

DIN CEN ISO/TR 20491

ICS 21.060.01

**Verbindungselemente –
Grundlagen der Wasserstoffversprödung bei Verbindungselementen aus
Stahl (ISO/TR 20491:2019);
Deutsche Fassung CEN ISO/TR 20491:2021**

Fasteners –

Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel fasteners (ISO/TR 20491:2019);
German version CEN ISO/TR 20491:2021

Fixations –

Principes de la fragilisation par l'hydrogène pour les fixations en acier (ISO/TR 20491:2019);
Version allemande CEN ISO/TR 20491:2021

Gesamtumfang 34 Seiten

DIN-Normenausschuss Mechanische Verbindungselemente (FMV)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO/TR 20491:2019 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 2 „Fasteners“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als CEN ISO/TR 20491:2021 durch das Technische Komitee CEN/TC 185 „Mechanische Verbindungselemente“ übernommen, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 067-00-06 AA „Oberflächenschichten von Verbindungselementen“ im DIN-Normenausschuss Mechanische Verbindungselemente (FMV).

Technische Reports sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 4042	siehe	DIN EN ISO 4042
ISO 898-1:2013	siehe	DIN EN ISO 898-1:2013-05
ISO 2702	siehe	DIN EN ISO 2702
ISO 15330	siehe	DIN EN ISO 15330
ISO 7539-7	siehe	DIN EN ISO 7539-7
ISO 2081	siehe	DIN EN ISO 2081
ISO 10684	siehe	DIN EN ISO 10684
ISO 1891-2:2014	siehe	DIN EN ISO 1891-2:2015-01

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 4042, *Verbindungselemente — Galvanisch aufgebrachte Überzugssysteme*

DIN EN ISO 898-1:2013-05, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen — Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2013*

DIN EN ISO 2702, *Mechanische Verbindungselemente — Wärmebehandelte Blechschrauben — Mechanische und physikalische Eigenschaften*

DIN EN ISO 15330, *Verbindungselemente — Verspannungsversuch zur Entdeckung von Wasserstoffversprödung — Verfahren mit parallelen Auflageflächen*

DIN EN ISO 7539-7, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Prüfung der Spannungsrißkorrosion — Teil 7: Prüfung mit langsamer Dehngeschwindigkeit*

DIN EN ISO 2081, *Metallische und andere anorganische Überzüge — Galvanische Zinküberzüge auf Eisenwerkstoffen mit zusätzlicher Behandlung*

DIN EN ISO 10684, *Verbindungselemente — Feuerverzinkung*

DIN EN ISO 1891-2:2015-01, *Mechanische Verbindungselemente — Benennungen — Teil 2: Begriffe und Definitionen für Oberflächenschichten (ISO 1891-2:2014); Mehrsprachige Fassung EN ISO 1891-2:2014*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Verbindungselemente —
Grundlagen der Wasserstoffversprödung bei
Verbindungselementen aus Stahl (ISO/TR 20491:2019)

Fasteners —
Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel
fasteners (ISO/TR 20491:2019)

Fixations —
Principes de la fragilisation par l'hydrogène pour les
fixations en acier (ISO/TR 20491:2019)

Dieser Technische Report wurde vom CEN am 29. November 2021 angenommen. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 185 erstellt.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	9
5 Allgemeine Beschreibung von Wasserstoffversprödung	9
6 Mechanismus der Wasserstoffschädigung	10
7 Bruchmorphologie	10
8 Bedingungen an der Spitze eines Risses	12
9 Bedingungen für das Versagen durch Wasserstoffversprödung	13
9.1 Hauptursache und Auslöser für das Versagen durch Wasserstoffversprödung	13
9.2 Werkstoffanfälligkeit	14
9.2.1 Allgemeines	14
9.2.2 Fehler und andere Zustände, die eine ungewöhnlich hohe Werkstoffanfälligkeit verursachen	16
9.2.3 Methodik zur Messung des Schwellenwerts der Spannung für Wasserstoffversprödung	17
9.3 Zugspannung	18
9.4 Atomarer Wasserstoff	19
9.4.1 Quellen für Wasserstoff	19
9.4.2 Fertigungsbedingter Wasserstoff	19
9.4.3 Umweltbedingter Wasserstoff	20
10 Einsatzgehärtete Verbindungselemente	21
11 Feuerverzinkung und schockartiges thermisches Aufheizen	23
12 Spannungsabbau vor der elektrolytischen Metallabscheidung	24
13 Schlusswalzen von Schraubengewinden nach der Wärmebehandlung	24
14 Prüfverfahren zur Wasserstoffversprödung	24
15 Tempern	25
Literaturhinweise	27

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO/TR 20491:2019 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 2 „Fasteners“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als CEN ISO/TR 20491:2021 durch das Technische Komitee CEN/TC 185 „Mechanische Verbindungselemente“ übernommen, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/TR 20491:2019 wurde von CEN als CEN ISO/TR 20491:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 2, *Fasteners*, Unterkomitee SC 14, *Surface coatings*, erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Hochfeste mechanische Verbindungselemente aus Stahl sind allgemein durch Zugfestigkeiten (R_m) über 1 000 MPa gekennzeichnet und werden häufig in kritischen Anwendungen wie Brücken, Motoren und Flugzeugen eingesetzt, bei denen ein Versagen eines Verbindungselements katastrophale Folgen haben kann. Die Vermeidung eines Versagens und das Risikomanagement hinsichtlich Wasserstoffversprödung (HE, en: hydrogen embrittlement) sind ein grundlegender Gesichtspunkt, der die gesamte Lieferkette für Verbindungselemente einbezieht, einschließlich: Stahlhersteller, Hersteller der Verbindungselemente, Beschichter, Anwendungstechniker, Konstrukteur der Verbindung sowie den gesamten Weg bis hin zum Endanwender. Die Wasserstoffversprödung wird seit Jahrzehnten untersucht, jedoch machen die Komplexität der HE-Phänomene und die zahlreichen Einflussgrößen das Auftreten eines Versagens von Verbindungselementen unvorhersehbar. Forschungsarbeiten werden typischerweise unter vereinfachten und/oder Idealbedingungen durchgeführt, deren Ergebnisse nicht eins zu eins in *Fachwissen* übertragen werden können, das in Industrie-Normen und -Praktiken für Verbindungselemente festgelegt wird. Diese Zusammenhänge werden durch Spezifikationen oder Normen weiter erschwert, die mitunter unzureichend sind und/oder unnötig dramatisieren. Unstimmigkeiten und sogar Widersprüche in den Industrie-Normen für Verbindungselemente haben zu großer Verwirrung und häufig zu vermeidbarem Versagen von Verbindungselementen geführt. Die Tatsache, dass HE sehr oft irrtümlicherweise als die *Hauptursache* für das Versagen und nicht als ein *Mechanismus* für das Versagen angesehen wird, spiegelt diese Verwirrung wider.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält die neuesten Erkenntnisse über die Wasserstoffversprödung, die auf vollständige und dennoch einfache Weise in *Fachwissen* übertragen werden und unmittelbar auf Verbindungselemente aus Stahl anwendbar sind.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Härte

Widerstand eines Metalls gegen plastische Verformung, üblicherweise durch Eindringung oder Durchdringung eines festen Körpers (an der Oberfläche oder im Kern)

3.2

Kaltverfestigung

Erhöhung der mechanischen Festigkeit und *Härte* (3.1), wenn ein Metall bei Umgebungstemperatur plastisch verformt wird (durch Walzen, Ziehen, Recken, Napfen, Stauchen, Fließpressen usw.), was auch zu einer Verringerung der Duktilität führt

3.3

Wärmebehandlung

Prozesszyklus (kontrolliertes Erwärmen, Halten und Abkühlen) eines festen metallischen oder legierten Bauteils, um eine kontrollierte und homogene Umwandlung der Werkstoffstruktur zu erhalten und/oder die gewünschten physikalischen oder mechanischen Eigenschaften zu erreichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Vergüten, Glühen, Einsatzhärten und Spannungsabbau sind Beispiele für die Wärmebehandlung von Verbindungselementen.

3.4

Vergüten

QT, en: quenching and tempering

Verfahren der *Wärmebehandlung* (3.3) beim Abschreckhärten, bestehend aus Austenitisieren und schnellem Abkühlen unter Bedingungen, unter denen sich der Austenit mehr oder weniger vollständig in Martensit (und möglicherweise in Bainit) umwandelt, gefolgt von einer Wiedererwärmung auf eine festgelegte Temperatur für einen kontrollierten Zeitraum und anschließendem Abkühlen, um das erforderliche Niveau der physikalischen oder mechanischen Eigenschaften zu erreichen

3.5

Einsatzhärten

thermochemisches Behandlungsverfahren, bestehend aus Aufkohlen oder Carbonitrieren und anschließendem Abschrecken, das eine Steigerung der *Härte* (3.1) in der Oberfläche des Stahls des Verbindungselementes bewirkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Verfahren wird für Blechschrauben, gewindefurchende Schrauben, selbstbohrende Schrauben usw. eingesetzt.

3.6

Spannungsabbau

Verfahren der *Wärmebehandlung* (3.3), bei dem Verbindungselemente auf eine vorgegebene und kontrollierte Temperatur erwärmt werden, gefolgt von einem langsamen Abkühlen, um die durch *Kaltverfestigung* (3.2) induzierten Eigenspannungen zu verringern

3.7

Tempern

Verfahren der Wärmebehandlung von Verbindungselementen über einen festgelegten Zeitraum bei einer gegebenen Temperatur, um die Gefahr einer *fertigungsbedingten Wasserstoffversprödung* (3.15) zu minimieren

[QUELLE: ISO 1891-2:2014, 3.4.11, modifiziert — „Zeit“ wurde durch „Zeitraum“ ersetzt]

3.8

Riss

Beginn eines *Bruches* (3.10) ohne vollständige Trennung

[QUELLE: ASTM F2078-15, modifiziert — „Linie“ wurde durch „Beginn“ ersetzt]

3.9

Versagen

Verlust der Fähigkeit eines Verbindungselements, eine festgelegte Funktion zu erfüllen, die in einigen Fällen zu einem vollständigen *Bruch* führen kann (3.10)

3.10

Bruch

Trennung eines Bauteils oder einer Probe, die den gesamten Querschnitt erfasst, die auftritt, wenn die plastische Verformung in einem Verbindungselement lokal über seine Widerstandsgrenze ansteigt, was zur Trennung des Verbindungselements in zwei oder mehr Teile während der Prüfung oder im Betrieb führt

3.11

Bruchmorphologie

Struktur und Aussehen der gebrochenen Oberfläche

3.12

duktil

Aufweisen einer ausgeprägten plastischen Verformung vor dem *Bruch* (3.10), mit einer resultierenden nicht ebenen Bruchoberfläche, die eine faserige duktile Grübchen- (Dimple-) Morphologie aufweist, die üblicherweise glanzlos oder matt ist

3.13

spröde

Aufweisen geringer oder keiner plastischen Verformung vor dem *Bruch* (3.10), mit einer resultierenden ebenen Bruchoberfläche, die eine spröde Morphologie aufweist, die üblicherweise glänzend ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Sprödbbruch entlang von Spaltflächen wird als transkristalliner Bruch bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sprödbbruch durch Trennung an den Grenzen ehemaliger Austenitkörner wird als interkristalliner Bruch bezeichnet.