

## Ist Reifenwechsel Vertrauenssache?

von Dr. rer. nat. Ingo Holtkötter, Münster\*

Seit Ende 2010 auch noch durch den Gesetzgeber festgelegt wurde, dass in den Wintermonaten für winterliche Verhältnisse explizit geeignete Reifentypen Pflicht sind, wird ein Großteil der Autofahrer mit einer regelmäßigen Aufgabe belastet: dem Reifenwechsel von Winter- und Sommerreifen.

Die Montage der Reifen ist prinzipiell zwar auch für den Laien möglich, jedoch sind hierbei einige sicherheitsrelevante Dinge zu beachten, die durchaus ernsthafte Folgen haben können.

### I. Einleitung

Im Rahmen eines Zivilverfahrens war ein technisches Gutachten u.a. zu der Ursache der Zerstörung aller Radbolzen an einem Pkw-Rad zu erstellen. Hierbei ging es um die Frage, warum nach einer Fahrtstrecke von mehreren tausend Kilometern nach einem fraglichen Reifenwechsel alle Radbolzen eines Rads gebrochen sind und sich damit das Pkw-Rad während der Fahrt vollständig gelöst hat.

Abb. 1 zeigt die Radnabe, von der das fragliche Rad abgerissen wurde. In den Schraubenlöchern sind noch die abgebrochenen Reste der Radbolzen erkennbar. Durch die fahrtbedingte Belastung sind hier sämtliche Radbolzen gebrochen.



Abb. 1: Radnabe mit abgebrochenen Radbolzen in den Schraublöchern

### II. Problem

Wenn, wie im dargestellten Fall, das Rad offensichtlich durch Versagen der Radbolzen abfällt, so liegt der **Verdacht nahe**, dass die **Ursache** in den **Radbolzen selbst** zu suchen ist. Bspw. könnten hier die falschen Radbolzen verwendet worden sein oder eine minderwertige, unzureichende Qualität vorliegen. Außerdem ist es naheliegend, ein unzureichendes Anzugsmoment der Schrauben (sie wurden nicht ausreichend fest angezogen) oder eine Beschädigung der Schrauben durch zu hohes Anzugsmoment (unter dem Motto: „viel hilft viel“) zu vermuten.

Eine **andere mögliche Ursache**, die gerade von Laien aufgrund von Unwissenheit häufig unterschätzt wird, hängt mit der Funktionsweise einer Schraubverbindung zusammen. Vielfach wird nämlich angenommen, dass die Schraube selbst die Scherkräfte zweier gegeneinander bewegter Werkstücke aufnimmt. Abb. 2 zeigt hierzu auf der linken Seite die Funktion einer Schraubverbindung.

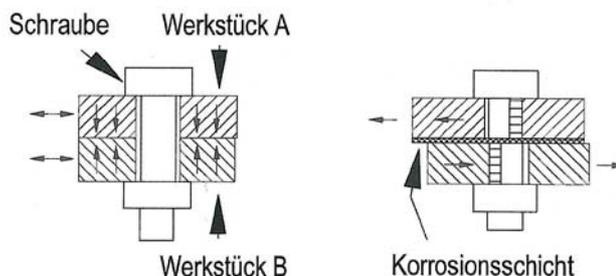


Abb. 2: Schraubverbindung zweier Werkstücke: Während in der linken Abbildung Querkräfte ausreichend übertragen werden können, werden in der rechten Abbildung die Schraubenhälse unzulässig belastet, da die Korrosionsschicht die Querkräfte nicht übertragen kann.

Bei einer Schraubverbindung wird eine kraftschlüssige Verbindung zweier Materialien in der Weise hergestellt, dass die Schraube für den nötigen Anpressdruck der Materialien aufeinander sorgt. Werden diese Materialien daraufhin mit Querkräften belastet, so ist es jedoch nicht Aufgabe der Schraube, diese Querkräfte auszugleichen. Vielmehr verzahnen sich die beiden Werkstoffe aufgrund ihrer Oberflächenrauigkeit durch den durch die Schraube erzeugten Anpressdruck derart ineinander, dass sie die Querkräfte

\* Der Autor ist Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle sowie Unfälle mit mechanisch-technischem Gerät im Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke, Münster.

untereinander übertragen können. Reicht der durch die Schraube ausgeübte Anpressdruck der Materialien nicht aus, diese Querkräfte zwischen den Materialien zu übertragen, so kann es zu einer Verschiebung der beiden Materialien kommen, die wiederum aufgrund des sog. Lochleibungsdruckes zu einem Abscheren der Schraube führen kann (s. Abb. 2, rechtes Bild).

Für den Halt einer Schraubverbindung zweier Materialien ist daher wesentlich, dass die Oberflächenbeschaffenheit der Materialien geeignet ist, durch den Anpressdruck die Querkräfte zu übertragen. Weist nun die Kontaktfläche der beiden Materialien eine Korrosionsschicht auf, so müsste diese Korrosionsschicht in der Lage sein, die Querkräfte aufzunehmen. Eine Korrosionsschicht kann jedoch bei Weitem nicht die Festigkeit einer unbeschädigten Oberfläche bieten, sodass die poröse Korrosionsschicht zwischen den beiden Werkstoffen aufgerieben wird.

Aus diesem Grund ist es bei der Montage von Felgen auf gebrauchten Fahrzeugen essenziell, dass die Kontaktflächen zwischen Bremsscheibe und Felgen von Korrosionsrückständen befreit werden. Erfolgt diese Reinigung nicht, so besteht die Gefahr, dass die Schrauben trotz korrektem Anzugsmoment zwar die Felge mit dem vorgeschriebenen Druck auf die Radnabe pressen, dies jedoch aufgrund der porösen Korrosionsschicht nicht ausreichend ist, die Querkräfte zwischen den beiden Verbindungsteilen aufzunehmen. Dadurch wird die Korrosionsschicht nach und nach weiter beschädigt, wobei sich die Radnabe und die Felge gegeneinander verdrehen, bis schließlich die Radbolzen die gesamten Querkräfte aufnehmen müssen. Diese stellen jedoch eine erhebliche Belastung für die Radbolzen dar, der sie dauerhaft nicht standhalten können.

### III. Ursachen für ein Materialversagen

Für ein Versagen der Radbefestigung oder der Radbolzen kommen demnach mehrere Ursachen infrage:

#### 1. Falsches oder fehlerhaftes Material

Werden falsche, d.h. ungeeignete Radbolzen verwendet (falsches Gewinde, falsche Geometrie oder unzureichende Festigkeit) oder Radbolzen, die die spezifizierte Qualität nicht erreichen, ist dies als Ursache für ein Versagen der Radbolzen trivial.

#### 2. Bruch der Radbolzen durch unzureichendes Anzugsmoment

Hierbei kann sich die Felge relativ zur Bremsscheibe bewegen und die Radbolzen müssen mit ihrem Schaft hohe dynamische Belastungen und auch die Querkräfte aufnehmen. Hierfür sind sie jedoch nicht geeignet und brechen durch die ständige Überanspruchung ab.

#### 3. Bruch durch zu hohes Anzugsmoment

Wird das zulässige Anzugsmoment bei der Montage der Schrauben (auch nur kurzzeitig) überschritten, so werden die Schrauben gelängt und die innere Struktur beschädigt. Auf diese Weise können Mikrorisse

entstehen, die den Radbolzen nachhaltig schädigen und schwächen.

#### 4. Bruch bei unzureichender Reinigung der Verbindungsflächen trotz korrekten Anzugsmoments

Es ist essenziell für die Belastbarkeit der Schraubverbindung, die Radnabe und auch den Innenkranz der Felge vor der Montage des Rads gründlich von einer ggf. vorliegenden Korrosionsschicht zu befreien. Hierzu wird üblicherweise eine Drahtbürste oder ein spezieller (Draht-)Bürstenaufsatz für die Bohrmaschine oder den Schlagschrauber benutzt, der innerhalb von wenigen Sekunden die Schraubflächen reinigen kann.

### IV. Untersuchungsmöglichkeiten

Für die Materialuntersuchung können externe Materialprüfungslabors hinzugezogen werden, die über die technischen Möglichkeiten entsprechender Untersuchungen verfügen. Wenn der technische Sachverständige hier auf allgemein anerkannte und akkreditierte Labors zurückgreift, ist dies eine solide Basis für die Beurteilung des zu untersuchenden Schadens. Daher wurde im vorliegenden Fall für die spezielle Fragestellung der Radbolzeneigenschaften ein externes Prüflabor hinzugezogen.

#### 1. Lichtmikroskopie

Die konventionelle Lichtmikroskopie, die im Prinzip dasselbe bietet wie ein Vergrößerungsglas oder ein Makroobjektiv, ermöglicht die Beurteilung des Bruchbildes der Radbolzen, welches wiederum bspw. Gewalt- und Schwingbrüche unterscheiden lässt.

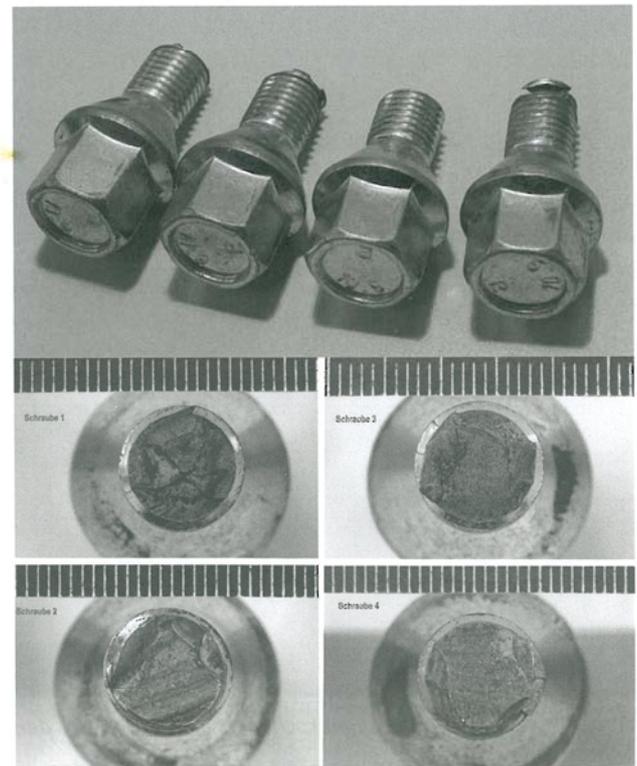


Abb. 3: Lichtmikroskopische Aufnahmen der untersuchten Schrauben mit Detailaufnahmen der Bruchflächen

Abb. 3 zeigt den Ausgangszustand der untersuchten Radbolzen sowie Detailaufnahmen der Bruchflächen. Bei den hier dargestellten Bruchflächen handelt es sich nach makroskopischer Beurteilung um Schwingbruchflächen. Die Bruchflächen der Schrauben 2,3 und 4 weisen ein vergleichbares Schadensbild auf, bei dem sich mehrere Schwingbruchbereiche und Restgewaltbruchbereiche finden lassen. Der Radbolzen mit der Kennzeichnung 1 weist hingegen hier keine klare Trennung von Schwingbruch- und Gewaltbruchbereichen auf.

Die innere Struktur der Radbolzen lässt sich mithilfe eines Längsschliffs untersuchen, der mithilfe von lichtmikroskopischen Aufnahmen das Materialgefüge zugänglich macht. Abb. 4 zeigt Beispiele derartiger Aufnahmen der vorliegenden Radbolzen, die keine Fehlstellen aufweisen.

Daraus lässt sich schließen, dass es sich um qualitativ einwandfreie Radbolzen handelt. Außerdem kann hier festgestellt werden, dass die Schrauben im Gewindebereich nicht gelängt wurden und somit nicht durch ein zu hohes Anzugsmoment beschädigt worden sind.



Abb. 4: Gefügeaufnahme der inneren Struktur eines Radbolzens: Hier sind keine Fehlstellen vorhanden.

## 2. Elektronenmikroskopie

Bei Darstellung der Bruchflächen mithilfe eines Elektronenmikroskops sind für die Radbolzen jeweils vergleichbare Schadensbilder sichtbar. Beispiele der entsprechenden Aufnahmen sind in Abb. 5 gezeigt. Die Einteilung der Bruchflächen in jeweils mehrere

Schwingbruch- und Restgewaltbruchbereiche aus der lichtmikroskopischen Untersuchung können durch die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung bestätigt werden. Im linken Teil der Abbildung ist ein Bereich aus dem Zentrum des Radbolzens dargestellt, oben in mittlerer Vergrößerung und darunter in einer Detailvergrößerung. Im unteren Bild links liegen horizontale Schwingstreifen und Sekundärrisse vor, die auf einen Schwingbruch hindeuten. Im rechten Teil der Abbildung ist hingegen eine Restgewaltbruchfläche sichtbar, die sich an den unregelmäßigen und duktilen (d.h. plastisch verformten) Scherwaben erkennen lässt.

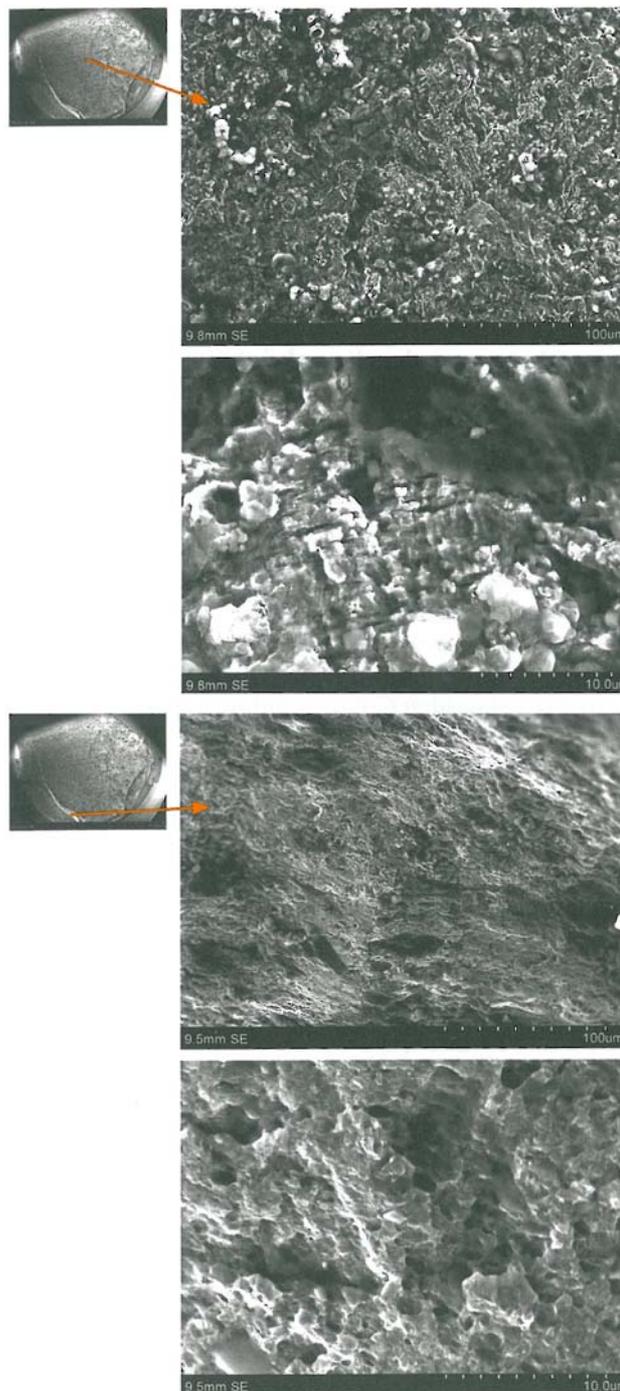


Abb. 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Bruchfläche einer der Radbolzen an zwei unterschiedlichen Stellen: Im oberen dargestellten Bereich sind horizontale Schwingstreifen zu sehen, im unteren Bereich plastisch verformte, wabenförmige Strukturen.

### 3. Chemische Untersuchungen

Die chemische Zusammensetzung der Radbolzen und damit eine Überprüfung der Materialqualität erfolgt üblicherweise mit der Vakuumemissionsspektroskopie, bei der die atomaren Bestandteile des Werkstücks erfasst werden können.

Hierbei kann die Probe auf den Inhalt bestimmter chemischer Elemente untersucht werden. Wenn die Soll-Zusammensetzung für die geforderte Material-

festigkeit bekannt ist, kann ein einfacher Vergleich mit den Messwerten erfolgen. Tabelle 1 zeigt die Messwerte zu den Radbolzen in einer tabellarischen Aufstellung. Die Radbolzen erfüllen die Anforderungen für einen Werkstoff der Festigkeitsklasse 10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1:2009. Da auch diese Festigkeitsklasse für die vorliegende Felgen/Pkw-Kombination vorgeschrieben war, ist mangelnde Materialqualität für den vorliegenden Fall auszuschließen.

Legierungsgehalt [Gew.-%]	C	Si	Mn	P	S	B*	Cr
<b>Sollwerte</b>	0,25 – 0,55	–	–	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,003	–
<b>Messwerte Schraube 1</b>	0,295	0,191	0,880	0,0059	0,0111	0,0036	0,189
<b>Messwerte Schraube 2</b>	0,303	0,207	0,886	0,0085	0,0141	0,0039	0,178
<b>Messwerte Schraube 3</b>	0,287	0,091	0,868	0,0057	0,0025	0,0027	0,151
<b>Messwerte Schraube 4</b>	0,297	0,105	0,943	0,0078	0,0062	0,0033	0,168

Tabelle 1: Messwerte zur chemischen Zusammensetzung der Radbolzen

\* Der Bor-Gehalt darf 0,005 % erreichen, vorausgesetzt, dass das nicht wirksame Bor durch Zusätze von Titan und/oder Aluminium kontrolliert wird.

### 4. Messung der Kernhärte

Die Kernhärte der Radbolzen kann mit dem sog. Vickersverfahren gemessen werden, bei dem die Deformation der Werkstückoberfläche durch den Druck mit einem Probekörper beurteilt wird.

Für den vorliegenden Fall konnte für alle Radbolzen die für die Festigkeitsklasse 10.9 erforderliche Kernhärte nachgewiesen werden. Tabelle 2 stellt die Messwerte für die untersuchten Schrauben dar, woraus ersichtlich ist, dass sich die Messwerte innerhalb der zulässigen Grenzen befinden.

Kernhärte [Vickersverfahren, HV10]		
<b>Sollwerte</b>		320 – 380
<b>Messwerte Schraube 1</b>	Einzelwerte	369; 377; 373
	Mittelwert	373
<b>Messwerte Schraube 2</b>	Einzelwerte	362; 368; 359
	Mittelwert	363
<b>Messwerte Schraube 3</b>	Einzelwerte	345; 354; 353
	Mittelwert	351
<b>Messwerte Schraube 4</b>	Einzelwerte	348; 344; 353
	Mittelwert	348

Tabelle 2: Resultate der Härtemessung nach dem Vickersverfahren

### 5. Beurteilung des Falls

Mithilfe der Analysen des beauftragten Materialprüfungslabors konnte gezeigt werden, dass ein Materialfehler an den verwendeten Radbolzen ausgeschlossen werden konnte. Die vier Radbolzen erfüllten sowohl hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung für einen Werkstoff der Festigkeitsklasse 10.9 demnach auch bzgl. der Kernhärte die entsprechenden Voraussetzungen. Die innere Struktur der Radbolzen wies ebenfalls keine Auffälligkeiten auf. Da im Ge-

windebereich keine plastische Verformung festgestellt werden konnte, ist eine Überbeanspruchung der Radbolzen durch ein zu hohes Anzugsmoment bei der Montage ebenfalls auszuschließen.

Da aber die Bruchflächen der Schrauben auf eine Überbeanspruchung durch einen Schwingbruch hinweisen, ist der Schaden nicht auf ein singuläres Ereignis zurückzuführen, sondern auf eine andauernde dynamische Überbeanspruchung. Die Ursache für den Schaden im vorliegenden Fall kann demnach auf eine unzureichende Verzahnung der Werkstücke bei der Schraubverbindung zurückgeführt werden. Dies kann entweder durch ein unzureichendes Anzugsmoment der Radbolzen bei der Montage oder durch eine ungenügende Reinigung der Auflageflächen entstehen. Die deutlich erkennbaren Korrosionsreste an der Radnabe im vorliegenden Fall (s. Abb. 1) lassen auf eine ungenügende Reinigung der Auflageflächen bei der Radmontage schließen.

### V. Fazit

Durch die umfangreichen Analysemöglichkeiten moderner Materialprüfungslabors ist es in vielen Fällen **möglich**, nach einem Strukturversagen **Material- oder Montagefehler festzustellen**. Der vorgestellte Fall zeigt, dass auch bei scheinbar einfachen Arbeiten wie dem Reifenwechsel Fehler gemacht werden können, die für den Laien nicht zwangsläufig ersichtlich sind.

Es stellt sich heraus, dass auch hier in den Werkstätten eine sehr sorgfältige und gewissenhafte Arbeit nötig ist. Gerade die laienhafte Einstellung „viel hilft viel, wenn ich das nur fest genug mache, wird das schon halten“ oder „das bißchen Rost macht doch nichts, das ist doch bei allen Autos so“ ist nicht nur hier völlig fehl am Platze.