

# Simulationsbasierte Parameterstudie zum Zusammenhang zwischen Rollgeräusch und Rollwiderstand von PKW-Reifen

Carsten Hoever<sup>1</sup>, Wolfgang Kropp<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chalmers University of Technology, SE-41926 Göteborg, Schweden, Email: carsten.hoever@chalmers.se

## Einleitung

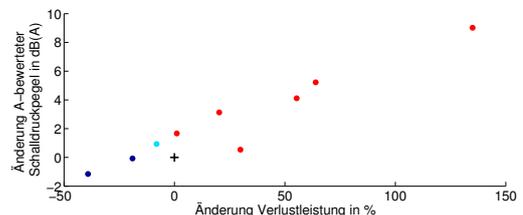
Im November 2012 tritt in der EU eine Kennzeichnungspflicht für neuverkaufte PKW-Reifen in Kraft, welche u.a. Angaben über Treibstoffeffizienz und Rollgeräusch des Reifens umfasst [1]. Ziel ist es, potentielle Käufer bei einer ökologisch und ökonomisch sinnvollen Reifenwahl zu unterstützen. Interessanterweise gibt es in der Literatur außer auf empirischen Daten basierenden Untersuchungen [2], wenig Informationen über den Zusammenhang zwischen Rollwiderstand und Schallentstehung. Das Ziel dieses Beitrages ist es, das theoretische Verständnis über die grundlegenden physikalischen Zusammenhänge zwischen den beiden Prozessen zu verbessern. Es wird untersucht, inwieweit eine gleichzeitige Reduzierung von Rollverlusten und Rollgeräusch möglich ist oder ob diese beiden Größen in einem Spannungsfeld zueinander stehen. Dazu wird ein auf der DAGA2011 vorgestelltes Modell [3] zur Berechnung der Strukturmechanik und des Rollwiderstandes eines rollenden PKW-Reifens optimiert und um ein Modul zur Schallabstrahlungsberechnung erweitert. In einer Parameterstudie wird untersucht, wie sowohl Rollwiderstand als auch Schallabstrahlung durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden.

## Modellierung

Das eingesetzte Modellierungsverfahren ist größtenteils zum letztjährig vorgestellten (siehe [3]) identisch. Als Basis dient das WFE-Modell eines unprofilierten 205/55R16 Reifens. Dabei wird ein Finite-Elemente-Ansatz über den Reifenquerschnitt mit einem Wellenansatz in Umfangsrichtung kombiniert. Für die Kontaktmodellierung wird ein nicht-lineares 3D-Modell benutzt, welches die gegenseitige Abhängigkeit von radialen Kontaktkräften und Reifenschwingungen berücksichtigt und Scans reeller Reifenprofile bzw. Straßenoberflächen als Eingangsdaten benutzt. Im Vergleich zum in [3] benutzten Modell wird das Kontaktproblem nicht mehr über einen elastischen Halbraumansatz gelöst, sondern über die Green'schen Funktionen des Reifens. Zudem erfolgt mittels Penalty-Federn eine Anpassung der Kontaktsteife an den Unterschied zwischen nomineller und reeller Kontaktfläche. Eine ausführliche Beschreibung des Reifen- und Kontaktmodells ist in [4] zu finden. Aufgrund des Prinzips der Energieerhaltung kann die Verlustleistung in Form der über den Kontakt eingespeisten Leistung berechnet werden. Zur Abstrahlungsberechnung kommt ein Halbraum-BEM-Verfahren zum Einsatz bei dem die Reflexion an der der Straßenoberfläche in den Green'schen Funktionen berücksichtigt ist, siehe [5]. Die Auswertung der Schallabstrahlung erfolgt als gemittelter Schall-

druck über 321 Punkte auf einer Halbkugel im Abstand von 1 m zum Kontaktpunkt Reifen-Fahrbahn. Ein A-bewerteter Gesamtschalldruckpegel wird basierend auf den Terzen 200 Hz bis 2000 Hz berechnet. Eine detaillierte Aufstellung der Modellierungs- und Materialparameter kann in [4] gefunden werden. Als Fahrgeschwindigkeit werden 50 km/h bei einer Achslast von 3415 N gewählt. Das Rauigkeitsprofil der Straße basiert auf einer gescannten ISO 10844 Oberfläche. Die Parameterstudie wurde aufgeteilt in eine Variation von reifenunabhängigen Parametern wie Geschwindigkeit, Achslast, Straßenoberfläche, usw. und eine Variation von Reifenparametern wie Masse, Masseverteilung, Steife, Vorspannung, Geometrie, usw. Insgesamt wurde für 51 Konfiguration der Rollwiderstand und zusätzlich für 32 davon das Rollgeräusch berechnet. Das beschriebene Modellierungsverfahren wurde in [4] validiert.

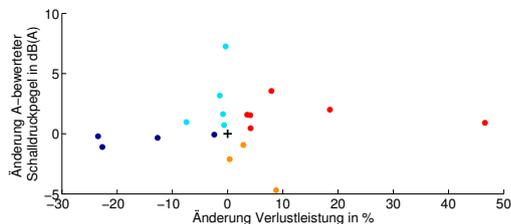
## Ergebnisse



**Abbildung 1:** Ergebnisse Parameterstudie für reifenunabhängige Parameter. + Ausgangskonfiguration. Farben identifizieren unterschiedliche Kombinationen von Ab-/Zunahme für Rollgeräusch/-widerstand.

Im Folgenden werden einige vorläufige Ergebnisse der Parameterstudie besprochen. Aus Platzgründen muss auf eine detaillierte Analyse verzichtet werden. Abbildungen 1 und 2 zeigen für alle Konfigurationen die Gesamtänderungen von Rollgeräusch und Rollwiderstand im Vergleich zur Ausgangskonfiguration. Für die reifenunabhängigen Parameter in Abb. 1 ergibt sich mit überwiegender Mehrheit eine Korrelation zwischen Rollgeräuschminderung bzw. -erhöhung und Ab- bzw. Zunahme des Rollwiderstandes. Bei Änderung der Reifenparameter ergibt sich ein inhomogeneres Bild, siehe Abb. 2. In der sich ergebenden „kreuzförmigen“ Verteilung basiert die horizontale Achse mit starker Änderung des Rollwiderstandes und geringer Änderung des Rollgeräusches ausschließlich auf Änderungen der Steife des Reifengürtels bzw. der Vorspannung. Die vertikale Achse mit starker Rollgeräusch-, aber schwacher Rollwiderstandsänderung enthält nur Konfigurationen, in denen die Masse bzw. die Masseverteilung des Reifens (per

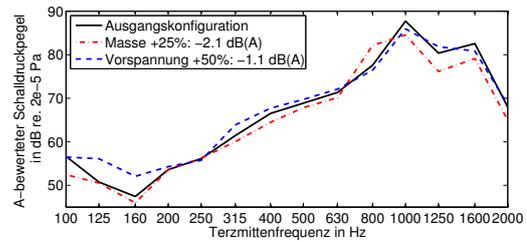
Änderung der Materialdichten) geändert wird. Als Beispiel wird für jeweils einen Vertreter der horizontalen und der vertikalen Achse ein detaillierter Vergleich des Rollgeräusches und des Rollverlustes mit den Werten der Standardkonfiguration durchgeführt, siehe Abbildungen 3 und 4. Für die Standardkonfiguration ergibt sich das erwartete Bild eines Rollgeräusches, welches von den Terzen 1 kHz bis 1,6 kHz dominiert wird, und eines von niedrigen Wellenordnungen in Umfangsrichtung geprägten Rollwiderstandes (vgl. [3]). Betrachtet man die Konfiguration, in der die Masse des Reifens global um 25 % erhöht wird, so ergibt sich keine relevante Änderung des Rollwiderstandes, jedoch eine Senkung des Schalldruckpegels um 2,1 dB(A). Wie in Abb. 3 ersichtlich, folgt dies hauptsächlich aus einer Absenkung des dominierenden Bereiches oberhalb 1 kHz. Für tiefere Frequenzen sind die Änderungen eher zu vernachlässigen bzw. es ergeben sich sogar Pegelerhöhungen. Für eine Erhöhung der Vorspannung um 50 % ergibt sich eine Reduzierung des Rollverlustes um 72 W, welche sich hauptsächlich in den Ordnungen < 10 vollzieht, siehe 4. Die Verteilung der Verluste zwischen den Ordnungen wird dabei mit Ausnahme der Ordnung 2 nicht wesentlich geändert. Weiterhin ergibt sich auch eine Reduzierung des Rollgeräusches um 1,1 dB(A); die Änderungen in den einzelnen Terzbändern sind dabei aber deutlich anders, als für den Fall der erhöhten Masse. Bis 630 Hz liegt der Pegel sogar über dem der Ausgangskonfiguration. Die Pegelreduktion kann weitestgehend einer Absenkung der Spitzen bei 1 kHz 1,6 kHz zugeordnet werden. Ein möglicher Erklärungsansatz wird in [4] geliefert, indem gezeigt wird dass die Abstrahlung eines Reifens oberhalb von etwa 1 kHz stark von niedrigen Wellenordnungen dominiert wird. Aufgrund der Ergebnisse für den Rollwiderstand kann für die Fall der erhöhten Vorspannung von einer reduzierten Anregung niedriger Moden ausgegangen werden; dies führt dann auch bei der Abstrahlung zu einer Absenkung der Pegel im beobachteten Bereich. Für den Fall der Masseerhöhung kann ein gleichwertiger Schluss nicht gezogen werden, vielmehr könnten Änderungen im Wellenfeld bzw. in der Abstrahleffizienz für die beobachtete Pegelreduktion verantwortlich sein.



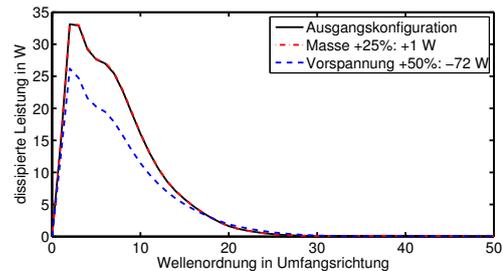
**Abbildung 2:** Ergebnisse Parameterstudie für reifenunabhängige Parameter. + Ausgangskonfiguration. Farben identifizieren unterschiedliche Kombinationen von Ab-/Zunahme für Rollgeräusch/-widerstand.

## Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Ergebnissen folgt, dass für Rollwiderstand und Rollgeräusch kein genereller Zielkonflikt erkennbar ist, vielmehr gibt es in vielen Fällen eine Korrelation der



**Abbildung 3:** Rollgeräusch in Terzbändern für Standardkonfiguration und zwei Varianten. Anmerkung: Gesamtpegel für Terzen 200 Hz bis 2000 Hz



**Abbildung 4:** Rollwiderstand per Umfangersordnung für Standardkonfiguration und zwei Varianten.

Größen. Die Parameterstudie deutet ein gleichzeitiges Optimierungspotential für beide Größen durch Modifikation bestimmter Reifenparameter an. Dabei könnten niedrige Wellenordnungen, welche sowohl den Rollwiderstand als auch die Abstrahlung im wichtigen Bereich oberhalb von 1 kHz dominieren, eine wichtige Rolle für beide Prozesse spielen. Es ist zu beachten, dass bei dieser Untersuchung gezielt einzelne Parameter beeinflusst werden konnten, inwieweit die in der Praxis weitaus häufigere Modifikation mehrerer Parameter zu unterschiedlichen Ergebnissen führt, müssen weitergehende Untersuchungen zeigen.

## Danksagung

Die hier vorgestellte Untersuchung wurde finanziell unterstützt durch das EU-Projekt *Green City Car*, SCP8-GA-2009-233764.

## Literatur

- [1] Regulation (EC) No 1222/2009. EC Official Journal L 342 (2009), 46–58
- [2] Sandberg, U., Ejsmont, J.A.: Noise emission, friction and rolling resistance of car tires. NOISE-CON 2000
- [3] Hoever et al.: Waveguide-Finite-Element basierte Parameterstudie zum Rollwiderstand von PKW-Reifen. DAGA 2011, 775–776
- [4] Sabiniarz, P.: Modelling the vibrations on a rolling tyre and their relation to exterior and interior noise. Diss., Chalmers Univ. of Techn., Göteborg, 2011
- [5] Kropp et al.: On the sound radiation of a rolling tyre. JSV 331 (2012), 1789–1805