

Hochfeste Schrauben - richtig handhaben

In diesem Beitrag geht es ausschliesslich um vorgespannte Schrauben im Maschinenbau für Verbindungen nach der VDI-Richtlinie 2230. Hochfeste Schrauben sind High-Tech Produkte, mit denen man fachmännisch umgehen muss, will man keinen Bruch riskieren.

Abb.1:
Kraft-Verlängerungs-Diagramm der Schraube und der Platten. Aus dem Kräftegleichgewicht folgt:
 $f_{sm} \cdot I_s = f_{pm} \cdot I_p$
Die Längenänderungen ergeben sich aus den Steifigkeiten der Schraube bzw. der Platten: $f_{sm} \gg f_{pm}$

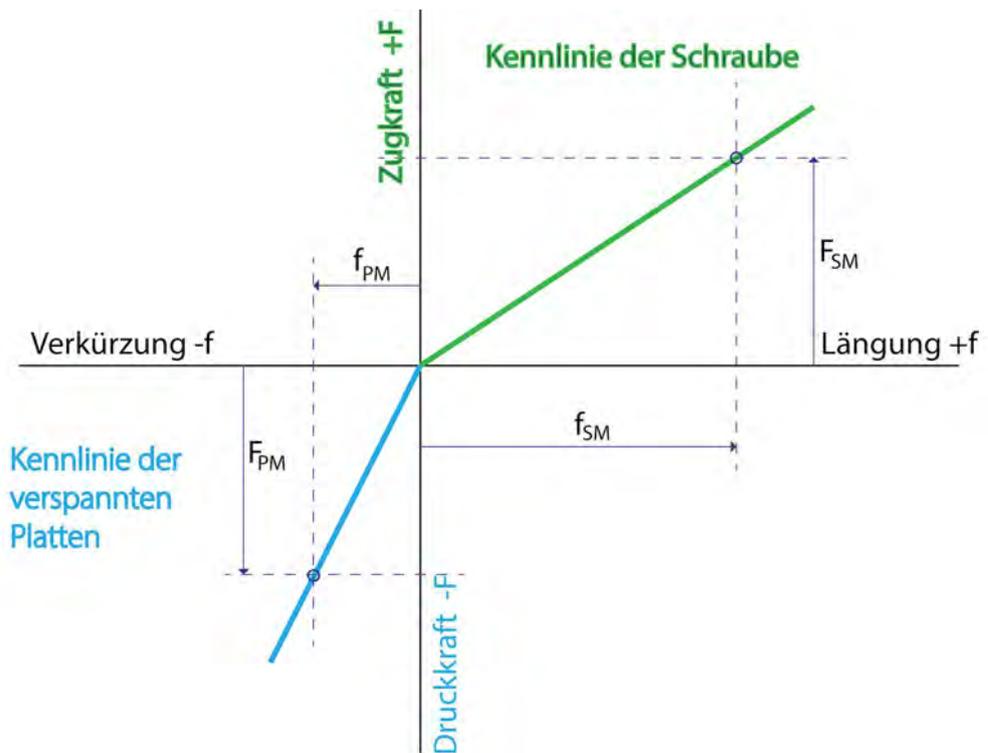
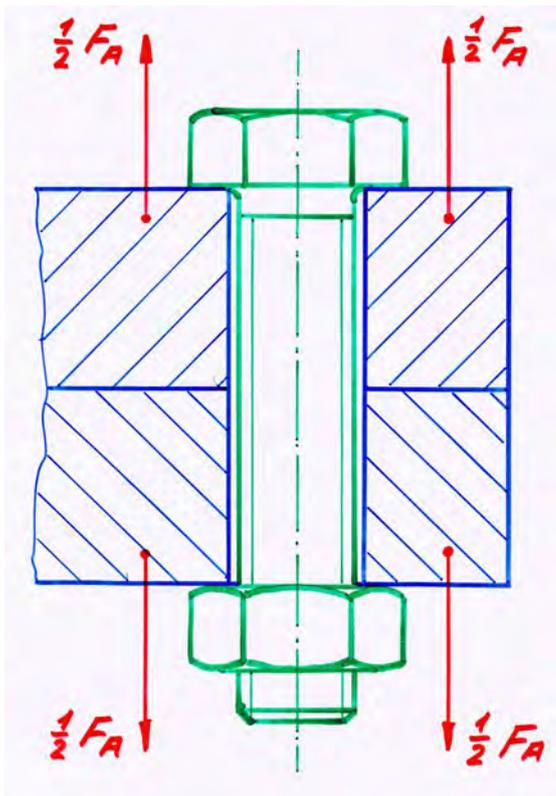


Abb. 2: Belastung der vorgespannten Verbindung. Die äussere Belastung F_A greift in der Nähe von Schraubenkopf und Mutter an.



Text und Bilder: Max Schärli

Wenn eine Schraube vorgespannt wird, so wird sie mit der Zugkraft F_{SM} in die Länge gezogen und gleichzeitig wird beim Anziehen auf die zu verbindenden Teile (Platten) die Druckkraft F_{PM} ausgeübt. Es ergeben sich somit zwei gegenläufige Längenänderungen, bzw. Kräfte (Abb. 1). Grün zeigt das Kraft-Verlängerungs-Diagramm der Schraube; die blaue Kurve zeigt das Verhalten der verspannten Platten. Während die Schraube länger wird, werden die verspannten Teile zusammengepresst. Betrachtet man bei den Kräften nur deren absolute Grösse (Zahlenwert ohne Vorzeichen), so kann die Kennlinie der Platten auch ins Diagramm der vorgespannten Schraube, ausgehend vom Punkt «M» der verspannten Verbindung,

eingezeichnet werden. Auf diese Weise erhält man das sogenannte «Verspannungsschaubild», Abb. 3. Wirkt auf eine vorgespannte Verbindung eine äussere Belastung F_A in der Nähe von Schraubenkopf und Mutter (Abb. 2), so wechselt die Verschraubung im Verspannungsschaubild (Abb. 3) vom Zustand «M» (montiert und vorgespannt) in den Zustand «A» (mit äusserer Belastung). Das bedeutet, dass die Schraube (nun im Zustand A_s) und die Platten (nun im Zustand A_p) um den Betrag $f_{SA} = f_{PA}$ länger werden. Dadurch werden die Platten entlastet, deren Klemmkraft nimmt um F_{PA} ab. Als Folge dieser Abnahme der Klemmkraft in den verspannten Platten «spürt» die Schraube von der äusseren Belastung F_A nur die Differenzkraft $F_{SA} = F_A - F_{PA}$. Die Platten werden noch mit der Restklemmkraft F_{KR} zusammen-

Abb. 3: Verspannungsschaubild

In der Abbildung bedeuten:

M Schraube und Platten vorgespannt

A_S Arbeitspunkt der Schraube durch äussere Belastung

A_P Arbeitspunkt der Platten durch äussere Belastung

F_M = Vorspannkraft im montierten Zustand

F_A = Äussere Belastung

F_{PA} = Verkleinerung der Plattenklemmkraft

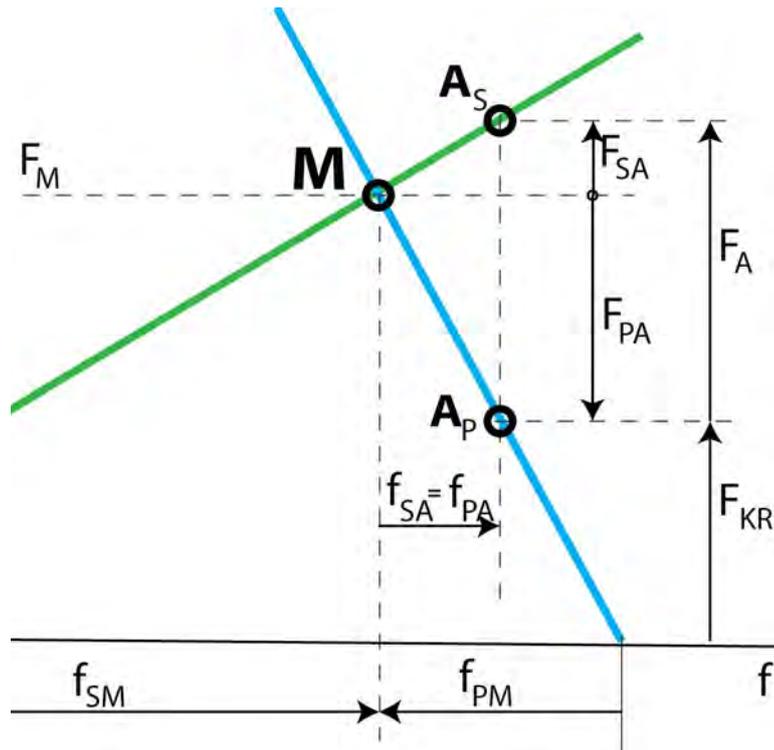
F_{KR} = Restklemmkraft der Platten

F_{SA} = Zunahme der Schraubenkraft durch die Belastung

f_{SM} = Schraubenlänge im montierten Zustand

f_{PM} = Plattenverkürzung im montierten Zustand

$f_{SA} = f_{PA}$ um diesen Betrag werden Schraube und Platten bei Belastung länger



gehalten.

Aus diesen Kräfteverhältnissen ergeben sich die Erkenntnisse, dass a) die Verbindung ausreichend hoch vorgespannt sein muss, damit die verspannten Teile unter der Betriebskraft F_A auf keinen Fall abheben. b) der Querschnitt der Schraube so klein wie möglich sein muss, damit die Schraube viel nachgiebiger ist, als die verspannten Teile.

Was trägt der Bahnbetreiber selber bei?

Vorausgesetzt wird eine nach der VDI-Richtlinie 2230 korrekt ausgelegte und ausgeführte Schraubenverbindung, allenfalls unter Verwendung zusätzlicher, bewährter Sicherungselemente (siehe DIN 25201). Diese Schraubenverbindung wird sich - bei richtig aufgebrachter Vorspannkraft - weder lockern noch selbstständig losdrehen, was durch Vibrationen, Kriechen und Setzen geschehen kann. Dann ist das vom Seilbahnhersteller vorgeschriebene Anziehverfahren strikte anzuwenden. Der Seilbahnbetreiber muss das vorgesehene Fett verwenden, weil dieses den Reibungskoeffizienten stark

beeinflusst und er muss das vom Berechnungs-Ingenieur geplante Anziehdrehmoment einhalten. Der Betreiber hat auch eine Überwachungsfunktion. Wenn bei einer Kontrolle Unregelmäßigkeiten festgestellt werden, so sind, zusammen mit dem Hersteller, die nötigen Maßnahmen vorzunehmen.

Hochfeste Stähle sind empfindlich auf Wasserstoffeinwirkung

Hochfesten Schrauben droht eine unsichtbare Gefahr: die «Wasserstoff induzierte Spannungsrissskorrosion», siehe Abb. 4. Durch diese Art der Korrosion können sich in hochfesten Schrauben ohne Vorwarnung Risse bilden, die dann im Laufe der Zeit oft zu Schwingbrüchen führen. Hochfeste Schrauben, in guter Qualität, bringen keinen Wasserstoff aus der Herstellung mit. Also ist dafür zu sorgen, dass während der Betriebszeit kein Wasserstoff in die Schrauben eingebracht wird. Denn es genügen schon geringe Korrosionsvorgänge auf der Stahloberfläche (normale Luftfeuchtigkeit, Kondensat) für ein zur Schädigung

ausreichendes Wasserstoffangebot. Aus diesem Grund müssen hochfeste Schrauben eine intakte Beschichtung aufweisen, die vor Korrosion schützt. Qualitätsschrauben besitzen einen nicht elektrolytisch aufgetragenen Zinkklammellenüberzug nach EN ISO 10683. Der verantwortungsbewusste Seilbahnhersteller stellt sicher, dass die Schrauben eine intakte Beschichtung haben und dass diese beim Einbau nicht verletzt wird.

Maschinenelemente mit hartem Randschichten

Es gibt sehr viele Anwendungen bei denen harte Randschichten sinnvoll sind (Verschleiss- und Korrosionswiderstand, Dauerfestigkeit). TENIFER® (Nitrocarburieren in Salzsäure) mit nachfolgender QPQ® -Behandlung (Oxydationsbehandlung) oder Einsatzhärten, sind, am richtigen Ort angewendet, eine gute Sache. Auf Grund verschiedener Schadensfälle muss bei hochvorgespannten Schrauben allerdings von harten Randschichten abgeraten werden.

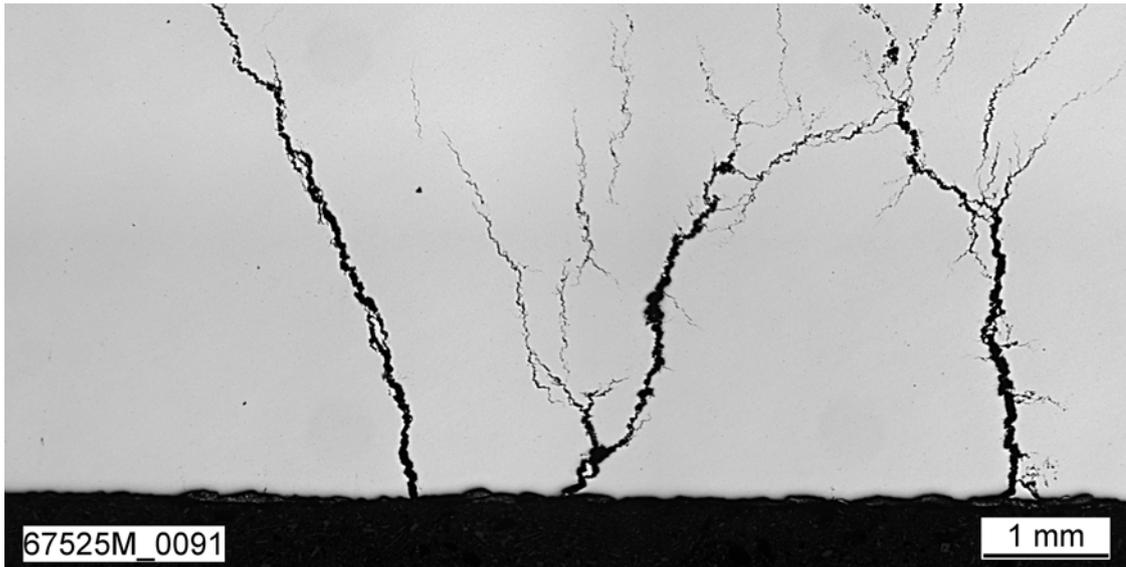


Abb. 4: Schliffbild eines Bauteiles mit «Wasserstoff induzierter Spannungsrisskorrosion». Die weiße Fläche ist das Bauteil in dem die Risse deutlicher sichtbar sind. Von bloßem Auge sind die Rissausgänge auf der Bauteiloberfläche (unterer Rand der weißen Fläche) oft nicht, oder nur schwer feststellbar.

Gut zu wissen

Wenn sich durch das Versagen einer Schraubenverbindung eine direkte oder indirekte Gefahr für Leib und Leben ergibt (Risiko-klasse «Hoch», DIN 25201), ist bei einer Revision der bewusst handelnde Fachmann gefordert. Er stellt sicher: a) dass die Schrauben frei von Rissen und Beschädigungen sind (Anforderungen nach EN 26157-3). b) dass der Korrosionsschutz ausreichend intakt ist. c) dass Schrauben, die drehwinkel- oder streckgrenzen-gesteuert angezogen wurden, nicht wieder verwendet werden. d) dass hochfeste Schrauben als

High-Tech-Produkt betrachtet und entsprechend sorgfältig und regelkonform behandelt werden.

Autor und Quellen: Max Schärli schrieb den Aufsatz anhand der Folien und mündlichen Aussagen des Referenten Dr. Ernst Moor. Das Referat wurde am 5. Juli 2017 gehalten, anlässlich dem IWM-Kundentag in Monthey. Informationen: moor@moorschaden.ch



Dr. Ernst Moor

Lehre als Mechaniker. Studium Maschinenbau, HTL Brugg-Windisch.

Studium Physik, Uni Bern. Promotion bei Prof. Dr. Sayir, Institut für Mechanik, ETHZ. Tätig im Technologiezentrum bei Oerlikon-Bührle AG.

Bei IWM als Leiter des Bereichs Werkstofffragen, Mechanik und Schadensanalysen. Seit 2005 Inhaber der MOOR Schadens-Management GmbH, Windisch. Seit 2009 Zertifizierter Gerichtsexperte. www.moorschaden.ch.

Fundiertes Fachwissen und Erfahrung in Technische Mechanik und Betriebsfestigkeit. Werkstoffe und Werkstofftechnik. Schadensmechanismen. Systematische Schadensanalyse.