

## Schraubverbindungen in extremer Hitze und Kälte



Es sind verhältnismäßig moderate Umgebungstemperaturen von  $+10\text{ °C}$  bis  $+35\text{ °C}$ , welche die normative Prüfung von Verbindungselementen (z. B. ISO 898 Teil 1 – 7, Verbindungselemente aus legiertem Stahl und ISO 3506 Teil 1 – 3, Verbindungselemente aus nicht rostenden Stählen) vorschreibt. Anwendungsfälle in der Praxis liegen oftmals deutlich außerhalb dieses Temperaturbereiches. Diesem muss durch eine geeignete Werkstoffauswahl Rechnung getragen werden.

### Wenn es kalt wird

$-50\text{ °C}$  sind bei vielen Anwendungsgebieten von Verschraubungen keine Seltenheit. Windenergieanlagen in Kanada oder Schienenfahrzeuge in Sibirien werden bei diesen und noch kälteren Temperaturen betrieben. Bei solchen Temperaturen steigt die Festigkeit von Werkstoffen, zugleich jedoch auch deren Sprödigkeit oder mit anderen Worten: Die Zähigkeit der Werkstoffe sinkt.

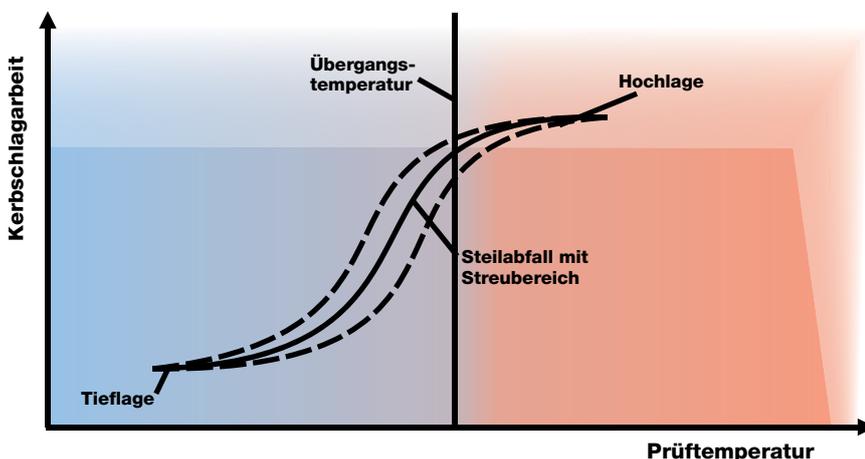
Inwiefern sich dieses negativ auswirkt, hängt entscheidend vom Belastungsfall ab. Liegt eine rein statische Belastung der Schraube vor – zum Beispiel eine Befestigung von Verkleidungsblechen in einer Kältekammer – bleibt die verringerte Zähigkeit im Regelfall folgenlos. Bei einer dynamischen Belastung jedoch – etwa bei einer Rotorblattbefestigung an einer Windkraftanlage – und bei ständiger

Wechselast in axialer oder in Biege-Richtung verringert die reduzierte Zähigkeit des Materials auch die Verformungsmöglichkeiten einer Schraube. Es kann zur Zerstörung der Verbindung kommen.

### Zähigkeit – das Maß aller Dinge?

Die verringerte Zähigkeit wirkt sich nur bei Bauteilen aus, die auf Zug beansprucht werden. Verbindungselemente, welche auf Druck belastet werden, wie Muttern oder Scheiben, werden in der Regel bei tiefen Temperaturen nicht in ihrer Anwendung beeinträchtigt. Als Maß für die Zähigkeit wird die Kerbschlagarbeit herangezogen. Diese sagt aus, welche Arbeit verrichtet werden muss, um eine Probe zu zerschlagen. Zähre Stähle absorbieren viel Arbeit. Bei spröden Stählen ist die zu verrichtende Arbeit gering. Für die Prüfung werden aus den Schrauben quadratische Prüfkörper mit einer definierten Kerbe herausgearbeitet.

Es wird die ISO-V- und die ISO-U-Probe unterschieden. In der Praxis hat sich die Anwendung der ISO-V-Probe bewährt, da diese durch die stärkere Kerbwirkung im Vergleich zu der ISO-U-Probe empfindlicher auf die Versprödung der Schraube reagiert.



Kerbschlagarbeit in Abhängigkeit von der Temperatur



Kerbschlagproben, oben: ISO-V-Probe; unten: ISO-U-Probe

**Neu**

## Normen für Verbindungselemente für den Einsatz bei hohen oder tiefen Temperaturen

**DIN 267-13:** Mechanische Verbindungselemente; Technische Lieferbedingungen; Teile für Schraubverbindungen mit besonderen mechanischen Eigenschaften zum Einsatz bei Temperaturen von  $-200\text{ °C}$  bis  $+700\text{ °C}$

**DIN 2510 Blatt 1 - 8:** Schraubverbindungen mit Dehnschaft

**DIN EN 10269:** Stähle und Nickellegierungen für Befestigungselemente für den Einsatz bei erhöhten und/oder tiefen Temperaturen

**Z DIN 17240:** Warmfeste und hochwarmfeste Werkstoffe für Schrauben und Muttern

**AD 2000-Merkblatt W 2:** Werkstoffe für Druckbehälter; austenitische Werkstoffe

**AD 2000-Merkblatt W 7:** Werkstoffe für Druckbehälter; Schrauben und Muttern aus ferritischen Werkstoffen

**AD 2000-Merkblatt W 10:** Werkstoffe für Druckbehälter, Rohrleitungen und Ausrüstungsteile, Werkstoffe für tiefe Temperaturen; Eisenwerkstoffe

**TRD 106:** Technische Regeln für Dampfkessel; Schrauben und Muttern aus Stahl

**ASME SA 320:** Werkstoffspezifikation für Verbindungselemente aus legiertem Stahl für Einsatz bei tiefen Temperaturen (Specification for alloy steel bolting materials for low temperature service)

**ASTM A 193:** Werkstoffspezifikation für Verbindungselemente aus legiertem und rostfreiem Stahl für den Einsatz bei hohen Temperaturen oder hohen Drücken (Standard specification for alloy steel and stainless steel bolting materials for high temperature or high pressure service and other special purpose applications)

**ASTM A 194:** Werkstoffspezifikation für Muttern aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl für den Einsatz bei hohen Temperaturen und hohen Drücken (Standard specification for carbon and alloy steel nuts for bolts for high pressure or high temperature service or both)

**SEW 470:** Hitzebeständige Walz- und Schmiedestähle

## Aus Lagervorrat: Schrauben für den Temperaturbereich von $-50\text{ °C}$ bis $+300\text{ °C}$

Für Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 haben wir einen Bestand aufgebaut, der nachweislich Anforderungen an tiefe und hohe Temperaturen erfüllt. Zu diesen Schrauben gehören standardmäßig Prüfbescheinigungen, in denen u. a. Kerbschlagarbeit bei  $-50\text{ °C}$  und die Streckgrenze bei  $+300\text{ °C}$  belegt wird. Es sind Produkte nach ISO 4014, ISO 4017 und ISO 4762 vorrätig. Eine Korrosionsschutzoberfläche kann nach Wunsch aufgebracht werden.

Sprechen Sie hierzu Ihren zuständigen Ansprechpartner bei REYHER an.

Die Kerbschlagarbeit verhält sich temperaturabhängig gemäß dem Diagramm auf der Vorseite. Es ist zu erkennen, dass ein entsprechender Übergangsbereich – „Steilabfall“ – zwischen der Hoch- und Tieflage der Kerbschlagarbeit auftritt.

Dieser Übergang kann sich über einen Bereich von 50 Kelvin und mehr erstrecken und ist vom eingesetzten Werkstoff abhängig. Werden in diesem Übergangsbereich entsprechend hohe Werte für die Kerbschlagarbeit bei tiefen Temperaturen erreicht, so sind diese Werkstoffe kaltzäh.



## Stähle für tiefe Temperaturen

Für den Einsatz im Tieftemperaturbereich eignen sich vorzugsweise austenitische Stähle (A2, A3, A4, A5) der Festigkeitsklassen 50 und 70, welche bei Temperaturen von bis zu  $-200\text{ °C}$  gute Zähigkeitseigenschaften aufweisen. Gemäß AD W 10 bzw. DIN 267-13 sind Schrauben mit Kopf bis  $-60\text{ °C}$  und Gewindebolzen ohne Kopf aus diesen Werkstoffen bis  $-200\text{ °C}$  einsetzbar. Reichen die Festigkeiten der austenitischen Stähle für den Anwendungsfall nicht aus, so kann auf Schrauben aus legiertem Stahl gemäß ISO 898-1 in den Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 zurückgegriffen werden. Allerdings sind dann die Anforderungen nach ISO 898-1 zu erweitern.

Übliche und bewährte Anforderungen an die Kerbschlagarbeit für Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 und 10.9 sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Festigkeitsklassen	Kerbschlagarbeit bei $-50\text{ °C}$ ISO-V-Probe
8.8	min. 30 J
10.9	min. 27 J

Zu beachten ist, dass diese Anforderungen nicht bei üblichen Lagervorräten insbesondere bei der Festigkeitsklasse 8.8 erfüllt werden.



## Es wird heiß

Beim Einsatz von Verbindungselementen unter hohen Temperaturen wird eine Untergliederung in den Bereich warmfest, hochwarmfest und hitzebeständig vorgenommen.

## Warmfeste und hochwarmfeste Schraubenverbindungen

Schrauben der Festigkeitsklasse 5.6 und 8.8 sowie Muttern der Festigkeitsklasse 5-2 und 8 können gemäß AD 2000-Merkblatt W 7 bis zu einer Temperatur von 300 °C eingesetzt werden. Die entsprechenden Warmstreckgrenzen waren bisher in der DIN 267-13 enthalten, wurden jedoch in der Ausgabe 2007-05 nicht mehr aufgenommen. Darüber hinaus sind in der DIN EN 10269 Werkstoffe beschrieben, welche für den Einsatz über 300 °C bis ca. 800 °C geeignet sind. Wichtige Auslegungskriterien für warmfeste Schraubverbindungen sind ausreichende mechanische Eigenschaften unter langzeitiger Beanspruchung bei hohen Temperaturen, wie eine hohe Zeitstandfestigkeit und Zeitdehngrenze (DIN EN 10269: 07-2006 Anhang C) und ein guter Relaxationswiderstand (DIN EN 10269: 07-2006 Anhang D) des jeweiligen Werkstoffes.

## Der Relaxationswiderstand

Zur Erklärung des Relaxationswiderstandes sei hier ein Auszug aus den Erläute-

rungen zu Z DIN 17240 zitiert:

„Zur Beurteilung der Güte einer Schraubenverbindung ist es in der Regel wichtig zu wissen, in welchem Maße die verwendeten Werkstoffe dazu neigen, eine anfänglich eingestellte Vorspannung bei Betriebstemperatur in Abhängigkeit von der Zeit durch zunehmenden Anteil bleibender Verformung an der Gesamtdehnung abzubauen. Ergänzend zu den in Tabelle 9 (in DIN EN 10269 Anhang C) mitgeteilten Angaben zur Langzeitwarmfestigkeit enthält Tabelle 10 (in DIN EN 10269 Anhang D) vorläufige Anhaltswerte zum Relaxationswiderstand der Werkstoffe dieser Norm, ausgedrückt durch die Restspannung in Abhängigkeit von der Temperatur und der Beanspruchungsdauer bei einer vorgegebenen Anfangsdehnung der Schraube. Diese Werte machen keine Aussage über die höchste zulässige Beanspruchung. Sie geben jedoch Aufschluss darüber, in welchen Zeitabständen es ratsam ist, die Schraubenverbindung nachzuziehen, um die verlangte Vorspannung wieder herzustellen. Im Allgemeinen ist es ratsam, die Schrauben nach Erreichen einer bleibenden Dehnung von 1 % auszuwechseln.“

Gängige Kombinationen von Schrauben- und Mutterwerkstoffen sind in DIN 267-13: 05-2007 bzw. in der Übersicht auf der letzten Seite dargestellt. Besonderes Augenmerk ist auf Verbin-

dungen zu richten, die einer ständig wechselnden thermischen und dynamischen Beanspruchung ausgesetzt sind, wie zum Beispiel im Druckbehälterbau. Für diese Beanspruchungsfälle eignen sich vorzugsweise Schraubenverbindungen mit Dehnschaft nach DIN 2510. Durch diese Verbindung wird der Erhalt der Vorspannung, eine gute Dauerhaltbarkeit und gute elastische Nachgiebigkeit gegenüber den Einflüssen der Temperaturdehnung erreicht.

Zwecks der späteren besseren Lösbarkeit der Schraubverbindung ist es gemäß DIN 2510 Blatt 2 sinnvoll, ein größeres Flankenspiel im Gewinde zu verwenden. Das Muttergewinde wird hierbei in der üblichen 6H Toleranz gefertigt. Das Gewinde des Bolzens fällt jedoch kleiner als die übliche 6g/6h Gewindetoleranz aus. Im Einzelfall ist zu prüfen, ob für den Anwendungsfall noch eine genügend große Abstreiffestigkeit gewährleistet ist.

## Hitzebeständige Schraubenverbindungen

Hitzebeständige Stähle decken einen Temperaturbereich zwischen 600 °C und 1.200 °C ab, wobei bei den entsprechenden Anwendungsfällen mit schwefel- und stickstoffhaltigen Gasen zu rechnen ist – Kesselbau, Kohleindustrie, Glasindustrie, Zementherstellung u. v. m.



Temperatur	Schraubenwerkstoff	Mutternwerkstoff
1.000 °C	2.4851	2.4851
900 °C	1.4828	1.4828
800 °C	2.4952	2.4952
670 °C	1.4986	1.4986
650 °C	1.4980	1.4980
600 °C	1.4913	1.4913
550 °C	1.4923	1.4923
550 °C	1.7711	1.7709
500 °C	1.7709	1.7709 / 1.7218
500 °C	1.7225	1.7709
500 °C	1.7218	1.1188
400 °C	1.5511 / 1.1188	1.1188
350 °C	1.1181	1.1181 / 1.0501
300 °C	8.8	8
	5.6	5
-10 °C	4.6	5
-60 °C	A2 / A3 / A4 / A5 (Schr. mit Kopf)	A2 / A3 / A4 / A5
-65 °C	1.7219	1.7219
-100 °C	1.7225	1.7225
-120 °C	1.5680	1.5680
-196 °C	2.4952 / 1.4980	2.4952 / 1.4980
-200 °C	A2 / A3 / A4 / A5 (Schr. ohne Kopf)	A2 / A3 / A4 / A5

Quellen: EN 10269, DIN 267-13, ISO 898-1, EN 10095, AD W 7

## Warmstreckgrenzen für Festigkeitsklassen 5.6 und 8.8 nach DIN 267-13, Ausgabe August 1993

Festigkeitsklassen	Mindest-Streckgrenzen $R_{eH}$ bzw. $R_{p0.2}$ in MPa				
	+20 °C	+100 °C	+200 °C	+250 °C	+300 °C
5.6	300	270	230	215	195
8.8	640	590	540	510	480

Beim Einsatz in diesem Temperaturbereich ist vorrangiges Auslegungsziel die Zunderbeständigkeit und weniger die mechanische Beanspruchbarkeit.

Bei den zum Einsatz kommenden Stählen (SEW 470) sorgt insbesondere der Legierungszusatz Chrom, aber auch Silizium und Aluminium dafür, dass sich



eine dichte und feste Zunderschicht bildet, welche eine weitere Verzunderung des darunterliegenden Stahles verhindert.

Die Zeitdehngrenze bzw. Warmfestigkeit als Bemessungsgröße für die mechanische Belastbarkeit ist abhängig von der Gefügeart des Stahles. So haben ferritische und ferritisch-austenitische Stähle eine niedrige und austenitische Stähle eine hohe Zeitdehngrenze. Im Gegensatz dazu ist die Beständigkeit gegen schwefelhaltige Gase bei ferritischen und ferritisch-austenitischen Stählen sehr gut, jedoch bei austenitischen Stählen eher gering.

Für weitere Fragen steht Ihnen unser Vertriebs-Team gern zur Verfügung. Sollten Sie Informationen zu weiteren Anwendungsfällen bei tiefen und hohen Temperaturen benötigen, stehen Ihnen auch die Experten des REM-Teams unter der Technik-Hotline 040 85363-999 gern zur Verfügung.

