

Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch

FA 3.293

Forschungsstelle: Müller BBM GmbH, Planegg
Bearbeiter: Beckenbauer, T. / Spiegler, P.
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
Abschluss: August 2001

1. Aufgabenstellung

Über gezielte Variationen der Oberflächentextur und die Durchführung umfangreicher Messungen sowie quantitativ-geometrischer und mathematisch-statistischer Texturanalysen sollten

weiter gehende Aufschlüsse über den Einfluss der Straßenoberfläche auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch gewonnen werden. Offenporige Oberflächen mit Schallabsorptionsvermögen oder elastische Deckschichten sollten über zusätzliche Geräuschminderungspotenziale Aufschluss geben. Wesentliche Ziele waren:

- Messung der Geräuschemission einer Vielzahl unterschiedlicher Reifen auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen,
- Trennung der Einflüsse der unterschiedlichen Entstehungsmechanismen durch spezielle Texturausbildungen,
- Entwicklung eines quantitativen statistischen Modells, das den mittleren Vorbeirollpegel für Pkw-Reifen mit ausreichender Genauigkeit in Abhängigkeit von den maßgeblichen Oberflächeneigenschaften berechnet.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Bau der Modelloberflächen

Auf einem abgeschlossenen Versuchsgelände wurden 42 Modelloberflächen angelegt. Die Oberflächeneigenschaften wurden nach folgender Systematik variiert:

- Isolierung der Entstehungsmechanismen
Herstellung grobrauer Oberflächen für starke mechanische Anregung und Herstellung feinrauer Oberflächen für starke Anregung des air pumping Effektes,
- Variation der Texturtiefe und der Verteilung der Texturwellenlängen
stufenweiser Übergang von glatten, praktisch nicht texturierten zu stark texturierten Oberflächen. Variation der glatten Oberflächen durch Rillen verschiedener Form; das Größtkorn sollte auf keinen Fall größer als 8 mm sein,
- Variation der Kornform
Herstellung rauer Oberflächen durch Einsatz von Mineralstoffkörnern gleichen bzw. ähnlichen Durchmessers, aber unterschiedlicher Kornform bzw. Korngestalt,
- Variation der Rauigkeitsform
konkave und konvexe Texturen mit vergleichbaren Wellenlängenverteilungen aber unterschiedlichen Auswirkungen auf das Rollgeräusch,
- Zusätzliche Eigenschaften
offenporige, schallabsorbierende Fahrbahnoberflächen sowie elastische Oberflächen weisen gegenüber üblichen dichten Deckschichten zusätzliche besondere Eigenschaften auf,
- Variation der Unterlage
Herstellung vergleichbarer Texturen auf unterschiedlichen Unterlagen; die Unterlage kann bei gleicher Textur unterschiedliche Auswirkungen auf die Rollgeräuschenstehung haben,
- Variation der Bauweise
Berücksichtigung verschiedener Bauweisen, allerdings mit der Prämisse, die Vielfalt von möglichen Texturen zu vergrößern und nicht Bauweisen vergleichen zu wollen.

2.2 Ermittlung der Oberflächeneigenschaften

Die Erfassung der Oberflächeneigenschaften beinhaltete:

- Aufnahme von je zwei zwei Meter langen zusammenhängenden Längsprofilen und einem Querprofil pro Testfeld mit einem Laserprofilometer,
- Ermittlung der Texturkenngrößen nach ISO 13473 und von Tragflächenkurven,
- Aufnahme von jeweils sechs Farbabdrücken mittels Stempelabdruckverfahren und Auswertung der Form, Größe und Dichte der Kontaktflächen und des Kontaktdrucks zwischen Reifen und Fahrbahn.

2.3 Akustische Untersuchungen

Die akustischen Untersuchungen umfassten:

- Messung und Analyse der Vorbeifahrtpegel bei ausgeschaltetem Motor (Vorbeirollen) nach der Methode der kontrollierten Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit zwischen 50 und 120 km/h. Es wurden 16 verschiedene Pkw- und vier verschiedene Lkw-Reifensätze unterschiedlicher Breite verwendet, darunter auch profillose und längsgerillte Reifen,
- Fahrten mit dem Schallmessanhänger der BASt zur Messung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche im Nahfeld der Kontaktfläche mit Geschwindigkeiten zwischen 50 und 110 km/h,
- Messungen des Schallabsorptionsgrades α der offenporigen Testfelder.

Die messbaren Schalldruckpegel und die spektrale Verteilung der Vorbeirollgeräusche werden in vielfältiger Weise nicht nur von der Beschaffenheit und den Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche und der Reifen, sondern auch von

- der Rollgeschwindigkeit,
- der Reifen- und Fahrbahntemperatur,
- dem Reifeninnendruck,
- den Strömungsgeräuschen am Fahrzeug,
- den geometrischen und akustischen Eigenschaften der Flächen neben dem Testfeld und
- den meteorologischen Schallausbreitungsbedingungen

bestimmt. Um zu reproduzier- und interpretierbaren Messergebnissen zu kommen, sind diese Parameter einmalig oder laufend kontrolliert und – soweit möglich – konstant gehalten worden. Rollgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Verschmutzungsgrad einer offenporigen Modelloberfläche wurden gezielt variiert.

2.4 Auswertung

Die Analyse der Messergebnisse erfolgte in folgenden Stufen:

- Ermittlung von statistisch unabhängigen Größen aus den Texturmessungen und Stempelabdrücken zur Beschreibung der Oberflächeneigenschaften,
- Spektralanalyse der Vorbeirollpegel in Terzbändern und Bestimmung der Abhängigkeit der Terzpegel von den oben angegebenen Parametern,
- Befreiung der akustischen Ergebnisse von reifen- und fahrbahnunabhängigen Einflüssen,
- systematische Darstellung des A-bewerteten Vorbeirollpegels in Abhängigkeit von den verschiedenen Modelloberflächen, Reifen und Geschwindigkeiten,
- Korrelation der Texturkenngrößen mit den akustischen Kenngrößen,
- Ableitung systematischer Zusammenhänge zwischen den Schallpegeln und den Oberflächeneigenschaften,
- Entwurf und Entwicklung des Rechenmodells.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Beschreibung der Oberflächeneigenschaften

Folgende Größen sind für die Beschreibung der Textur notwendig:

- Für einfache Abschätzungen des zu erwartenden mittleren Vorbeirollpegels für Pkw-Reifen anhand von Texturkennwerten hat sich von den in der Vergangenheit diskutierten Größen die Größe a_{100} (Effektivwert der Rauigkeitstiefe im Terzband bei 100 mm) als am besten geeignet herausgestellt.
- Der aus der Tragflächenkurve abgeleitete Gestaltfaktor g ist von allen anderen Texturparametern statistisch unabhängig und liefert deshalb wichtige zusätzliche Informationen über die Gestalt der Oberfläche, die durch die dem Texturspektrum zu Grunde liegende harmonische Analyse verloren gehen. Der Gestaltfaktor g wird anhand der Tragflächenkurve ermittelt und ist gleich dem Tragflächenanteil bei der halben maximalen Profiltiefe.
- Das Rauigkeitsprofil stellt für die Untersuchung physikalischer Zusammenhänge zwischen Oberflächeneigenschaften und Reifen-Fahrbahn-Geräuschen die gegenüber dem Texturspektrum wichtigere Eingangsgröße dar. Auf Grund nichtlinearer Zusammenhänge zwischen der Oberflächenrauigkeit und dem Schalldruck des Rollgeräusches kann nicht vom Texturspektrum auf das Schalldruckspektrum geschlossen werden.

3.2 Einfluss der Oberflächeneigenschaften auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch

3.2.1 Pkw-Reifen

- Die offenporigen Deckschichten haben sich eindeutig als diejenigen mit dem niedrigsten Vorbeirollpegel erwiesen. Dichte Deckschichten rufen bei 80–120 km/h mindestens 2–3 dB höhere Vorbeirollpegel auf.
- Erhöhte Elastizität der Deckschicht führt bei ansonsten gleicher Oberflächentextur zu einer Pegelminderung von 4 dB.
- Nach den Deckschichten mit zusätzlichen Eigenschaften hat sich die Gruppe der gewalzten Deckschichten (AB, SMA) als akustisch günstig erwiesen. Infolge des Walzvorganges wird die Oberfläche eingeebnet, was zu einer tendenziell "konkaven" Texturgestalt, die durch einen Gestaltfaktor $g > 70\%$ gekennzeichnet ist, führt. Diese "konkave Texturgestalt" ist – bei sonst gleicher Makro- und Megatextur – günstiger als die "konvexe Texturgestalt" der abgestreuten Oberflächen (mit einem Gestaltfaktor $g < 60\%$).
- Beide Oberflächentypen, die gewalzten ($g > 70\%$) und die abgestreuten ($g < 60\%$) werden mit zunehmendem Größtkorn lauter. Das Größtkorn wirkt sich auf den Verlauf des Texturspektrums im Bereich der Makro- und Megatextur aus.
- Wenn auch die feineren Oberflächen einen niedrigeren Gesamtpegel aufwiesen als die gröberen, so ist die ideale ebene Oberfläche (ohne Texturtiefen) akustisch nicht die günstigste. Trotz minimaler radialer Reifenanregung nimmt bei diesen Oberflächentypen der Gesamtpegel wieder leicht zu.
- Bei den gebräuchlichen Fahrbahnoberflächen und einem Geschwindigkeitsbereich bis ca. 120 km/h ist davon auszugehen, dass allein durch die Fahrbahntextur bereits so viel Luftdränage vorhanden ist, dass durch die Herstellung ausgeprägter Dränagekanäle in Form von Rillen keine Verminderung der Rollgeräusche erzielt werden kann. Als wichtigster Mechanismus dominiert die mechanische Schwingungsanregung durch die Fahrbahntextur.

3.2.2 Lkw-Reifen

- Die Fahrbahnoberfläche von dichten Deckschichten hat auf das Rollgeräusch von Lkw-Reifen nahezu keinen Einfluss, solange der Größtkorndurchmesser einen Wert von 5 mm nicht unterschreitet. Das Rollgeräusch von Lkw-Reifen nimmt jedoch schnell zu, wenn die Oberfläche zu fein wird. Die Maximalkorngröße darf deshalb 5 mm nicht unterschreiten.
- Die offenporigen Deckschichten und die elastische Deckschicht führen auch beim Lkw-Reifen zu den niedrigsten Vorbeirollpegeln. Der Unterschied zum leisesten dichten Fahrbahnbelag (SMA 0/5) beträgt -5 dB (Pkw-Reifen -4 dB).

3.2.3 Zusammenfassung

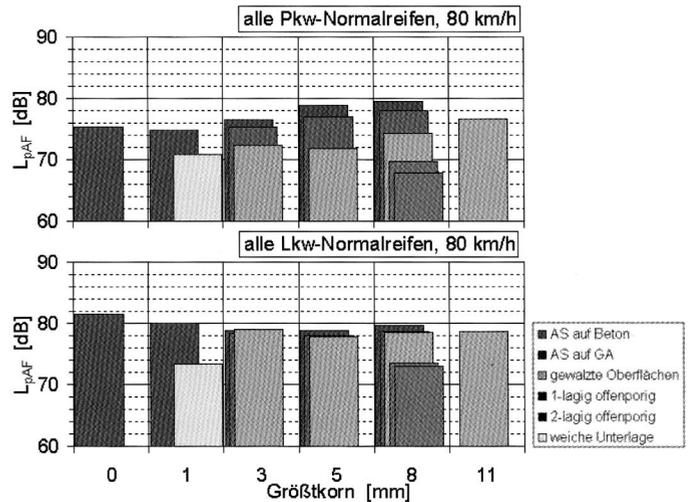
In Bild 1 ist der mittlere Vorbeirollpegel für Pkw- und Lkw-Reifen bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h in Abhängigkeit vom Größtkorndurchmesser für einige Testfelder dargestellt.

3.3 Einfluss des Reifens auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Streuung zwischen dem "leisesten" und "lautesten" Reifen auf derselben Fahrbahnoberfläche hängt ab von der Fahrbahnoberfläche und beträgt 5–9 dB. Die "leisesten" Reifen rufen im Vergleich zu den Mittelwerten des Gesamtkollektivs um 2–4 dB niedrigere Vorbeirollpegel hervor.
- Die geringsten Pegelunterschiede zwischen den verschiedenen Reifen treten bei den offenporigen Fahrbahnbelägen auf, die höchsten auf grobrauen, abgestreuten Oberflächen mit 8 mm Größtkorn.

- Die Rangfolge der Reifen von "leise" nach "laut" ändert sich je nach Oberflächeneigenschaften, wobei die Rangfolge innerhalb einer Gruppe von Oberflächen mit gemeinsamen Merkmalen (zum Beispiel das Kollektiv der abgestreuten Oberflächen) mit Ausnahme der Gruppe der gerillten Oberflächen im Wesentlichen gleich bleibt.
- Innerhalb der Gruppe der gerillten Oberflächen ändert sich die Rangfolge der Reifen in Abhängigkeit von Anordnung und Abmessung der Rillen deutlich.



1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Vorbeirollmessungen

Abkürzungen: AS: Abstreung; GA: Gussasphalt; "0"mm: nahezu makro- und megatexturfremde Oberflächen

3.4 Entstehungsmechanismen

Den Ergebnissen der Untersuchung nach findet – entgegen früheren Erkenntnissen – oberhalb von ca. 1 200 Hz kein Übergang, sondern eine Überlagerung des Einflusses mechanischer Schallanregung und aerodynamischer Effekte wie air pumping statt. Unterhalb von 1 200 Hz haben Mega- und Makrotextur der Fahrbahnoberfläche maßgeblichen Einfluss auf die mechanische Schwingungsanregung. Über 1 200 Hz ist nach wie vor mechanische Anregung wirksam, jedoch ohne den Einfluss von Makro- und Megatextur. Dies hängt vermutlich mit Reibungsvorgängen im Reifen-Fahrbahn-Kontakt zusammen. Dies gilt für Pkw- und Lkw-Reifen gleichermaßen.

4. Folgerungen für die Praxis

4.1 Optimale Gestaltung von Fahrbahnoberflächen

Folgende Hinweise für die Entwicklung und Gestaltung geräuschmindernder, dichter Fahrbahnbeläge lassen sich aus der vorliegenden Untersuchung ableiten, wobei grundsätzlich von stochastischen, isotropen Texturen ausgegangen wird:

- Sehr glatte, das heißt nur noch mikrorauhe Oberflächen müssen vermieden werden. Dies gilt sowohl für Pkw- als auch für Lkw-Reifen. Wenn man die Einbauart (Abstreuen oder Walzen oder beides) außer Acht lässt, liegt die optimale Maximalkorngröße für Pkw-Reifen bei 3 mm, bei Lkw-Reifen dagegen bei 5 mm.
- Die Verwendung von rundkornigen oder scharfkantigen, gebrochenen Mineralstoffen hat keinen Einfluss auf die Rollgeräuschentstehung.
- Fräsrillen in Längs- oder Diagonalrichtung in der Fahrbahnoberfläche haben kaum einen Einfluss auf die Rollgeräuschentstehung.

- Prinzipiell sind konkave Texturen ("Plateaus mit Schluchten" an Stelle von "Bergen mit Tälern") anzustreben. Der Schwerpunkt der im Texturspektrum vertretenen Wellenlängen sollte dann bei 5–15 mm liegen. Der Effektivwert der Profiltiefe sollte bei diesen Wellenlängen 0,1–0,2 mm betragen.
- Wellenlängen über 20 cm spielen bei Rauigkeitstiefen, wie sie in der Baupraxis in diesem Wellenlängenbereich erzielt werden, offenbar keine Rolle.
- Elastische (dämpfende) Zwischenlagen vermindern das Reifen-Fahrbahn-Geräusch erheblich. Dies gilt sowohl für Pkw- als auch für Lkw-Reifen. Diese Dämpfung sollte auch mit einer entsprechenden Zusammensetzung des Korngemisches oder mit dem Bindemittel realisiert werden können.

4.2 Geräuschminderungspotenziale

Legt man die heute gängigen Bauweisen SMA 0/8 oder SMA 0/11 als Vergleichsoberflächen zu Grunde, kann für optimierte Pkw-Reifen auf derartigen Oberflächen eine Geräuschminderung von 3 dB und unter Berücksichtigung schallabsorbierender, offener Deckschichten von 7 dB erzielt werden.

Durch Realisierung optimaler Texturparameter kann eine Verbesserung des Geräuschminderungspotenzials der dichten Oberflächen von -3 auf -5 dB erwartet werden. Das Geräuschminderungspotenzial von dichten Oberflächen scheint jedoch noch nicht ausgeschöpft zu sein. Das Rechenmodell zeigt, dass es Texturen gibt, die im Testfeldkollektiv nicht enthalten waren, die aber zu deutlich kleineren Vorbeirollpegeln führen können. □