

Korrosion von Schraubverbindungen an CFK-Bauteilen



von Fabian Henkes

Bemerkung:

Neue Leichtbauwerkstoff wie Aluminiumlegierungen, Magnesium und Kohlenstoff – faserverstärkte Kunststoffe werden im Automobilbau verstärkt eingesetzt. Die Verbindung dieser Werkstoffe mit Verschraubungen soll hinsichtlich ihrer Korrosionsbeständigkeit untersucht werden.

Aufbauend auf unseren Erfahrungen beim Einsatz von Schutzkappen zur Verminderung von Kontaktkorrosion an Magnesiumbauteilen (siehe Anhang) soll Gleiches untersucht werden für die Verschraubung von CFK-Bauteilen.

Die vorgestellten Ergebnisse sind lediglich Zwischenergebnisse unseres derzeit laufenden Forschungsprojektes.

Lüdenscheid, den 23. September 2011



gez. Andreas Thiel

Korrosion an Schraubenverbindungen

Der korrosive Angriff einer Schraubenverbindung kann eine Vielzahl von Schäden hervorrufen. So kann z.B. die Entwicklung von Korrosionsprodukten und deren Ablagerungen im Kontaktbereich zwischen Mutter- und Schraubengewinde das Lösen der Verbindung unmöglich machen. Eine korrosionsbedingte Zerstörung des Gewindes hingegen führt zum unkontrollierten Lösen der Verbindung, wodurch die Betriebssicherheit einer Konstruktion stark gefährdet sein kann.

Nachfolgend soll zunächst ein kurzer Überblick über die wichtigsten an Schraubenverbindungen prinzipiell möglichen Korrosionsarten gegeben werden. Im Zuge dessen ist zunächst die gleichmäßige Flächenkorrosion zu nennen. Sie tritt an den Flächen der Schraubenverbindung auf, die in unmittelbarem Kontakt mit einem Elektrolyt¹ steht. Dies können z.B. der Gewindeüberstand oder der Schraubenkopf sein.

Bei der Kontaktkorrosion, kommt es durch elektrochemische Reaktionen² zwischen Bauteilen unterschiedlicher elektrochemischer Potenziale zu einer Auflösung des unedleren Materials. Diese Korrosionsart kann die Betriebssicherheit einer Konstruktion besonders gefährden, da sie an nicht sichtbaren Bereichen des Bauteils auftreten kann und somit eine frühzeitige Erkennung des drohenden Bauteilversagens unmöglich macht.

Zusätzlich kann es vorwiegend in Spaltbereichen, z.B. zwischen Mutter und Auflagefläche, zur sogenannten Spaltkorrosion kommen. Die Metallauflösung ist hierbei durch eine zunehmende Sauerstoffarmut im Spaltgrund bedingt.

Neben den genannten Korrosionsarten, können zusätzliche mechanische Beanspruchungen der Schraubenverbindungen einen korrosiven Angriff begünstigen. Hier sind vor allem die Spannungs- und Schwingungsrissskorrosion zu nennen. Dabei kommt es durch das Zusammenwirken von Korrosion und mechanischen Spannungen zu Rissen, die sich im gesamten Bauteilquerschnitt fortsetzen und einen Bruch der Schraubenverbindung auslösen können.

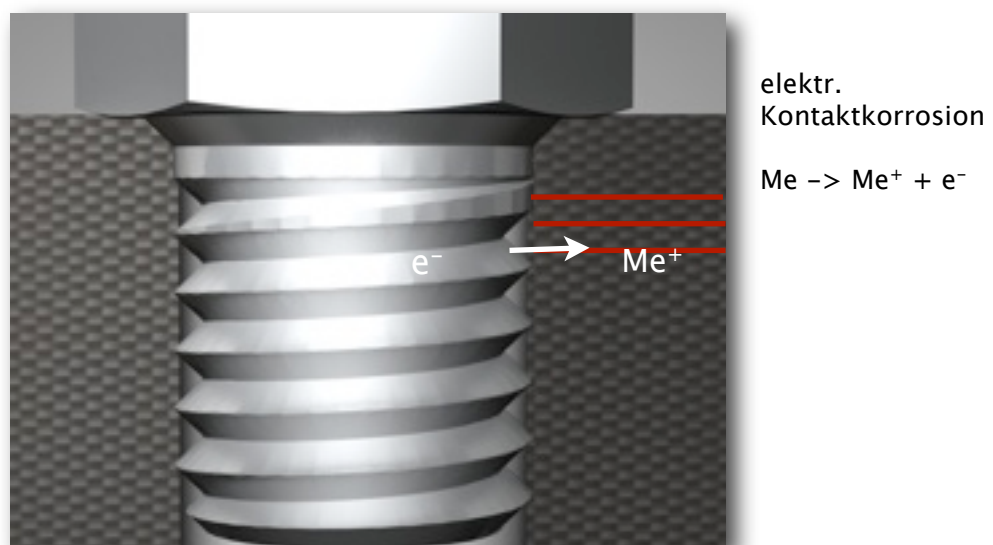
¹ Elektrisch leitfähiges Medium, z.B. Regenwasser.

² Diese Reaktionen sollen im anschließenden Kapitel in Bezug auf eine Schraubenverbindung an einem CFK-Bauteil näher betrachtet werden.

Elektrochemische Korrosionsreaktionen einer Schraubenverbindung an einem CFK-Bauteil

Um die elektrochemische Korrosionsreaktionen einer Schraubenverbindung an einem CFK-Bauteil verstehen zu können, müssen zunächst einige grundlegende Betrachtungen durchgeführt werden.

Die elektrochemischen Korrosionsreaktionen lassen sich in eine anodische und kathodische Teilreaktion gliedern. Dabei ist die anodische Teilreaktion die eigentliche Korrosion. Sie ist eine Oxidation und findet am unedleren Reaktionspartner statt. Dabei gibt der Werkstoff Elektronen ab und löst sich somit auf. Die kathodische Teilreaktion hingegen ist eine Reduktion. Hier nimmt der edlere Reaktionspartner Elektronen auf und fördert somit die anodische Auflösung. Damit die beiden Teilreaktionen ablaufen können, müssen die Bauteile in Kontakt mit einem elektrisch leitfähigem Medium, einem Elektrolyt stehen. Dieser ermöglicht den Elektronenfluss zwischen edlem und unedlem Werkstoff. Welche der beiden Teilreaktionen an einem der Reaktionspartner abläuft, ist abhängig vom elektrochemischen Potenzial des Materials. Dabei läuft die anodische Teilreaktion immer am unedleren, also am Werkstoff mit dem niedrigeren Potenzial, ab.



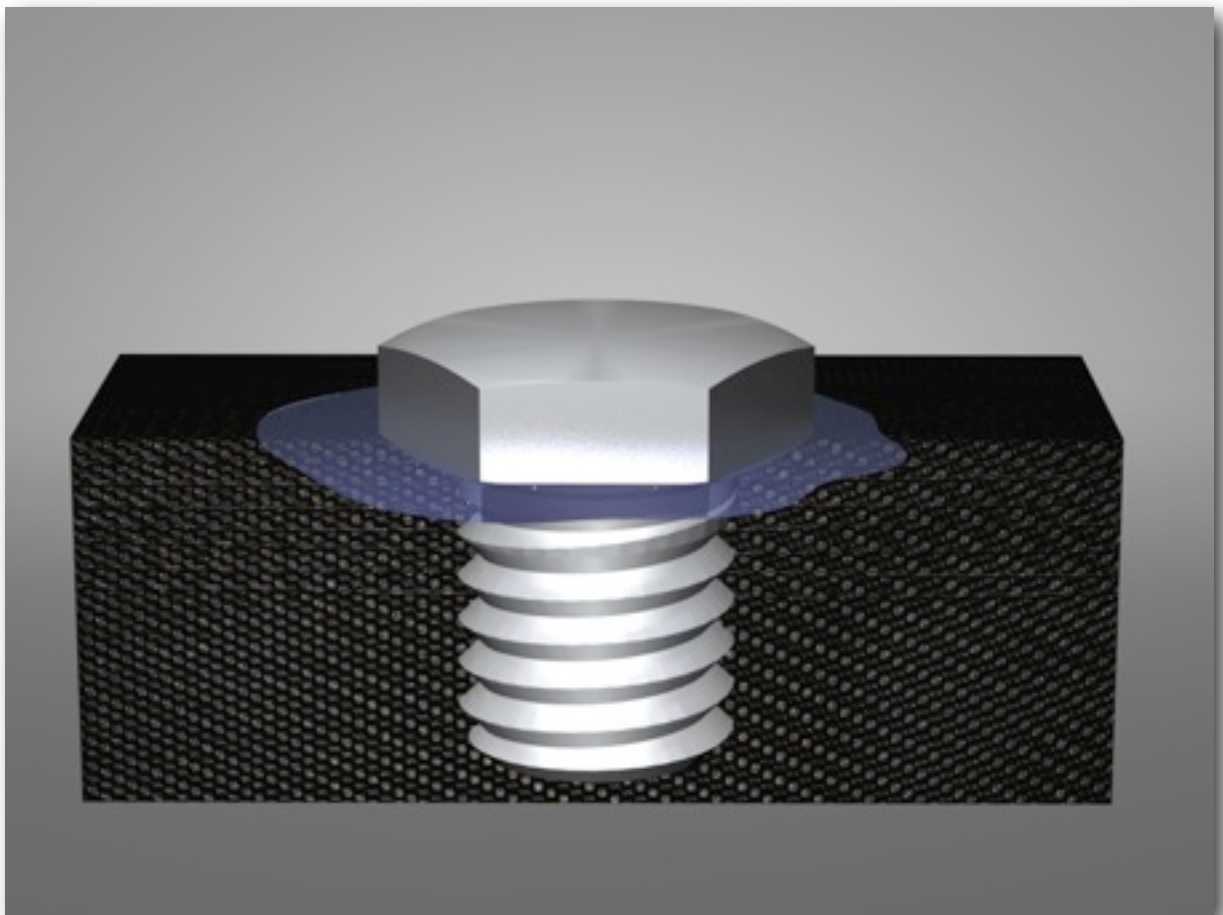
Betrachtet man nun eine Bohrung in einem CFK-Bauteil, in der eine Schraube aus unlegiertem Stahl direkten Kontakt zu den Kohlefasern besitzt, so ist eine korrosionsbedingte Schädigung der Schraube zu erwarten. Durch das niedrigere elektrochemische Potenzial der Stahlschraube gegenüber der Kohlefaser³, läuft an ihr die anodische Teilreaktion ab. Somit findet eine Metallauflösung statt. Die Kohlefaser wirkt dabei als Kathode und reduziert

³ Das elektrochemische Potenzial von unlegiertem Stahl beträgt $-0,35$ V, das der Kohlefaser beträgt $+0,75$ V.

die vom Metall abgegebenen Elektronen. Es ist zu erwähnen, dass der beschädigte Bereich der Schraube hier in einem nicht sichtbaren Bereich liegt, was das Erkennen des Schadens ohne Demontage der gesamten Verbindung unmöglich macht.

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die elektrochemischen Korrosionsreaktionen vorwiegend an Metall-Metall-Paarungen ablaufen. Aufgrund der guten elektrischen Leitfähigkeit und der Reaktionsfreudigkeit von Kohlenstoff sind diese Reaktionen jedoch ebenfalls an Metall-Kohlenstoff-Paarungen möglich, sofern Elektrolyte vorhanden sind.

Ein ebenfalls zu berücksichtigendes Problem ist das der auftretenden Spaltkorrosion.⁴



Verschraubung in CFK mit wässriger Chloridlösung (Elektrolyt)

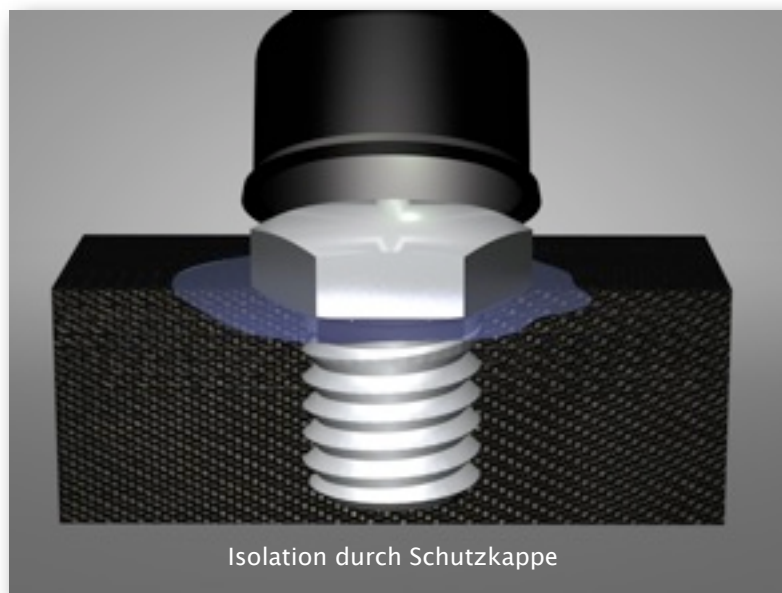
⁴ Gefahr der Spaltkorrosion für geschraubte Verbindungen“ von Prof.Dr. habil. Günter Schmitt Institut für Instandhaltung und Korrosionsschutztechnik, Iserlohn den 15.02.2011 Innovationsreport für RADOLID Thiel GmbH

Reduktion der elektrochemischen Korrosionsreaktionen

Die voraus beschriebenen elektrochemischen Korrosionsreaktionen lassen sich praktisch durch drei unterschiedliche Maßnahmen vermindern. Um einer korrosionsbedingten Schädigung der Verbindung zu entgehen, ist entweder durch geeignete Werkstoffauswahl die Reaktion zu blockieren, der Elektronenfluss zwischen den Reaktionspartnern zu unterbrechen oder das Eindringen des Elektrolyts zu minimieren.

Dem aktuellen Stand der Technik nach werden Werkstoffpaarungen verwendet, deren Potenzialdifferenz einen Betrag 0,4V nicht übersteigt. Hierbei verwendet man vor allem Schraubenverbindungen aus Titanlegierungen⁵, die allerdings hohe Anschaffungskosten verursachen.

Des Weiteren kann der Elektronenfluss zwischen metallischer Schraube und Kohlefaser mit einem GFK-Insert unterbrochen werden. Dabei umschließt eine Hülse aus einem nicht elektrisch leitfähigen Glasfaserkunststoff den Teil der Schraube, der im CFK-Bauteil sitzt. Auch hier ist durch den Einsatz des GFK mit hohen zusätzlichen Kosten zu rechnen.



Eine weitaus preisgünstigere Variante zur Minimierung des Kontakts der Bauteile mit dem Elektrolyt bieten Schraubenschutzkappen aus Kunststoff. Sie werden auf der Ober- und Unterseite des Bauteils bzw. auf Mutter und Schraubenkopf montiert und vermindern somit ein Vordringen des korrosiv wirkenden Mediums zur Kontaktstelle zwischen Kohlefaser und Schraube.

⁵ z.B. TiAl6V4

Wie bereits in Abs. 2 erwähnt, ist ohne das Vorhandensein eines Elektrolyts ein Ablauf der anodischen und kathodischen Teilreaktion und somit eine korrosionsbedingte Schädigung der Schraubenverbindung nicht möglich.

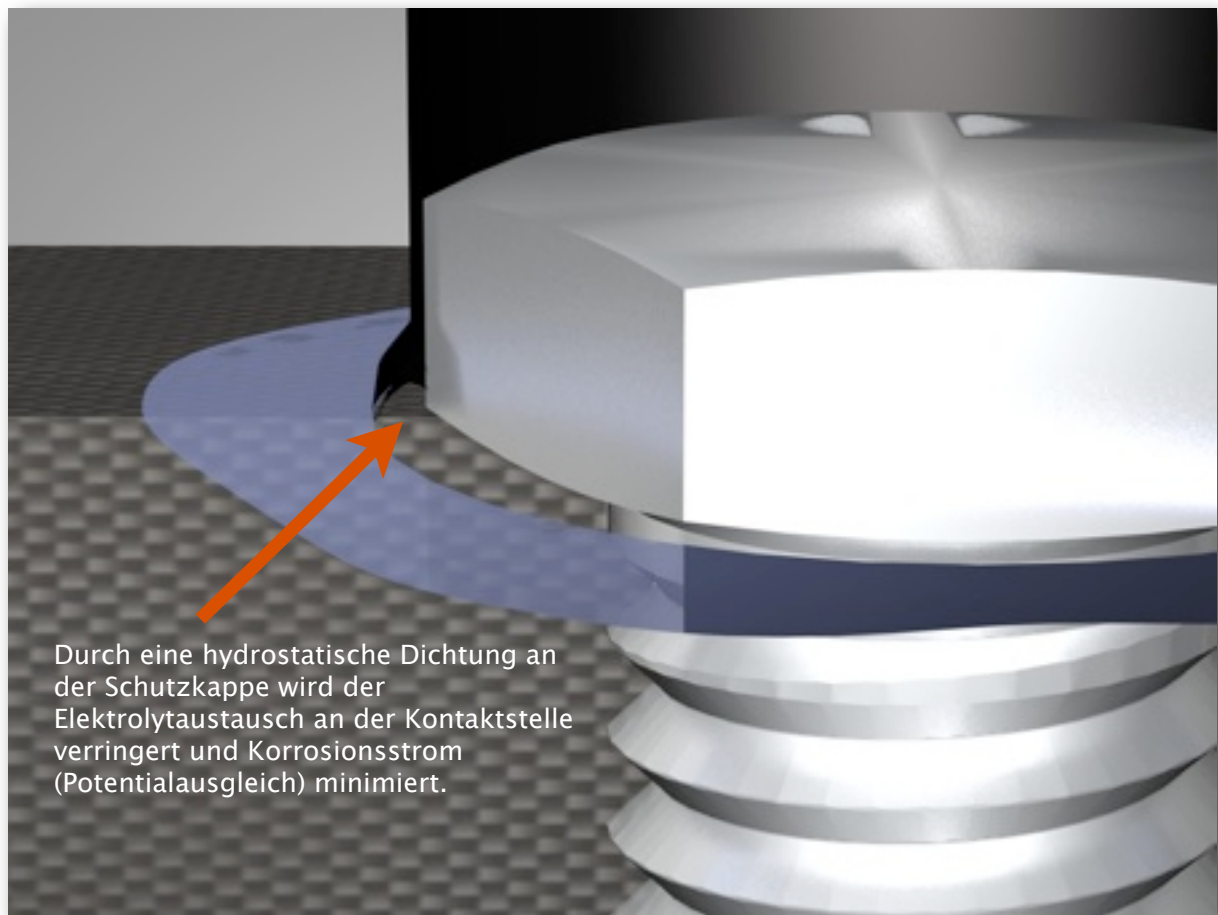


Abb: Schraube mit Schutzkappe

Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227



Die CFK-Platte (1mm) wurde mit verschiedenen Schrauben aus unterschiedlichen Materialien und Beschichtungen verschraubt. Die Bohrungen wurden nachträglich eingebracht. Auf der linken Seite wurden die Proben durch Schutzkappen geschützt. Auf der rechten Seite sind die entsprechenden Schrauben ungeschützt. 330 Stunden wurde diese Platte in eine Prüfkammer auf Korrosion getestet (Zwischenergebnis).

Salzsprühnebelprüfung nach DIN EN ISO 9227 (Teil2)



Bei dieser Abbildung wurden die Schutzkappen auf der linken Seite entfernt.

Zwischenergebnis

Es lässt sich keine Abhängigkeit des Korrosionsverhaltens der Schraube vom verschraubten Material feststellen. Es wird vermutet, dass die elektrochemische Korrosionsreaktion vorwiegend zwischen Mutter und Schraube abläuft. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Potenzialdifferenz zwischen Mutter und Schraube größer als die Potenzialdifferenz zwischen Kohlefaser und Schraube ist (siehe Probe 2).

Eine korrosionsbedingte Beschädigung des CFK-Bauteils lässt sich nicht feststellen. Es bleibt zu überprüfen, ob das Größenverhältnis zwischen Anoden- und Kathodenfläche die Korrosionsreaktion beeinflusst.



Probe 2:
Schraube links oben geschützt durch eine Schutzkappe – rechts eine ungeschützte beides eine Bundmutter M6 Dacromet beschichtet.



Probe 3
Mutter verzinkt M6
links oben geschützt durch Schutzkappe
rechts unten ungeschützt

Es lässt sich prinzipiell erkennen, dass der Einsatz von Schutzkappen die Korrosionsreaktion minimiert. Weitere Untersuchungen über einen längeren Zeitraum sind diesbezüglich im Zusammenhang mit CFK-Bauteilverschraubungen notwendig.

Anhang

Vermeidung /Reduzierung von Kontaktkorrosion an Magnesiumbauteilen durch Schutzkappen.



Filtergehäuse aus Magnesium



Spezielle Schutzkappe am Getriebegehäuse aus Magnesium AZ 93 HP