

Die Wahrheit über den Rollwiderstand

Einfluss von Reifentyp und Reifenluftdruck auf den Rollwiderstand beim Mountainbiken

Ein Beitrag von
Peter Nilges
Helmut Lötzerich
Achim Schmidt
 Institut für
 Natursport und
 Ökologie

Im Radsport haben in den letzten Jahrzehnten zahlreiche wissenschaftliche Studien zu einer Optimierung des Sportgerätes und der körperlichen Leistungsfähigkeit der Athleten beigetragen, die in der Summe zu neuen sportlichen Höchstleistungen bzw. Rekorden führten. Neben den Erkenntnissen zur Leistungssteigerung der Athleten stehen im Radsport immer wieder Verbesserungen des Sportgerätes im Mittelpunkt des Interesses sowohl im Hochleistungssport als auch im Freizeit- und Breitensportbereich. So wurden im Laufe der letzten Jahre im Mountainbike-Sport unter anderem die Geometrie, der Einsatz von neuen Rahmenwerkstoffen und die Entwicklung von antriebsneutralen Federelementen vorangetrieben und teilweise erheblich verbessert. Weitere Versuche zur Verringerung des Gesamtwiderstandes führten zu einer optimierten Sitzposition mit dem Ziel, den Fahrwiderstand (in erster Linie den Luftwiderstand) zu reduzieren.

Im Bereich des Fahrradwiderstandes gibt es jedoch noch erheblichen Forschungsbedarf zum Thema des Rollwiderstands, der im Wesentlichen von Reifentyp und Reifenluftdruck abhängt und im Gelände über die Hälfte des Gesamtwiderstandes in Anspruch nehmen kann. Da sich bisherige Erkenntnisse fast ausschließlich auf den Rollwiderstand im Labor auf festem, ebenem Untergrund beziehen und dies nicht der realistischen Situation im Gelände entspricht, wurde in der vorliegenden Untersuchung die Auswirkung verschiedener Einflussfaktoren auf den Rollwiderstand im Gelände bestimmt. Im untersuchten Mountainbikebereich liegen, neben den praxisfernen Tests der Reifenhersteller, zur Zeit noch keine wissenschaftlich fundierten und publizierten Daten vor. Bislang wurde auf tradierte Gesetzmäßigkeiten und Erfahrungen aus dem Straßenradsport zurückgegriffen und diese als vermeintlich übertragbare Normen angenommen.

Die durchgeführte Untersuchung soll dazu beitragen, diese Wissenslücke zu schließen, um auf spekulative Reifen-/Reifenluftdruckempfehlungen

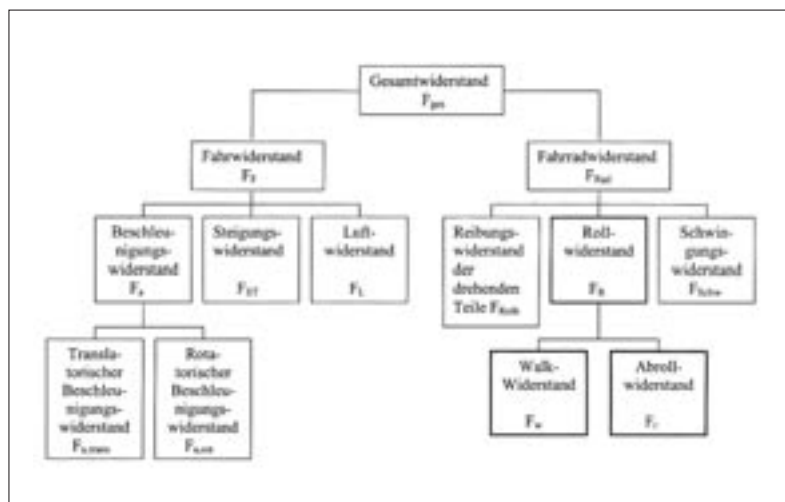
für das Gelände verzichten zu können und eine konkrete Handhabe zu liefern. Denn Freizeit- und Breitensportler, wie auch Rennfahrer, lassen sich bei der Wahl ihrer Reifen vielmehr von subjektiven Einschätzungen leiten, ohne tatsächlich zu wissen, ob der gewählte Reifen mit entsprechendem Reifenluftdruck das Optimum für den Einsatzzweck darstellt. Weiterhin wurde der Frage nachgegangen, inwieweit die Tests der Reifenhersteller auf dem Rollenprüfstand tatsächlich geeignet sind, um auch die Eigenschaften eines Reifens in der Praxis im Gelände beurteilen zu können.

Material und Methoden

Zur Bestimmung der Rollwiderstandsleistung wurden auf einer 460 m langen, kontinuierlich steigenden Outdoorteststrecke (s. Abb. 1) drei unterschiedliche Untergründe (Straße, Schotter, Wiese) befahren. Da die Untergründe unmittelbar nebeneinander lagen, konnte so zur besseren Vergleichbarkeit der erfassten Daten eine gleiche Steigungsleistung vorausgesetzt werden. Die Messung der Leistung erfolgte mittels eines an einem Mountainbike montierten SRM-Systems (Schobere-Rad-Mess-System) bei einer Geschwindigkeit von lediglich 9,5 km/h, da es bei dieser Geschwindigkeit zu einer Minimierung des Luftwiderstandes kommt. Bei dem SRM-System handelt es sich um eine spezielle Tretkurbel mit integriertem Drehmoment-Sensor, der über das Drehmoment und die Trittfrequenz eine äußerst exakte Bestimmung der Leistung ermöglicht.

Die gemessenen Daten wurden telemetrisch an den am Lenker befindlichen Computer (Powercontrol) übertragen und dort gespeichert. Insgesamt konnten während der Untersuchung neun Mountainbike-Reifen, die sich nach Reifenprofil und Reifenbreite unterschieden, mit vier Luftdrücken unter sonst konstanten Bedingungen kombiniert werden. Zusätzlich erfolgte zum Vergleich die Bestimmung der Rollwiderstandsleistung auf einem Rollenprüf-

Abb.1:
 Gesamtwiderstand beim
 Radfahren (modifiziert
 nach GRESSMANN
 2002).



stand eines Reifenherstellers. Es wurden jeweils drei Reifenprofile in drei verschiedenen Breiten getestet. Die Reifenprofile unterschieden sich nach ihrem Einsatzzweck von leichtem, trockenem Gelände (Semislick Modell „Fast Fred“) über mittelschweres Gelände (schwach profiliertes Stollenreifen Modell „Racing Ralph“) bis hin zu grobem, nassem Gelände (Stollenreifen Modell „Albert Brothers“). Die Reifenbreiten reichten von 50 mm/2,1 Zoll bis hin zu 62 mm/2,4 Zoll.

Die vier unterschiedlichen Reifenluftdrücke wurden mit 1,5 bar, 2,0 bar, 3,0 bar sowie 4,0 bar so gewählt, dass eine Abdeckung der für den Mountainbikesport üblichen Setups gegeben war.

Ergebnisse und Diskussion

Der Anteil der Rollwiderstandsleistung an der Gesamtleistung, die zum Befahren der Teststrecke benötigt wurde, betrug bei gegebenem Versuchsaufbau durchschnittlich 11,98 Prozent auf „Asphalt“, 24,09 Prozent auf „Schotter“ und bis hin zu 46,22 Prozent auf dem Untergrund „Wiese“. Es fällt auf, dass die grobprofilierten Stollenreifen auf allen Untergründen den größten Rollwiderstand erzeugen. Die Semislicks und schwachprofilierten Reifen ergeben ein unterschiedliches Bild im Gelände und auf der Straße, was den Rollwiderstand betrifft.

Straße und Testlabor

Die Ergebnisse auf dem Untergrund „Straße“ stimmen tendenziell mit denen des Rollenprüfstandes (Stahltrommel) überein. Die sich stark ähnelnden Messwerte sind durch eine vergleichbare Untergrundbeschaffenheit begründet. Eine Erhöhung des Reifenluftdruckes bewirkt eine Senkung des Rollwiderstandes. Die Reifen sinken mit zunehmendem Reifenluftdruck weniger stark ein, und die Aufstandsfläche auf dem festen, glatten Boden verkleinert sich. Der sogenannte „Hebelarm der rollenden Reibung“ (GRESSMANN 2002) verkürzt sich und ermöglicht dem Reifen ein leichteres Abrollen. Der Einflussfaktor Reifenprofil weist die geringsten Werte nicht etwa bei den Semislicks „Fast Fred“, sondern den schwach profilierten Stollenreifen „Racing Ralph“ auf. Obwohl hier die Profilierung stärker ausgeprägt ist, war der Rollwiderstand geringfügig niedriger. Die Begründung liegt in der Anordnung der Stollen und Flexibilität der Karkassen. Die Stollen des „Racing Ralphs“ fallen zwar höher aus, sind im Bereich der Lauffläche jedoch relativ eng beieinander angeordnet (hoher Positivanteil), so dass fast ein durchgehender Mittelsteg entsteht. Dadurch kann der Reifen geschmeidiger abrollen, was sich auch durch ein leiseres Abrollgeräusch auf festem Boden bemerkbar macht. Bei einem größeren Stollenabstand hingegen fällt der Reifen von einem Profilblock in den Zwischenraum des Profils, um dann wieder erneut angehoben zu werden. Im Gelände kann sich der Semislick jedoch, vor allem durch die äußerst dünne Gummierung der Karkasse und



Abb. 2: Untersuchungsrad mit Systemgewichtsausgleich durch Trinkflasche und Rucksack.

die damit verbundene Flexibilität, besser dem rauen Untergrund anpassen und hier seine Vorzüge ausspielen. Die Flexibilität und somit der Aufbau eines Reifens ist bei unebenem Untergrund entscheidender als die Anordnung und Gestaltung der Profilierung.

Wiese und Schotter

Die gewonnenen Erkenntnisse auf den beiden Untergründen „Wiese“ und „Schotter“ weichen bei allen Einflussfaktoren von den Ergebnissen auf „Straße“ und somit auch denen des Rollenprüfstandes ab. So sinkt die Rollwiderstandsleistung mit abnehmendem Reifenluftdruck auf „Schotter“ bis zu einer Untergrenze von 2,0 bar und auf dem Untergrund „Wiese“ bis zum niedrigsten der getesteten Luftdrücke (1,5 bar). Im Durchschnitt kön-

Abb. 3: Teststrecke (v.l.n.r. Wiese 1, Schotter 2, Straße 3).



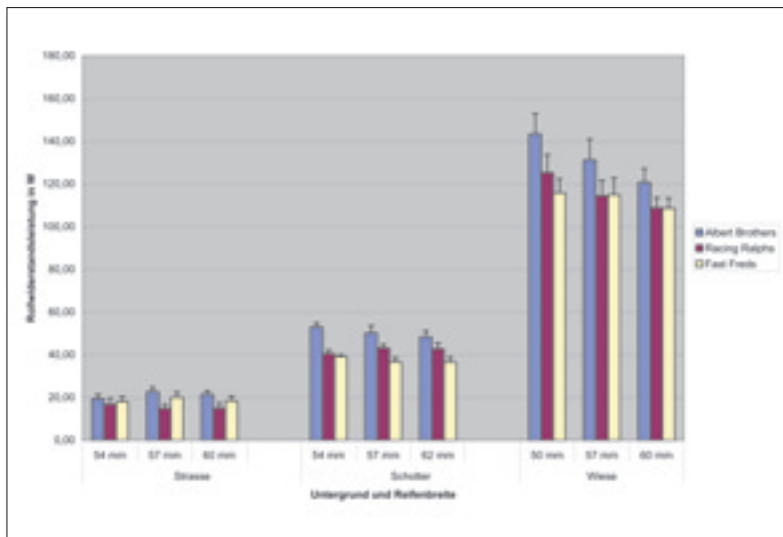
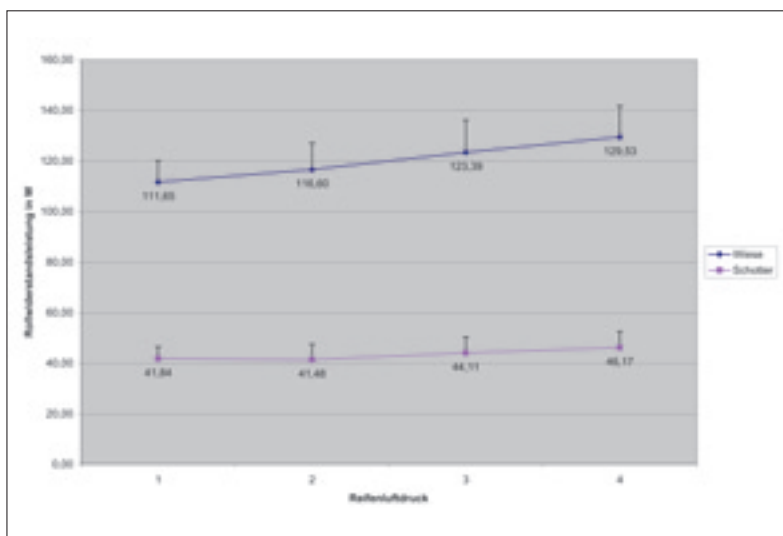


Abb. 4:
Einflussfaktor
Untergrund bei drei
Reifenmodellen und
drei Reifenbreiten
(n = 324).

nen 17,88 Watt eingespart werden, wenn auf dem Untergrund „Wiese“ der Reifenluftdruck von 4,0 bar auf 1,5 bar abgesenkt wird.

Die Hauptbegründung hierfür liegt in der (rauen) Beschaffenheit des Untergrundes. Nach WHITT & WILSON (1997, 128-130) wird an jeder Bodenunebenheit ein Teil der in Fahrtrichtung wirkenden Antriebsleistung benötigt, um das Gesamtsystem anzuheben. Dies ist vergleichbar mit dem Befahren einer kleinen Steigung, die entsprechende Hubarbeit verlangt. Wenn ein Reifen folglich mit weniger Reifenluftdruck auf rauem Untergrund gefahren wird, kann er sich besser den Unebenheiten anpassen und das Gesamtsystem muss nicht so stark und oft angehoben werden. Dieser Effekt ist bereits bei einem feinkörnigen Schotterweg, wie die Tests beweisen, zu verzeichnen. Weiterhin verliert der Reifen nicht so schnell den Kontakt zum Boden, was einen verminderten Schlupf und somit verbesserte Traktion zur Folge hat, und obendrein werden die Dämpfungseigenschaften erheblich verbessert. Der Einfluss der Reifenbreite macht sich durch eine Abnahme des Rollwiderstandes mit zunehmender Breite bemerkbar. Bei

Abb. 5:
Einflussfaktor
Reifenluftdruck auf
„Wiese“ (n = 27 je
Reifenluftdruck).



der Betrachtung der Reifenaufstandsflächen (s. Abb. 6) zweier unterschiedlich breiter Reifen zeigt sich, dass die Flächen zwar gleich groß sind, jedoch eine andere Form aufweisen. Die des breiteren Reifens ist breiter und kürzer, wodurch sich auch der Hebelarm (f) verkürzt, über den der Reifen abrollt. Zusätzlich besitzen breitere Reifen auch einen größeren Durchmesser bzw. Radius (r), die eine kleiner werdende Abrollwiderstandszahl ($kR = f / r$) bedingen.

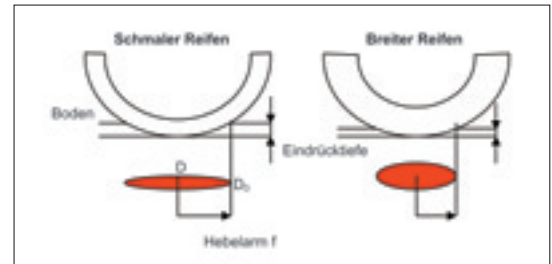


Abb. 6:
Reifenaufstandsfläche von Fahrradreifen (modifiziert nach
GRESSMANN 2002).

Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse kann eine beachtliche Differenz von über 50 Watt zwischen einem breiten Reifen mit 1,5 bar Reifenluftdruck und einem schmalen mit 4,0 bar befüllten Reifen entstehen (s. Abb. 5). Die Untersuchungen belegen außerdem, dass die Messungen auf dem Rollenprüfstand des Testlabors nicht ausreichen, die Eigenschaften eines Mountainbikereifens hinsichtlich des Rollwiderstandes im Gelände zu beurteilen. Alle drei untersuchten Einflussfaktoren (Reifenluftdruck, Reifenprofil, Reifenbreite) zeigen im Gelände eine andere Wirkung.

Empfehlungen für die Praxis

Auf festem, ebenem Untergrund, wie z.B. auf „Straße“, spricht ein hoher Reifenluftdruck für die Reduzierung des Rollwiderstandes. Allerdings weist GRESSMANN (2002, 49) darauf hin, dass sich ab einem gewissen Reifenluftdruck der Rollwiderstand nicht mehr verringert, jedoch im Gegenzug der Komfort drastisch nachlässt. Das zu empfehlende Reifenprofil sollte einen hohen Positivanteil des Profils auf der Lauffläche besitzen. Dieses Merkmal ist durch einen geringen Stollenabstand oder im Idealfall einen durchgehenden Mittelsteg gekennzeichnet. Die Reifenbreite hat auf festem Untergrund aus konstruktionsbedingten Gründen keinen nachweisbaren Einfluss. Da in der Praxis neben der Minimierung der Rollwiderstandsleistung auch der Komfort eine wichtige Komponente ist, sollte deshalb den breiteren Modellen der Vorzug gegeben werden (vgl. SPANGENBERG 2002, 60).

Fazit: Die optimale Reifen-/Reifenluftdruckempfehlung für feste, ebene Böden ist demnach ein breiter Reifen mit hohem Positivanteil des Profils und hohem Reifenluftdruck.

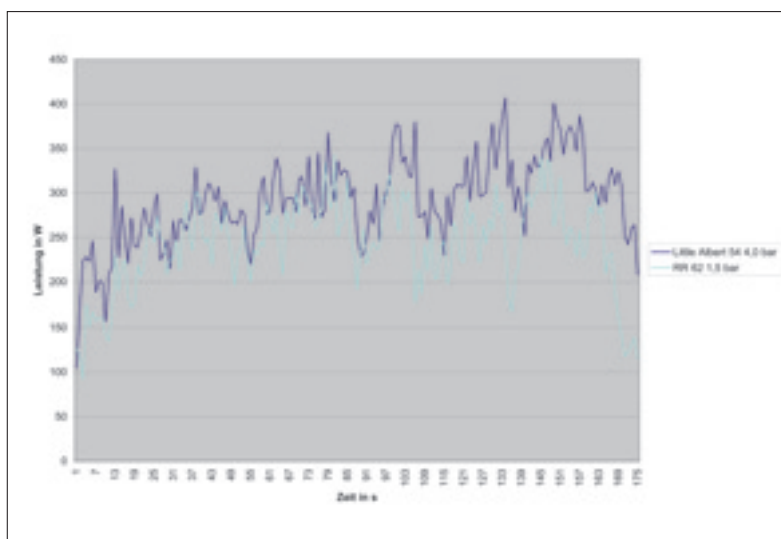
Zur Minimierung des Rollwiderstandes im Gelände sollte der Reifenluftdruck abgesenkt werden. Selbst auf Schotter, mit nur geringen Bodenunebenheiten, bewirkt eine Absenkung des Reifenluftdrucks bis zu einer Untergrenze von 2,0 bar deutlich messbare Vorteile. Mit zunehmender Rauheit des Untergrundes, wie z.B. auf „Wiese“, wird dieser Effekt noch verstärkt. Der zusätzliche Nebeneffekt eines geringen Reifenluftdrucks äußert sich durch verbesserte Traktion und eine Erhöhung des Komforts. Das für raue Untergründe ideale Reifenprofil sollte in erster Linie eine flexible Karkasse besitzen, wie sie in der Regel Semislicks aufweisen. Die Empfehlung zur Reifenbreite im Gelände geht eindeutig in Richtung der breiten Reifen, die weiterhin aufgrund ihres vergrößerten Volumens eine höhere Pannensicherheit gegen Durchschläge besitzen.

Fazit: Im Gelände sollte ein Reifen so breit wie möglich sein (Kompatibilität mit Rahmen und Gabel beachten) und eine möglichst flexible Karkasse besitzen (hier Semislick), der nur mit so viel Reifenluftdruck wie nötig (Durchschlagschutz) gefahren wird.

Im Hinblick auf den Renneinsatz bei Cross Country Wettkämpfen und Marathons mit einem nur geringen Anteil des Untergrundes Straße empfiehlt sich unbedingt ein geringer Reifenluftdruck in Verbindung mit einem breiten Reifen. Der oft kritisierte Aspekt des Mehrgewichts breiterer Reifen wird dabei allgemein am stärksten überschätzt, wie Tests zum Beschleunigungswiderstand (DEGER 1999) bestätigen. Bei der Beschleunigung eines Reifenpaares von 0 auf 25 km/h veranschlagte ein 500 g schwereres Reifenpaar nur 4,20 W an zusätzlicher Leistung. Dem gegenüber steht eine Einsparung von beispielsweise 15,41 W auf dem Untergrund „Wiese“, die ein breiter Reifen gegenüber einem schmalen Pendant ermöglicht. Zudem macht sich die Einsparung des Rollwiderstandes ständig und die des leichteren Gewichts nur bei einer Geschwindigkeitsänderung bemerkbar.

Bei längeren Fahrten mit einem hohem Asphaltanteil kann es sinnvoll sein, den Reifenluftdruck unterwegs den entsprechenden Bedingungen anzupassen. Jedoch ist der Mehraufwand des Rollwiderstandes, den man beim Fahren mit einem geringen Reifenluftdruck auf dem Untergrund Straße in Kauf nimmt, deutlich geringer als der beim Fahren mit einem hohen Luftdruck im Gelände.

Die tatsächlich im Gelände noch fahrbare Untergrenze des Reifenluftdrucks ist schwer zu bestimmen, da sie von vielerlei Faktoren beeinflusst wird. So spielen Fahrergewicht, Beschaffenheit des Untergrundes/Hindernisse, Felgenbreite, Reifenbreite und auch der Fahrstil eine große Rolle und müssen beim individuellen Setup eines Mountainbikes stets berücksichtigt werden. Um einen konkreten Wert zu beziffern, kann ein 60/62 mm breiter Reifen bei 70 kg Fahrergewicht im Gelände problemlos mit 1,7 bis 1,8 bar Reifenluftdruck betrieben wer-



den. Die Empfehlung für einen 57 mm breiten Reifen liegt bei 2,1 bis 2,3 bar.

Abb. 7: Leistungskurven zweier Reifen auf „Wiese“.

Untergrund	Reifenluftdruck	Reifenbreite	Reifenprofil
Straße	Hoch (4,0 bar)	Kein Einfluss	Reifen mit hohem Pannenschutz (Minibump bzw. geringer Distanzstand)
Wiese	Sehr niedrig (1,5 bar)	Breit (60/62 mm)	Reifen mit flexibler Karkasse (Semislick)
Schotter	Niedrig (2,0 bar)	Breit (60/62 mm)	Reifen mit flexibler Karkasse (Semislick)

Tab. 1: Optimale Reifen-/Reifenluftdruckkombination zur Minimierung des Rollwiderstandes.

Ausblick

Für künftige Untersuchungen zum Thema Rollwiderstand im Bereich Mountainbike gilt es zu klären, wie sich neue Systeme, so z.B. Tubeless-Bereifungen oder auch Latexschläuche, auf die Rollwiderstandseigenschaften auswirken. Des Weiteren könnte der gleiche Testaufbau auch auf den Straßenradsport übertragen werden, da es hier ebenfalls Klärungsbedarf aufgrund verschiedener Asphaltbeschaffenheiten, Reifenbreiten und Reifenluftdrücken gibt, und eine ausführliche Untersuchung in dieser Hinsicht noch nicht stattgefunden hat.

Literatur bei den Autoren.



Peter NILGES, geb. 1978, ist seit 13 Jahren aktiver Radrennfahrer und nimmt an Mountainbikerennen (MTB A-Lizenz) teil. Er arbeitet als Fahrtechniktrainer in Deutschlands größter Mountainbikeschule „bikeride“ und realisierte das Projekt „Rollwiderstand beim Mountainbiken“ als Diplomarbeit.

E-Mail: schmidt@dshs-koeln.de