

Vergleichs- und Wiederholstrebereiche für die mittels schnellfahrender Messsysteme erfassten Zustandsindikatoren der Merkmale Längsebenheit und Querebenheit

FA 4.190

Forschungsstelle: IWS Messtechnik GmbH, Celle-Wietzenbruch

Bearbeiter: Schmidt, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: März 2008

1 Aufgabenstellung

Die Ebenheit ist neben der Griffigkeit das für die Gebrauchseigenschaften der Straße bedeutendste Merkmal der Fahrbahnoberfläche. Daher haben Prüfungen zur Sicherung einer ausreichend ebenen Straße bereits seit vielen Jahren einen festen Platz sowohl im Bauvertragswesen als auch im Rahmen der Erhaltungsplanung. Im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) der Bundesfernstraßen werden dabei seit Anbeginn schnellfahrende Messsysteme für die Erfassung der Ebenheitsdaten eingesetzt. Diese bieten auch für Bau- und Gewährleistungsabnahmen den Vorteil einer minimalen Verkehrsbeeinträchtigung, da sie bis etwa 80 km/h im Verkehr mitschwimmen können und Sperrungen zum Zwecke der Abnahmemessungen daher entfallen können.

Die Präzision der mit schnellfahrenden Messsystemen erhobenen Zustandsgrößen der Ebenheit wird sowohl innerhalb der ZEB wie auch für den bauvertraglichen Einsatz derartiger Systeme benötigt und war in diesem Forschungsvorhaben für die Fertigstellung der "TP Eben – Berührungslose geschwindigkeitsunabhängige Messungen" zu ermitteln. Neben der Feststellung des aktuellen Standes der Messpräzision sollten jedoch auch die Faktoren näher beleuchtet werden, welche die Präzision der Ergebnisse derzeit maßgeblich bestimmen.

Insbesondere war zu klären, welche dieser Faktoren durch geeignete Maßnahmen eingeschränkt oder ausgeschaltet werden können, um zu einer nachhaltigen Verbesserung der Messpräzision zu gelangen. Die Vorschläge dieser Arbeit wurden in der aktuellen Fassung der "TP Eben – Berührungslose geschwindigkeitsunabhängige Messungen" berücksichtigt.

2 Untersuchungsmethodik

Die Feststellung der Präzision des Messverfahrens erfolgte im Rahmen einer Vergleichsuntersuchung, an der alle verfügbaren und einsatzfähigen Ebenheits-Messsysteme teilnahmen, sofern diese eine gültige zeitbefristete Betriebszulassung durch die BASt nachweisen konnten. Neben dem kombinierten Längs- und Querebenheitsmesssystem EFA der BASt nahmen weitere drei kombinierte Messsysteme sowie zwei reine Längsebenheitsmesssysteme teil, wobei eines dieser beiden Systeme analog zu den kombinierten Messsystemen am Trägerfahrzeug angebracht war und eines der Systeme als Anhängersystem unter einem Messanhänger montiert war.

Die Vergleichsuntersuchung sollte auf Fahrbahnen unterschiedlichen Typs und Alters durchgeführt werden. Aus diesem Grunde wurden sechs verschiedene Strecken im Großraum Köln mit unterschiedlichen Merkmalen ausgewählt, davon drei Messabschnitte auf Bundesstraßen und drei Abschnitte auf Autobahnen. Neben einer sehr neuen Asphaltstrecke unmittelbar nach Verkehrsfreigabe waren sowohl neuere Strecken aus den Jahren 1999-2002 als auch eine alte Betonstrecke aus den achtziger Jahren und eine Asphaltbetonstrecke aus den

sechziger Jahren im Kollektiv enthalten. Asphalt und Beton (teilweise überbaut) waren insgesamt zu etwa gleichen Teilen vertreten.

Um die Auswirkung einer präziseren Spurhaltung auf Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse untersuchen zu können, wurden begleitend NPS-Führungssysteme eingesetzt, deren sachgerechte Verwendung im Rahmen von SKM-Griffigkeitmessungen bereits eine deutliche Verbesserung der Wiederhol- und Vergleichsstrebereiche ermöglichte. Die Systeme wurden im Rahmen dieser Vergleichsuntersuchung bei der Hälfte der Messungen als reine Protokolliersysteme eingesetzt, während bei den übrigen "geführten Messungen" der Fahrer des Messfahrzeugs über eine Leuchtanzeige Angaben zum gefahrenen Abstand erhielt und die Messlinie entsprechend korrigieren konnte.

Insgesamt wurden je Messstrecke durch jedes Messsystem zwölf gültige Messfahrten absolviert, wobei jeweils sechs Fahrten in freier Fahrt mit eigener Wahl der Messspur gemäß den Vorgaben der Entwurfsfassung der "TP Eben – Berührungslose geschwindigkeitsunabhängige Messungen" durchgeführt wurden ("ungeführte Messung") und sechs Fahrten im vorgegebenen konstanten Abstand zur rechten Fahrbahnrandmarkierung ("geführte Messung") zu absolvieren waren.

3 Untersuchungsergebnisse

Vor der statistischen Auswertung der Vergleichsuntersuchung wurden die Messdaten der Fahrzeuge einer Analyse bezüglich der aufgetretenen Messabweichungen und ihrer Ursachen unterzogen. Die folgenden Quellen für Messunterschiede wurden gefunden:

- Kalibrierung und Justierung

Die Sensorik der Messsysteme ist teilweise unterschiedlich justiert. Betroffen hiervon sind die relative Justierung der Sensoren des Querebenheitsmesssystems, die Querneigungsmessung und die Wegstreckenerfassung. Die derzeit zulässigen Toleranzen haben erheblichen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Messsysteme. Die Ungenauigkeiten bei der Wegstreckenerfassung führen dazu, dass bei längeren Messstrecken die ermittelten Werte der 100-m-Abschnitte insbesondere gegen Ende der Messung aus deutlich unterschiedlichen Streckenabschnitten stammen. Aus der geringen Überlappung dieser Abschnitte (z. B. nach 4 km Messstrecke teilweise nur noch zu rund 60 %) folgen dadurch bedingte Differenzen im Messniveau, selbst wenn die Messtechnik bezogen auf die Verformung der Fahrbahn grundsätzlich zu gleichen Ergebnissen kommt.

Die unterschiedliche Justierung der Messbereiche der Sensoren des Querebenheitsmesssystems führt zu deutlich unterschiedlichen Querprofilen wie auch zu Problemen bei der Feststellung der Ebenflächigkeit einer tatsächlich ebenen Oberfläche, da durch die Differenzen zwischen den einzelnen Sensoren fälschlich Verformungen suggeriert werden. Für die Prüfung der korrekten Justierung der Sensoren wurde ein Verfahren vorgeschlagen, das in die derzeitige Entwurfsfassung der "TP Eben – Berührungslose geschwindigkeitsunabhängige Messungen", Anhang B1 übernommen wurde.

Die zugelassenen systematischen Abweichungen bei der Querneigungsmessung (0,5 %) führen insbesondere bei der Bestimmung der fiktiven Wassertiefe in den Spurrinnen zu deutlichen Ergebnisabweichungen. Nach den Messergebnissen scheint hier eine genauere Justierung jedoch problemlos möglich.

– Bedienfehler

Der Operator hat über die Festlegung von Start- und Endpunkt der Messung erheblichen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Messergebnisse. Routinierte Operatoren wählen den Startpunkt mit größerer Präzision als ungeübte. Der Fahrer hat durch die Wahl der Messspur einen erheblichen Einfluss auf das festgestellte Messniveau. Beide gemeinsam müssen eine qualifizierte Plausibilitätskontrolle vor Ort durchführen können, mit der über die Gültigkeit der Messdaten entschieden wird. Trotz dieser Bedeutung bezüglich der Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse fehlt bislang jegliche Qualifikationsanforderung an das Bedienpersonal.

– Gerätekonstruktion

Die derzeitige Erfassungsbreite von maximal 3,20 m ist insbesondere unter Berücksichtigung der lokalen Differenzen von bis zu 40 cm in den real gefahrenen Messlinien zu gering, um die für die Bestimmung der Spurtiefe relevanten Stellen in jedem Fall vollständig zu erfassen. Eine Erhöhung der Erfassungsbreite ist aus dieser Sicht wünschenswert, birgt jedoch zusätzliche Probleme. So müssen dann aufgelegte Fahrbahnmarkierungen ausgeblendet werden und Messpunkte über den Fahrbahnrand hinaus erkannt und eliminiert werden. Insbesondere aufgrund der derzeit etwas zu gering bemessenen Erfassungsbreite ist es vor allem notwendig, eine einheitliche Anordnung der Querebenheits-Messbalken am Fahrzeug vorzuschreiben, um eine zufriedenstellende Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erzielen. Es ist nachweisbar, dass die derzeitigen Differenzen in der Anordnung von rund 15 cm sich gravierend auf die Messergebnisse auswirken.

– Ausreißererkenntnis

Die derzeitige Regelung zur Erkennung und Eliminierung von Ausreißern reicht nicht aus, um die in der Praxis auftretenden und ergebnisrelevanten Ausreißer zu erkennen und zu eliminieren. Sowohl bezüglich der Querebenheitsmessung als auch in der Längsebenheitsmessung wurden weitere Ausreißertypen identifiziert, die aus dem Datenkollektiv eliminiert werden müssen. Es wurden Wege zur Erkennung und Eliminierung vorgeschlagen und in der aktuellen Entwurfsfassung der "TP Eben – Berührungslose geschwindigkeitsunabhängige Messungen" berücksichtigt.

Die Wiederhol- und Vergleichsstreubereiche wurden für die Zustandsgrößen der Ebenheit bestimmt. Dabei wurden geführte und ungeführte Fahrten getrennt betrachtet und ausgewertet. Die Auswertung erfolgte jeweils für einfache, doppelte und dreifache Messfahrt, wobei bei mehrfacher Befahrung jeweils der Mittelwert aus den einzelnen Fahrten als Messergebnis zugrunde gelegt wurde.

Grundsätzlich wurde festgestellt, dass die Wiederholbarkeit durch geführte Fahrten deutlich verbessert wurde, auf die Vergleichbarkeit aufgrund der konstruktiven Unterschiede zwischen den Messsystemen die Führung sich jedoch häufig

sogar negativ auswirkte. Dies wurde darauf zurückgeführt, dass in freier Fahrt im Gegensatz zur abstandsgeführten Fahrt die konstruktiven Unterschiede teilweise durch entsprechendes Fahrverhalten ausgeglichen werden konnten.

In den Bildern 1-3 sind die Vergleichs- und Wiederholgenauigkeiten für einige der Zustandsgrößen dargestellt. Die Vergleichs- und Wiederholgenauigkeit der Spurtiefe MSPT (wie auch MSPTR und MSPTL) ist von der Höhe des Messniveaus unabhängig (Bild 1). Die Präzision der fiktiven Wassertiefe MSPH (wie auch MSPHR und MSPHL) ist dagegen deutlich von der Höhe des Messniveaus abhängig (Bild 2). In beiden Fällen ist die Differenz zwischen Vergleichs- und Wiederholgenauigkeit ungewöhnlich hoch, was von den bereits angesprochenen konstruktiven Unterschieden hervorgerufen wird.

Aus diesem Grund wirken sich Mehrfachmessungen vor allem verbessernd bezüglich der Wiederholbarkeit aus, während die Vergleichbarkeit hierdurch nur unwesentlich gesteigert wird.

Die Zustandsgrößen der Längsebenheit zeigen generell eine ausgeprägte Abhängigkeit der Streubreite von der Höhe des Messniveaus (siehe z. B. AUN in Bild 3).

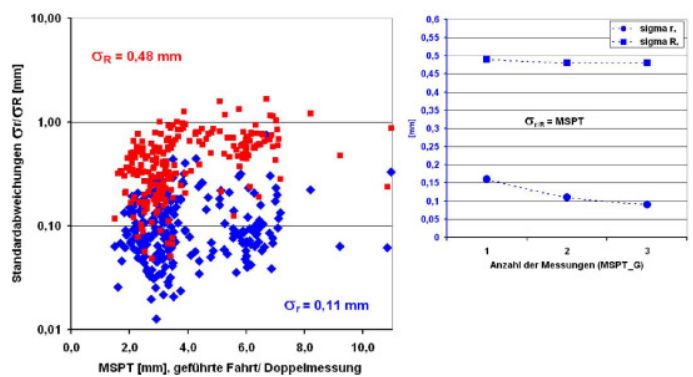


Bild 1: Darstellung der Standardabweichungen unter Vergleichs- und Wiederholbedingungen für das Maximum der mittleren Spurtiefen links und rechts MSPT (geführte Fahrt). Rechts ist die Abhängigkeit der Parameter von der Anzahl der Messungen dargestellt.

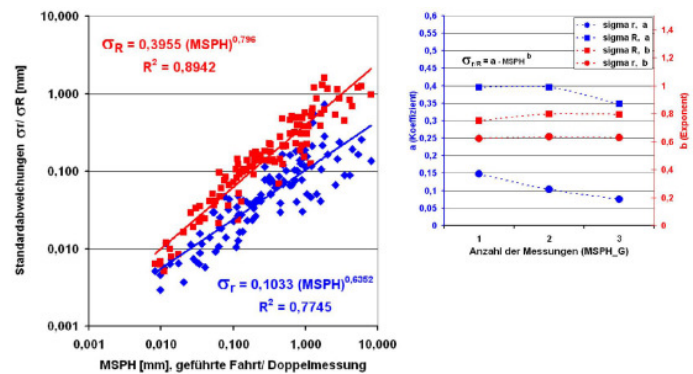


Bild 2: Darstellung der Standardabweichungen unter Vergleichs- und Wiederholbedingungen für das Maximum der mittleren fiktiven Wassertiefen links und rechts MSPH (geführte Fahrt). Im rechten Diagramm ist die Abhängigkeit von der Anzahl der Einzelmessungen dargestellt.

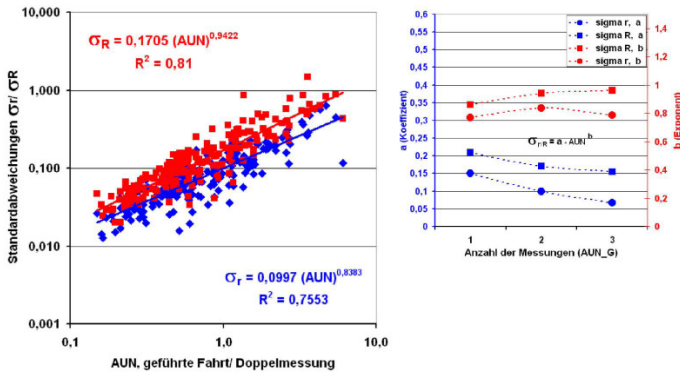


Bild 3: Darstellung der Standardabweichungen unter Vergleichs- und Wiederholbedingungen für die Allgemeine Unebenheit (geführte Fahrt)

4 Folgerungen für die Praxis

Aufgrund des Untersuchungsergebnisses wurde die Entwurfssfassung "TP Eben – Berührungslose geschwindigkeitsunabhängige Messungen" überarbeitet. Dies betrifft sowohl die technische Gerätebeschreibung, die Auswerteverfahren wie auch die Prüfverfahren im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung. Wesentlich für die Datenqualität ist vor allem das sichere Erkennen von Unregelmäßigkeiten im Rahmen der Plausibilitätskontrolle. Um diese durchführen zu können, ist zumindest eine Doppelmessung erforderlich, wie sie im Rahmen der bauvertraglichen Regelungen bereits vorgesehen ist.

Die Anpassungen des Regelwerkes sind erforderlich, um für den einzelnen 100-m-Abschnitt auch die fiktive Wassertiefe mit einer Präzision angeben zu können, die eine sichere Unterscheidung z. B. zwischen Warn- und Schwellenwert ermöglicht. Gleichzeitig wird auch die Präzision der übrigen Zustandsgrößen verbessert.

Bezüglich der abgeleiteten Längsebenenprofile wurden systematische Abweichungen zwischen den Systemen festgestellt, für deren vollständige Aufklärung jedoch das zur Verfügung stehende Datenmaterial allein nicht ausreichte. Unabhängig davon war die Präzision der zugeordneten Zustandsgrößen nach dem gegenwärtigen Stand der Technik ausreichend, um eine sichere Bewertung im Rahmen der ZEB durchführen zu können. Das für bauvertragliche Anwendungen wesentliche 4-m-Lattenkriterium (Planographensimulation) erfüllt die notwendigen Präzisionsanforderungen allerdings nur knapp und dies auch nur dann, wenn Ausreißer im Längsprofil zuvor durch Profilvergleich sicher erkannt und eliminiert wurden. Hier wäre eine wesentliche Präzisionssteigerung zu erwarten, wenn die Ursache für die systematischen Unterschiede zwischen den Systemen aufgeklärt werden könnte.

Neben der Planographensimulation wurde auch das neu entwickelte Bewertete Längsprofil hinsichtlich seiner Vergleichs- und Wiederholstreubereiche untersucht. Es zeigte sich hier, dass ähnlich hohe Anforderungen an das Messverfahren gestellt werden. Anders als bei AUN oder LWI haben Abweichungen einzelner Messpunkte erhebliche Auswirkungen auf die Präzision des Verfahrens. Neue Prüfverfahren zur Überprüfung der Messsysteme wie der Profilvergleich müssen daher in der Praxis erprobt und in die Entwurfssfassung der "TP Eben – Berührungslose geschwindigkeitsunabhängige Messungen" übernommen werden. Dies ist erforderlich, damit die Technik den Anforderungen des neuen Bewertungsverfahrens zukünftig besser gerecht werden kann.