

Hat das Sandflächenverfahren bald ausgedient?

Rolf-Rainer Schulz
FFin Frankfurter Forschungsinstitut für
Architektur • Bauingenieurwesen • Geomatik
Fachhochschule Frankfurt am Main

Zusammenfassung

Für die Beurteilung der Rauheit des Beschichtungsuntergrunds wird seit Jahrzehnten das Sandflächenverfahren eingesetzt, weil es sich durch eine einfache Handhabung sowie durch einen geringen Geräte- und Materialaufwand auszeichnet. Leider weist dieses Verfahren einige schwerwiegende Nachteile auf. Dazu gehören der starke Prüferinfluss, die fehlende Möglichkeit, vertikale oder stark geneigte Flächen zu prüfen, die Beschränkung auf einen Rautiefenbereich zwischen 0,25 und 5 mm sowie die viel zu pauschale Beschreibung der Oberflächentextur. Außerdem wird die für die Adhäsion von Beschichtungen besonders wichtige Mikrotextrur nicht erfasst. Mit modernen Laser-Profilmessgeräten, die es inzwischen in mobilen, handlichen Ausführungen gibt, lassen sich diese Nachteile nicht nur vermeiden, sondern sogar noch zusätzliche Informationen gewinnen. Mittels Streifenlichtprojektion kann die Oberflächentextur von Bauteilen auch flächig erfasst werden. Für die Auswertung der Messergebnisse fehlen allerdings noch einheitliche Standards. In diesem Beitrag werden Forschungsergebnisse und die Perspektiven für die neuen Prüfmethode vorgestellt.

1 Einleitung

Bei Parkbauten ist die Herstellung und der Nachweis einer vorgegebenen Oberflächenrauheit von Bedeutung

- für die Beurteilung der Adhäsionsfläche und des Materialverbrauchs für Oberflächen-schutzbeschichtungen,
- für die Rutsicherheit zur Verhinderung von Ausgleitunfällen,
- für die Griffigkeit und deren Veränderung durch Verschleiß vor allem im Bereich der Rampen und Spindeln,
- und nicht zuletzt für die Reinigungsfähigkeit.

Für die Dauerhaftigkeit von Parkhausbeschichtungen im Neubau oder im Instandsetzungsfall ist eine angemessen aufgeraute Oberfläche, die genügend Adhäsionsfläche bietet, ebenso wichtig wie ein genügend tragfähiger Untergrund. Die Instandsetzungs-Richtlinie [1] quantifiziert aber nicht, wie rau der Untergrund sein muss, sondern liefert nur den Hinweis: „Für örtliche Ausbesserungen bzw. flächige Beschichtungen muss der Betonuntergrund (...) eine dem zu verwendenden Stoff angepasste Rauheit aufweisen.“ Dies dürfte den Ausführenden kaum als hinreichende Leistungsbeschreibung dienen. Ist der Untergrund für Beschichtungen zu glatt, beeinträchtigt dies die Adhäsion der aufzutragenden Schichten. Ist der Untergrund zu rau wird der Materialverbrauch zu groß und die Gefahr von Ausführungsfehlern wie z.B. Luft einschließen steigt. Eine genauere Leistungsbeschreibung und eine Quantifizierung der Anforderungen in Anlehnung an [2] wären von Vorteil. Allerdings müssten mit detaillierteren

Anforderungen auch die Nachweismöglichkeiten Schritt halten. Im Rahmen von Schutz und Instandsetzungsmaßnahmen gemäß DAfStb Rili SIB [1] dient vor allem das in diesem Beitrag kritisierte Sandflächenverfahren zur Bestimmung der mittleren Rautiefe von horizontalen Oberflächen. Diese Prüfung soll im Anschluss an die Untergrundvorbereitung erfolgen. Andere Verfahren sind jedoch zulässig.

Die Berufsgenossenschaftlichen Regeln BGR 181 [3] fordern für Bodenbeläge Prüfzeugnisse mit Rutsicherheitsnachweisen gemäß DIN 51130 [4]. Die Bewertung erfolgt an Baumustern nach dem Begehungsverfahren mit der ‚schiefen Ebene‘, welches jedoch als reines Laborprüfverfahren nicht geeignet ist, die Ausführungsqualität oder zeitabhängige Eigenschaftsänderungen am Objekt nachzuweisen. Im Gegensatz dazu ist die Messung des Gleitreibungskoeffizienten nach DIN 51131 [5] zwar ortsunabhängig möglich, doch fehlt dem Verfahren die Anerkennung, weil die Ergebnisse von vielen Prüfeinflüssen abhängen, stark streuen und gemäß DIN 51131 [5] und BGHW [6] nicht auf die Rauheitskategorien der ‚schiefen Ebene‘ übertragbar sind. Da es dem Prüfverfahren außerdem an Trennschärfe mangelt, eignet es sich nur für sehr grobe Klassifizierungen (vgl. [7]). Somit lässt sich derzeit nicht mit genügender Genauigkeit und Sicherheit am Bauwerk feststellen, ob die Anforderungen an die Rutsicherheit tatsächlich erfüllt sind. Die Griffigkeit steht mit diesen Kenngrößen in engem Zusammenhang. Dafür sind Anforderungen [10] und Nachweismethoden den Straßenbauvorschriften zu entnehmen, in denen neben dem Sandflächenverfahren [8] bereits auch Profilmessverfahren [9] standardisiert sind.

Die Rauheit ist eine primäre Eigenschaft von der die genannten Sekundäreigenschaften - d.h. die Gebrauchseigenschaften - abhängen (vgl. [11]). Sie wird durch die Art der Oberflächengestaltung oder -bearbeitung geprägt. Sie ist zwar nicht der alleinige Einfluss auf die Nutzungseigenschaften, sie gehört aber zu denjenigen Faktoren, die sich gezielt steuern lassen. Angesichts der Bedeutung der Oberflächentextur für die oben genannten Gebrauchseigenschaften und den im Gegensatz dazu nur unzureichenden Anforderungen und Bewertungsmethoden erscheint es dringend geboten, die Entwicklung auf diesem Gebiet voranzutreiben, zumal geeignete Technologien und Bewertungsmöglichkeiten schon aus anderen Bereichen bekannt sind und nur noch auf die Belange der jeweiligen Problemstellung im Bauwesen angepasst werden müssen. Ein Festhalten an dem Sandflächenverfahren allein aus Gründen der Einfachheit und Gewohnheit, kann im Hinblick auf den technischen Fortschritt und einer gesicherten bzw. verbesserten Ausführungsqualität nicht länger hingenommen werden. Auch Kostengründe relativieren sich, wenn man Qualitätskosten in die Gesamtbetrachtung einbezieht. Der vorliegende Beitrag vergleicht moderne elektrooptische Messverfahren mit der traditionellen volumetrischen Sandflächenmethode und legt dar, welcher Nutzen aus den alternativen Messmethoden gezogen werden kann.

2 Rauheitsmessverfahren

2.1 Sandflächenverfahren (volumetrisches Verfahren)

Das Sandflächenverfahren, auch Sandfleckverfahren genannt, ist ein schon seit mehr als vier Jahrzehnten im Straßendeckenbau gebräuchliches Verfahren zur volumetrischen Bestimmung der mittleren Texturtiefe. Mit gewissen Abwandlungen hat sich das Prüfverfahren auch im Bereich Betoninstandsetzung [1], [12] und für Ortbetonergänzungen [2] etabliert. Mit diesem Verfahren wird über ein definiertes Sandvolumen, welches mit einer Holz- oder Metallscheibe durch spiralförmige Bewegungen auf der Oberfläche verteilt wird, und dem mittleren Durchmesser des entstehenden kreisförmigen Sandflecks die Rautiefe R_t bestimmt. Mit diesem Wert, der gemäß DIN EN 13036-1 [8] auch ‚mittlere Texturtiefe MTD‘ genannt wird, erhält man eine integrale Information über die Makrotextur. Die Art und Form der Oberfläche lässt sich damit allerdings nicht beschreiben. Der Messbereich liegt gemäß [8] zwischen Texturtiefen von 0,25 mm bis 5 mm. Je nach Anwendungsgebiet gelten unterschiedliche Prüfvorschriften mit Prüfdetails, die sich spürbar auf das Ergebnis auswirken können und daher die Vergleichbarkeit erschweren. So wurden bei umfangreichen Feldversuchen [13] allein durch Wechsel des Prüfandes um etwa 6 Prozent veränderte Rautiefen festgestellt.

Folgende Unterschiede zwischen den einzelnen Prüfvorschriften sind zu beachten: Die Prüfungen nach DAfStb Rili SIB [1] und ZTV-ING [12] unterscheiden sich durch den Korngrößenbereich des Prüfandes. Bei den Verfahren nach DIN EN 1766 [14] und DIN EN 13036-1 [8] werden demgegenüber nicht nur deutlich kleinere Korngrößen verwendet, sondern außerdem größere Verteilerscheiben, die zudem an der Unterseite mit einer Hartgummischicht versehen sind. Nach [8] besteht das Prüfmedium aus Glaskugeln statt Sand und die Verteilerscheibe ist mit einer vorgeschriebenen Masse von 305 ± 10 g erheblich schwerer als die Holz-scheiben nach [1] und [12]. Gemäß [14] soll der Sand ohne Verdichtung in das Messgefäß eingefüllt werden. Nach [8] wird das Prüfmedium hingegen beim Befüllen des Messgefäßes leicht verdichtet. Die DAfStb Rili SIB [1] und ZTV-ING [12] machen dazu keine Angaben. Bei der Prüfung nach [8] ist mit dem Verteilerwerkzeug ein gewisser Druck auszuüben, was gemäß



Bild 1: Sandflächenverfahren nach DAfStb Rili SIB [1], Kornoberflächen mit Sand bedeckt

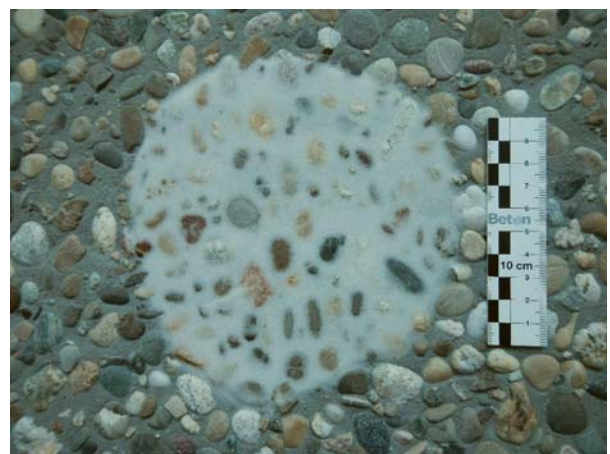


Bild 2: Volumetrisches Verfahren mit Glassand nach DIN EN 13036-1 [8], sichtbares Grobkorn

DAfStb Rili SIB [1] und ZTV-ING [12] nicht der Fall sein soll. Die Bilder 1 und 2 verdeutlichen die Auswir-

kungen: Mehrere Kornkuppen, die bei der Vorgehensweise nach [8] freigelegt wurden, sind bei Prüfung nach [1] und [12] noch mit Sand bedeckt. DIN EN 13036-1 [8] schreibt vor, dass der Durchmesser des (Glas-)Sandflecks an 4 gleichweit voneinander entfernten Stellen (nach DIN EN 1766 [14] an 3 Stellen) auf dessen Umfang zu bestimmen und zu mitteln ist. Die beiden anderen Vorschriften [1], [12] machen dazu keine Angaben. Die Frage ist, wie stark sich die genannten Unterschiede auch auf die Prüfergebnisse auswirken. Die Untersuchungen von Gluth et al. [15] lassen zwar insbesondere bei dem Verfahren mit Glaskugeln nach DIN EN 13036-1 [8] systematische Abweichungen gegenüber DAfStb Rili SIB [1] und ZTV-ING [12] erkennen, doch werden diese von den Verfassern erst unterhalb von $R_t = 0,6$ mm als signifikant eingestuft.

2.2 Elektrooptische Messverfahren

Als baustellentaugliche Alternativen zum Sandflächenverfahren kommen zurzeit vor allem Laser-Profilmessverfahren in Betracht. Die Auswertung der Profilmessdaten kann in Anlehnung an die Regelwerke für Tastschnittverfahren (z.B. DIN EN ISO 4287 [16]) erfolgen, wie sie im Maschinenbau und in der Feinwerktechnik gebräuchlich sind. Bei entsprechender Maßstabsanpassung (mm statt μm) kann sogar die in diesen Industriebereichen vorhandene Software für die Berechnung der Rauheitsparameter genutzt werden. Aber auch für berührungslose Messverfahren gibt es mit DIN EN 13473-1 [9] bereits standardisierte Prüfvorschriften und langjährige Erfahrungen. Diese beziehen sich allerdings auf die Belange des Straßendeckenbaus und sind nicht allgemein anwendbar. Einer der Gründe dafür dürften die vorgeschriebenen Profilverfilter sein, mit denen die Mikrotextur mit Wellenlängen $< 2,5$ mm aus den Messwerten eliminiert wird. Für die Korrelation mit dem Adhäsionsverhalten, der Rutschsicherheit und der Griffigkeit ist dies von Nachteil, weil diese Eigenschaften besonders von der Mikrotextur beeinflusst werden. Unter den Prüfbedingungen der genannten Norm [9], die auf eine Bewertung der Makrotextur ausgerichtet ist, darf man jedoch von guten Korrelationen zur volumetrischen Methode ausgehen.

Die Beurteilung von Oberflächen anhand von Profilschnitten erscheint nur dann sinnvoll, wenn die Texturelemente wie bei gestrahlten Oberflächen stochastisch verteilt sind. Auch Riefen- bzw. Rillenstrukturen können mit Profilen quer zur bevorzugten Rillenrichtung sinnvoll bewertet werden. Bei komplexeren dreidimensionalen Texturelementen wie z.B. Waben, Noppen oder Kratern stoßen diese Verfahren jedoch an ihre Grenzen. Hierfür sind 3D-Methoden zur flächigen Erfassung der Oberflächentextur erforderlich. Dies lässt sich z.B. mit einer Vielzahl parallel verlaufender Profillinien erreichen (scannende Profilschnittmethode). Konfokalverfahren oder die Interferometrie eignen sich vor allem für hochgenaue Messungen an sehr

kleinen Flächenelementen. Für baupraktische Anwendungen kommt besonders die Streifenlichtprojektion in Betracht. Letztere wurde bereits mit Erfolg für Texturmessungen an Bauteiloberflächen getestet [17]. Diese 3D-Messtechnik ist zwar universeller und wird wahrscheinlich in Zukunft eine große Rolle spielen, doch sind die Geräte zurzeit noch vergleichsweise teuer und die Auswertung gestaltet sich sehr komplex. Außerdem ist die Standardisierung der Oberflächenkenngrößen noch nicht abgeschlossen. Die entsprechende Normenreihe DIN EN ISO 25718 (z.B. [18]) liegt zum großen Teil erst als Entwurfsfassung vor. Daher stellen momentan noch die berührungslosen 2D-Messverfahren die praktikabelste Alternative zum Sandflächenverfahren dar. Vorteile gegenüber dem Sandflächenverfahren sind:

- Eignung auch für vertikale Flächen,
- schnelle Prüfungsdurchführung
- kein Prüferinfluss
- hohe Genauigkeit
- Erfassung von Makro- und Mikrorauheit
- sehr gute Reproduzierbarkeit
- universelle Auswertmöglichkeiten
- zusätzliche Rauheitsparameter

Nach DIN EN ISO 13473-1 [9] können Profilmessverfahren volumetrische Verfahren ersetzen. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Resultate unterschiedlicher Messverfahren nicht immer untereinander vergleichbar sind. Weitere Einschränkungen sind:

- Hohe Gerätekosten
- Messfehler oder Ungenauigkeiten an sehr steilen (schroffen) Profilen und Kanten durch Abschattungen sowie bei durchscheinenden glasigen oder stark reflektierenden Oberflächenpartikeln (z.B. Glimmer)
- Messfehler durch Nässe oder starke Lichteinwirkungen

2.3 Eingesetzte Profilmessgeräte

Mit dem serienmäßig hergestellten ‚ELAtextur®-Gerät‘ (Bild 3) der Firma IWS-Messtechnik und dem ‚Profilometer FH FFM‘ (Bild 4), einem Prototyp der FH Frankfurt, stehen zwei Geräte unterschiedlicher Bauart zu Verfügung. Neben zum Teil abweichenden technischen Daten (siehe Tabelle 1) differiert vor allem die Art der Profilaufnahme. Während der Laser bei dem ELAtextur®-Gerät eine Kreisbahn beschreibt, werden ein oder mehrere Laser bei dem Profilometer FH FFM entlang einer Traverse geradlinig über die Oberfläche bewegt (Bild 4). Bei diesem Gerät können bis zu 8 Lasersensoren im Messpunktstand von 12 mm nebeneinander betrieben werden.



Bild 3: ELAtextur®-Laser-Profilmessgerät

Während der interne Mikroprozessor des ELAtextur®-Geräts die Messung quasi per Knopfdruck durchführt und auswertet, erfordert die Messung mit dem Prototyp der FH FFM mehrere Arbeitsschritte [19].



Bild 4: Profilometer FH FFM

Da bei dem Profilometer FH FFM die Art und Anzahl der einsetzbaren Laser-Sensoren variiert werden kann, lassen sich z.B. die Messbereiche und die davon abhängigen Vertikalauflösungen sehr flexibel den jeweiligen Aufgaben anpassen (s. Tabelle 1). Zudem sind die Messgeschwindigkeit und damit auch die Zahl der Messpunkte je Messstrecke in weiten Grenzen frei wählbar. Die Auswertung erfolgt mit dem Programm Omnisurf [20], wobei eine Vielzahl von ausgegebenen Parametern die Möglichkeit bietet, unterschiedliche Zusammenhänge zwischen Textur- und Anwendungseigenschaften zu untersuchen. Eine entsprechende Auswertung ist aber im Prinzip auch mit dem ELAtextur®-Gerät möglich, weil sich die Roh-Messdaten auslesen und in ähnlicher Weise mit externer Software verarbeiten lassen wie beim Profilometer FH FFM.

Da das Computer-Programm für die geräteunabhängige Ermittlung der Rauheitsparameter vor allem auf die Berechnung von in der Feinmechanik gebräuchlichen Rauheitskenngrößen nach DIN EN ISO 4287 [16], DIN EN ISO 4288 [21], DIN EN ISO 13565 [22], [23] so-

wie nach ASME B46.1-2009 [24] ausgelegt ist, musste den speziellen Anforderungen der DIN EN ISO 13473-1 [9] durch zusätzliche Datenaufbereitung genügt werden.

Tabelle 1: Technische Daten der eingesetzten Laser-Messgeräte im Vergleich zu den Anforderungen an Profilmessgeräte gemäß DIN ISO 13473 [9], [25], [26] für die Wellenlängenbereichsklasse D (2,5 bis 50 mm)

Gerät	ELA-textur®	Profilometer FH FFM		Anforderungen gemäß DIN ISO 13473-3
		L1	L2	
Laser		L1	L2	
Messbereich in mm	20	10	20	≥ 20
vertikale Auflösung in mm	0,05	0,005	0,01	$\leq 0,03$ ($\leq 0,05$ ¹⁾)
horizontale Auflösung in mm	0,2	0,025		≤ 1
Auswertelänge (auswertbare Profillänge/Messung) in mm	400	200		≥ 200 (≥ 100 ¹⁾)
Anzahl der Messpunkte/Messung	2000	8000		
Linearitätsfehler der Laser bezogen auf den Messbereich in mm		0,006...0,015 (0,06...0,15 %)		≤ 2 %
Messpunktdurchmesser in mm	≤ 1	0,2 – 0,5		≤ 1 ¹⁾
Dauer einer Messung in s	ca. 6	ca. 6,6		

¹⁾ gemäß DIN EN ISO 13473-1 [9]

Eine mit dem Sandflächenverfahren vergleichbare integrale Information kann bei der Profilmessung nur mit einer adäquaten Anzahl von Profillinien erzielt werden. Dafür wird nach DIN EN ISO 13743-1 [9] eine Gesamtmessstrecke von 1 m als ausreichend angesehen. Bei allen Untersuchungen mit dem Profilometer wurden jeweils mindestens 5 Profillinien à 200 mm in eine Richtung und weitere 5 quer dazu gemessen. Mit dem ELAtextur®-Gerät sind dementsprechend mindestens 3 Messungen je Messstelle erforderlich.

3 Untersuchungen

3.1 Sandflächenverfahren

Zur Erforschung der Prüfeinflüsse beim Sandflächenverfahren wurde ähnlich wie in [15] beschrieben mit parallel durchgeführten Messungen untersucht, wie sich die Anwendung unterschiedlicher Prüfvorschriften auf die Ergebnisse auswirkt. Nahezu alle Versuche wurden außerdem von einem zweiten Prüfer wiederholt. Als Prüfkörper diente eine große Palette an unterschiedlich bearbeiteten unbeschichteten Betonwaren sowie eine Reihe von unterschiedlich kunstharzbeschichteten und abgestreuten Musterplatten. Hinzu kamen Schleifpapiersortimente mit großer Körnungs-

bandbreite. Mit Rücksicht auf die Prüfflächengröße und Oberflächentextur musste das Sand- bzw. Glasvolumen von 25 cm³ auf 15 cm³, 10 cm³ oder 5 cm³ reduziert werden, um einen auswertbaren Sandfleck zu erhalten. Die Kurzbezeichnungen V25 bis V5 in den Bildern 5 bis 7 geben Hinweise auf das jeweils verwendete Sandvolumen.

3.2 Vergleich von volumetrischen mit Laser-Profilmessverfahren

Die Vergleichsuntersuchungen Laser/Sandfleck erfolgten zum Teil auf ausgewählten Autobahn-Neubaustrassen mit Waschbeton-Oberflächentexturen. Dabei betrug der Größtkorndurchmesser der gebrochenen Gesteinskörnung 8 mm [19]. Ein weiterer Teil der Untersuchungen wurde an unterschiedlich oberflächenbearbeiteten Laborproben mit natürlich gekörnter Gesteinskörnung durchgeführt [27].

Zu jedem Messpunkt auf den Autobahn-Neubaustrassen gehörte eine Messung mit dem Elatextur®-Gerät und eine Sandflächenmessung. Das Profilometer der FH FFM kam nur an einem Teil dieser Messstellen zum Einsatz. Die volumetrische Rautiefenbestimmung erfolgte gemäß den Anforderungen im Straßendeckenbau mit Glassand nach DIN EN 13036-1. Bei jedem Einsatz des Profilometers der FH FFM verliefen zuerst 10 Messungen (5 je Laser) parallel versetzt in eine Richtung und danach 10 weitere Messungen (5 je Laser) senkrecht zu den ersten. Auf diese Weise wurde ein Quadrat von etwa 200 mm x 200 mm erfasst. Mit den beiden parallel geführten Lasern ergaben sich somit 20 Messlinien und eine summierte Messstrecke von 4 m je Messpunkt. Für die Untersuchung der Laborproben wurde nur Laser L1 (Tabelle 1) aktiviert. Auf den Autobahnmessfeldern beschränkten sich die Messungen mit dem Elatextur®-Gerät auf eine Messung (Gesamtmessstrecke 400 mm) je Messpunkt und blieben damit unter der Forderung der DIN EN ISO 13473-1 [9] (Gesamtmessstrecke mindestens 1 m). Im Gegensatz dazu wurden an den Laborproben mit den Abmessungen 300 mm x 300 mm x 75 mm auch mit diesem Gerät 5 Messungen auf der Probenoberfläche durchgeführt, sodass hierbei die Gesamtmessstrecke je Probe für beide Laser-Messgeräte 2 m betrug. Verfahrensbedingt waren allerdings gewisse Unterschiede in der Prüfflächenabdeckung nicht zu vermeiden.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Volumetrisch ermittelte Texturtiefe

Aus den Bildern 5 bis 7 gehen die Ergebnisse der Laboruntersuchungen für einige Teilaspekte hervor. Die Legende bzw. die unterschiedlichen Symbole beziehen sich auf das jeweils verwendete Sand- bzw. Glasvolumen. Da der größte Teil der Ergebnisse im Rautiefen-

bereich $R_t < 1$ mm liegt, ist dieser Bereich zur besseren Unterscheidung der Messergebnisse im Bild 6 als Ausschnitt vergrößert dargestellt. Hier zeigt sich deutlich,

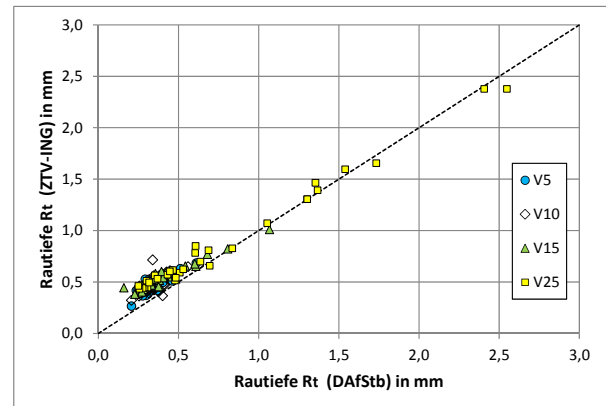


Bild 5: Zusammenhang zwischen den Rautiefen nach DAfStb [1] und ZTV-ING [12]

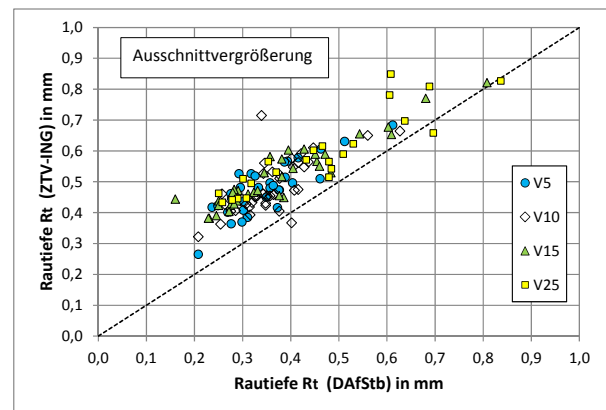


Bild 6: Ausschnittvergrößerung mit erkennbaren Unterschieden zwischen den Rautiefen nach DAfStb [1] und ZTV-ING [12]

wie stark die Ergebnisse streuen und dass das Verfahren nach ZTV-ING [12] bis in den Bereich von $R_t = 0,7$ mm größere Rautiefen liefert als das Verfahren nach der DAfStb Rili SIB [1]. Beide Methoden unterscheiden sich nur durch den Größtkorndurchmesser des Prüfandes, welcher nach DAfStb [1] 0,3 mm und nach ZTV-ING [12] 0,5 mm beträgt. Dieser Unterschied wirkt sich bei geringer Rauheit offenbar stärker aus als bei größerer. Oberhalb von $R_t = 0,7$ sind nämlich keine systematischen Unterschiede mehr erkennbar. Da das Größtkorn des Prüfmediums nach DIN EN 13036-1 [8] 0,25 mm und nach DIN EN 1766 [14] nur 0,1 mm beträgt, liegen die Resultate bis Rautiefen von $R_t = 1$ mm unterhalb derjenigen nach DAfStb [1]. Oberhalb von $R_t = 1$ mm bestehen offenbar keine systematischen Unterschiede mehr.

Die dargestellten Untersuchungsergebnisse wurden von ein und derselben Prüfperson gewonnen. Ein zweiter Prüfer kam zu tendenziell ähnlichen Ergebnissen. Bei den in [15] beschriebenen Untersuchungen zeigten sich die verfahrensbedingten Unterschiede nicht so deutlich.

Nur zwischen den Ergebnissen nach ZTV-ING [12] und DIN EN 13036-1 [8] zeichnete sich ein ähnlicher Trend ab. Demnach werden bei geringen Rautiefen mit kleinerem Größtkorn offenbar kleinere Rautiefen erzielt als mit größerem. Eigentlich erwartet man, dass feineres Korn Vertiefungen besser verfüllt, weshalb der Rautiefe größer sein müsste. Tatsächlich bildet sich bei größerem Größtkorn und gleichem Sandvolumen auf relativ glatten Oberflächen eine dickere Sandschicht und

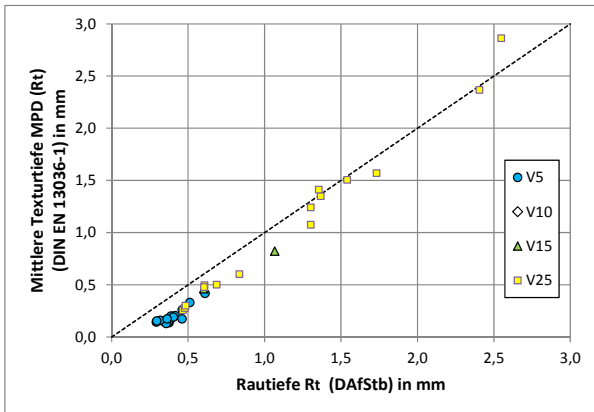


Bild 7: Zusammenhang zwischen den Rautiefen nach DAFStb [1] und DIN EN 13036-1 [8]

daher ein kleinerer Sandfleckdurchmesser als bei feinerem Korn. Ähnliches lässt sich auch in den Bildern 1 und 2 feststellen, wobei in Bild 1 der größere Sand die Oberflächen der Kieskörner weitgehend bedeckt, während diese bei dem Verfahren nach DIN EN 13036-1 [8] (Bild 2) allenfalls noch mit einer dünnen Schicht aus transparenten Glaskugeln bedeckt sind. Bei dem Verfahren nach DIN EN 13036-1 [8] handelt es sich zudem um ein engeres Kornband und es kommen noch Effekte aus der größeren Mobilität der Glaskugeln hinzu. Teilweise zeigten die Versuche mit den Glaskugeln einen zerfaserten Rand (s. Bild 8), der die Bestimmung des Fleckdurchmessers erschwert und von den Prüfern sehr uneinheitlich bewertet wird.



Bild 8: Zerfaserter Rand bei der Prüfung mit Glaskugeln nach DIN EN 13036-1 [8] (Foto: Thomas Schmidt)

Welche Auswirkungen die Größe und der Belag der Verteilerscheibe hat, konnte bisher noch nicht ermittelt werden.

4.2 Vergleich der Profilmessverfahren

Die in [19] beschriebenen Untersuchungen lassen gemeinsam mit den ergänzenden Laboruntersuchungen [27] eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden in Abschnitt 2.3 beschriebenen Laser-Profilmessgeräten erkennen. Dies ist vermutlich auf ähnliche technische Daten und auf einheitliche Auswertemethoden zurückzuführen. Mit den Resultaten konnte belegt werden, dass bei stochastischen Oberflächen (ausgewaschen oder gestrahlt) die Prüfrichtung keine Rolle spielt. Das Ergebnis ist demnach unabhängig davon, ob die Oberflächenprofile bauartbedingt auf geraden oder kreisförmigen Bahnen erfasst werden. Trotzdem ist ein geometrisch regelmäßiges Prüfraster zu empfehlen,

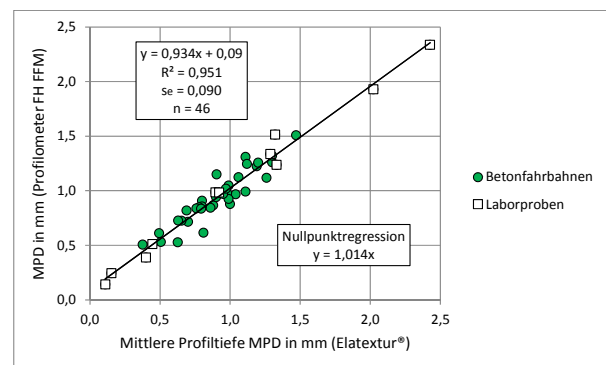


Bild 9: Korrelation zwischen den Ergebnissen beider Laser-Profilmessverfahren

damit die Auswahl der Profillinien für die Prüffläche repräsentativ ist und nicht von subjektiven Auswahlkriterien geprägt wird. Anders sind die Verhältnisse bei rilligen Texturen (z.B. Besenstrich oder gefräst). Hier hängt die Aussage unmittelbar mit der Prüfrichtung zusammen. Bei geraden Profillinien ist eine Differenzierung möglich, bei kreisförmigen nicht.

Dem einschränkenden Hinweis in DIN EN ISO 13473-1 [9], dass die Resultate unterschiedlicher Messverfahren nicht immer untereinander vergleichbar sind, lässt sich offenbar dadurch begegnen, dass die technischen Daten der Geräte in den von DIN ISO 13473-3 [26] vorgegebenen Grenzen übereinstimmen und auch die Art der Auswertung genau festgelegt ist. Das Auswerteverfahren hat einen starken Einfluss, weil damit die Roh-Messdaten einer elektronischen oder numerischen Form- und Wellenfilterung unterzogen werden, um Gestaltsabweichungen einer Größenordnung zu eliminieren, die nicht in die Rauheitskategorie gehören.

4.3 Korrelation der Rautiefen von Sandflächen- und Laser-Profilmessverfahren

Da die Rauheitsanforderungen in [2] und [10] sich auf die Rautiefe nach dem Sandflächenverfahren beziehen, müssen die elektrooptisch bestimmten Resultate (R_p bzw. MPD) dementsprechend in R_t umgerechnet wer-

den. Tatsächlich korrelieren die Parameter der vorliegenden Profilmessungen recht gut mit den Rautiefen des volumetrischen Verfahrens nach DIN EN 13036-1 [8] (Bilder 10 und 11). Demnach liegen die Rautiefen der volumetrischen Methode etwa 14 % (Nullpunktregression) über denen, die mit beiden Laser-Messverfahren ermittelt wurden. Sowohl die Labor- als auch die Praxisuntersuchungen zeigen den gleichen

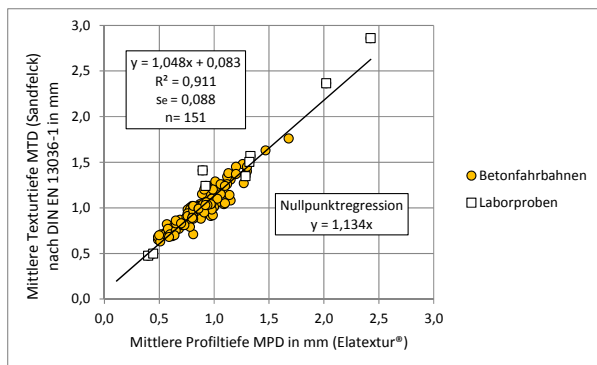


Bild 10: Korrelation zwischen den mittleren Profiltiefen des ELAtextur®-Gerätes und MTD Sandflächenverfahren [8]

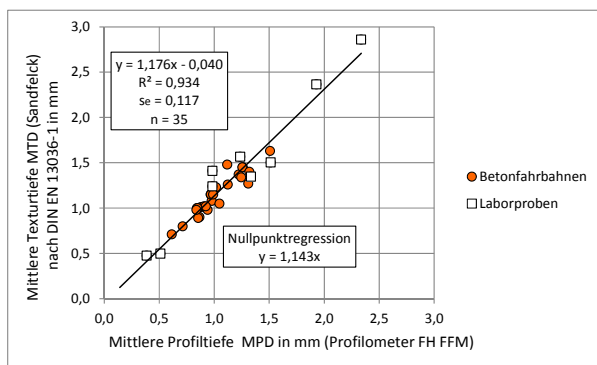


Bild 11: Korrelation zwischen den mittleren Profiltiefen des Profilometers FH FFM und MTD Sandflächenverfahren [8]

Trend. Dies ist deshalb bemerkenswert, weil die Versuche auf der Baustelle und im Labor außerdem von unterschiedlichen Prüfern und mit zwei baugleichen aber nicht identischen ELAtextur®-Geräten durchgeführt wurden. Der oben genannte Umrechnungsfaktor deckt sich jedoch mit keiner der sehr widersprüchlichen Umrechnungsvorgaben nach DIN EN ISO 13473-1 [9] und Heft 600 DAfStb [2], sondern liegt ziemlich genau dazwischen. Da dieses Resultat auf einer verhältnismäßig großen Zahl von Messergebnissen beruht und durch Parallelmessungen mit zwei Laser-Messgeräten unterschiedlicher Bauart bestätigt wird, muss dringend empfohlen werden, die Umrechnungsvarianten nach [2] und [9] einer grundlegenden Überprüfung zu unterziehen. Dies gilt besonders für die Zuordnung der Rauheitsparameter gemäß Heft 600 DAfStb [2], welche demnach erheblich auf der unsicheren Seite liegt. Erklärungen für die stark abweichenden Umrechnungsverhältnisse können unter anderem auch beim Sandflächenverfahren zu finden sein.

5 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass mit Laser-Profilmessverfahren zumindest adäquate Aussagen zur volumetrisch bestimmten mittleren Texturtiefe von Bauteiloberflächen möglich sind. Tatsächlich bieten diese Verfahren noch viel mehr: Besonders hervorzuheben ist die Eignung auch für vertikale Bauteilflächen, die weitgehende Freiheit von subjektiven Einflüssen sowie die zahlreichen zusätzlichen, zum Teil sehr differenzierten Bewertungsmöglichkeiten. Mit Profilmessverfahren und erst recht mit 3D-Messmethoden können nämlich nicht nur wie beim volumetrischen Verfahren mittlere Texturtiefen angegeben werden, sondern mit geeigneten Auswerteprogrammen und Texturparametern ohne wesentlichen Mehraufwand auch die Form der Oberfläche (rundkuppig oder sägezahnförmig) sowie die Anordnung und der Anteil an Erhebungen (inselartig oder plateauförmig). In Verbindung mit der Rautiefe lassen sich somit bessere Aussagen über den zu erwartenden Rutschwiderstand sowie über das Trag- bzw. Verschleißverhalten treffen. Außerdem können Kenngrößen für die Bewertung der Oberfläche als Kontaktfläche für Beschichtungen angegeben werden.

Das Sandflächenverfahren dürfte nach allen Erfahrungen mit Neuerungen im Bauwesen nicht so schnell ausgedient haben. Dafür ist die Methode zu sehr in der Baupraxis und in den Vorschriften verankert. Noch gilt dieses Verfahren z.B. gemäß DAfStb Rili SIB [1] als Regelfall und andere Verfahren sind nur zulässig. Dies dürfte sich aber angesichts der zahlreichen Nachteile der volumetrischen Methode einerseits und den vielen Vorteilen sowie der zunehmenden Praxistauglichkeit der elektrooptischen Messmethoden andererseits in naher Zukunft ändern. Das wachsende Interesse an modernen Texturmessverfahren zeigt, dass mittelfristig auch auf dem Gebiet der Rauheitsmessung ein Wandel durch technischen Fortschritt stattfinden wird. Dabei stellen Profilmessverfahren nur einen ersten Modernisierungsschritt dar. Die Möglichkeiten der 3D-Messverfahren als nächste Entwicklungsstufe werden bereits erprobt.

6 Literaturverzeichnis

- [1] DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie). Hrsg.: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb). Berlin und Köln: Beuth Verlag, Okt. 2001.
- [2] DAfStb-Heft 600: Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), 2012.
- [3] BG-Regel BGR 181: Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr. Hrsg: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Berlin: 2003.

- [4] DIN 51130: 2010-10: Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Arbeitsräume und Arbeitsbereiche mit Rutschgefahr, Begehungsverfahren – Schiefe Ebene.
- [5] DIN 51131: 2008-08: Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft – Verfahren zur Messung des Gleitreibungskoeffizienten.
- [6] BGHW-Merkblatt M 10: Fußböden in Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr. Hrsg: Berufsgenossenschaft Handel und Warendistribution, Mannheim und Bonn: 05.2008.
- [7] Berufsgenossenschaftliche Richtwerte für die Rutschhemmung von Fußböden im Betriebszustand. Beschluss des Fachausschusses Bauliche Einrichtungen (FABE) vom 30. No. 2004.
- [8] DIN EN 13036-1: 2010-10: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens.
- [9] DIN EN ISO 13473-1: 2004-07: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen, Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe.
- [10] ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. Köln: FGSV Verlag, 2007.
- [11] Merkblatt MOB 2009: Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Verkehrsflächen aus Beton. Köln: FGSV Verlag, 2009.
- [12] ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Bundesanstalt für Straßenwesen, Stand 2012/12.
- [13] Augeri, M.G.; Colombrita R.; Moliteo G.: Comparison between two different volumetric methods for measurement of pavement surface macrotexture. 4th International SIIV Congress - Palermo (Italy), 12-14 September 2007 .
- [14] DIN EN 1766 : 2000-03: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen.
- [15] Gluth, G. J. G.; Vogler, N., Gardei, A., Kühne H.-C.: Laserbasiertes Messverfahren zur Rautiefe-Bestimmung. 52. DAfStb-Forschungskolloquium, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin, 2011.
- [16] DIN EN ISO 4287: 2010-07: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit.
- [17] Schulz, R.-R.: Roughness and anti-slip properties of concrete surfaces. Electro-optical measuring systems to determine roughness parameters. (Rauheit und Rutschhemmung von Betonoberflächen. Elektrooptische Messsysteme zur Ermittlung von Rauheitsparametern). In: BFT International, 74 (2008), Nr. 9, S. 4-15.
- [18] DIN EN ISO 25178-2: 2012-09: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft – Teil 2: Begriffe und Oberflächen-Kenngrößen.
- [19] Schulz, R.-R.; Schmidt, T.; Hardt, R.; Riedl, R.: Baustellengerechte Laser-Profilmessverfahren für die Steuerung und Eigenüberwachung der Oberflächen-texturierung von Verkehrsflächen aus Beton. Zur Veröffentlichung in Straße und Autobahn eingereicht. Erscheinen in Heft 12/2013 angekündigt.
- [20] Digital Metrology Solutions, Inc.: www.digitalmetrology.com.
- [21] DIN EN ISO 4288: 1998-04: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit.
- [22] DIN EN ISO 13565-1: 1998-04: Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 1: Filterung und allgemeine Meßbedingungen.
- [23] DIN EN ISO 13565-2: 1998-04: Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 2: Beschreibung der Höhe mittels linearer Darstellung.
- [24] ASME B46.1-2009: Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay), Date of Issuance: August 20, 2010.
- [25] DIN ISO 13473-2: 2004-07: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen. Teil 2: Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahntexturprofilen.
- [26] DIN ISO 13473-3: 2004-07: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen. Teil 3: Anforderungen an und Einteilung von Profilometern.
- [27] Wachter, Nicolas: Messung der Rauheit von Altbeton vor der Verstärkung mit Neubeton. Bachelor-Thesis Hochschule-RheinMain (Versuche an der FH FFM), 2013 (unveröffentlicht).