



# BIG APPLE

Studie der Deutschen Sporthochschule Köln  
Projekt-WELLCOM  
&  
Fa. Bohle GmbH

Titel der Studie:

**„Vergleich von Fahrradreifen  
unterschiedlicher Bauart  
in Bezug auf die Schwingungsdämpfung  
bei Radfahrern“**

## **Inhalt:**

1 Einleitung	Seite
1.1 <i>Schwingungsbelastung beim Menschen</i>	4
1.2 <i>Schwingungsbelastung beim Radfahren</i>	5
1.3 <i>Effektivität von Federungssystemen</i>	6
1.4 <i>Ziele der Untersuchung</i>	7
2 Methode	8
2.1 <i>Mobile Beschleunigungsmessung</i>	8
2.2 <i>Mobile Leistungsmessung</i>	9
2.3 <i>Teststrecken</i>	9
2.3.1 <i>Indoor Teststrecke</i>	9
2.3.2 <i>Outdoor Teststrecken</i>	9
2.4 <i>Material</i>	10
2.4.1 <i>Fahrräder</i>	10
2.4.2 <i>Reifen</i>	11
2.5 <i>Probanden</i>	11
2.6 <i>Durchführung</i>	11
2.7 <i>Auswertungsroutine</i>	12
3 Ergebnisse	13
3.1 <i>Dämpfungseffekte der Reifen</i>	13
3.2 <i>Dämpfungseffekte der Reifen bei zusätzlicher Federung</i>	16
3.3 <i>Leistungsmessung</i>	19

4 Diskussion	21
4.1 Methode	21
4.2 Ergebnisse	21
4.3 Ausblick	22

## Anhang

- Datentabellen und Grafiken
- Präsentation
- CD mit allen Unterlagen und Fotos

# 1 Einleitung

„*Theorie und Praxis gehören zusammen!*“ Diese Maxime des Projekt-WELLCOM unter Leitung von Prof. Dr. Ingo Froböse zeigt sich besonders in der Zusammenarbeit von Universität und Wirtschaft. Grundlegende Forschungen fließen mit dem praktischen Know-how von Herstellern zusammen. Gerade in der Kooperation der Fa. Bohle und der Deutschen Sporthochschule Köln / Projekt-WELLCOM zeigen sich die Stärken beider Institutionen.

## 1.1 *Schwingungsbelastung beim Menschen*

Vibrationen und Stöße stellen für den menschlichen Organismus eine nicht zu unterschätzende Belastung dar, wie es der Arbeitswissenschaft seit langem bekannt ist. So definiert die ISO 2631 die aus den Vibrationen und Stößen resultierte Schwingungsbelastung an Arbeitsplätzen (z.B. LKW-Fahrer) zum Schutz der Arbeitnehmer. Sie unterscheiden dabei in Beeinträchtigungen im Sinne des Wohlbefindens (schwache Schwingungen) und der Leistungsfähigkeit und der Gesundheit (starke Schwingungen). Diese Einschränkungen treten auf, wenn sich Menschen für eine bestimmte definierte Zeit einer Schwingungsbelastung aussetzen. Entsprechende negative Erscheinungen lassen sich dabei sowohl bei kurzzeitigen Einwirkungen aber auch bei länger andauernden Einwirkungen feststellen.

Die menschlichen Reaktionen bzw. Reaktionsweisen auf derartige Belastungen sind sehr unterschiedlich, wobei sich allerdings einige Gemeinsamkeiten festhalten lassen. Dadurch wird die Muskulatur entsprechend den Anforderungen aktiv nachreguliert. Bei stochastischen Signalen, die nicht oder nur bedingt vorhersehbar sind, ist eine zusätzliche ausgleichende Muskelarbeit nicht mehr möglich. In solchen Situationen verspannt sich die Muskulatur andauernd statisch, um so den Einfluß des Schwingungsverhaltens zu reduzieren. Die mangelnde Vorhersehbarkeit bedingt auch fehlende muskuläre Erholungspausen, so daß stochastische Einflüsse auch subjektiv als unangenehmer empfunden werden.

Auch auf das Herz-Kreislauf-System haben Vibrationen und Stöße einen nicht zu unterschätzenden Einfluß. So kann sich eine Erhöhung der Herzfrequenz, des Blutdrucks und ein vermehrter Sauerstoffverbrauch ergeben. Ebenso kann kurzfristig auch die periphere Durchblutung eingeschränkt sein. Der menschliche Organismus ist zwar ein sich selbstregulierendes, aktiv veränderbares und damit zeitvariantes Schwingungssystem, welches sich durch Lernen bei vorhersehbaren Impulsen bzw. durch statische Muskelarbeit bei

stochastischen Signalen auf die Vibrationen und Stöße einstellen kann, dennoch zeigen Experimente, daß sich aus diesen Faktoren auch langfristig negative Erscheinungen ergeben können. Dies basiert im wesentlichen auf der sog. Schaden-Summations-Hypothese (bekannt aus der Werkstoffprüfung), die den Organismus über eine längere Zeit auch bei kleineren Belastungen beeinflussen kann. Dabei zeigen sich sowohl Veränderungen an der Muskulatur und dem Gelenkknorpel als auch Alterungserscheinungen an den Knochenstrukturen. Es finden sich beispielsweise Studien, die zeigen konnten, daß Menschen, die weniger Schwingungen / Vibrationen ausgesetzt sind, deutlich weniger pathologische Befunde im Bereich der Wirbelsäule aufzeigen.

## *1.2 Schwingungsbelastungen beim Radfahren*

Nicht nur im Beruf ist der menschliche Organismus Vibrationen und Stößen ausgesetzt, sondern auch in der Freizeit und besonders bei langdauernden Radtouren lassen sich recht große Umfänge an derartigen Belastungen aufzeigen. Dabei spielt natürlich die Beschaffenheit des Untergrundes, die Fahrgeschwindigkeit sowie das Material eine große Rolle. Die sog. Erschütterungen bemerkt man vor allem an den Händen und am Rücken, wo eine relativ schwache muskuläre Absicherung die Schläge kaum ausreichend abfangen kann. Beim Radfahren treten vor allem Frequenzgemische zwischen 5 und 25 Hz auf, was allerdings niedrigere und höhere Frequenzen nicht ausschließt. Besonders bei Fahrten auf Kopfsteinpflaster- oder Schotterwegen treten weitaus höhere Frequenzen auf.

Der Körper reagiert beim Radfahren auf Vibrationen und Stöße entweder mit einer zunehmenden statischen Muskelarbeit, die einen erhöhten Energiebedarf nach sich zieht oder aber mit einer meist reflektorischen dynamischen Muskelreaktion. Beide Arbeitsweisen beanspruchen die muskuläre Energie und die Gesamtenergiebilanz des Körpers nicht unerheblich, besonders wenn man diese auch noch im Zusammenhang mit weiteren Adaptationen (Herzfrequenzerhöhung, Reduktion peripherer Durchblutung) betrachtet. Dabei werden größere, einmalige Stoßbelastungen deutlich weniger als unangenehm empfunden als kontinuierliche Vibrationen, wie man sie z.B. auf der Straße findet. Dies hängt unter anderem mit der Sensibilität der körperlichen Sensoren (Rezeptoren) zusammen, die für die Empfindung des Menschen verantwortlich sind und den Körper zu entsprechenden Reaktionen veranlassen. Neben den muskulären Belastungen treten beim Radfahren Beanspruchungen des passiven Stütz- und Bewegungsapparates auf. Diese betreffen speziell die Gelenke und Knochen des Armes bis hin zum Schultergelenk sowie die Wirbelsäule.

Beide Regionen sind beim Radfahren die Verbindungsstellen / Kontaktstellen zum Rad, von dem die Schwingungen unmittelbar auf diese Regionen übertragen werden. Die Aufgabe der Muskulatur ist, diese Belastungen abzufedern. Der Mensch stellt somit ein recht ausgeklügeltes Federungssystem dar, dem es gelingt, die Beschleunigungen sukzessive zu reduzieren und nur noch geringe Belastungsspitzen bis zum Kopf durchzulassen. Dies führt dazu, dass die radfernen Körperteile weitaus geringer belastet werden als die radnahen Partien. Dennoch reicht häufig die Muskelarbeit nicht aus, die einlaufenden Erschütterungen abzufangen, so dass diese unmittelbar auf die Knochen, Gelenke oder auch Bandscheiben treffen, was langfristig durchaus zu ausgeprägten gesundheitlichen Problemen führen kann. Neben dem Hand-, Ellbogen- und Schultergelenk ist hier besonders der Bereich der Lendenwirbelsäule gefährdet, weil hier die externen Belastungen direkt einlaufen und die recht gering ausgeprägte Muskulatur sowie die in dieser Region nur geringe Anzahl an Sensoren, die die Muskulatur entsprechend einstellen kann, nicht wesentlich zu einer Reduktion beitragen können. Dadurch ergibt sich eine ständige, wenn auch zunächst kaum wahrnehmbare Belastung, die diese Regionen schädigen kann.

### *1.3 Effektivität von Federungssystemen*

Bisherige Untersuchungen an Mountainbikes konnten eine hohe Reduktion von Vibrationen durch Federungssysteme zeigen. Ein nicht zu unterschätzendes Dämpfungspotential konnte auch durch großvolumige Reifen gezeigt werden. In Zusammenarbeit mit der Zeitschrift BIKE wurde ein mit wenig Luft befüllter MTB-Reifen mit gefederten Sattelstützen verglichen. Dabei konnte der Reifen mit den Sattelstützen am Ende der Rangskala mithalten. In Fortführung an diesen Ansatz besteht ein Bedarf, eine systematische Untersuchung des Einflusses der Dämpfungseigenschaften von Fahrradreifen auf Schwingungsbelastungen durchzuführen.

In den letzten Jahren sind vollgefederte Fahrräder stark weiterentwickelt worden und werden immer häufiger verkauft. Allerdings ist die Wirkung bei billigen Systemen bzw. Fahrrädern in Frage zu stellen. Diese können sogar kontraproduktiv für Gesundheit und Wohlbefinden sein, da sich Schwingungen durch mangelhafte Systeme verstärken können. Besonders hier scheint eine Ergänzung durch das Dämpfungsvermögen von Fahrradreifen sinnvoll zu sein. Dieses wäre eine kostengünstige Möglichkeit sowohl den Komfort, als auch das Wohlbefinden des Radfahrers zu erhöhen. Die Möglichkeit einer Reifendämpfung ist insbesondere in den Bereichen MTB und Trekking/ Citybike interessant, da hier besonders große

Reifenquerschnitte gefahren werden können. Die Grundlagen der Studie beruhen auf der Schwingungsmessung an verschiedenen Referenzpunkten des menschlichen Körpers. Mit der Messung der Beschleunigung können die Belastungen an empfindlichen Körperstellen wie dem Rücken ermittelt werden.

#### *1.4 Ziele der Untersuchung*

Die Untersuchung soll sich mit dem Dämpfungsverhalten verschiedener Fahrradreifen im Bezug auf Schwingungsbelastungen von Radfahrern auseinandersetzen. Erkenntnisse aus dieser Untersuchung sollen dazu beitragen, gesundheitlich diskutierte Schädigungen durch Schwingungen zu reduzieren. Dazu sollen verschiedene Reifen der Fa. Bohle in unterschiedlichen Situationen getestet werden. Besondere Beachtung sollen folgende Aspekte finden:

- Untersuchung des Dämpfungsverhalten von Fahrradreifen unterschiedlicher Bauart der Fa. Bohle zur Reduktion von Schwingungsbelastungen beim Menschen:
- Quantifizierung eines Komfortgewinns durch Verwendung unterschiedlicher Reifen
- Untersuchung des idealen Reifenfülldrucks im Bezug auf Komfort und Schwingungsdämpfung

## 2 Methodik

Die gesamte Studie wurde mit einem aufwändigen Versuchsdesign durchgeführt. Um die Daten auf ihre Reliabilität zu prüfen, wurden die Messungen sowohl unter realistischen „Outdoorbedingungen“, als auch unter speziellen Bedingungen in einem eigens entwickelten Indoortestverfahren durchgeführt. Als Parameter für die Vibrationsbelastungen wurde die Beschleunigung gemessen. Die Leistung wurde direkt am Fahrrad gemessen.

### 2.1 Mobile Beschleunigungsmessung

Die Beschleunigung wurde mit einer mobilen Messanlage der Fa. REPO-Messtechnik durchgeführt. Die Anlage bestand aus insgesamt drei triaxialen Beschleunigungsaufnehmern. Sensor 1 befand sich am hinteren Ausfallende (wird als Messpunkt „Nabe“ bezeichnet). Der Sensor 2 wurde entweder am Rahmen in Position des Flaschenhalters, oder am Lenker befestigt. Um ein biodynamisches Signal messen zu können, wurde ein spezielles Sitzkissen an der Lendenwirbelsäule per Stretchgurt angebracht. Die großflächige Befestigung minimiert unerwünschte Resonanzen, sowie störende Eigenbewegungen. Die Messsensoren wurden mit Spannungsgebern verbunden. Die Signale sind mit einem TEAC Datenrekorder auf eine PCMCIA Speicherkarte gesichert worden. Spannungsgeber und Datenrekorder wurden in einem Daypack transportiert. Die Messanlage wurde mit einer Fernbedienung gesteuert, die am Tragegurt befestigt wurde.

*Abb. 1: Messanlage*





## *2.2 Mobile Leistungsmesung*

Die Leistung wurde mit dem SRM-Messsystem am Fahrrad gemessen. Dieses System wurde nur am Giant-Fahrrad eingesetzt. Dieses System misst mit Dehnmessstreifen die Leistung in der Tretkurbel. Mit einem speziellen Computer, genannt Powercontrol, wurden die Daten gespeichert. Das Powercontrol befindet sich am Lenker. Die Daten wurden anschließend in den PC eingelesen und ausgewertet.

## *2.3 Teststrecken*

Neben einem Test unter realen Bedingungen wurden die Tests auch in einer laborähnlichen Situation durchgeführt. In diesem eigens entwickelten Indoortest sollten störende Einflüsse, wie etwa Wind, Temperaturschwankungen und Veränderung der Strecke ausgeschlossen werden. Der Vergleich der Daten sollte mögliche Störeinflüsse oder Fehlerquellen erkennbar machen.

### *2.3.1 Indoor Teststrecke*

Für die Erzeugung von Stößen und Vibrationen wurden spezielle Platten aus Holz angefertigt. Diese erzeugen Schwingungssignale, die denen auf der Straße sehr ähnlich sind. Die Platten sind 2,1 Meter lang, 60 cm breit und 18 mm dick. Darauf wurden unterschiedlich dicke Rechteckleisten in verschiedenen Abständen angebracht. Es wurden drei Arten von Platten gebaut, die kleine, mittlere und große Stöße erzeugen sollten. Diese wurden nach Zufallsprinzip in einem Abstand von 4 Metern hintereinandergelegt, so dass sich bei 15 Platten eine Strecke von 90 m ergibt. Durch einen Wendekreis von 6 Metern wurde die Strecke in beide Richtungen befahren, so dass der Parcours eine Gesamtlänge von 200 Metern besaß. Die Geschwindigkeit betrug immer 15 km/h. Damit hatte das Signal immer eine Länge 55-60 Sekunden.

### *2.3.2 Outdoor Teststrecken*

Es wurden zwei Outdoorstrecken ausgewählt. Strecke 1 hatte einen recht ebenen Untergrund mit kleinen und regelmäßigen Pflastersteinen (daher „Plattenweg“ genannt). Diese Strecke befand sich unmittelbar am Stadion Köln Müngersdorf. Die zweite Strecke befand sich auf einem Parkplatz und hatte als Untergrund ein unregelmäßiges und grobes Kopfsteinpflaster. Beide Strecken waren frei von öffentlichem Straßenverkehr, so dass Sicherheit und Durchführung gewährleistet waren.

Abb. 2: Strecken Outdoor 2 (Kopfsteinpflaster) und Indoor



## 2.4 Material

### 2.4.1 Fahrräder

Es wurden Tests mit verschiedenen Fahrrädern durchgeführt. 2 Räder wurden mit der Reifengröße 26 Zoll (559mm) ausgerüstet, 4 Fahrräder mit der Reifengröße 28 Zoll (622mm). Die MTB's mit 26 Zoll Reifen waren Kalkhoff starr und Schauff frontgedert. Beim Schauff war eine RockShox Judy XC eingebaut.

Die Trekkingbikes in 28 Zoll waren das Giant starr, Idworx starr (und Umbau mit Federgabel und Federstütze), ein vollgedertes Kalkhoff und ein Prophete Fullsuspension.

Das Giant konnte als einziges Trekkingrad mit dem Big Apple 60-622 gefahren werden. Die anderen Räder dienten vor allem zur Bestimmung der Effektivität einer Zusatzfederung im Vergleich zum Big Apple.

Tab. 1: Details Testräder

Rad	Lauftradgröße	Reifen	Federung
Kalkhoff MTB	26"	47-559, 60-559	-
Schauff MTB	26"	47-559, 60-559	Federgabel RockShox Judy XC
Giant Trekking	28"	37-622, 50-622, 60-622	-
Idworx	28"	37-622, 50-622	-
Idworx	28"	37-622, 50-622	Federgabel Suntour, Point Federstütze
Kalkhoff Fully	28"	37-622, 50-622	vollgedert
Prophete Fully	28"	37-622	vollgedert

## 2.4.2 Reifen

Getestet wurden Reifen der Fa. Bohle der Marke Schwalbe. Als Referenz diente das meistverkaufte Modell Typ Marathon (abgekürzt MA). Dieser wurde in 37-622 und 47-559 getestet. Dazu wurden Modelle vom Typ Big Apple (Abk. BA) in 50-622, 60-622 und 60-559 verglichen. Je nach Reifen wurden drei Luftdrücke vorgegeben. Diese orientierten sich an den Rollwiderstandswerten. Zum Beispiel haben ein BA 60 mit 1,5 bar einen vergleichbaren Rollwiderstand wie ein MA 37 mit 3 bar.

Tab. 2: Details Reifen und Luftdrücke

Rad	Reifen	Größe	Luftdruck in bar		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
MTB	BA	60-559	1,5	2	3
MTB	MA	47-559	2	3	4
Trekking	BA	60-622	1,5	2	3
Trekking	BA	50-622	2	3	4
Trekking	BA	37-622	3	4	5

## 2.5 Probanden

Die Probanden wurden nach dem Körpergewicht ausgewählt. Proband A wog 70 kg und Proband B 90 kg. Es wurde beim Indoortest mit zwei Probanden getestet. Beim Outdoortest nur mit dem 90 kg Fahrer. Beide Probanden waren männlich und gut trainierte Sportstudenten.

Tab. 3: Details Probanden

Proband	Gewicht	Größe	Alter	Geschlecht
A	70 kg	1,75 m	25 Jahre	männlich
B	90 kg	1,83 m	28 Jahre	männlich

## 2.6 Durchführung

Nach Aufbau der Messanlage und Kennzeichnung des Parcours, wurden den Probanden Ihre Aufgaben erklärt. Die Geschwindigkeit sollte nach Möglichkeit konstant gehalten werden.

Die Geschwindigkeit war auf der Indoorstrecke immer 15 km/h und im Outdoortest 18 km/h. Diese wurde von den Fahrern per Fahrradcomputer kontrolliert und vom Testleiter per Stoppuhr. Ebenfalls sollte die markierte Fahrlinie beibehalten werden. Die gesamte Strecke wurde immer im Sitzen und im gleichen Gang durchgeführt. Nach Wechsel von Luftdruck, Reifen oder Rad folgte ein neuer Testlauf. Die Untersuchungen fanden an mehreren Tagen im Januar und Februar 2002 statt.

## *2.7 Auswertung*

Die Beschleunigungsdaten wurden mit dem PC ausgewertet. Dazu wurden die Rohdaten in Mittelwerte umgerechnet. Dieser sog. RMS (root mean square = Wurzel aus dem quadrierten Mittelwert) ist ein Standardverfahren zur Beschreibung von Schwingungen und hat die Einheit G (gravity = Erdanziehung,  $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Eine anschließende Betrachtung der RMS für die verschiedenen Messpunkte und Fahrräder erfolgte über Analyse mittels Pivot-Datentabellen. Mit diesen können alle Parameter verglichen und berechnet werden. Entsprechende Grafiken wurden für eine bessere Vorstellung parallel dazu erzeugt.

### 3 Ergebnisse

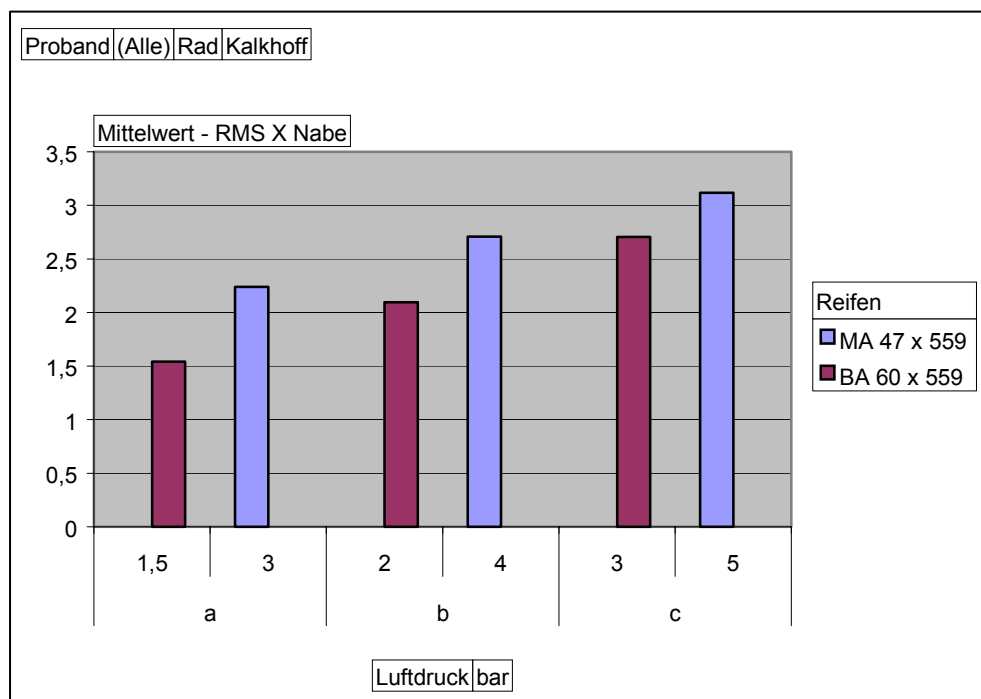
In diesem Abschnitt sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Weiterführende Ergebnisse sind im Anhang zu finden.

#### 3.1 Dämpfungseffekte am Reifen

Diese Ergebnisse zeigen den reinen Vergleich des Big Apple zum Marathon bei verschiedenen Luftdrücken und Bedingungen.

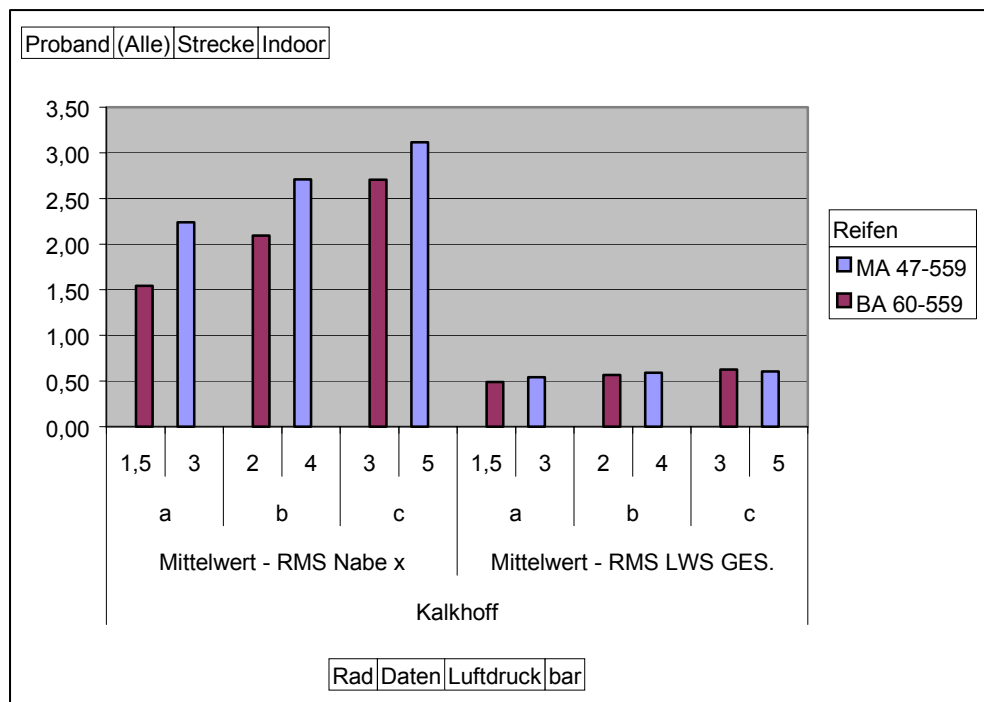
Es kann festgestellt werden, dass mit wachsendem Luftdruck die Beschleunigungen steigen. Dieses findet sich bei allen Messungen an der Nabe. Zudem wurden beim Big Apple immer geringere Beschleunigungen gemessen, als beim Marathon mit vergleichbarem Luftdruck. Dieser Wert variiert an der Nabe allerdings je nach Fahrrad, Reifen und Bedingung zwischen 9 % und 41 %.

Abb. 3 : Vergleich RMS Big Apple – Marathon, starres Rad, Nabe



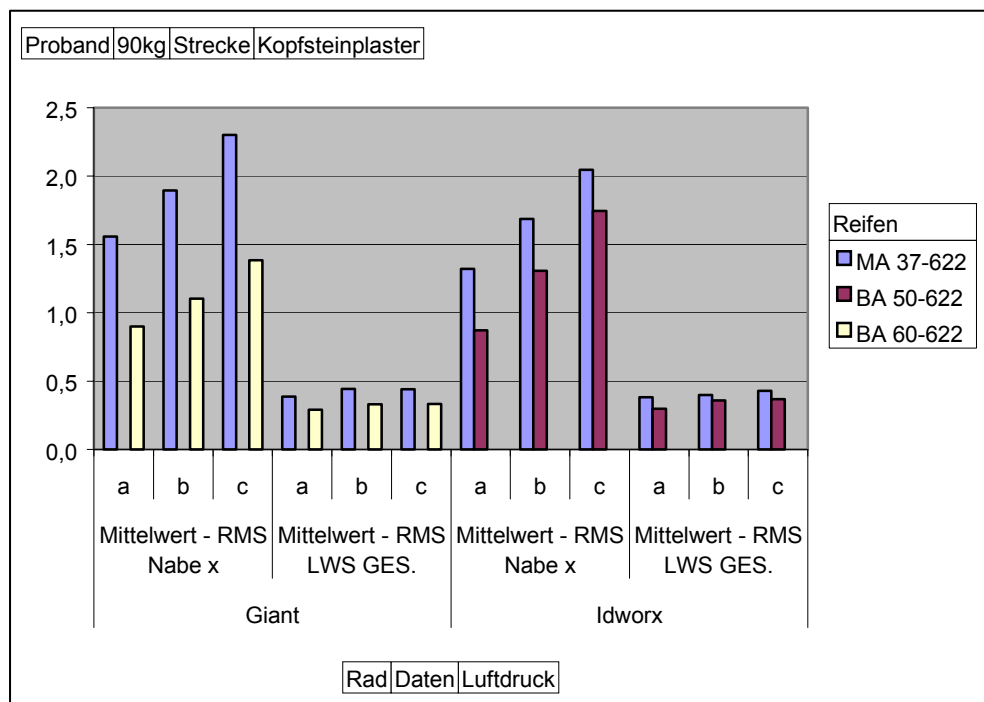
Die Effektivität der Dämpfung ist an der LWS wesentlich geringer als an der Nabe. Liegen Beschleunigungen an der Nabe zwischen 1,5 bis 3 g, so liegen die LWS-Werte nur um 0,5 g. Die Reduktion der Beschleunigung durch Big Apple beträgt bis zu 26 % an der LWS.

Abb. 4 : Beschleunigungen an Fahrrad und LWS



Allerdings gibt es auch Unterschiede zwischen den Fahrrädern.

Abb. 5: Vergleich Beschleunigung verschiedene Räder

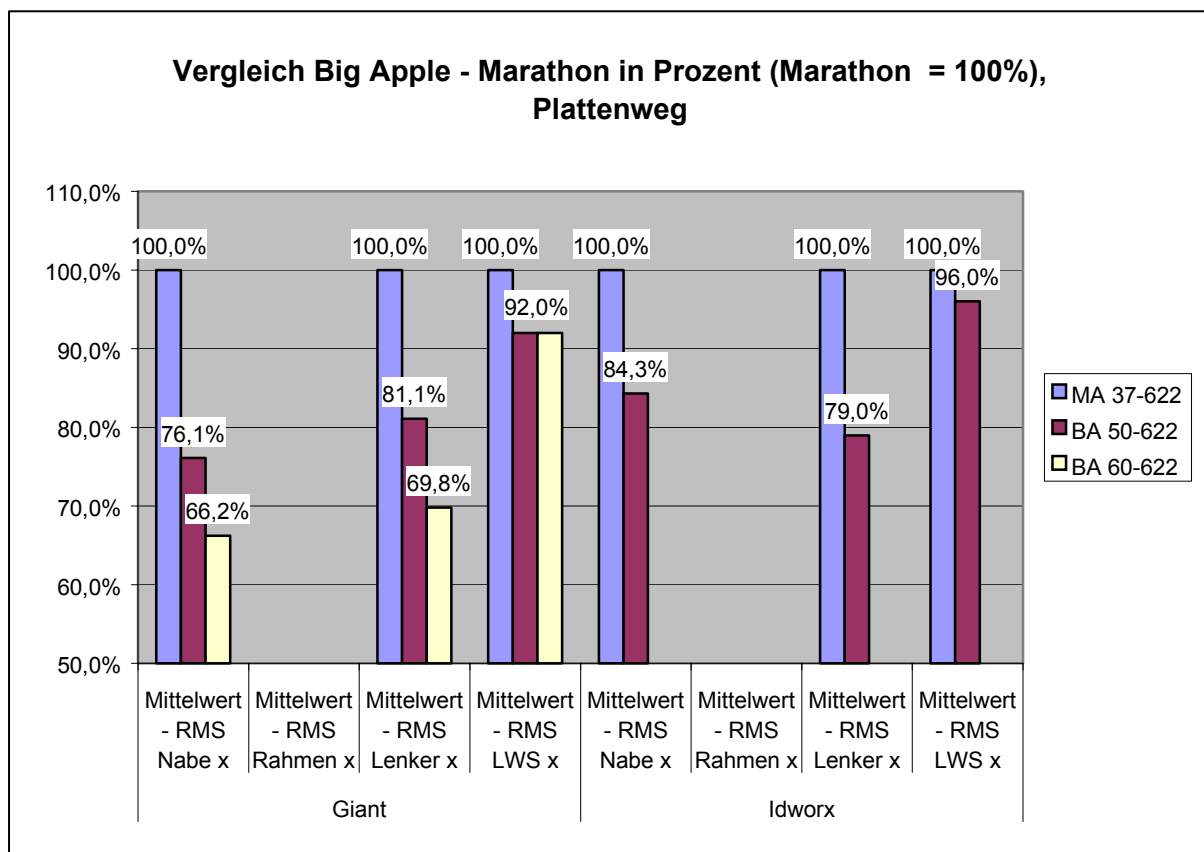


Am Beispiel von Giant und Idworx, die beide mit einem 37-622 gemessen wurden, kann man die geringeren Beschleunigungen am Idworx erkennen.

Eine Reduktion durch den Big Apple (einmal 50-622, einmal 60-622) ist in beiden Fällen festzustellen. Die Reduktion mit dem BA 60-622 beim Giant ist aber mit -41 % an der Nabe und -26 % an der LWS wesentlich höher als das Idworx mit BA 50-622. Dieser reduziert gegenüber Marathon um 22 % an der Nabe und 14 % an der LWS.

Auf einem anderen Untergrund unterscheiden sich die prozentualen Werte wiederum sehr stark. So wurde bei Giant und Idworx auf dem Plattenweg eine geringere Effektivität der Dämpfung gemessen. Diese liegt beim Giant an der Nabe zwischen 24 und 34 % (BA 50, BA 60) und an der LWS bei 8 %. Das Idworx hat an der Nabe mit dem BA 50 16 % geringere Werte und an der LWS 4 % weniger als mit dem Marathon.

Abb. 6: Dämpfung auf Plattenweg, Vergleich Giant – Idworx



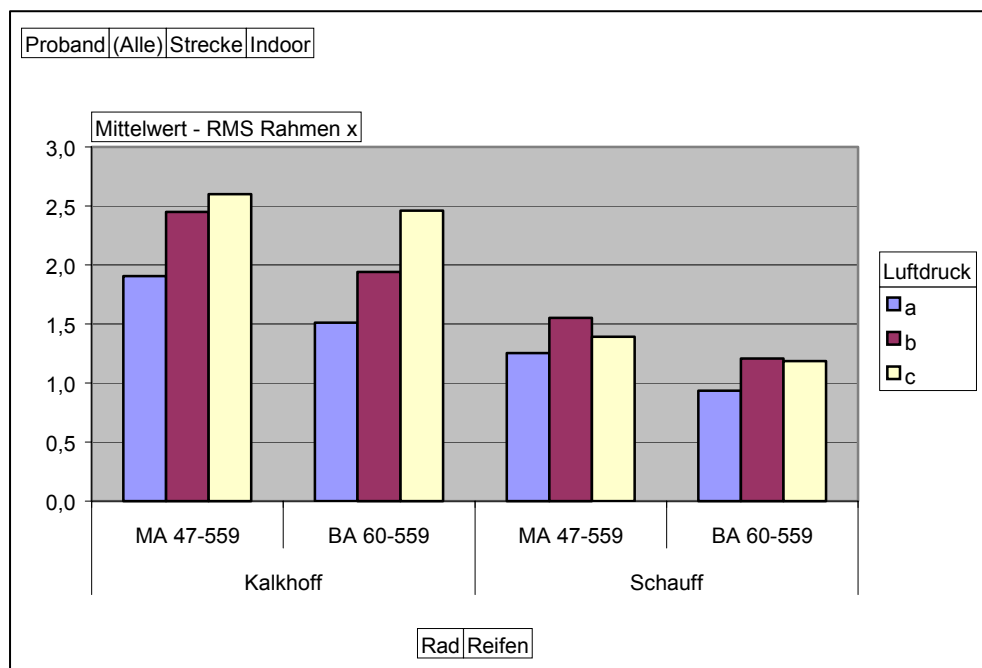
Insgesamt zeigt sich der BA in beiden Versionen als effektiv, um Beschleunigungen am Fahrrad zu reduzieren. Die Wirkung auf den Menschen ist allerdings wesentlich geringer. Der BA 60 hat eine etwas höhere Effektivität als der BA 50. Die Beschleunigungswerte variieren

auch in Abhängigkeit von Proband und Untergrund. Dennoch zeigt sich einheitlich eine Reduktion durch den Big Apple.

### 3.2 Dämpfungseffekte bei zusätzlicher Federung

Im einfachen Fall kann man das Kalkhoff MTB mit dem Schauff Hardtail vergleichen, bei den nur die Front gefedert war. Es ist zu erkennen, dass die Federung die Erschütterungen reduziert, aber auch der Big Apple.

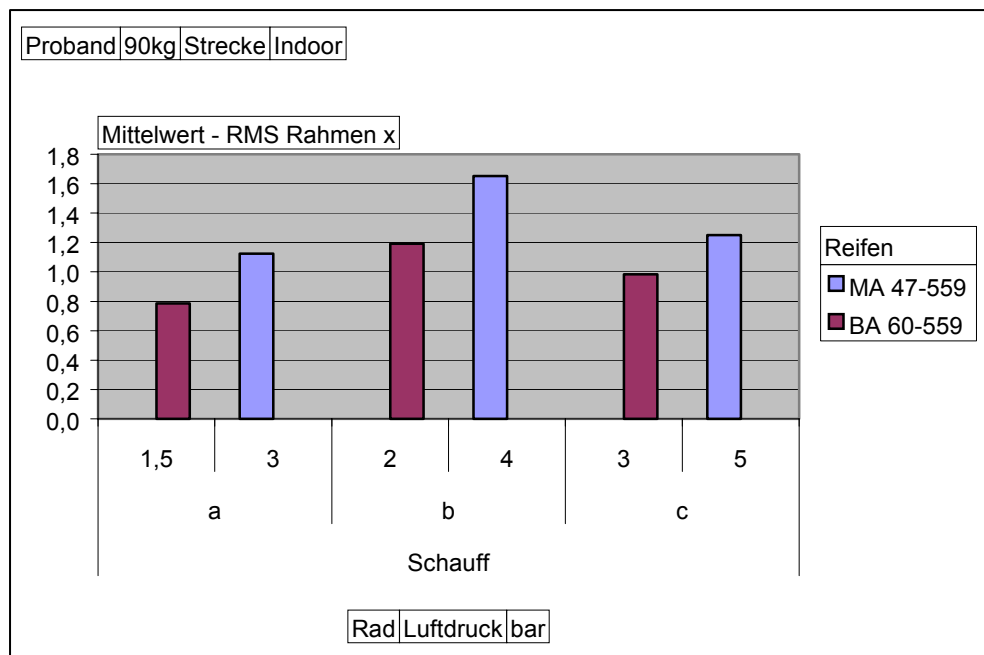
Abb. 7: Vergleich Big Apple mit Marathon bei zusätzlicher Frontfederung



Ist der Luftdruck besonders hoch und der Proband schwer, so entstehen mit einem höheren Luftdruck bei Marathon und Big Apple sogar geringere Beschleunigungen. Dieses Phänomen wird in der Diskussion noch diskutiert.

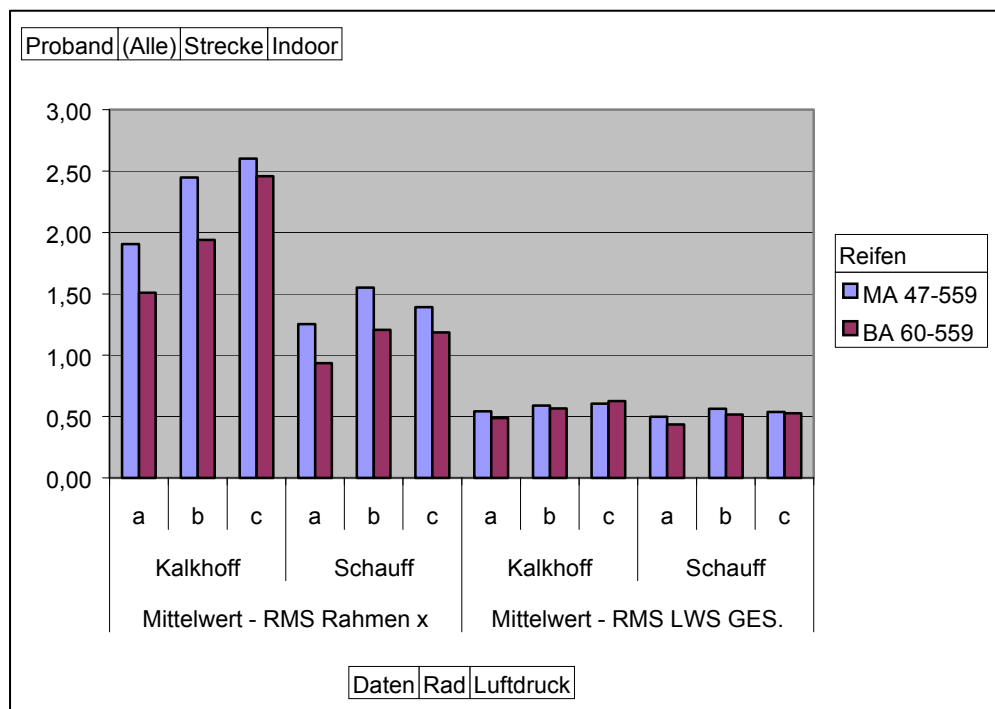


Abb. 8 : Beschleunigung bei Frontfederung und schwerem Probanden, BA und MA



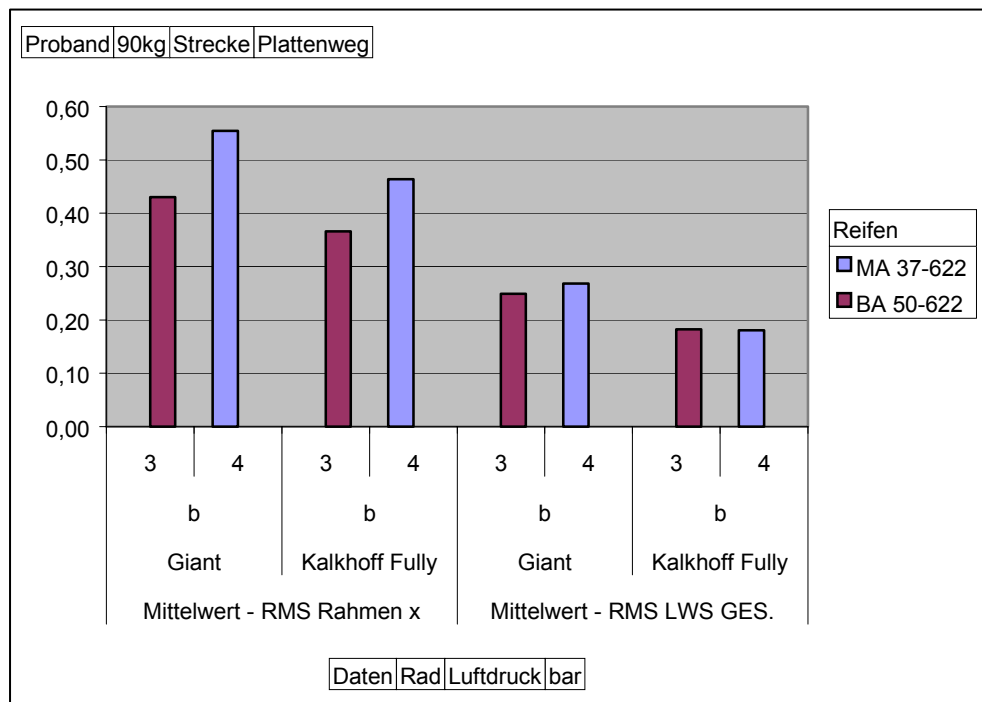
Der sehr große Dämpfungseffekt der Federung von Gabel und Reifen am Fahrrad ist an der LWS nicht mehr zu spüren.

Abb. 9: Dämpfung an Rad und LWS, mit und ohne Federgabel



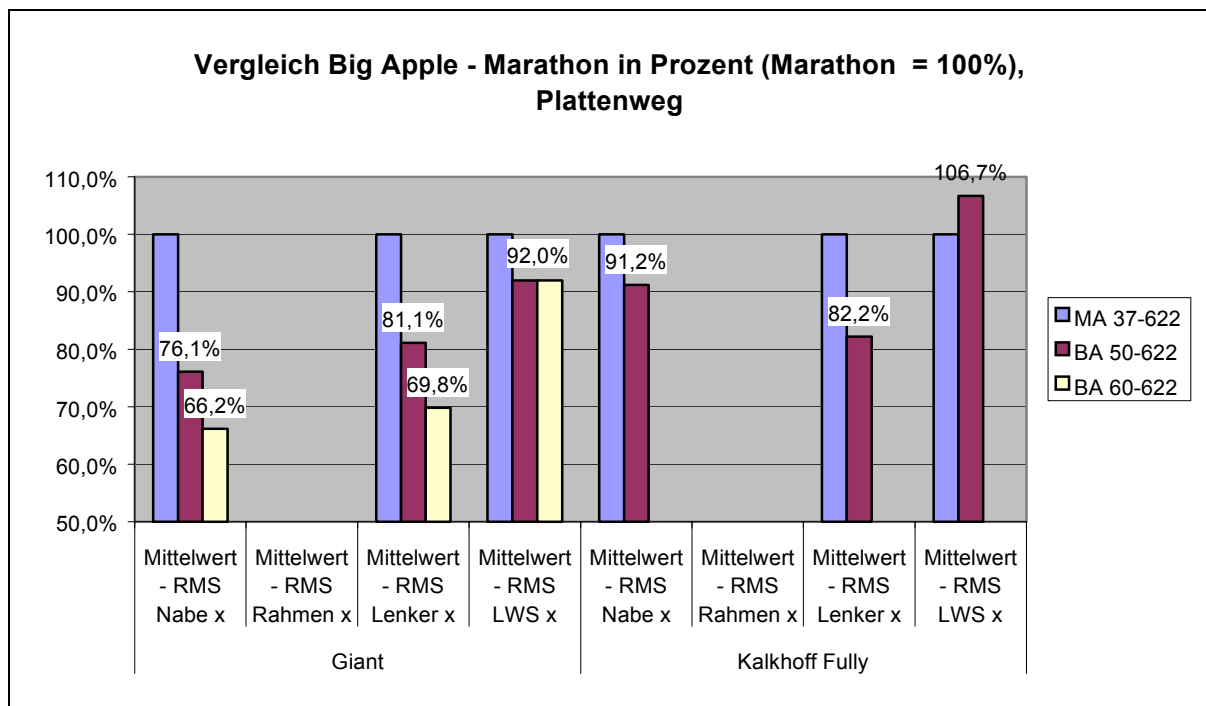
Ähnlich verhält es sich auch bei einer Vollfederung. Die Reduktion der Beschleunigung ist am Rad wesentlich größer, als an der LWS. Ein zusätzlicher Dämpfungseffekt beim Fully ist nur am Rad, nicht aber an der LWS zu erkennen. Bei dem ungefederten Rad ist die Dämpfung durch den Big Apple auch an der LWS vorhanden.

Abb. 10: Big Apple bei Vollfederung, Rad und LWS



Die Höhe der Effektivität durch den Big Apple ist am ungefederten Rad mit bis zu -34 % geringeren Beschleunigungen wesentlich geringer als beim Fully mit nur 9 % an der Nabe. An der LWS ist mit dem Big Apple gegenüber dem Marathon beim Giant eine Reduktion um 8 % zu verzeichnen. Beim Kalkhoff sind die Werte mit dem breiten Reifen sogar höher als mit dem Marathon.

Abb. 11: Effektivität Vollfederung und Big Apple

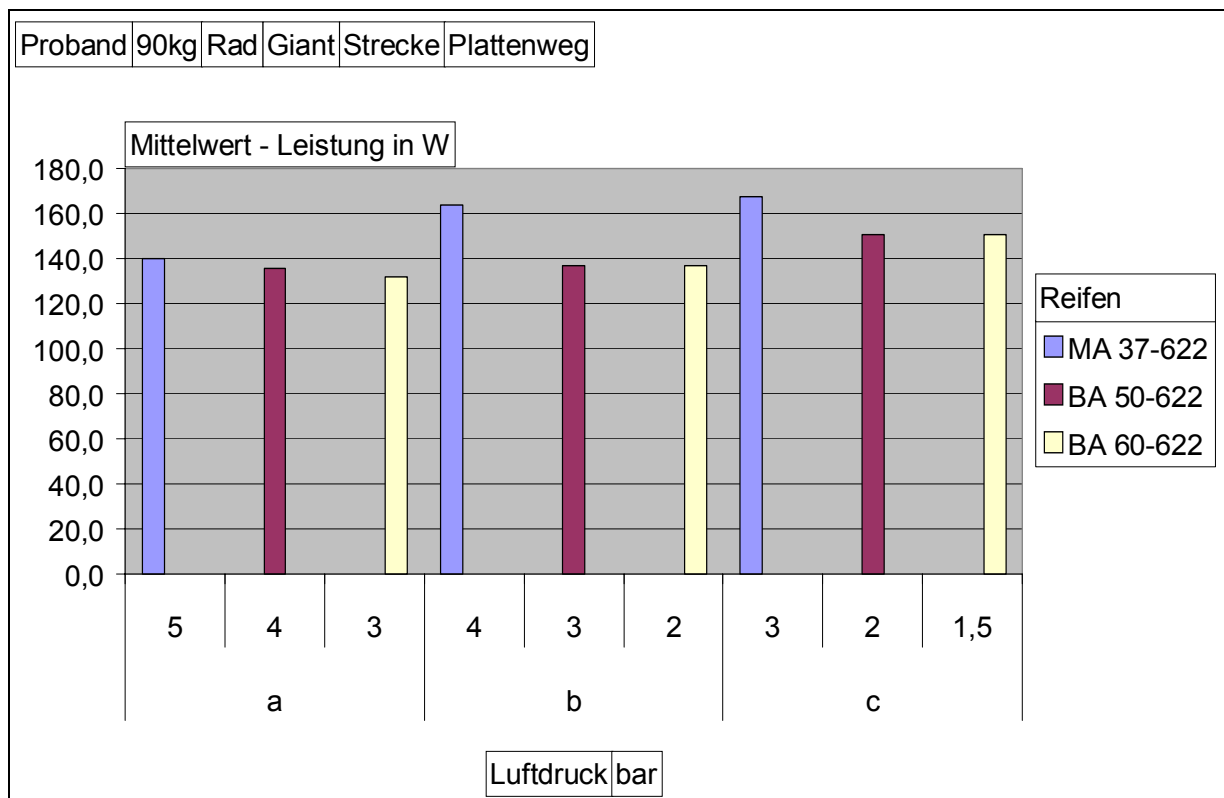


Zusammenfassend kann man sagen, dass der Big Apple auch bei einer Federung am Fahrrad die Vibrationen reduziert. Die Effektivität hängt allerdings von vielen Faktoren, wie die Funktion der Zusatzfederung, das Gewicht des Probanden und der Strecke ab.

### 3.3 Leistungsmessung

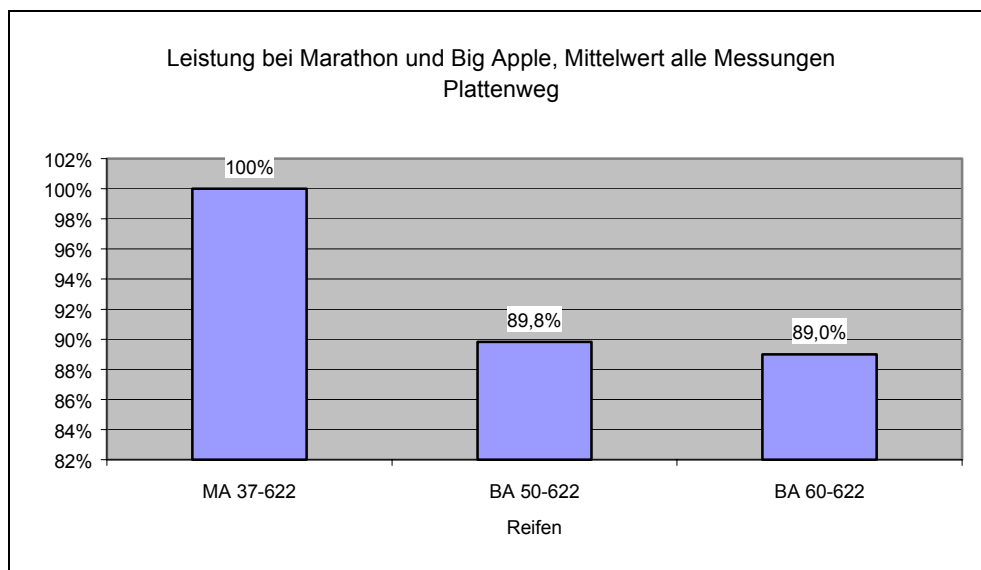
Die Leistungsmessung mit dem Giant ergibt, dass je höher der Luftdruck ist, desto geringer ist die zu erbringende Leistung. Ein relativ wenig befüllter Marathon benötigt auf dem Plattenweg die höchste Leistung (3 und 4 bar).

Abb. 12: Leistung bei verschiedenen Reifen und Luftdrücken



Insgesamt kann man eine Reduktion mit den BA 50 und 60 bis zu 11 % in der Leistung erkennen.

Abb. 13: Leistung bei Big Apple gegenüber Marathon



## 4 Diskussion

### 4.1 Methode

Das Messequipment zeigte sich sehr zuverlässig, sowohl die Beschleunigungsmessanlage, als auch das SRM-System zeigten keine Ausfälle. Die gesamte Testreihe war für die Fragestellung aufwändig konzipiert. Zum einen durch die Entwicklung des Indoortestparcours und zum anderen durch die Menge der verschiedenen Fahrräder. Durch die fehlende Kompatibilität von Rahmen und Laufrädern ergab sich ebenfalls ein erheblicher Mehraufwand. Es zeigte sich zudem in den Messungen, dass die verschiedenen Fahrradmodelle unterschiedliche Beschleunigungen erzeugten. Dieses kann in der unterschiedlichen Dämpfungseigenschaften von Material und Konstruktion der Räder abhängig sein. Eine weitere Ursache könnte in der variierenden Sitzposition begründet sein, da dadurch die Lastenverteilung nicht gleich gehalten werden konnte. Die Probanden konnten die Testreihen ohne Probleme durchführen. Allerdings ist bei starken Stößen ein Unwohlsein zu verspüren, so dass sich bei einer anderen Probandenwahl möglicherweise stärkere Vibrationen nicht getestet werden könnten. Die Reaktion von weniger trainierten Probanden auf die Erschütterungen wäre zudem sehr interessant.

### 4.2 Ergebnisse

Das ein Reifen mit weniger Luft besser die Vibrationen dämpft, ist schon seit Erfindung des Luftreifens ein Faktum. Allerdings war bisher die Frage, wie groß die Effektivität der Dämpfung von verschiedenen Reifen und Luftdrücken ist. Es konnte gezeigt werden, dass die Effektivität sehr stark abhängig von verschiedenen Bedingungen ist. Erstaunlicherweise liegt die Effektivität einer Reifendämpfung in der Größe von Federungen. Dieses Phänomen kann am Big Apple gut erklärt werden, da hier theoretisch ein maximaler Federweg vorhanden ist, wie bei vielen Federungen. An Beispiel des Schauff Hardtail kann man erkennen, dass erst ein hoher Luftdruck, verbunden mit einem schweren Probanden zu einer geringeren Beschleunigung führt. Dieses ist ein Hinweis dafür, dass das Losbrechmoment einer Federung oft in einem hohen Bereich liegt. Im Fall des Schauff's konnte beim 70 kg Probanden keine besonders hohe Dämpfung festgestellt werden.

Bei allen Messungen konnte man feststellen, dass die Reduktion der Federungen am Fahrrad wesentlich höher liegt, als an der LWS. Dieses konnten auch andere Untersuchungen zeigen. Der Mensch scheint die Beschleunigung bis auf einen bestimmten Wert herunter zu dämpfen.

Daher ist auch zu erklären, warum bei einem gefederten Rad die prozentuale Reduktion geringer ist als bei einem starren Rad. Der Fahrer dämpft die höheren Beschleunigungen bei einem starren Rad mehr als bei einem gefederten, das einen Teil der Dämpfungsarbeit übernimmt. Dieses kann man an den z.T. erheblich geringen Werten am Fahrrad feststellen. Aus gesundheitlicher Sicht kann ein Reifen sehr gut Federungs- und Dämpfungsaufgaben mit übernehmen, wenn dieser mit wenig Luft befüllt ist. Effekte lassen sich schon bei relativ schmalen Reifen feststellen, jedoch steigt die Effektivität mit dem Reifenquerschnitt. Entgegen weitläufiger Meinung muss nicht einmal mehr Leistung mit einem breiten Reifen aufgebracht werden. Eine Grenze des Komforts setzen nur die Fahreigenschaften (z.B. in Kurven), sowie Defekte durch Durchschläge.

### *4.3 Ausblick*

Die Studie hat einige Fragen bezüglich der Dämpfungseigenschaften bei verschiedenen Reifen klären können. Allerdings stellt sich die Frage, ob auch untrainierte Personen in gleichem Maße auf die Erschütterungen reagieren können. Die trainierten Probanden könnten die Vibrationen auch durch vermehrte Muskelarbeit ausgeglichen haben. Eine weitere Frage stellt sich, wie das Dämpfungsverhalten unter Ermüdung funktioniert.

Auch im Strassenradrennsport ist die Dämpfung des Reifens eine Thema. Federungssysteme sind nicht auf die Resonanz gestoßen. Selbst bei extremen Straßenbelägen wird nur selten auf eine Federung zurückgegriffen. Es stellt sich mit der Verbreitung der Fitnessbikes die Frage nach schnellen und komfortablen Reifen.