

DI Gabriele Fruhmann¹, DI Dr. Peter Maurer²

Die Ebenheit von Fahrbahndecken – ein wesentlicher Nutzerkomfort

Allgemeines

Die periodische Erfassung des Straßenzustandes und dessen Auswertung ist die Basis für die wirtschaftliche Erhaltung eines Straßennetzes. Um die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel optimal einzusetzen, ist es das Ziel der systematischen Erhaltungsplanung (Pavement Management), mit periodisch erfassten Messdaten den Zeitpunkt und Umfang der durchzuführenden Erhaltungsmaßnahmen zu bestimmen.

Für die Sicherstellung einer nachvollziehbaren Erhaltungsplanung werden die periodisch erfassten Informationen des Straßenzustandes in so genannten Pavement-Management-Systemen (kurz PMS) einer Analyse bzw. Bewertung unterzogen. Durch die Einbeziehung von Prognosemodellen des Straßenzustandes können dabei über einen zuvor definierten Zeitraum verschiedene Erhaltungsstrategien hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und ihrer Effektivität untersucht werden, sodass letztendlich eine optimale Lösung unter vorgegebenen budgetären Randbedingungen gefunden werden kann [1].

Die Erfassung der Straßenzustandsdaten wird in Österreich auf Netzebene mit dem RoadSTAR [2], [3], [4] (Road Surface Tester arsenal research, Abb. 1) durchgeführt, der vom „Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart“ in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern von arsenal research entwickelt wurde.



Abb. 1: Hochleistungsmessgerät RoadSTAR

Mit dem RoadSTAR können im fließenden Verkehr bei Messgeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 120 km/h (Standardgeschwindigkeit 60 km/h) die wichtigsten Oberflächeneigenschaften wie z. B.

- Griffigkeitsparameter, Reibungsbeiwert μ bei 18 % Schlupf
- Makrotextur (Mean Profile Depth, MPD)
- Querebenheit (Spurrinntiefen, theoretische Wasserfilmdicke)
- Längsebenheit (Längsprofil IRI [International Roughness Index])

sowie Trassierungsparameter wie z. B.

- Kurvenradien
- Quer- und Längsneigung

erfasst werden. Eine Messfahrt wird zusätzlich auf Video aufgezeichnet, um eine Erfassung von Objekten des Straßenraumes zu ermöglichen. Alle Messwerte sind mit differentiell korrigierten GPS-Koordinaten versehen.

Die Messungen erfolgen computerunterstützt, wobei unterschiedliche Messprogramme vordefiniert sind und vom Bediener abgerufen werden können. Über die aktuellen Messdaten und Betriebszustände wird der Bediener laufend durch ein grafisches Benutzer-Interface informiert.

Erfassung der Querebenheit

Die Querebenheit der Fahrbahn ist sowohl für die Fahrsicherheit als auch für den Fahrkomfort des Kfz-Lenkers von Bedeutung. Stark ausgeprägte Spurrinnen können zusätzliche Lenkkräfte erzeugen sowie zu Aquaplaning führen.

Die Querebenheit wird gekennzeichnet durch das größte Stichmaß zwischen der Spurrinnensohle und einer Bezugslinie quer zur Straßenachse (siehe Abb. 2 und [5]). Die dabei ermittelten Kenngrößen sind:

¹ Abteilung MKS-Simulation MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik, Liebenauer Hauptstraße 317, 8041 Graz, Tel.: +43 (0)316 404-6449, Fax: +43 (0)316 404-2356, E-Mail: gabriele.fruhmann@magnasteyr.com

² Leiter des Geschäftsfeldes Verkehrswege im Österreichischen Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal (arsenal research), Faradaygasse 3, 1030 Wien, Tel.: +43 (0) 50550 6211, Fax: +43 (0) 50550 6599, E-Mail: peter.maurer@arsenal.ac.at

- Spurrinntiefe (links, rechts, max.), Bezugslinie ist eine aufgelegte 2-m-Richtlatte (rot dargestellt)
- Profiltiefe (links, rechts, max.), Bezugslinie ist eine aufgelegte 4-m-Richtlatte (blau dargestellt)
- theoretische Wasserfilmdicke (links, rechts, max.), Bezugslinie ist die Horizontale durch den unteren relativen Hochpunkt der Rollspur (grün dargestellt)

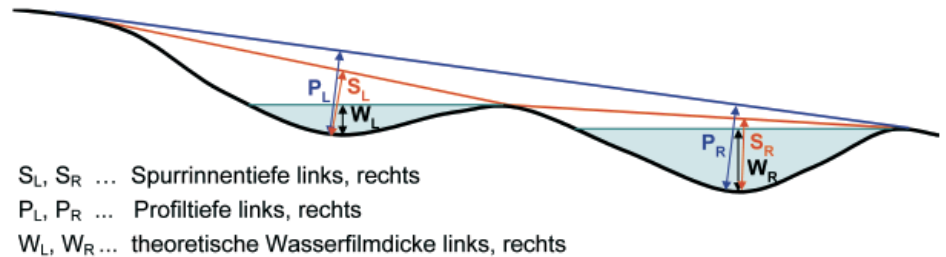


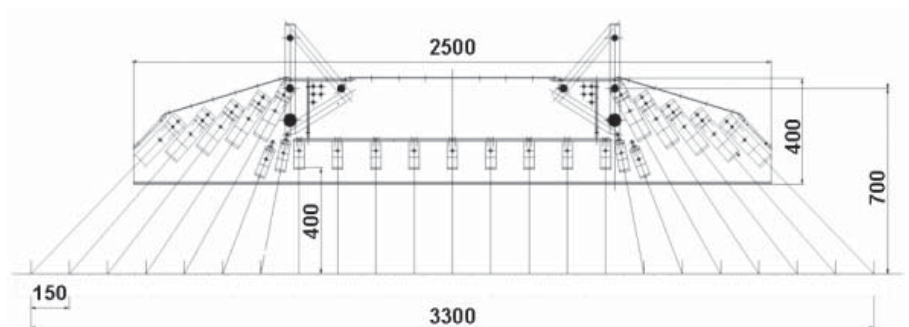
Abb. 2: Definition der Querebenheitsparameter

Die Querebenheitsmesseinrichtung am Straßenzustandserfassungsgerät RoadSTAR besteht im Wesentlichen aus 23 Lasersensoren der Laserklasse 3a mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,1$ mm sowie einem Hochpräzisions-Faserkreiselssystem zur Bestimmung der Querneigung mit einer Messgenauigkeit von $< 0,1^\circ$. Die 23 Lasersensoren an der Frontpartie des Fahrzeuges sind auf einem Balken fächerförmig angeordnet, wodurch bei einer Konstruktionsbreite von nur 2,5 m eine Fahrstreifenbreite von 3,3 m erfasst wird. Der Messpunktabstand im Querprofil beträgt 1 cm (siehe Abb. 3).

kante), können die äußeren Sensoren vorübergehend abgeschaltet bzw. ausgeblendet werden.

Das Messgerät liefert Querebenheitswerte in Längsabständen ab 10 cm. Je nach Erfordernis werden diese Messwerte zu größeren Messlängen zusammengefasst. Als maßgebende Werte für das Pavement-Management-System werden standardmäßig die 50-m-Mittelwerte angegeben.

Durch das Inertial-Kreiselssystem wird die Querneigung bestimmt, wodurch eine Berechnung der theoretischen Wasserfilmdicke (W_L und W_R) möglich ist. Die Querneigung wird bei diesem Messverfahren aus dem Winkel zwischen der Horizontalen und einer Regressionsgeraden durch die 23 Messpunkte des Querprofils definiert.



Mess- und Auswerteprinzip:

Während der Fahrt wird der jeweilige Abstand vom Sensor zur Straßenoberfläche gemessen. Daraus können sowohl der Querprofilverlauf als auch die Spurrinntiefen (S_L und S_R) und Profiltiefen (P_L und P_R) in der linken und rechten Radspur ermittelt werden. Um vorhandene Textureinflüsse zu eliminieren, werden für jedes einzelne gespeicherte Messprofil 5 Einzelmessprofile im 1-cm-Abstand erfasst und gemittelt. In Bereichen, in denen die Messergebnisse am rechten Fahrbahnrand beeinflusst werden (z. B. Bordstein, Bewuchs, Belags-

Abb. 3: Fächerförmige Anordnung der Querschnittsensoren. Angegebene Abmessungen in mm

Erfassung der Längsebenheit

Die Längsebenheit ist für den Fahrkomfort (Vibrationen des Fahrzeuges, die sich auf den Fahrer übertragen) von großer Bedeutung. Zusätzlich kann die Fahrsicherheit beeinträchtigt werden, falls es zum Kraftschlussverlust zwischen Reifen und Fahrbahn in Kurven mit hohen Unebenheiten kommt. Für den Straßenerhalter ist die Längsebenheit von Fahrbahnen hinsichtlich Schädigung und Sicherheit von Interesse. Fahrbahnen mit geringer Längsebenheit regen Fahrzeuge zu Schwingungen an, welche stark schwankende dynamische Radlasten zur Folge haben, die zu einer vermehrten Schädigung der Fahrbahn und somit zu einer weiteren Verschlechterung der Längsebenheit führen (siehe auch Abb. 10). Weiters stellen stark schwankende dynamische Radlasten ein Sicherheitsrisiko dar.

Die kontinuierliche Messung der Längsebenheit mit dem Straßenzustandserfassungsgerät RoadSTAR erfolgt mithilfe eines im Bereich der rechten Radspur am RoadSTAR angebrachten Messbalkens mit vier Lasersensoren der Laserklasse 3a mit einer Messgenauigkeit von $\pm 0,1$ mm. Diese Sensoren sind auf dem 2 m langen Messbalken montiert (siehe Abb. 4). Für die Messung wird der Transportrahmen mit den vier Sensoren aus der Transportstellung in die Messstellung geklappt und die Sensoren werden eingeschaltet. Solange die Sensoren nicht in der Messstellung arretiert sind, werden die Lasersensoren aus Sicherheitsgründen nicht in Betrieb genommen.

Abb. 4 zeigt weiters die Anordnung der beiden Sensorsysteme. Aus den

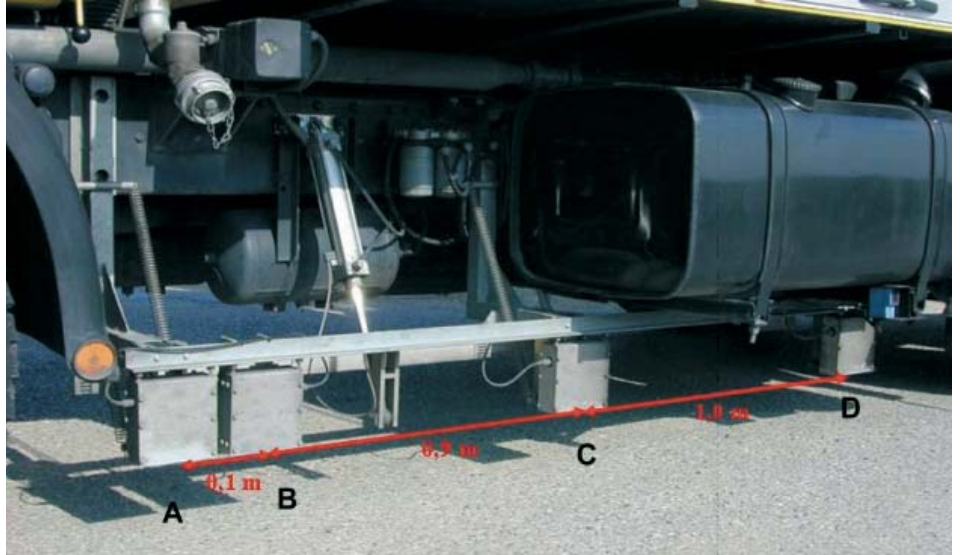


Abb. 4: Längsebenheitsmesseinrichtung mit vier Lasersensoren

Sensoren A, C und D wird das symmetrische System, aus den Sensoren A, B und D das asymmetrische System gebildet. Vom symmetrischen System werden die größeren Wellenlängen ab ca. 10 m erfasst, vom asymmetrischen System die kürzeren Wellenlängen. Das endgültige Straßenlängsprofil entsteht durch Überlagerung dieser beiden Systeme [5].

Mess- und Auswerteprinzip:

Während der Fahrt wird der jeweilige Abstand vom Sensor zur Straßenoberfläche für alle vier Sensoren gemessen und daraus das Längsprofil der Straße in einem Punktabstand von 5 cm ermittelt. Um vorhandene Textureinflüsse weitestgehend zu eliminieren, werden für jeden einzelnen gespeicherten Messpunkt 5 Einzelmesswerte im 1-cm-Abstand erfasst und gemittelt.

Die Signale der Längsprofilsensoren werden über einen Medianfilter mit einer Umgebung von ± 2 Messpunkten gefiltert, um Störspitzen zu eliminieren. Anschließend erfolgt eine

Hochpassfilterung (Butterworth 8. Ordnung) mit einer Grenzwellenlänge von 50 m.

Die Berechnung des wahren Längsprofils aus den vier Längsprofilsensoren erfolgt gemäß dem Profilometer-Verfahren [6], [7]. Standardmäßig wird derzeit in Österreich der International Roughness Index (IRI, [8], [9]) aus dem Längsprofilverlauf über AuswerteprozEDUREN nach Sayers [10], [11] ermittelt.

In Deutschland werden z. B. der AUN (Allgemeiner Unebenheitswert) und teilweise der LWI (Längsebenheitswirkindex) [12] herangezogen, in Frankreich verwendet man auch die WBA (Wave Band Analysis). Auf internationaler Ebene ist sehr häufig der IRI (International Roughness Index) zu finden.

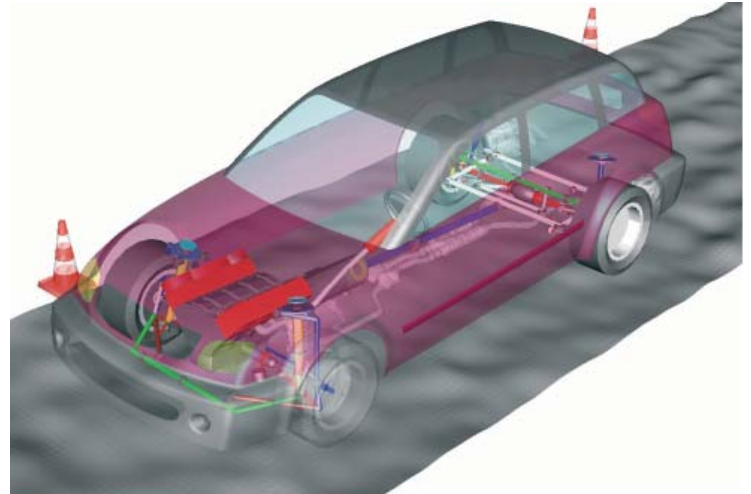
Längsebenheit in der Fahrzeugindustrie:

Die Zustandserfassung der Längsebenheit ist aber nicht nur für die Erhaltung und Sicherheit der Straßen

von Interesse, sondern auch für die Zuliefer- und Fahrzeugindustrie, wie z. B. MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik, wo vor allem die Fahrbahnebenenheiten für die Auslegung und Abstimmung von Fahrzeugen von Bedeutung sind. Durch die gemeinsamen Interessen an den Straßenzustandsdaten entstehen Synergieeffekte, die im Folgenden aufgezeigt werden.

Bei der Entwicklung von Fahrzeugen spielt die Abstimmung des Schwingungskomforts (darunter versteht man Schwingungen des Fahrzeugs bis ca. 50 Hz) eine wesentliche Rolle. Die Schwingungen werden durch Fahrbahnebenenheiten, aber auch durch Anregungen aus Gas- und Massenkräften sowie den Ungleichförmigkeiten des Reifens (Unwucht, Höhengschlag, Radialkraftschwankung, etc.) verursacht (siehe Abb. 5). Diese Anregungen werden dann über die verschiedenen Baugruppen eines Fahrzeugs, wie z. B. Radaufhängun-

Abb. 6: Überfahrt über eine virtuelle Fahrbahn zur Lastkollektivermittlung, die für Auslegung von Fahrwerksbauteilen und Karosserie erforderlich ist



gen, Lenkung, Motor-Getriebe-Verband, Antriebsstrang, Karosserie, an die Insassen weitergeleitet.

Das Ziel einer Abstimmung des Schwingungskomforts ist es, die Schwingungen, welche vom Fahrer und den Insassen meist als unangenehm wahrgenommen werden, für möglichst viele Fahrbahnen und Fahrzustände zu minimieren. Damit schon Abstimmungen vor der Fertigstellung von Prototypfahrzeugen

erfolgen können, ist es erforderlich, das Fahrzeug als Modell in einer Simulationsumgebung darzustellen. Neben dem Fahrzeugmodell wird in der Simulationsumgebung auch eine adäquate Darstellung der Anregungsquellen, d. h. die Abbildung einer Fahrbahn bzw. der zeitliche Verlauf der Gas- und Massenkräfte des Motors, benötigt. Soll das virtuelle Fahrzeug in der Simulation einer vorgegebenen Fahrbahn folgen, ist eine zusätzliche Abbildung des Fahrers anhand von Regelkreisen, die dafür sorgen, dass das Fahrzeug auf der Fahrbahn bleibt und eine definierte Fahrvorschrift einhält, erforderlich [14].

Die Abbildung der Fahrbahn hängt von der Art der Simulation (Zeit- oder Frequenzbereichsuntersuchung) sowie der abzustimmenden Komponente ab. So werden für Lebensdaueruntersuchungen extrem unebene Fahrbahnen herangezogen (Abb. 6). Die Simulationen werden meist im Zeitbereich durchgeführt, da bei der Anregung mit großen Unebenheiten die nichtlinearen Anteile im Fahrzeugmodell eine wesentliche Rolle spielen [14], [15], [16].

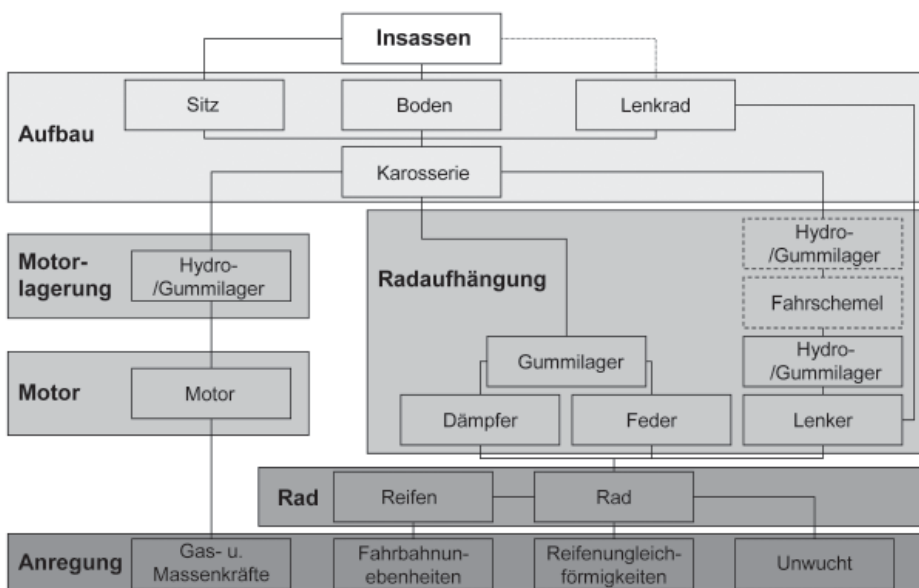


Abb. 5: Schwingungsanregungen und ihre Übertragungswege [13]

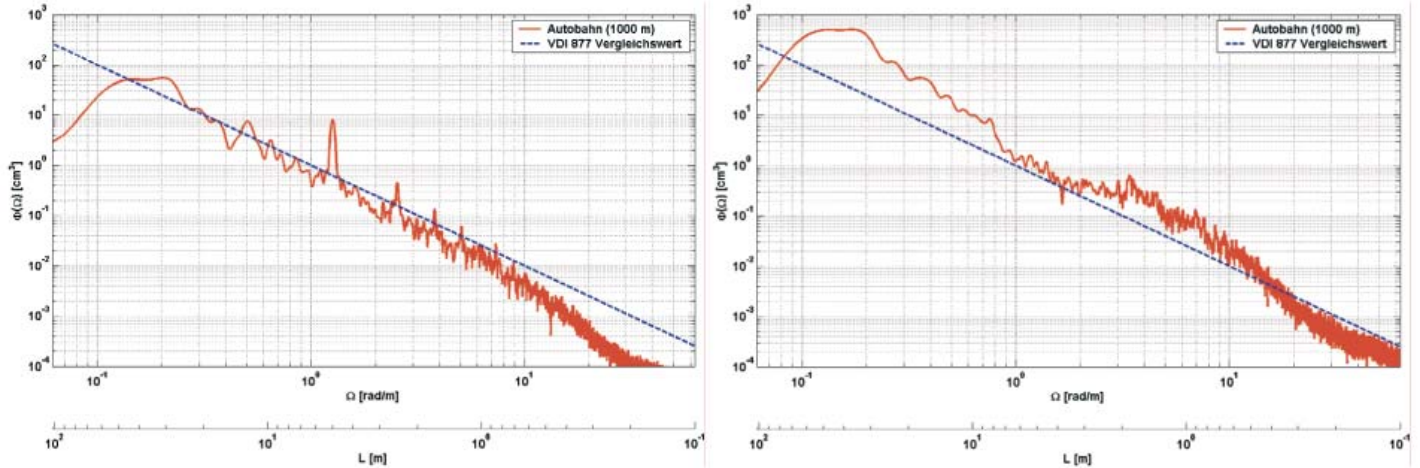


Abb. 7: Spektrale Leistungsdichten von Autobahnen unterschiedlicher Bauweise. Links eine Fahrbahn in Betonplattenbauweise und rechts eine Fahrbahn in Asphaltbauweise. Es ist zusätzlich der Vergleichswert für sehr gute Fahrbahnen von VDI 877 [18] dargestellt.

Untersucht man hingegen den Schwingungskomfort, so sind vor allem Anregungen, die auf gewöhnlichen Straßen auftreten, maßgebend [17]. Sie sind im Regelfall wesentlich kleiner als jene für die Lebensdauerermittlung, und daher ist es in vielen Fällen möglich, die Simulationen im Frequenzbereich durchzuführen, da die nichtlinearen Anteile im Fahrzeugmodell vernachlässigt werden können. In diesem Fall eignen sich als Eingangsdaten besonders gut die Längsprofilmessungen aus der Straßenzustandserfassung. Aus den gemessenen Daten wird die spektrale Leistungsdichte berechnet, welche in der Frequenzbereichssimulation mit dem Quadrat der Übertragungsfunktion für die Ermittlung der interessierenden Ausgangsgröße (z. B. Aufbaubeschleunigung, Motorlagerkräfte) multipliziert wird [16].

Analysen und Bewertungen von Längslebenheitsprofilen:

Es hat sich gezeigt, dass unterschiedliche Bauweisen von Fahrbahnen (Betonplatten, Asphalt) charakteristische Anregungsspektren

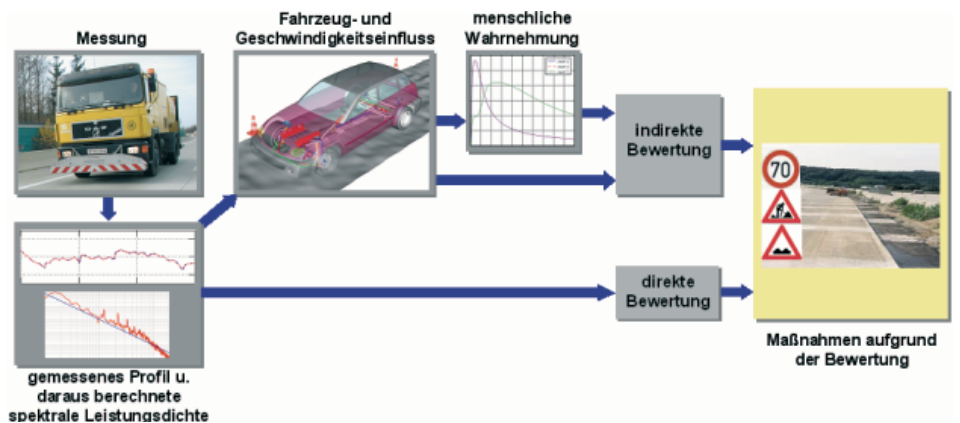


Abb. 8: Mögliche Vorgehensweisen für die Bewertung der Längsebenheit von Fahrbahnen

aufweisen (Abb. 7), die je nach Abstimmung des Fahrzeugs und der Fahrgeschwindigkeit mehr oder weniger stark vom Fahrer und den Insassen wahrgenommen werden.

Für die Bewertung der Längsebenheit von Fahrbahnen (Abb. 8) können neben Analysen des Profils selbst auch die Auswirkungen des Profils in Form von Kräften und Beschleunigungen im Fahrzeug verwendet werden. Mögliche Größen im Fahrzeug (Pkw und/oder Lkw) für die Bewertung Fahrsicherheit wären z. B. die dynamischen Radlasten, und punkto Wahrnehmung der Fahrbahnanregung im Fahrzeug

die vertikalen Beschleunigungen am Sitz [16].

Da bei verschiedenen Fahrzeugen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit unterschiedliche dynamische Radlasten und Beschleunigungen am Sitz bei gleicher Fahrbahnanregung entstehen, müssen für eine allgemein gültige Bewertung der Längsebenheit mehrere repräsentative Fahrzeuge im relevanten Geschwindigkeitsbereich für die Bewertung herangezogen werden. Dies ist am leichtesten mithilfe von Simulationen möglich, bei denen unterschiedliche Fahrzeugmodelle mit den gemessenen Längsuneben-

heiten angeregt und daraus die Bewertungsgrößen berechnet werden. Damit sind für die Längsebenheitsbewertung ähnliche Simulationen wie in der Fahrzeugindustrie erforderlich.

Entwicklung eines neuen Längsebenheitsindex

Seit geraumer Zeit wird an der derzeitigen Datenaufbereitung für die Längsebenheitsbewertung Kritik laut, da der IRI vorwiegend zur Beurteilung von Fahrbahnen in Entwicklungsländern entwickelt wurde und daher wichtige Kriterien der Unebenheit (regellos, stufig, periodisch etc.) nicht aufzeigt. Besonders Einzelereignisse (Deckenwechsel, Brückenwiderlager etc.) und periodische Ereignisse (wie beispielsweise Fugen und Schüsselung von Betondecken) werden mit dem IRI nicht ausreichend gut erfasst.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, einen geeigneten Parameter zur Beschreibung der Längsebenheit aufbauend auf das gemessene Höhenprofil in der rechten Radspur mit innovativen Modellen und Verfahren zu entwickeln.

Basierend auf dem Straßenlängsprofil können unterschiedliche Auswertungen zum Erhalt von Längsebenheitskennwerten durchgeführt werden (siehe Abb. 9 und [5]):

Im Zuge des Forschungsprojektes werden etwa 30 charakteristische Strecken, die typisch für Österreich sind, mit dem RoadSTAR vermessen. Basierend auf diesen Messdaten werden unterschiedliche Auswertemethoden angewandt (IRI, LWI, PSD etc.). Die für die definierten Strecken berechneten Längsebenheitsparameter werden einander gegenübergestellt. Basierend auf dieser Auswertung werden dann in einem weiteren

Schritt die Vor- und Nachteile der einzelnen Parameter analysiert und darauf aufbauend ein „neuer“ Parameter für die Beurteilung der Längsebenheit entwickelt.

In einem Rückkoppelungsprozess werden die gemessenen Strecken mit diesem neuen Parameter beurteilt und im Detail diskutiert.

Nach Abschluss der Arbeiten zur Erlangung eines praxisnahen Parameters zur Beurteilung der Längsebenheit wird ein Bewertungshintergrund erstellt, der mit realen Messwerten der Messkampagne der Landesstraßen B und der Messkampagne des ASFINAG-Netzes auf dessen Anwendbarkeit geprüft wird.

Basierend auf dem Bewertungshintergrund werden Warn- und Schwell- bzw. Abnahmewerte vorgeschlagen, die dann als Basis für eine weitere Diskussion innerhalb der zuständigen Arbeitsgruppen der Österreichischen Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr dienen sollen.

Erste Ergebnisse:

Erste Ergebnisse des Forschungsprojektes haben gezeigt, dass es möglich ist, die Längsebenheitscharakteristika mit „neuen“ Parametern besser als mit dem IRI zu beschreiben. Besonders die Auswerteprozeduren „Spektrale Leistungsdichte“, Wave Band Analysis (WBA) und „Längsebenheitswirkindex“ liefern eine gute Beschreibung der Fahrbahnlängsebenheit.

Bei der Analyse mithilfe der spektralen Leistungsdichte wird davon ausgegangen, dass die Längsebenheit der Fahrbahn näherungsweise durch einen stationären stochastischen Prozess abgebildet werden kann.

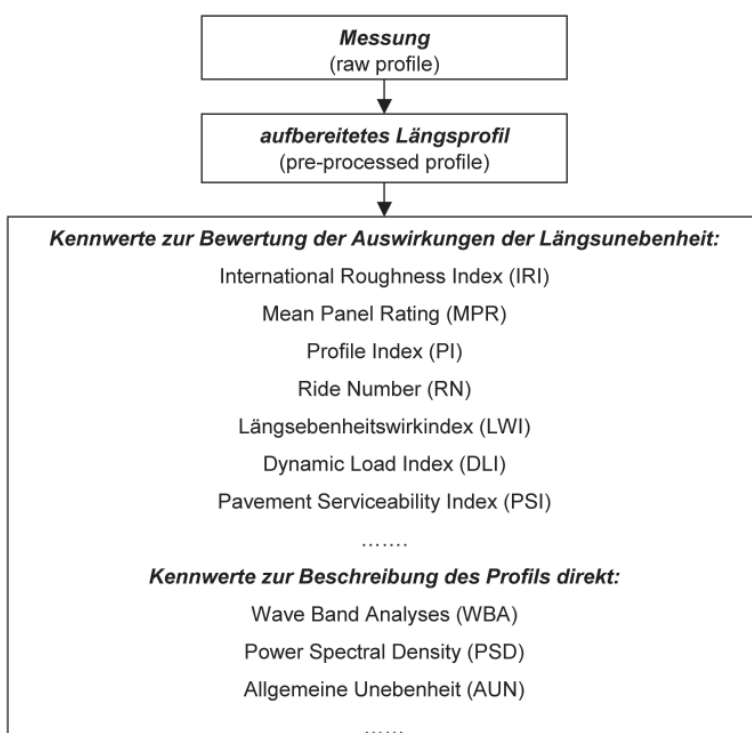


Abb. 9: Generelle Übersicht der Längsebenheitsberechnung

Die spektrale Leistungsdichte wird mit Hilfe der Fourier-Transformation des Längsprofils berechnet und kann folgendermaßen interpretiert werden: Der Wert $\phi(\eta_i)$ der spektralen Leistungsdichte bei einer Wellenlänge $L_i = 1/\eta_i$ beschreibt den Anteil des Signals im Verhältnis zum Gesamtsignal. Stellt man sich einen schmalen Streifen Δn_i um die Wegfrequenz η_i vor, so kann man eine äquivalente Sinusschwingung

$$z_i(l) = \hat{z}_i \sin(2\pi\eta_i l + \phi_i)$$

mit der Amplitude

$$\hat{z}_i = \sqrt{2\Phi(\eta_i)\Delta n_i}$$

bestimmen. Führt man eine derartige Zerlegung der spektralen Leistungsdichte in Sinusfunktionen durch und überlagert diese mit einer zufälligen Phasenverschiebung ϕ_i , erhält man eine Realisierung des stationären stochastischen Zufallsprozesses bzw. ein Fahrprofil mit gleichen Eigenschaften wie das Längsprofil, von welchem die spektrale Leistungsdichte ursprünglich berechnet worden ist. Diese Interpretation zeigt, dass Einzelhindernisse durch die spektrale Leistungsdichte nicht abgebildet werden können, da die Phaseninformation nicht in der spektralen Leistungsdichte enthalten ist.

Vorteil der Auswertung nach der Methode „Spektrale Leistungsdichte“ ist das eindeutige Auffinden periodischer Unebenheiten. Abb. 10 zeigt einen Vergleich der spektralen Leistungsdichten eines Autobahnabschnittes mit zunehmender Liegedauer, wobei deutlich die Unebenheiten erster Ordnung (etwa 5-m-Intervall) sowie der 2. und 3. Ordnung erkennbar sind. Auch ist zu erkennen, dass

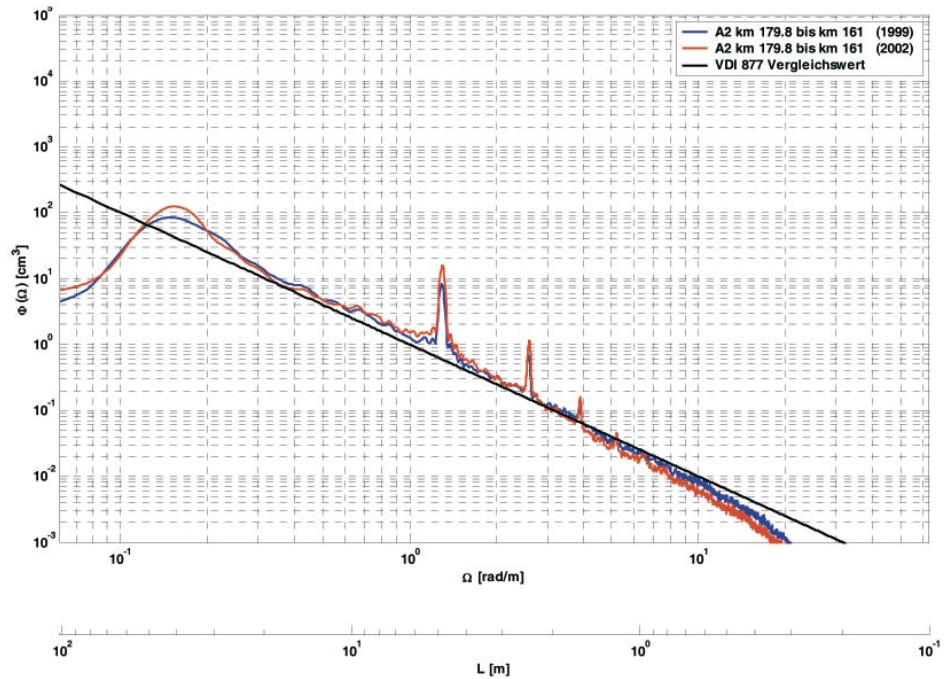


Abb. 10: Vergleich der spektralen Leistungsdichten mit zunehmender Liegedauer [13]

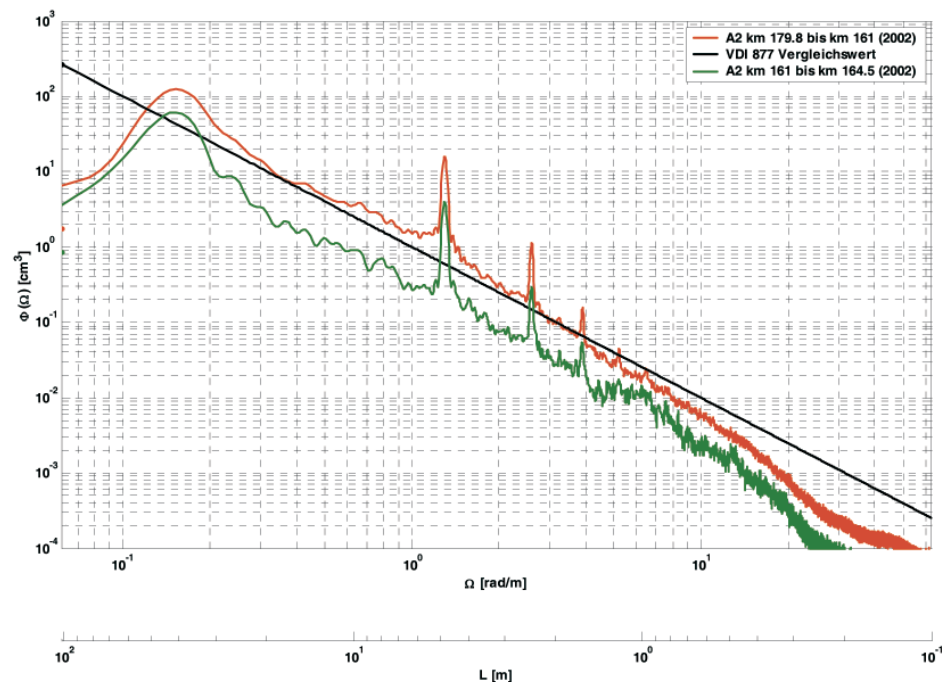


Abb. 11: Vergleich der spektralen Leistungsdichten eines neuen und alten Abschnittes [13]

die Werte im Bereich der maximalen Längsunebenheiten im Laufe der Liegedauer von nur 3 Jahren deutlich angestiegen sind.

Weiters ist ein Vergleich mit dem VDI 877 Vergleichswert [18] möglich, der Aufschluss über den allgemeinen Zustand hinsichtlich Längsebenheit liefert (siehe Abb. 11). Günstig sind jene Messwerte, die unterhalb der VDI-Vergleichslinie liegen. Obwohl es sich bei dem Abschnitt von 161 bis 164,5 km um einen neu eingebauten Abschnitt handelt, sind bereits die Unebenheiten 1., 2. und 3. Ordnung deutlich erkennbar.

Bei der Wave Band Analysis (WBA) werden mit verschiedenen Filtern bestimmte Wellenlängenbereiche des Profils getrennt voneinander untersucht. Für die Untersuchung sind dabei folgende Wellenlängebereiche definiert worden [8]:

- kurze Wellenlängen (short waveband) von 0,781 bis 3,125 m
- mittlere Wellenlängen (medium waveband) von 3,125 bis 12,5 m
- lange Wellenlängen (long waveband) von 12,5 bis 50,0 m

Die Berechnung erfolgt dabei für die einzelnen Wellenlängenbereiche nach

$$WB_{ij} = \sqrt{\frac{1}{j-i+1} \sum_{k=i}^{k=j} z_{wb,k}^2}$$

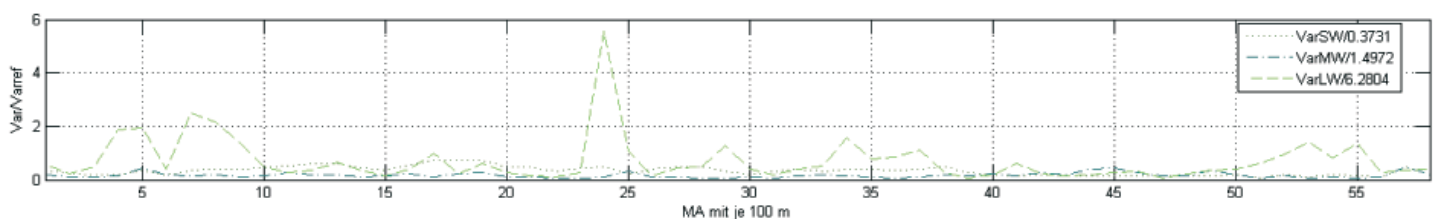


Abb. 12: Ergebnisse einer WBA-Auswertung

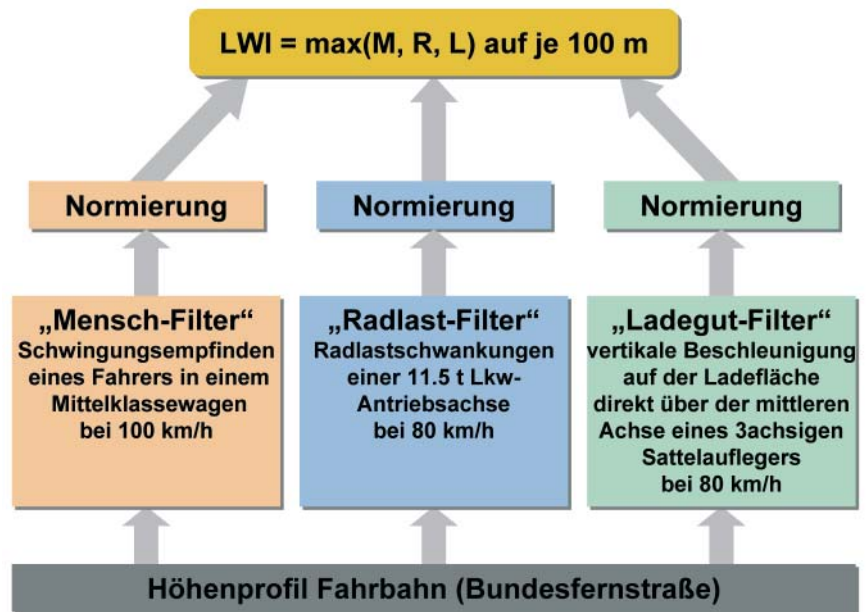


Abb. 13: Bewertungskriterien für den Längsebenheitswirkindex [15]

mit i und j als Index für die Messwerte und mit $z_{wb,k}^2$ für die mit den entsprechenden Filtern gefilterten Profildaten. Damit die berechneten Kennwerte besser vergleichbar sind, werden sie auf Werte einer sehr guten Fahrbahn nach VDI 877 bezogen, vgl. Abb. 12. Bei der Auswertung ist ersichtlich, dass einzelne Abschnitte stark unterschiedliche Werte aufweisen können.

Der Längsebenheitswirkindex [12] basiert auf der Auswertung dreier Bewertungskriterien für die Ebenheit: der Beanspruchung der Straße, des Fahrers und des Ladegutes (siehe

Abb. 13). Für jedes dieser Kriterien wurden Grenzwerte definiert. Sobald einer dieser drei Grenzwerte erreicht oder überschritten wird, ist die Längsebenheit beeinträchtigt [19]. Erste Untersuchungen zeigten, dass der LWI Periodizitäten und Einzelhindernisse detektieren und angemessen bewerten kann (siehe Abb. 14).

Im Zuge des Forschungsprojektes sollen weitergehende Untersuchungen vorgenommen werden. Endgültige Ergebnisse sind für das 1. Quartal 2007 vorgesehen.

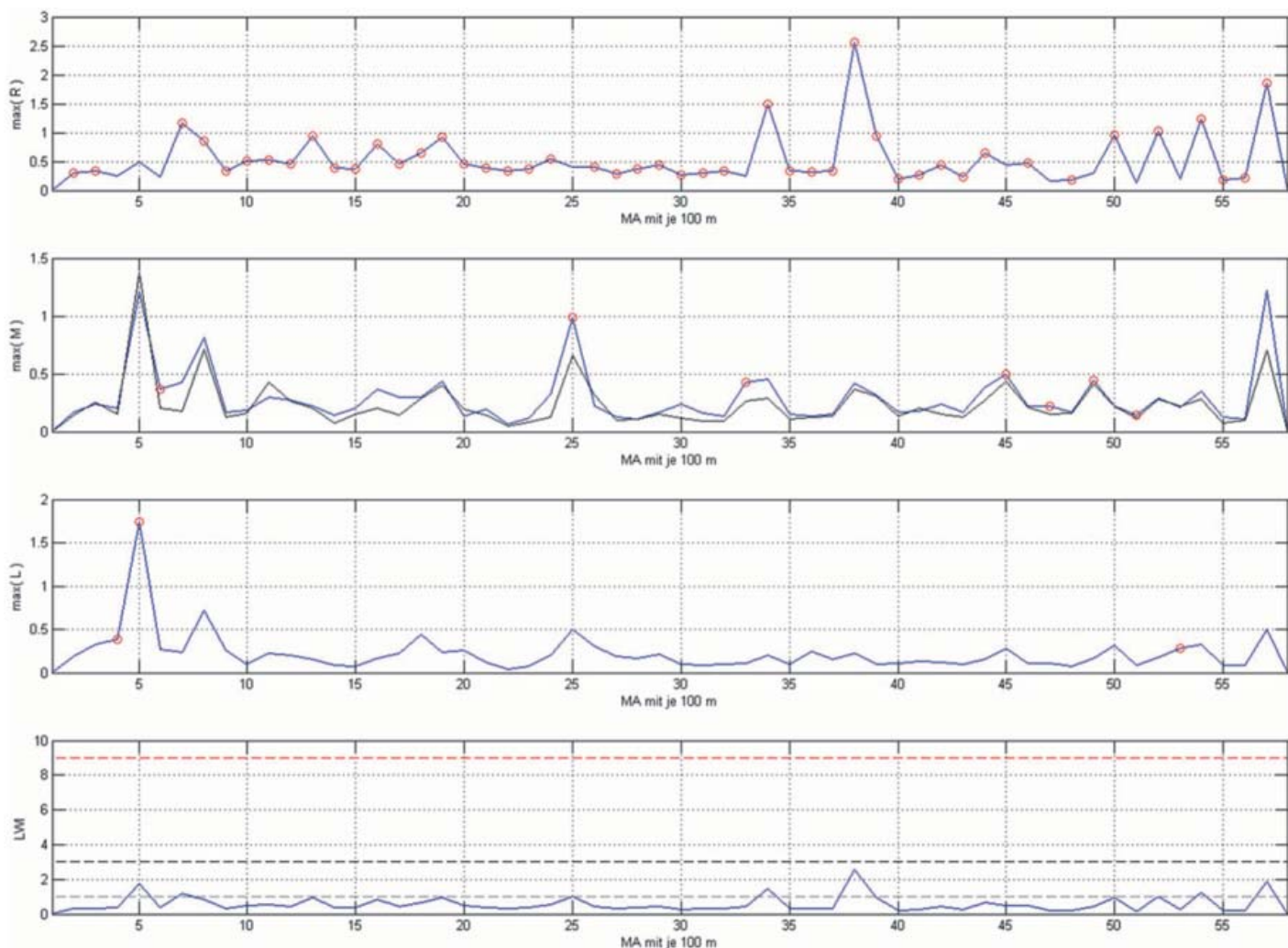


Abb. 14: Beispielhafte Auswertung für den Längsebenenheitswirkindex [19]. R steht für die Radlastbewertung, M für das menschliche Schwingungsempfinden und L für die Bewertung der Ladegutbeanspruchung.

[1] Maurer, P.; Weninger Vycudil, A.: Pavement Management - Zukunftsorientierte Straßenerhaltung auf den Landesstraßen in Oberösterreich. Symposium „Straßenerhaltung und Betrieb“. Land Oberösterreich, Abteilung Straßenerhaltung und Betrieb, Ursolinenhof Linz, Linz 2005 (unveröffentlicht).

[2] Maurer, P.: 14 Jahre Griffigkeitsmessungen in Österreich mit dem Hochleistungsmess-

gerät RoadSTAR: Erfahrungen – Messgenauigkeit – Ausblick, Proceedings-CD-ROM der 2nd European Pavement and Asset Management Conference, 21. bis 23. März 2004, Bundesanstalt für Straßenwesen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Estrel Convention Center, Berlin 2004.

[3] Gruber, J.; Maurer, P.: Zustands-

erfassung der Straßenoberfläche auf Bundesstraßen B, Messungen mit dem RoadSTAR in den Jahren 2001 und 2002, Schriftenreihe des BMVIT, Straßenforschung Heft 542, Wien 2004.

[4] Maurer, P.; Gruber, J.; et al.: Straßenzustandserfassung mit dem RoadSTAR – Messsystem und Genauigkeit, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H, Wien 2002.

- [5] Gruber, J.: Ebenheitsmessung mit dem Hochleistungsgerät RoadSTAR (MERITVE RAV-NOSTI Z OPREMO Road-STAR) in: Proceedings des Workshops und der Konferenz „Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen (Lastnosti voznihi površin)“, pp. 56-62. Hotel Habakuk, Maribor, 2003.
- [6] Jordan, P.; Sulten, P.: Ein Profilometer für die schnelle Bewertung des Zustands von Straßenbefestigungen, Straße und Autobahn, Heft 2, 1984.
- [7] Still, P. B.; Jordan, P. G.: Evaluation of the TRRL high-speed profilometer, Transport and Research Laboratory TRRL Report 922, Crowthorn, 1988.
- [8] prEN 13036-5: Road and Airfield Surface Characteristics, Test Methods, Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices, in Bearbeitung.
- [9] Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, RVS 11.066, Teil VIII: Längsebenheitsmessungen mit dem System RoadSTAR.
- [10] Sayers, M. W.: On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile, Transportation Research Board, Washington, 1995.
- [11] Sayers, M. W. and Karamihas, S. M.: Little Book of Profiling, Transportation Research Board, Washington, 1997.
- [12] Ueckermann, A.: Der Längsebenheitswirkindex LWI, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 839, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn 2002.
- [13] Riepl, A.; Fruhmann, G.: Fahrbahnanalyse und -beschreibung. Präsentation im BMVIT, September 2003 (unveröffentlicht).
- [14] Riepl, A.; Fruhmann, G.; Reinalter, W.: Rough Road Simulation – A Simulation Tool to Reduce the Development Risks, AVEC 2002, Hiroshima, September 2002.
- [15] Riepl, A.; Reinalter, W.; Fruhmann, G.: Rough Road Simulation with Tire Models RMOD-K and FTire, 18th IAVSD Symposium, Kanagawa, August 2003.
- [16] Fruhmann, G.: Simulation Schwingungskomfort – Einfluss unterschiedlicher Fahrbahnen. 5. Allradkongress, MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik, 2004.
- [17] Strobl, R.; Fruhmann, G.; Riepl, A.: Ganzheitliche Betrachtung des Phänomens Motorstückern: virtuelles Fahrbahnprofil, physikalisches Reifenmodell FTire, hybrides Gesamtfahrzeugmodell, VDI Tagung Reifen-Fahrwerk-Fahrbahn, Oktober 2003.
- [18] VDI 877: Unebenheiten von Schiene und Straße als Schwingungsursache, Tagung Braunschweig, 23. und 24. April 1991, VDI Verlag.
- [19] Spielhofer, R.; Fruhmann, G.: Prüfung der Ebenheit mit dem Messsystem RoadSTAR. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Autobahnen und Schnellstraßen, Projektmanagement Südraum. August 2005 (unveröffentlicht).

Weitere Informationen können bei den Autoren angefordert werden.