

---

Deskriptoren: Metall, Prüfung, Wasserstoff, Werkstoff, Zugversuch

Descriptors: Metal, testing, hydrogen, material, tensile testing

## Prüfung metallischer Werkstoffe unter Wasserstoffanwendungen

Zugversuch

## Testing of metallic materials in a hydrogen environment

Tensile testing

**Ausdrucke unterliegen nicht dem Änderungsdienst.  
Print-outs are not subject to the change service.**

Fortsetzung Seite 2 bis 4  
Continued on pages 2 to 4

BMW AG Normung: 80788 München



**In case of dispute the German wording shall be valid.**

## Vorwort

Dieser Group Standard wurde mit den verantwortlichen Bereichen der BMW Group abgestimmt.

Für die in der Norm zitierten nationalen Normen wird in der folgenden Tabelle auf die entsprechenden internationalen Normen hingewiesen:

<b>Nationale Normen</b> <i>National standards</i>	<b>Internationale Normen</b> <i>International standards</i>
DIN EN ISO 4287	ISO 4287
DIN EN ISO 6892-1	ISO 6892-1
DIN ISO 15579	ISO 15579

## 1 Anwendungsbereich und Zweck

Dieser Group Standard beschreibt den Zugversuch an metallischen Werkstoffen, die in direktem Kontakt zu flüssigem und gasförmigen Wasserstoff stehen.

Zweck dieses Group Standards ist die Festlegung einer einheitlichen Prüfung zur Eignung des Materials.

## 2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Es gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

ASTM G 142	Standard test method for determination of susceptibility of metals to embrittlement in hydrogen containing environments at high pressure, high temperature, or both
DIN 50125	Prüfung metallischer Werkstoffe; Zugproben
DIN EN ISO 4287	Geometrische Produktspezifikation (GPS); Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit
DIN EN ISO 6892-1	Metallische Werkstoffe; Zugversuch; Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur
DIN ISO 15579	Metallische Werkstoffe; Zugversuch bei tiefen Temperaturen
ISO 19819	Metallische Werkstoffe; Zugversuch in flüssigem Helium
LN 29512	Kleine Zugproben

## Foreword

This Group Standard has been coordinated with the responsible departments of the BMW Group.

For the national standards quoted in the subject standard, the following table refers to the corresponding international standards, if applicable:

## 1 Scope and purpose

This Group Standard describes tensile testing on metallic materials directly exposed to liquid and gaseous hydrogen.

The purpose of this Group Standard is to determine a standardized test for evaluation of the suitability of the material.

## 2 Normative references

This standard incorporates provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. The respective latest edition of the publication is applicable.

ASTM G 142	Standard test method for determination of susceptibility of metals to embrittlement in hydrogen containing environments at high pressure, high temperature, or both
DIN 50125	Testing of metallic materials; Tensile test pieces
DIN EN ISO 4287	Geometrical product specification (GPS); Surface texture: Profile method; Terms, definitions and surface texture parameters
DIN EN ISO 6892-1	Metallische Werkstoffe; Zugversuch; Teil 1: Method of test at room temperature
DIN ISO 15579	Metallische Werkstoffe; Zugversuch bei tiefen Temperaturen
ISO 19819	Metallische Werkstoffe; Zugversuch in flüssigem Helium
LN 29512	Small tensile test pieces

### 3 Prüfverfahren

#### 3.1 Probenvorbereitung

Für die Prüfung sind Zugproben nach DIN 50125 oder LN 29512 herzustellen.

Speziell für Tieftemperatur-Zugproben sind auch die DIN ISO 15579 (Anhang A) und ISO 19819 anwendbar.

Die Rauheit, der für die Wasserstoff- und Heliumprüfung verwendeten Zugproben, muss gleichwertig sein, wobei der *Ra*-Wert (siehe DIN EN ISO 4287) weniger als 1 µm betragen muss.

Ferner sind die Oberflächen der Zugproben vor dem Einbau in den Autoklaven von Fett und Schmutz zu reinigen, z.B. durch Ultraschallreinigung in Aceton.

#### 3.2 Durchführung

Der Zugversuch ist in Anlehnung an DIN EN ISO 6892-1, DIN ISO 15579 und/oder ASTM G 142 durchzuführen. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Dehngeschwindigkeit von  $< 1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  bis zum Bruch eingehalten wird. Der Versuch kann auch mit konstanter Abzugsgeschwindigkeit durchgeführt werden, wenn eine technische Dehnrate  $\epsilon_t < 1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  eingehalten wird.

Dazu wird eine glatte Rund- oder Flachzugprobe aus dem zu prüfenden Werkstoff in gasförmigen oder flüssigem Wasserstoff bis zum Bruch gezogen.

Der Versprödungseffekt bei Wasserstoff wird ersichtlich durch das Vergleichen der Brucheinschnürung unter Wasserstoff ( $Z_{\text{H}_2}$ ) mit der Brucheinschnürung unter Helium ( $Z_{\text{He}}$ ).

Das Verhältnis  $Z_{\text{H}_2}/Z_{\text{He}}$  muss bestimmt werden. Je höher dieses Verhältnis (Versprödungsindex) liegt, umso günstiger verhält sich der Werkstoff unter Wasserstoff.

**ANMERKUNG** Dieses Verhältnis ist abhängig von der Dehngeschwindigkeit, die daher während des ganzen Versuchs konstant bleiben muss. Ferner sollte beachtet werden, dass Stähle zwischen - 100 °C und - 50 °C ein Versprödungsmaxima aufweisen, sowie der Prüfdruck ebenfalls einen negativen Einfluss hat.

Um einen optimalen Prüfverlauf sicherzustellen, sind zusätzlich folgende aufgeführte Tätigkeiten durchzuführen:

- Entleeren der Prüfanlage durch Pumpen zur Beseitigung jeglicher Spuren von Luft oder Feuchtigkeit die von den Wänden aufgenommen wurde.
- Durchspülen mit dem zu verwendenden Gas, danach mit einer Vakuum pumpenden Einrichtung zur Erhöhung der Reinigungswirkung abpumpen. Dieser Vorgang ist mindestens 3 mal durchzuführen.
- Überprüfung der Gasreinheit vor dem Versuch. Die Reinheit des Wasserstoffes muss mindestens 99,995 betragen, wobei der  $\text{O}_2$ -Gehalt  $< 1 \text{ µl/l}$  und der  $\text{H}_2\text{O}$ -Gehalt  $< 3 \text{ µl/l}$  sein muss (1 µl/l entspricht 1 ppm). Dies ist in einem Prüfzertifikat anzugeben.

**ANMERKUNG** Die Versprödung von Werkstoffen hängt auch von der Reinheit des Wasserstoffes ab. Sauerstoff oder Spuren von Wasserdampf, können den Versprödungseffekt bei Wasserstoff verhindern.

### 3 Test procedure

#### 3.1 Preparation of test specimens

Tensile test specimens must be prepared according to DIN 50125 or LN 29512.

DIN ISO 15579 (Annex A) and ISO 19819 are also applicable especially for low temperature tensile tests.

The roughness of tensile test specimens used for hydrogen and helium test must be identical whereby the *Ra* value (see DIN EN ISO 4287) must be less than 1 µm.

Furthermore, the surfaces of tensile test specimens must be cleaned to remove grease and dirt prior to fitment in autoclaves e.g. ultrasonic cleaning in acetone.

#### 3.2 Implementation

The tensile test is to be carried out according to DIN EN ISO 6892-1, DIN ISO 15579 and/or ASTM G 142. Care must be taken that a strain rate of  $< 1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  is maintained to break. The test can also be carried out with constant pulling speed if a technical strain rate of  $\epsilon_t < 1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  is maintained.

For this purpose, a smooth round or flat tensile test specimen made of the material to be tested is strained in gaseous or liquid hydrogen until it breaks.

The brittling effect of hydrogen becomes apparent by comparing the elongation at break under hydrogen ( $Z_{\text{H}_2}$ ) with elongation at break under helium ( $Z_{\text{He}}$ ).

The ratio of  $Z_{\text{H}_2}/Z_{\text{He}}$  must be determined. The higher this ratio (brittling index), the better the material characteristics under hydrogen.

**NOTE** This ratio depends on the strain rate, which must therefore be constant for the duration of the test. Furthermore, please note that steels display a maximum brittleness between - 100 °C und - 50 °C and that the test pressure also has a negative influence.

To assure optimum test procedure, the following tasks have to be carried out:

- Evacuation of test equipment by means of pumps to remove all traces of air or humidity that may have been picked up from the walls.
- Purging the equipment with the gas to be used and then pump off by means of a vacuum pumping device to increase the cleansing effect. This procedure must be repeated at least 3 times.
- Checking gas purity prior to testing. Purity of the hydrogen must be at least 99,995, whereby the  $\text{O}_2$  content must be  $< 1 \text{ µl/l}$  and the  $\text{H}_2\text{O}$  content  $< 3 \text{ µl/l}$ . This must be specified in a test certificate.

**NOTE** The brittleness of materials also depends on the purity of the hydrogen. Oxygen or traces of water vapour can prevent the brittling effect in hydrogen.

#### 4 Auswertung

Die Auswertung muss nach DIN EN ISO 6892-1 erfolgen.

Für jede Prüfung muss das Verhältnis  $R_{m\ H_2}/R_{m\ He}$ ,  $A_{H_2}/A_{He}$  und  $Z_{H_2}/Z_{He}$  berechnet werden.

#### 5 Prüfbericht

Die genauen Prüfbedingungen, Reinheit des Gases, Prüftemperatur, Prüfdruck, chemische Zusammensetzung und Wärmebehandlung sind festzuhalten. Ferner sind die ermittelten Werkstoffkennwerte  $R_m$ ,  $R_{p\ 0,2}$ ,  $A$ ,  $Z$ , sowie der Versprödungsindize  $Z_{H_2}/Z_{He}$  anzugeben.

#### 4 Evaluation

The evaluation must be carried out according to DIN EN ISO 6892-1.

The ratio  $R_{m\ H_2}/R_{m\ He}$ ,  $A_{H_2}/A_{He}$  und  $Z_{H_2}/Z_{He}$  has to be calculated for each test.

#### 5 Test report

The exact test conditions, purity of the gas, test temperature, test pressure, chemical composition and heat treatment must be recorded. In addition, the determined material properties  $R_m$ ,  $R_{p\ 0,2}$ ,  $A$ ,  $Z$  as well as the brittleness indicators  $Z_{H_2}/Z_{He}$  must be specified.