße auch eine Aussage über die Qualität des Ergebnisses gemacht werden. In dieser Richtlinie werden insbesondere Aspekte und Vorgehensweisen genannt, die bei der Planung und Auswertung von Zugversuchen, an direkt aus dem Gussteil entnommenen Zugproben, zu beachten sind. Die BDG-Richtlinie kann sinngemäß auch für Bauteilversuche angewendet werden.

Die werkstoffspezifischen Normen enthalten weitere Hinweise, u.a. zur Vorbereitung der Zugproben, sowie zu den Themen Abweichungen und Nachprüfungen. In dieser BDG-Richtlinie sind zusätzlich zur Beschreibung einer praktischen Vorgehensweise bei Bewertung von Zugversuchen, Hinweise aus der DIN EN 1706 enthalten.

Unter Berücksichtigung der Werkstoffspezifischen Hinweise kann diese BDG-Richtlinie auch auf andere Werkstoffe, wie z.B. Zink, Magnesium oder Kupfer angewendet werden.

## 2. Mitgeltende Normen und Richtlinien

- EN ISO 6892-1 „Metallische Werkstoffe, Zugversuch Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur“
- DIN EN 1706 „Aluminium und Aluminiumlegierungen - Gussstücke - Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften“
- DIN EN 1753 „Magnesium und Magnesiumlegierungen - Blockmetalle und Gußstücke aus Magnesiumlegierungen“
- DIN EN 12844 „Zink und Zinklegierungen - Gußstücke – Spezifikationen“
- DIN EN 1982 Kupfer und Kupferlegierungen – Blockmetalle und Gussstücke;

## 3. Ziel des Zugversuchs

Die Durchführung des Zugversuchs ist in der Norm DIN EN ISO 6892-1 und in den damit verknüpften weiteren Standards hinreichend beschrieben.

In der Gießereiindustrie wird der Zugversuch unter anderem als serienbegleitende Prüfung eingesetzt, um beispielsweise die Wirksamkeit der Gefügeumwandlung infolge einer Wärmebehandlung zu verifizieren. Ein Zugversuch erfolgt an einem Zugprobestab. Dieser kann direkt aus dem Bauteil entnommen, mit dem Bauteil vergossen, oder getrennt abgegossen werden. Alle drei Vorgehensweisen finden in der Praxis Anwendung. Überprüft wird jeweils, ob der zum Bauteil vergossene Werkstoff die zuvor spezifizierten Anforderungen an die Zugfestigkeit ( $R_m$ ), an die 0,2-Dehngrenze ( $R_{p0,2}$ ) und/oder an die Bruchdehnung ( $A_5$ ) erfüllt. Häufig werden Zugproben genutzt, um über den Zugversuch eine Korrelation zu den auf das Bauteil insgesamt oder örtlich wirkenden Betriebslasten herzustellen.

Während getrennt gegossene Probestäbe eine allgemeine qualitative Aussage zum Festigkeitspotenzial des verarbeiteten Werkstoffes ermöglichen, kann mit direkt aus dem Bauteil entnommenen Probestäben zusätzlich ein Rückschluss auf das Festigkeitspotential des Werkstoffes in speziellen Bauteilbereichen gezogen werden. Die Festlegung dazu sollte entsprechend der gewünschten Aussage des Versuchsergebnisses getroffen werden.

Anmerkung: Die mit dem Bauteil vergossene Probe weist eine dem Bauteil gleiche Legierungszusammensetzung, sowie korrelierende Prozessparameter und Wandstärken auf und kann als Element des Entlüftungs- oder Gießsystems auch Nest-zugehörig gestaltet werden.

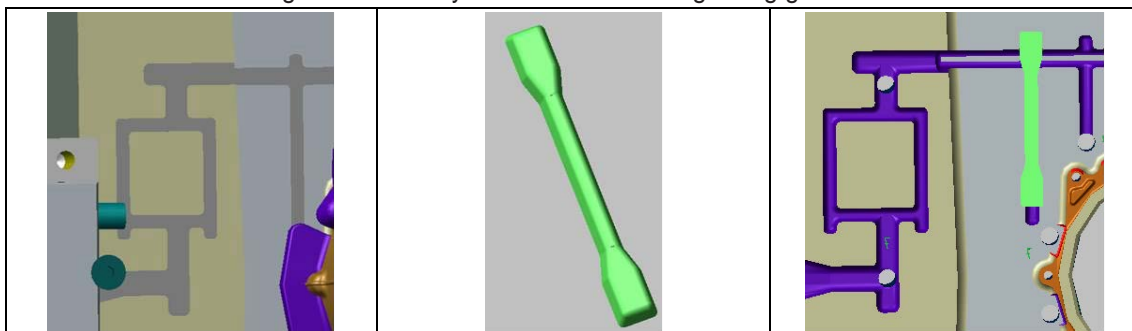


Abbildung 1: Beispiel - Mit dem Bauteil vergossene Probe



#### 4. Definition der spezifischen Probenform bzw. Probenlage

Zu beachten ist, dass direkt aus dem Bauteil entnommene Zugproben u.a. durch die Qualität des Gussgefüges am Ort der Probenlage maßgeblich beeinflusst werden. Aufgrund z.B. unterschiedlicher Erstarrungsgeschwindigkeiten, liegen im Bauteil inhomogene Bereiche vor. Eine Aussage über das mechanisch-technologische Eigenschaftspotenzial des Werkstoffes bei der direkten Entnahme, sollte stets durch mehrere Zugproben aus verschiedenen Bereichen desselben Bauteils abgesichert werden. So können Fehlinterpretationen vermieden werden. Werden Zugproben aus den Gussteilen entnommen, so müssen deren Abmessungen und ihre Lage im Gussstück, die Prüfhäufigkeit und die zu erreichenden Kennwerte zwischen Lieferant und Kunde vereinbart werden. Aus dem Bauteil können sowohl Flachproben als auch zylindrische Proben entnommen werden.

Flachproben bieten sich für Bauteilbereiche an, welche aufgrund der örtlichen Geometriebedingungen keine zylindrischen Proben zulassen. Sie sollten möglichst so platziert werden, dass die Gusshaut auf der Gussoberfläche bei der Probenherstellung weitgehend erhalten bleibt.

Aus Druckgussbauteilen entnommene Flachproben sollten nicht aus folgenden Bereichen des Gussstückes entnommen werden, da die Qualität des Gussgefüges hier durch gießtechnisch typische Gegebenheiten ungünstig beeinflusst werden:

- nah am Gießlaufanschnitt
- in Bereichen eines Formfüllendes, ohne Möglichkeit der Anordnung von ausreichend dimensionierten Überläufen und/oder Druckgießformentlüftungen
- in Bereichen stark turbulenter Formfüllung, oft verbunden mit unzureichender Durchströmung

Zylindrische Proben erfordern aufgrund ihrer Geometrie Materialstärken am Bauteil von größer 5 mm. Gemäß EN 1706, Abschnitt 7.3.3.2 soll der Durchmesser bei runden Probestäben mindestens 4,0 mm betragen. Im Rahmen der Probenvorbereitung wird die Gusshaut auf der Gussoberfläche meist vollständig abgetragen. Zu beachten ist, dass für Zugproben aus Sandgussbauteilen andere Vorgaben zur Dimensionierung gelten. So gibt die Norm EN 1706 z.B. einen Mindestdurchmesser von 12 mm an. Zylindrische Proben (bearbeitete Rundproben), entnommen aus Druckgussstücken eignen sich nicht für Zugversuche zur Bestimmung der mechanischen Kennwerte in einem Druckgussbauteil, da bei der Bearbeitung der Rundprobe die rasch erstarrte Gusshaut entfernt würde. Bei rechteckigen Proben ist möglichst nur die Taillierung durch Fräsen vorzunehmen

Die Festlegung der Probenlage sollte mit Blick auf die gewünschte Aussage der Versuchsergebnisse getroffen werden. Knotenbereiche, die aufgrund ihrer erhöhten Wandstärken zu Gefügefehlern (Mikro/Makrolunker, Gasporosität) neigen, sind in der Regel als Probenlage ungeeignet.

Es empfiehlt sich grundsätzlich, vor der generellen Festlegung der Probenlage eine geeignete Anzahl an Bauteilen einer Röntgenprüfung oder einer vergleichbaren Prüfung zu unterziehen, um festzustellen, welche prozessbedingt erzielbare Gefügequalität im Bauteil vorliegt, insbesondere in den für die Probenentnahme vorgesehenen Bereichen. Um im Falle von einer Fehlmessung die Möglichkeit einer Nachprüfung zu haben, wird hier auch empfohlen, zur originalen Probenlage möglichst eine Ersatzprobenlage zu definieren, aus der eine Referenzprobe entnommen werden kann.

#### 5. Beurteilung der Messergebnisse

Bei jeder Prüfung zur Qualitätssicherung sollte vor der Einbeziehung der Messergebnisse in die Bewertung überprüft werden, ob das erzielte Ergebnis verwendbar ist bzw. ob ein Messfehler vorliegt. Ein **Messfehler** kann auftreten, wenn das Equipment der Prüfanlage fehlerhaft aufgebaut oder nicht korrekt kalibriert ist, der Prüfer Fehler bei Durchführung gemacht hat, oder aber die Probe ungeeignet



war. Die Feststellung einer **Messabweichung** ist zunächst funktions- und anwenderneutral und beschreibt lediglich den Unterschied von einem Ist- und einem Sollwert. Jede Prüfung ist mit einer **Messunsicherheit**, die sich durch das Messverfahren ergibt, verbunden. Bei subjektiven und einmaligen direkten Messungen können keine Messunsicherheiten mathematisch bestimmt werden bzw. nur mit geringerer Sicherheit. Besonders beim Zugversuch können Messunsicherheiten durch Gefügeeinflüsse, davon ist insbesondere die Bruchdehnung betroffen, nicht mathematisch durch mehrmalige direkte Messung bzw. nur mit größerer Unsicherheit bestimmt werden. Keine Probe weist exakt gleiche Gegebenheiten auf.

### 5.1. Bewertung der Messgüte und Wiederholen von Messungen

Bevor Zugversuchsergebnisse in die Bewertung einbezogen werden, sollte überprüft werden, ob das erzielte Ergebnis verwendbar ist. Dies lässt sich im Wesentlichen von der gerissenen Zugprobe selbst bzw. vom aufgezeichneten Zugverlauf ableiten. Die Normung zum Zugversuch gibt dazu bereits verschiedene Hinweise. Prüfergebnisse von nicht regelkonform gerissenen Proben sollten nicht in die Bewertung einfließen, sondern der Zugversuch an Ersatzproben wiederholt werden.

Für den Zugversuch an Aluminium-Kokillengussteilen werden in der Praxis folgende Voraussetzungen für eine Wiederholungsprüfung gesetzt:

- Zugstab ist nicht im erwarteten Bereich gerissen (z.B. Kopfriss),
- Gussporosität in der Bruchfläche der Zugprobe: > 0,1%,
- Ausdehnung des größten erkennbaren Einzelfehlers in der Bruchfläche: > 0,5 mm,
- kerbartige Defekte auf der Oberfläche der Zugprobe sind eindeutig erkennbar.

Für den Zugversuch an Aluminium-Druckgussbauteilen werden in der Praxis folgende Voraussetzungen für eine Wiederholungsprüfung gesetzt:

- Zugstab ist nicht im erwarteten Bereich gerissen (z.B. Kopfriss),
- Gussporosität in der Bruchfläche der Zugprobe: z.B. > 5,0%,
- Ausdehnung des größten erkennbaren Einzelfehlers in der Bruchfläche: > 0,5 mm,
- kerbartige Defekte auf der Oberfläche der Zugprobe sind eindeutig erkennbar,
- kerbartige Defekte sind in der Bruchfläche der Zugprobe eindeutig erkennbar (z.B. Schichtungen, Aufdoppelungen, Vorerstarrungen)
- Verfärbungen in der Bruchfläche der Zugprobe sind eindeutig erkennbar (z.B. braune Verfärbungen)

Für den Zugversuch an Aluminium-Sandgussteilen werden in der Praxis folgende Voraussetzungen für eine Wiederholungsprüfung gesetzt:

- Zugstab ist nicht im erwarteten Bereich gerissen (z.B. Kopfriss),
- Gussporosität in der Bruchfläche der Zugprobe: > 1,0%,
- Ausdehnung des größten erkennbaren Einzelfehlers in der Bruchfläche: > 1,0 mm,
- kerbartige Defekte auf der unbearbeiteten oder bearbeiteten Oberfläche der Zugprobe erkennbar.

Sofern Zugversuche zur Verifizierung der Wirksamkeit einer Wärmebehandlung durchgeführt werden, sollte ein wiederholter Zugversuch immer auf der Basis von Bauteilen erfolgen, die denselben Wärmebehandlungsbedingungen unterlegen haben, wie das zuerst gemessene Bauteil. Es empfiehlt



sich daher, für den Fall einer notwendigen Nachprüfung eine sinnvolle Anzahl an Bauteilen aus einer Wärmebehandlungs-Charge vorzuhalten. Sofern die Bauteilgeometrie dies zulässt, sollte diese Referenzprobe in relativer Nähe zur Original-Probe platziert werden.

### 5.2. Statistische Bewertung von Messergebnissen

Erfahrungsgemäß unterliegen die im Zugversuch ermittelten Festigkeitskennwerte  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  und  $A_5$  aufgrund der vorstehend genannten Einflüsse aus dem Gießprozess und der Probenvorbereitung gewissen Schwankungen. Sofern mehr als 3 Zugproben aus einem Bauteil entnommen und geprüft werden, sollte eine statistische Versuchsauswertung für die Festigkeitskennwerte  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  und  $A_5$  vorgenommen werden. Relevant für die Bewertung hinsichtlich der Erfüllung der spezifizierten Kennwerte ist dann der Durchschnittswert über alle Zugproben desselben Bauteils. Dazu muss jeder Kennwert mindestens einmal ein bewertbares Ergebnis erbracht haben. Einzelne Werte aus eindeutig identifizierten Fehlmessungen sollten jedoch nicht in die Bewertung einbezogen werden.

Die EN 1706 gibt an, dass Werte der 0,2-Dehngrenze und der Zugfestigkeit an den Gussteilen nicht unter eine Grenze von 70 % der spezifizierten Zielwerte fallen dürfen.

Bei der Bruchdehnung dürfen die an den Gussteilen erzielten Werte bis zu 50 % unter den in den Tabellen der EN 1706 festgelegten Werten liegen. Beide vorstehend genannten Regelungen gelten jedoch nicht für Druckgussteile! Werden die Zielwerte für  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  und  $A_5$  im Durchschnitt an einem Bauteil erreicht, so gilt der Versuch als bestanden.

Für Druckgussbauteile empfiehlt sich folgende Richtlinie: Einzelne Messwerte für 0,2-Dehngrenze, der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung dürfen nicht unter eine Grenze von 70% der spezifizierten Zielwerte fallen. Werden die Zielwerte für  $R_{p0,2}$ ,  $R_m$  und  $A_5$  im Durchschnitt an einem Druckgussbauteil erreicht, so gilt der Versuch als bestanden.

### 6. Hinweise zur Dokumentation der Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Zugversuche sind zu dokumentieren. Die marktüblichen Materialprüfmaschinen bieten dafür in der Regel bereits integrierte Software-Lösungen, die sowohl die Dokumentation der Belastungskurven als auch der Einzelwerte ermöglichen. Um die Festlegungen zum Ablauf und zur Bewertungsroutine bei Zugversuchen nachvollziehbar und für das Prüfpersonal verbindlich festzulegen, hat sich in der Praxis die schriftliche Erstellung einer Prüfvorschrift bewährt. Zu beachten ist dabei, dass derartige Prüfvorschriften üblicherweise den besonderen Anforderungen an die Dokumentenlenkung hinsichtlich ihrer Erstellung, Inkraftsetzung, Änderung und Archivierung unterliegen.

### Anhang

Die Abbildungen 1 bis 4 zeigen Zugstäbe, die

- links: im erwarteten Bereich
  - rechts: nicht im erwarteten Bereich (Kopfriss)
- gerissen sind (siehe auch Kap. 5.1).



Abbildung 1: Zylindrischer Zugstab



Abbildung 2: Zylindrischer Zugstab mit Kopfriss



Abbildung 3: Flachzugprobe



Abbildung 4: Flachzugprobe mit Kopfriss



**Änderungsvermerk:**

**Ersatz für Ausgabe:**

**Gegenüber der vorigen Ausgabe wurden folgende Änderungen vorgenommen:**