

Die wohltemperierte Felge

Rainer Mai

Gedanken zu den Ursachen von Abfahrts-Reifenpannen und erste "Downhill-Heizereien" im Dienst der Wissenschaft

In einer wissenschaftlichen Arbeit könnte die Themenbeschreibung etwa *"Plötzlicher Reifendruckverlust bei Abfahrten - Einfluss der Bremswärme von Felgenbremsen auf die Betriebssicherheit des Felge-Drahtreifen-Systems"* lauten. Die mir bekannten Versagensarten:

Reifenabschäler

Der Reifenfuß schiebt sich an einer Stelle über das Felgenhorn, der Schlauch kommt ans Licht und platzt. Das geschieht typischerweise bei längeren Abfahrten mit mehr oder weniger heißgebremster Felge. "Weniger" schreibe ich, weil mir mal ein Hinterreifen bei einer Passabfahrt abgeschält ist, kurz nachdem ich losgefahren war. Ich hatte nur wenig und kurz gebremst; an dem kalten Morgen kann die Felge auf dem schwachen Gefälle nicht mehr als lauwarm geworden sein (siehe Foto). Andere Reifenabschäler ereignen sich im Flachland, ganz ohne Einsatz der Bremsen.

Die Temperatur ist also nur ein Einflussfaktor. Als primäre Ursache vermute ich, abgesehen von ohnehin ungeeigneten "Niederdruck"-Felgen (bei manchen Tiefbettfelgen können 4 bar schon zu viel sein), zu große radiale Maßabweichungen des Reifensitzes: Der "Drahtdurchmesser" ist zu groß oder/und mindestens eines der Felgenmaße (Schulterdurchmesser und Außendurchmesser)



Fotos: Rainer Mai

Reifenabschäler auf einer Alpenstraße in Italien, mit nur lauwarmer Felge. Der Schlauch wickelte sich um die V-Brakes und blockierte das Hinterrad, das mit 40 km/h über die Straße hopste (Lauffläche von Felgenhörnern durchgestanzt). Die Straße war 3 Meter breit, kurvig, links Felswand, rechts Abhang. Ich brauchte die gesamte Straßenbreite und hatte das Glück, dass kein Auto entgegenkam.

zu klein. Theoretisch gibt es noch "Druck zu groß", was ich aber nicht gelten lasse, weil ich der Meinung bin, dass ein Reifen so viel Druck aushalten muss, bis er platzt (Karkasse zerreißt) - und sich nicht schon bei geringerem Druck einfach von der Felge schälen darf.

Jedenfalls ereignet sich ein auffällig großer Teil der Abschäler bei langen Abfahrten, insbesondere bei "Angstbremsern", die ihre Felgen ordentlich aufheizen; die Temperaturerhöhung hat also ein wesentlichen Einfluss.

Felgenband

Wohl selten, aber es kommt vor: Das Kunststoff-Felgenband verformt sich durch Erhitzung, verschiebt sich, der Schlauch dringt in die Hohlkammer der Felge ein und platzt. Das passierte mir, als ich mich mit beladenem Reiserad in den Dolomiten verfahren hatte und einen steilen, verblockten Waldweg herunterholperte. Vorne bremsen war nicht möglich. Durch meine Dauerbremsung hinten mit etwa 8 km/h und 135 kg Gesamtgewicht dürfte die Felge extrem heiß geworden sein. Das "Hochdruck"-Felgenband hatte sich um etwa 10 Zentimeter verlängert - bleibend - und konnte so natürlich nicht mehr funktionieren. Den Rest erledigte die Walkarbeit des eher mäßig aufgepumpten Reifens (47 mm mit etwa 4 bar) auf dem unebenen Boden. Ich hob das zu lange Band auf und reklamierte es beim Hersteller. Die überraschende Rückmeldung: "So etwas haben wir auch noch nicht gesehen." Demnach testet man dort Felgenbänder nur bei Raumtemperatur? Seitdem fahre ich am Reiserad nur noch selbstklebendes Textilfelgenband. Das von mir bevorzugte Hochdruckband der Marke Beiersdorf gibt es auch im europäischen Ausland überall, in jeder Apotheke.

"Schlauchplatzer" und "Reifenplatzer"

In Anführungszeichen, weil oft gehört, aber bisher nicht belegt. Reifenplatzer bedeutet Versagen der Karkasse, wofür mir eher Vorschädigung (Gewebeverletzung, Walkschaden, Versprödung oder Verschleiß) oder extremer Überdruck als Ursache einfällt als Erhitzung. Falls sie doch einen nennenswerten Einfluss hat, muss die Schadenszone im erhitzten Bereich liegen, also im Bereich des Kontakts mit der Felge, denn der Reifen ist kein guter Wärmeleiter.

Auch immer wieder berichtet werden Schlauchplatzer: Reifen, Felge und Felgenband sind in Ordnung, alles sitzt korrekt, aber der

Schlauch platzt auf der Abfahrt. Warum kann er das tun? Ist es wirklich möglich, Felgen so heiß-zubremsen, dass sich die Elastomerschicht zersetzt? Bei welcher Temperatur versagen Butylschläuche? Oder, auch eine interessante Hypothese, wandert der Drahtreifen auf der erhitzten Felge unter der Bremskraft und zieht den Schlauch mit, bis der Ventilfuß ausreißt?

Aber wie gesagt, diese Schlauch- und Reifenplatzer sind nicht belegt. Das Problem ist, dass in den mir bekannten Fällen die Behaupter dieser Vorgänge - etwa bei Anfragen an Sachverständige oder den ADFC zur Klärung von Haftungs- oder Gewährleistungsfragen - auf Rückfragen bisher keine verwertbaren Informationen lieferten. Viele scheinen nicht genau hingeschaut zu haben, nicht wenige haben Reifen und Schlauch gleich weggeworfen - aber ihre technischen Fragen zu nix-genauesweißmannicht wollen sie trotzdem beantwortet haben ...

Wir sind dankbar für präzise authentische Beschreibungen dieser Phänomene. Falls Fotos vorhanden oder machbar, bitte mitschicken - am besten natürlich gleich das Corpus Delicti, den geplatzen Abschnitt des Reifens oder Schlauchs. Wenn es unterwegs passiert: die Teile mitnehmen, beim Reifen den Bereich um die Schadenszone rausschneiden, Drähte aufbrechen (z.B. biegen mit Schraubstock oder Zangen) und rausziehen, dann verbleibt ein gut verstaubarer, flexibler "Lappen"

Kleine Räder

Kleine Laufräder bieten der Felgenbremse weniger Kühlfläche und thermische Masse. Sie werden also heißer und sie heizen sich schneller auf. Liege- und Faltradler sind im Gebirge im Nachteil; die Lieger zusätzlich durch ihren niedrigeren Luftwiderstand. Schließlich ist es nur die "Luftbremse", die uns bei mittleren bis hohen Geschwindigkeiten davor bewahrt, die Felgen zu überhitzen.

Was passiert bei der Erhitzung? – in's Blaue gefragt ...

- Ab welchen Temperaturen können sich Reifen und Schlauch können sich durch die Hitze zersetzen oder verbrennen?
- Wächst der Reifenumfang im Sitzbereich relativ zum Felgenumfang (die Felge dehnt sich ja wohl auch aus)?
- Was ist mit der Reibung (Reifen-Felge, Reifen-Schlauch, Schlauch-Felge)? Inwieweit nimmt sie bei Erhitzung zu oder ab?
- Inwieweit erhöht sich der Druck?

Nur auf die letzte Frage, von Peter Eland in seinem lesenswerten "Buyer's Guide Brakes" in Velevision 22 angesprochen, finde ich eine schnelle Antwort. Peter stellt die Druckerhöhung als alleinige Ursache der Reifenabschäler dar.

Aus der allgemeinen Gas-Zustandsgleichung $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ folgt unter der Annahme, dass das Volumen konstant bleibt, dass sich der Druck näherungsweise proportional zur Temperatur ändert: $p \sim T$. Absoluter Druck (technischer Reifendruck plus 1 bar Umgebungsdruck) und Kelvin-Temperatur, wohlgemerkt.

Ein Beispiel: Ich fahre mit 5 bar Reifen(über)druck bei 20 Grad Celsius los und heize mit der Felgenbremse die Luft im Reifen auf 100 Grad an. Dazu muss die Felge wärmer als 100 Grad werden - womöglich deutlich wärmer (wäre interessant, die Wärmeverteilung mal mit verschiedenen Reifen, Schläuchen und Felgenbändern zu messen). Es geht also um eine signifikante Temperaturerhöhung, die für "Normalradfahrer" wie mich, siehe unten, sogar extrem ist.

Dadurch steigt der absolute Druck um 27 Prozent und der technische Reifendruck von 5,0 auf 6,6 bar.

Das ist nicht viel, finde ich. Selbstverständlich erwarte ich, dass sich ein Reifen mit z.B. "max. 5.0 bar"-Spezifizierung nicht bei 6 oder 7 bar einfach von der Felge schält. Das ist schließlich lebensgefährlich ... beim Auto führt eine solche relative Druckänderung, entsprechend der Steigerung von 2 auf 2,8 bar oder von 3,8 auf 4,8 bar, zum Beispiel durch ein fehlerhaftes Manometer bedingt, ja auch nicht zum Abspringen der Reifen in voller Fahrt.

Fazit der Testrechnung: Die Druckerhöhung durch Erwärmung scheint nicht kritisch. Nur bei sicherheitstechnisch kritischen Reifen-Felgen-Kombinationen, die keinen nennenswerten Überdruck vertragen, kann sie Abschäler auslösen. Über die Auswirkung der anderen Folgen der Felgenaufheizung sagt das natürlich nichts aus.

Temperaturmessstreifen

Die Felgentemperatur ist am einfachsten mit selbstklebenden Messstreifen messbar (Fotos), die es in diversen Varianten für verschiedene Temperaturbereiche und Abstufungen gibt, typischerweise in Zehnerpacks. Sie bestehen aus einer Reihe von Feldern, die sich entweder vorübergehend oder bleibend verfärben, wenn die feldspezifische Temperatur erreicht oder überschritten wird. Schmidt Maschinenbau benutzt solche Streifen für Messungen an SON-Nabendynamos mit Scheibenbremsen. Andreas Oehler war so nett, mir kurz vor meinem letzten Sommerurlaub zwei Sorten zu schicken: Reversible Messstreifen von 30 bis 60°C und irreversible von 71 bis 110° C.



Der brandneue reversible Messstreifen im Flachland, an einem richtig heißen Tag in Südfrankreich.

Ich bestückte beide Felgen meines Reiserads mit je einem dieser Streifen. Weil sie etwas zu lang waren, um zwischen die Speichen zu passen, musste ich sie an den Enden kürzen. Sie schienen trotzdem fest und wasserdicht auf den glatten, entfetteten Felgen-Innenflächen zu kleben. Aber nicht auf Dauer, wie die Fotos zeigen: Während meiner Tour durch das Massif Central und -größtenteils auf den in dem Werk "La Travesia de los Pirineos en BTT" von Jordi Laparra beschriebenen Trails - durch die Pyrenäen erlebten die Streifen Sonne, Kälte, Nässe, Matsch und vorbeistreifende Gegenstände; bisweilen wurden sie tief in Flüsse und Bäche getaucht. Sie wurden bald undicht und machten zum Schluss sogar Anstalten, sich abzapellen. Ich bezweifle, dass diese Probleme nicht aufgetreten wären, wenn ich sie nicht gekürzt hätte. Die nächsten Messstreifen werde ich nach dem Aufkleben komplett mit transparentem Silikonkautschuk beschichten, wie es bei Dehnmessstreifen üblich ist. Das klebt und dichtet nicht nur, es schützt auch vor Schrammen durch vorbeistreifende Steine, Geröll, Sand, Äste ...

Es war von Anfang an klar, dass nur die irreversiblen Streifen interessante Ergebnisse liefern können. Die reversiblen sind am Fahrrad in der Praxis nur mit zu großer Zeitverzögerung abzulesen (die Felgen kühlen schnell ab), und der aktuelle Temperaturbereich bis 60 Grad war ohnehin zu klein. Dafür sind sie schön bunt und ein dekoratives Feature, etwa für Kaffeetassen ;o)

Die Messerlebnisse

Mein Urlaubstour mit Aufrecht-Reiserad und zweck- statt gewichtsoptimierten Campinggepäck war 2.700 km lang und ging durch zwei Gebirge, über gut 42 Höhenkilometer. Das klingt nach viel, aber bei meiner normalen, bergab eher zügigen und damit luftbremsorientierten Fahrweise hätte

ich mit meinen thermisch günstig dimensionierten Felgen bestenfalls die erste Stufe der Messstreifen geschwärzt (71°), wahrscheinlich nicht mal das. Was gut zu meiner Einschätzung früherer zum-Abschluss-der-Abfahrt-willkürliche-Vollbremsung-hinlegen-und-sofort-Spucke-auf-die-Felge-Versuchen passte, dass ich bergab auf Asphalt wohl kaum mehr als 60 Grad hinbekomme.

Die Testoterm-Streifen, deren Felder beim Erreichen der jeweiligen Grenztemperatur schwarz werden, blieben also, abgesehen von Flecken durch Wassereinbruch, die das Ablesen etwas erschwerten, erstmal weiß. Ich musste mich regelrecht zwingen, die Felgen heißzubremesen. Im Massif Central hatte ich ohnehin kein Gefälle passiert, das ich für einen solchen Versuch für steil genug hielt. In den Pyrenäen, nach 11 Tagen und 1.100 km, war es schließlich so weit: Auf einem steilen betonierten Waldweg ließ ich beide Bremsen hart arbeiten, intervallmäßig: bis 25 km/h rollen lassen, runterbremsen auf 10 km/h, rollen lassen, stark bremsen. Dabei bremsste ich wegen der nicht perfekten Bodenhaftung (unebener Weg, Stöckchen, Laub) etwas mehr hinten als vorn. Bald verabschiedete sich die Luft im Hinterreifen schlagartig mit lautem "Pief!" - und während ich schlingernd zum Stehen kam, wurde mir klar, dass 25 km/h für so einen Test, auf so einem Weg jedenfalls, schon gefährlich schnell ist. Die erstaunliche Diagnose: Ein Flicker hatte sich vom Schlauch gelöst. Der Einzige. Er war ein Jahr und etwa 5.000 km alt und hatte bei meiner Inspektion vor knapp 2 Wochen tadellos ausgesehen. Aber nun konnte ich ihn von dem heißen Schlauch komplett abziehen. Die Felge hatte 82-97 Grad erreicht. Das Loch flickte ich gleich wieder, fuhr dann aber "normal" bremsend weiter - genug experimentiert für heute.



Nicht mehr so brandneu: Wasserflecken und beginnende Ablösung.

Für die weiteren Versuche stellte ich höhere Anforderungen: Lange Abfahrt, Gefälle steil genug und halbwegs konstant, nicht zu kurvig, glatter, sauberer Asphalt, verkehrsarm. Das dauerte. Der zweite Versuch fand erst zwei Wochen später statt. Diesmal bremste ich nur vorne (eine Bremse wird schneller heiß, im Reparaturfall ist das Vorderrad leichter auszubauen). Die Geschwindigkeit hielt ich zwischen 12 und 15 km/h (wirklich konstante Bremsgeschwindigkeit angestrebt, aber nicht erreicht). Nach kurzer Zeit Druckverlust vorn, diesmal lautlos, aber auch sehr schnell - als ich es merkte, rollte ich schon auf der Felge. Die erstaunliche Diagnose: Der einzige Flicken hatte sich gelöst, auch dieser nicht neu ... Merkwürdige Zufälle. Normalerweise kann ich mich auf meine Flicken verlassen. Jedenfalls scheinen Flicken die Felgenheizerei nicht zu mögen. Für den nächsten Test verbaue ich meinen einzigen brandneuen Schlauch.

Danach gab es keinen Ausfall mehr, obwohl ich die Temperatur noch um mindestens 20 Grad steigerte, bis plötzlich deutliches Fading auftrat - Details siehe Tabelle. Mit der Schwärzung des 110-Grad-Felds war der irreversible Messstreifen verbraucht. Im Stand nach dem Versuch roch es nach geschmortem Gummi. Ich konnte nicht erschnüffeln, ob das vom Reifen oder den Belägen stammte. Die Beläge scheinen unter dem Versuch etwas gelitten zu haben; jedenfalls hatte ich auch nach dem Abkühlen den Eindruck, dass sie schlechter greifen und auch die ohnehin gegenüber anderen Belägen wie Swisstop eher bescheidene Dosierbarkeit der Koolstops weiter abgenommen hat.



Messstreifen zwischen 104 und 110 Grad, nach dem 3. Test

Nachträgliche Beobachtungen zum Thema thermisch gelöster Flicken

Zuhause schaute ich mir den Schlauch, der im zweiten Hitzeversuch schlagartig inkontinent geworden war, weil sich der einzige Flicken gelöst hatte, nochmal an - bei Raumtemperatur. Der testhalber aufgepumpte Schlauch verlor erstaunlicherweise nur wenig Luft, das ging schon Richtung "Schleicher". Woran liegt das? Gab es nach der "Heiß-Devulkanisation" eine nachträgliche "Kalt-Revulkanisation"? Oder lag es daran, dass der lose Schlauch nur einen geringen Druck hatte, weil er nicht im Reifen eingezwängt war?

Zur Klärung der letzten Frage baute ich den Schlauch in ein adäquates Laufrad ein und pumpte ihn auf 4,5 barü auf. Nach 30 Minuten betrug der Überdruck immer noch 2,5 bar.

Aha. Ich kann mir zwar vorstellen, dass die Walkarbeit an der bewegten Maschine den Druckverlust signifikant beschleunigt - aber so extrem?

Fazit

Abgesehen von dem Ärger mit den Flicken hat das Felge-Reifen-System funktioniert. Die Contis hielten auf den Alesa-Felgen tadellos; ich habe keine Veränderung (z.B. verrutschtes Ventil) entdeckt.

Eine Erkenntnis immerhin: Leute mit heißen Felgen (Angsbremser, Trailbremsen, Falt- und Liegeradcamper ...) sollten doch besser mit ungeflickten Schläuchen zur Alpentour starten. Oder besser flicken können als ich.

Ketzerische Anmerkung zum Schluss: Scheibenbremsen haben zwar eher größere Fadingprobleme - aber eben nur diese; der Reifen bleibt drauf und behält seinen Druck.

Rainer Mai ist Fahrrad-Sachverständiger in Frankfurt am Main, Maschinenbauingenieur, Alltags- und Reiseradler, Mitgründer und Betreuer einer Selbsthilfewerkstatt, Mitinitiator der 'AG Verflixtes Schutzblech'.

Das Kleingedruckte: Testdaten

Systemgewicht	ca. 135 kg
Reifen	V: Conti Travel Contact 42-622, eff. Breite 38 mm H: Conti Contact 47-622, Breite 43 mm
Schläuche	Schwalbe SV 17 Butyl-Gruppenschläuche, Presta, Druck ca. 4 bar
Felgen	Alesa Sputnik, 622-19, 36 -Loch (hohe Bremsflanken)
Felgenband	Gewebeband selbstklebend, Velox / Beiersdorf Leukoplast
Bremsen	V-Brakes Promax, Beläge: Koolstop rot, Booster, Weinmann-Renngriffe mit Zusatzhebeln
Messstreifen	Testoterm irreversibel, 8 Stufen, 71-110°C, aufgeklebt auf Felgen-Innenseite zwischen zwei Speichen
Test 1	Betonweg, uneben, sehr steil, bis über 20%, enge Kurven, t_{amb} 20°C, 1.240m→1.100m, Intervallbremsung 10-25 km/h, haftungsbedingt vorwiegend hinten. Temp. V 77-82°C, H 82-87°, Ausfall: H sehr schneller Druckverlust, einziger Flicker abgelöst
Test 2	Asphalt, gerade, Gefälle schwankend zwischen 5 bis 10%, t_{amb} 24°, 1.170m→1.080m, gebremst nur V, "Konstantgeschwindigkeit" 12-15 km/h. Temp. 82-88°C (eine Stufe gestiegen), Ausfall: V sehr schneller Druckverlust, einziger Flicker gelöst
Test 3	Asphalt, wenige sehr enge Kurven (Bremspausen), Gefälle ca. 10%, 840m→710m, gebremst nur V, "Konstantgeschwindigkeit" 10-15 km/h. Temp. 104-110°C (drei Stufen gestiegen), Ausfall: keiner (neuer Schlauch). Kurze Pause, Spucketest: zischt, Foto.
Test 4	Fortsetzung von Test 3 mit Restwärme, 680m→590m, wie vorher, aber nun steiler, 10-15%. Abbruch wg. starkem Fading und Geräusch, im Stand Gummischmorgeruch, Temp. $\geq 110^\circ\text{C}$. Kein Ausfall. Nach Abkühlung bleibend schlechtere Bremswirkung als vor Test 3 und 4 (Reibwertänderung).

Alle in diesem Artikel gemachten Angaben erfolgen nach bestem Wissen, aber ohne jegliche Gewährleistung. Der Autor und der Verein "Fahrradzukunft" lehnen jegliche Haftung für unmittelbare und mittelbare Schäden durch Befolgung oder Nichtbefolgung von in diesem Artikel gegebenen Ratschlägen ab.