

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Vogler, Nico; Gluth, Gregor; Oppat, Klaus; Kühne, Hans-Carsten Charakterisierung von Bauteiloberflächen mittels Lasertriangulation bei der Instandsetzung

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische
Hydromechanik**

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103403>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Vogler, Nico; Gluth, Gregor; Oppat, Klaus; Kühne, Hans-Carsten (2015): Charakterisierung von Bauteiloberflächen mittels Lasertriangulation bei der Instandsetzung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 445-454.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Charakterisierung von Bauteiloberflächen mittels Lasertriangulation bei der Instandsetzung

Nico Vogler
Gregor Gluth
Klaus Oppat
Hans-Carsten Kühne

Die Funktionalität und Dauerhaftigkeit von Instandsetzungs- und Verstärkungssystemen an Bauwerken hängt in einem hohen Maß von der Beschaffenheit der Bauteiloberfläche ab. Als aussagekräftiger Parameter bei der Instandsetzung dient hierbei die Rauigkeit oder Rautiefe. Die Bestimmung der Rautiefe wird im Baubereich seit vielen Jahrzehnten unter Verwendung des Sandflächenverfahrens durchgeführt. Dieses volumetrische Messverfahren hat sich als robust und sehr praktikabel erwiesen. Es ist vergleichsweise einfach und ohne größeren Kostenaufwand umsetzbar. Dennoch weist es einige Schwächen in der Anwendung auf. Der größte Mangel ist die Beschränkung auf horizontale, trockene Oberflächen. Sowohl auf vertikalen, geneigten oder gekrümmten Oberflächen als auch „über Kopf“ lässt sich dieses Verfahren nicht anwenden. Bedingt durch verschiedene nationale Normen und unterschiedliche Anwendungsbereiche, weichen sowohl die zu verwendenden Prüfmittel als auch die zu ermittelnden Kenngrößen stark voneinander ab. Dies macht eine genaue Kenntnis über die verschiedenen Vorschriften und deren Inhalte notwendig. Ein weiterer Nachteil ist die, durch das Verfahren bedingte, starke Streuung über den „Prüfereinfluss“ in den zu erzielenden Ergebnissen. Untersuchungen zur Wiederholgenauigkeit ergaben Schwankungen von bis zu 20 Prozent in Abhängigkeit von Prüfer und Prüfvorschrift.

An der BAM wurde deshalb ein automatisiertes Messsystem entwickelt, mit dem Rautiefen von Bauteiloberflächen in Anlehnung an bereits standardisierte Verfahren bestimmt werden können. Das handliche und einfach zu bedienende Gerät wurde für den Baustelleneinsatz konzipiert und arbeitet demzufolge auch unter baustellenüblichen Bedingungen zuverlässig. Durch das laserbasierte Verfahren sind Rauigkeitsmessungen in Bereichen möglich, die durch das Sandflächenverfahren nicht abgedeckt werden können. Die kurzen Messzeiten und der hohe Automatisierungsgrad reduzieren den systematischen Fehler und den Einfluss des Prüfers auf ein Minimum, was zu einer hohen Wiederholgenauigkeit führt. Aufgrund der Implementierung geeigneter Berechnungsalgorithmen entsprechen die vom System ausgegebenen Ergebnisse denen, die seit Jahrzehnten mit den volumetrischen Messverfahren erzielten Messwerte.

Stichworte: Instandsetzung, Rauigkeit, optische Messtechnik, Oberflächencharakterisierung

1 Rauigkeitsmessung

Die Oberflächenrauigkeit eines Bauteils hat einen signifikanten Einfluss auf den Haftverbund zwischen Bauwerken und Instandsetzungs- bzw. Verstärkungssystemen. Um eine widerstandsfähige und dauerhafte Verbindung realisieren zu können ist ein Mindestmaß an Oberflächenstruktur erforderlich. Diese weist der Baukörper im Idealfall bereits auf oder sie muss durch Oberflächenbehandlungsmethoden hergestellt werden. Im Regelfall sind diese Strukturen rein zufällig und besitzen keinerlei Regelmäßigkeiten. In diesen Fällen spricht man von der Rauigkeit einer Oberfläche. Nach *DIN 4760: 1982* gehört die Rauigkeit zu den Gestaltabweichungen und wird je nach Struktur in verschiedene Ordnungen unterteilt. An realen Oberflächen treten häufig mehrere Ordnungen gleichzeitig in überlagerter Form auf. Die genaue Definition der Rauigkeit hängt sehr stark vom jeweiligen Anwendungsbereich ab. Im Maschinenbau spricht man bei Strukturen im Mikrometer-Bereich bereits von Rauigkeiten während im Bauwesen Größenordnungen von einigen Millimetern erreicht werden können. Die möglichen Messmittel bei der Bestimmung der Rauigkeit variieren ebenfalls in Abhängigkeit des Anwendungsbereichs und damit von der Größenordnung der Strukturen. Bei sehr kleinen Rauigkeiten kommen sehr häufig taktile Systeme zum Einsatz. Bei diesen wird die Oberfläche mittels einer Tastspitze aus Stahl oder Diamant abgetastet und die Höhenposition der Nadel detektiert. Da der Tastspitzendurchmesser lediglich wenige Mikrometer beträgt und sehr empfindlich auf mechanische Krafteinwirkung reagiert, ist dieses Verfahren für den Baubereich eher ungeeignet. Stattdessen wird im Baubereich das sogenannte Sandflächenverfahren eingesetzt. Dieses eignet sich jedoch nur für horizontale, trockene Oberflächen und stößt somit sehr schnell an seine anwendungstechnischen Grenzen. Dank der starken Innovationen im Bereich der Optik verschiebt sich das Verhältnis der eingesetzten Verfahren sehr stark in den Bereich der berührungslosen, optischen Messtechnik. Besonders geeignet sind Methoden die nach photogrammetrischen oder laserbasierten Prinzipien arbeiten. Die Auswahl geeigneter Rauheitsparameter erweist sich ebenso schwierig wie die Definition der Rauheit selbst. In der *DIN EN ISO 13473-1* und *DIN EN ISO 4287* werden verschiedene Vorschläge für mögliche Rauheitsparameter gemacht. Die hier beschriebenen Parameter sind aus den zuvor zu ermittelnden Oberflächenprofilen abzuleiten.

1.1 Das Sandflächenverfahren

Zur Quantifizierung von Oberflächentexturen und Rauheiten im Baubereich wird seit Jahrzehnten das Sandflächenverfahren verwendet. Dabei handelt es

sich um ein volumetrisches Verfahren bei dem Oberflächenvertiefungen mit Hilfe eines Prüfmittels ausgefüllt werden. Als Prüfmittel ist in den meisten Normen eine genau festgelegte Menge Sand mit einer definierten Korngrößenverteilung vorgegeben. Diese wird mittels einer Kunststoff- oder Hartholzscheibe kreisförmig auf der Oberfläche verteilt.

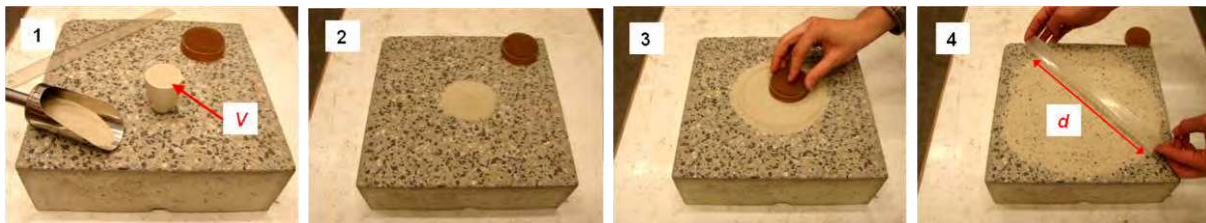


Abbildung 1: Durchführung des Sandflächenverfahrens; Vogler (2003)

Der sich daraus ergebende Kreisdurchmesser kann anschließend z.B. durch folgenden mathematischen Zusammenhang (1) in eine Rautiefe $Rt_{Kaufmann}$ umgerechnet werden.

$$Rt_{Kaufmann} = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2} \quad (1)$$

Damit entspricht die Rautiefe $Rt_{Kaufmann}$ der Höhe eines Zylinders mit dem Durchmesser d und dem Volumen V . Nach DIN EN ISO 13473-1 wird dieser Wert auch als mittlere Texturtiefe (MTD) bezeichnet.

Bedingt durch die Art des Verfahrens und den daraus resultierenden physikalischen Gegebenheiten ist diese Methode nur bedingt einsetzbar. Sowohl stark geneigte als auch gekrümmte Oberflächen bieten einen ungünstigen Untergrund für die Durchführung dieses Verfahrens. Zur Untersuchung von vertikalen Bauteiloberflächen bzw. von Deckenuntersichten ist dieses Verfahren gänzlich ungeeignet. Zur Lösung dieses Problems sind verschiedene Ansätze, wie etwa Pasten untersucht worden. Diese führten jedoch nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis. Als praktikabler erwiesen sich Silikonabdrücke der Bauteiloberflächen zu erzeugen und anschließend das Sandflächenverfahren an diesen Negativformen durchzuführen. Diese Vorgehensweise ist jedoch kostenintensiv und nimmt zudem sehr viel Zeit in Anspruch.

Nach den verschiedenen Normen wird ein trockener Untergrund für die Messung vorausgesetzt, was den Präparationsaufwand erhöhen kann. Ein nicht zu vernachlässigender Faktor ist der Anwender selbst. Sowohl das Verreiben des Sandes als auch das Ausmessen des Kreisdurchmessers obliegt dem Empfinden

der ausführenden Person. So haben Untersuchungen von *Mellmann & Oppat* (2008) bzw. von *Gluth* (2010) gezeigt, dass es somit zu Abweichungen von bis zu 20 Prozent kommen kann, wenn Oberflächen mehrfach sowohl von einer als auch von mehreren Probanden untersucht werden.

1.2 Laserbasierte Rauigkeitsmessung

Die Ermittlung des Oberflächenprofils mit dem hier vorgestellten Messsystem basiert auf der Abstandsmessung mittels Lasertriangulation.

Dabei wird die zu untersuchende Oberfläche von einem Laserstrahl abgetastet und ein Teil des von der Oberfläche diffus reflektierten Lichtes mittels entsprechender Optiken auf einen CCD- bzw. PSD-Detektor gelenkt. Laser und Detektor sind so angeordnet, dass eine Änderung des Abstandes zwischen Laser und Bauteiloberfläche automatisch zu einer Änderung der Position des Signals auf dem Detektor führt. Über entsprechende trigonometrische Zusammenhänge kann anschließend aus der Position des Signals auf dem Detektor der Abstand zwischen Messsystem und Oberfläche berechnet werden.

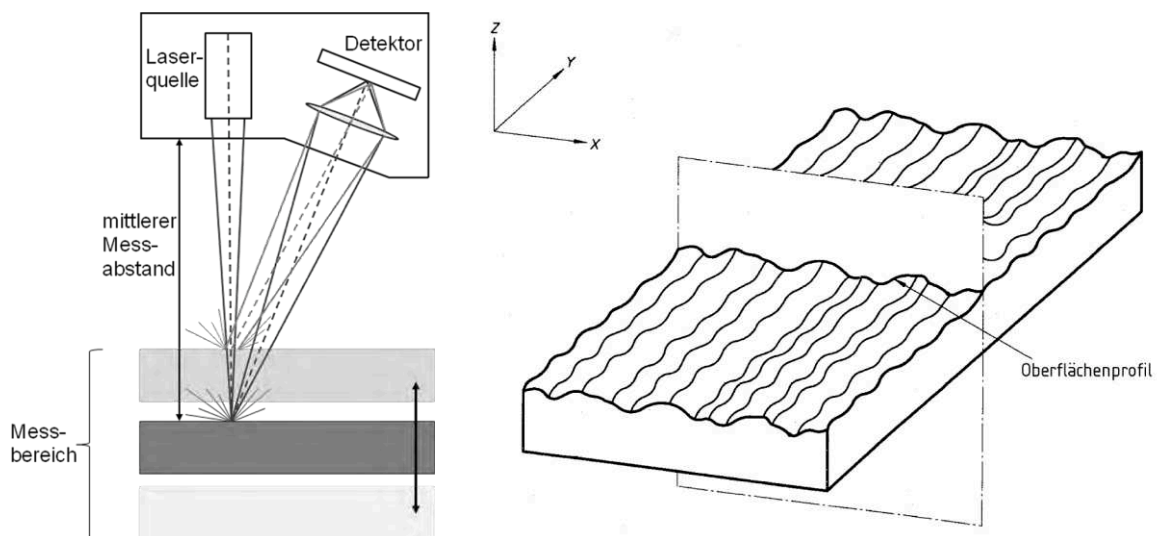


Abbildung 2: Funktionsprinzip der Lasertriangulation

Abbildung 3: Oberflächenprofil; *DIN EN ISO 4287:1998-10*

Dieser Abstand wird in Form einer Raumkoordinate (x , y , z) abgelegt und durch Bewegen des Laserstrahls über die Oberfläche die Topographie der Selbigen in einer oder zwei Raumrichtungen ermittelt. Durch die Verwendung zusätzlicher Optiken im Strahlengang kann die Form des Laserstrahls angepasst werden. So ist es möglich die Oberfläche mit einem linienförmigen Laserstrahl abzutasten, wodurch sich die Messzeiten noch einmal erheblich reduzieren lassen. Weiterhin

bedarf diese Messanordnung keinerlei mechanisch bewegter Teile, was zur Erhöhung der Stabilität und Funktionalität beiträgt.

Durch die Anordnung der einzelnen Komponenten ergibt sich ein Winkel zwischen dem vom Laser emittierten und dem von der Oberfläche reflektierten Strahl. Bei sehr ungünstigen Bedingungen können Graben- bzw. Porenstrukturen zu einer Verschattung des Laserstrahls führen, was die Detektion des reflektierten Lichtes verhindert. Um diese Effekte ausschließen zu können, ist ein Mindestabstand zwischen Detektor und Probenoberfläche erforderlich. Weiterhin müssen die erzielten Ergebnisse ständig überwacht, und fehlerhafte Messungen umgehend wiederholt werden. Über geeignete Auswertelgorithmen kann diese Überwachung jedoch automatisiert werden, wodurch nur unerheblich längere Messzeiten entstehen.

2 Das System

Versuche von *Mellmann & Oppat (2008)* haben gezeigt, dass die Länge der Messstrecke direkten Einfluss auf die Korrelation zwischen den Ergebnissen von Sandflächen- und laserbasiertem Verfahren hat. Auf Grundlage dieser Erkenntnis wird bei dem hier vorgestellten System ein Messkopf mit 640 Messpunkten, bezogen auf eine Messstrecke von 50 Millimetern, verwendet. Damit ergibt sich eine laterale Auflösung von ca. 0,08 mm bei einer Höhenauflösung von 0,01 mm.

Um einen repräsentativen Mittelwert für die zu untersuchenden Flächen generieren zu können, sind Mehrfachmessungen erforderlich. In Abhängigkeit der Untergründe sind mindestens 10 Messungen durchzuführen und die Ergebnisse im Anschluss zu mitteln. Bei sehr inhomogenen Strukturverteilungen ist die Anzahl der Messungen dementsprechend anzupassen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Messstellen gleichmäßig auf der zu untersuchenden Oberfläche verteilt werden.

Das an der BAM entwickelte Messsystem soll eine Alternative zu dem bereits etablierten Sandflächenverfahren darstellen. Daher müssen die mit dem Lasersystem zu erzielenden Messergebnisse absolut vergleichbar mit denen des Sandflächenverfahrens sein. Zur Umsetzung dieser Anforderung wurden verschiedene Rauheitsparameter auf ihre Anwendbarkeit untersucht. Als besonders geeignet haben sich dabei der arithmetische Mittelwert der Profilordinaten R_a und ein bereits von *Oppat (2008)* verwendeter Parameter, der hier als $R_{t_{Laser}}$ bezeichnet wird, erwiesen.

Der in der Praxis am häufigsten verwendete Parameter ist der arithmetische Mittelwert der Beträge aller Ordinatenwerte des Oberflächenprofils. Dieser wird auch als Ra bezeichnet.

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (2)$$

Dabei ergibt sich Ra aus dem Integral alle Abstände der Profilwerte von der Mittellinie über die Messstrecke l .

Bereits im Jahr 2008 haben *Mellmann und Oppat* Versuche zur Bestimmung der Rauheit von Bauteiloberflächen unter Zuhilfenahme von laserbasierten Technologien durchgeführt. Dabei wurde die Oberfläche mittels eines Punktlasers linienförmig abgetastet. Als Rauheitsparameter wurde dabei die Kenngröße Rt_{Laser} eingeführt. Diese orientiert sich sehr stark an dem aus dem Sandflächenverfahren ermittelten Parameter $Rt_{Kaufmann}$

$$Rt_{Laser} = \frac{A}{l} \quad (3)$$

Zur Bestimmung dieser Kenngröße wird eine obere Berührlinie an den maximalen Ordinatenwert innerhalb der Messstrecke angelegt und parallel zur Mittellinie des Profils ausgerichtet. Anschließend wird die Fläche zwischen Berührlinie und Profillinie ermittelt. Dementsprechend stellt Rt_{Laser} einen auf 2-Dimensionen reduzierten Ansatz des bereits in (1) beschriebenen 3-dimensionalen Körpers an der Stelle y mit der Länge l da.

Bedingt durch die technischen Gegebenheiten des Messsystems handelt es sich bei den ermittelbaren Profildaten lediglich um eine Anzahl von Messpunkten, die sich über die Messstrecke l verteilen. Aus diesem Grund ist eine entsprechende Anpassung der Gleichung (3) notwendig. Dazu wird die Gesamtfläche A in i Teilflächen untergliedert. Diese ergeben sich jeweils aus dem Ordinatenwert Z_i und dem Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messpunkten Δx_i .

$$A_i = Z_i \cdot \Delta x_i \quad (4)$$

Über die Summe aller Teilflächen A_i kann anschließend die Rautiefe Rt_{Laser} ermittelt werden.

$$Rt_{\text{Laser}} = \frac{1}{l} \cdot \sum_{i=0}^{l-1} A_i \quad (5)$$

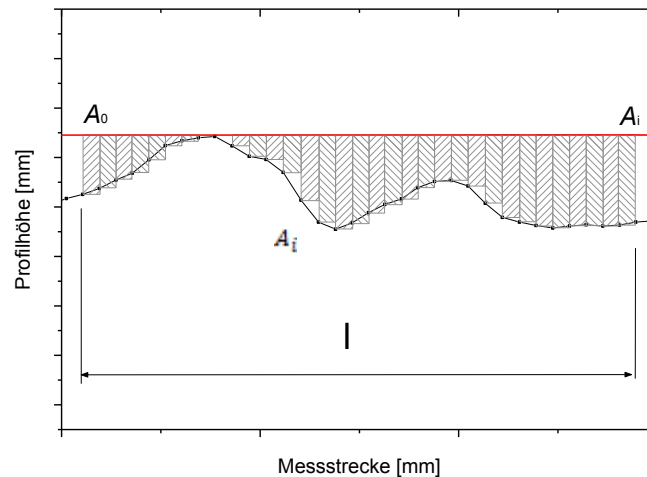


Abbildung 4: Bestimmung der Fläche zwischen oberer Berührlinie und dem ermittelten Oberflächenprofil

Bei Rt_{Laser} handelt es sich wie bereits beschrieben lediglich um eine Näherung an die im Bauwesen übliche Kenngrößen. Um die Ergebnisse beider Messprinzipien miteinander vergleichen zu können, muss anschließend eine entsprechende Umrechnung stattfinden. Die dafür erforderlichen Funktionen und Faktoren werden im Allgemeinen empirisch ermittelt.

Zur Berechnung der notwendigen Funktionen sind die Rautiefen an einer Vielzahl von Probekörpern zu ermitteln. Dabei unterscheiden sich die Oberflächen sowohl in ihrer Zusammensetzung als auch in ihrer Beschaffenheit.



Abbildung 5: Beispiele der untersuchten Oberflächen, a) $Rt = 2$ mm, b) $Rt = 1$ mm, c) $Rt = 0,3$ mm

Bei der Durchführung der verschiedenen Sandflächenverfahren ist darauf zu achten, dass die in den jeweiligen Normen und Vorschriften vorgegebenen Prüfmittel verwendet werden (Tabelle 1). Zudem sind die Untersuchungen von einer größeren Probandenzahl durchzuführen und auch zu wiederholen. Somit können Abweichungen in den Ergebnissen durch Fehler bei der Durchführung

weitestgehend ausgeschlossen werden. Zudem wird die für das Sandflächenverfahren typische Streuung der Ergebnisse in die Betrachtung mit einbezogen.

Tabelle 1 Korngemenge zur Bestimmung der Rautiefe nach verschiedenen Vorschriften

Vorschrift	Korngemenge	Korngröße	Menge
ZTV-ING	trockener Quarzsand	0,1-0,5 mm	25-50 cm ³
DAfStb Rili Sib	trockener Quarzsand	0,1-0,3 mm	25-50 cm ³
Kaufmann	Normensand I fein (DIN 1164) ¹⁾	0,063-0,2 mm	14 g (entspricht ca. 10 cm ³)
DIN EN 1766	trockener Quarzsand	0,05-0,1 mm	5-25 cm ³
DIN EN 13036-1	Glassand (Rundheit ≥ 90 %)	0,177-0,25 mm	≥ 25 cm ³ ²⁾

¹⁾ gemahlener Quarzsand

²⁾ Bei sehr glatten Oberflächen ($d > 305$ mm) ist eine geringere Menge zu verwenden.

Die an den einzelnen Probekörpern ermittelten Rautiefen ergeben sich jeweils aus der Mittelung einer Doppelbestimmung.

Für die anschließenden Messungen mit dem Laserscanner sind auf jedem Probekörper mindestens zehn Einzelmessungen durchzuführen. Bei der Auswahl der Messstellen ist lediglich darauf zu achten, dass sich die einzelnen Messpunkte über die gesamte Oberfläche verteilen um am Ende repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Die Durchführung der laserbasierten Messung sollte ebenfalls mehrfach durchgeführt werden um die durch das Messverfahren bedingte Streuung der Ergebnisse in die spätere Berechnung mit einfließen zu lassen. Da der Zustand der untersuchten Oberflächen während der Messungen nicht verändert wird, sind etwaige Abweichungen in den Ergebnissen der beiden Verfahren auf die unterschiedlichen Prinzipien und die damit verbundenen Messunsicherheiten zurückzuführen. Die Ergebnisse werden anschließend in Beziehung gesetzt und so die erforderlichen Funktionen bestimmt.

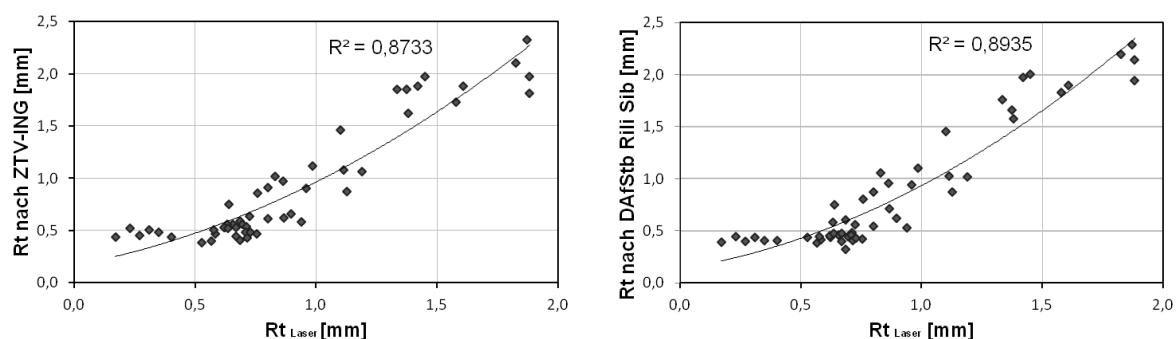


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Sandflächenverfahren nach ZTV-ING bzw. DAfStb Rili Sib und der laserbasierten Messung unter Verwendung von Rt_{Laser}

Durch die Implementierung dieser Funktionen in das Auswerteprogramm können die Ergebnisse der Lasermessungen mit den Ergebnissen der verschiedenen Sandflächenverfahren verglichen werden. Hierzu muss lediglich die gewünschte Vorschrift über ein entsprechendes Menü ausgewählt und die Messung gestartet werden. Der Prüfer erhält am Ende der Messung umgehend die gewünschten Kenngrößen.

3 Ergebnisse

Die Funktionalität des an der BAM entwickelten Rauigkeitmesssystems konnte schon mehrfach erfolgreich nachgewiesen werden. Dabei stimmen die mit dem Gerät erzielten Ergebnisse sehr gut mit denen der in Regelwerken erfassten Verfahren überein. Bedingt durch den hohen Automatisierungsgrad wird der Einfluss des Prüfers auf ein Minimum reduziert, was zu einer erheblich größeren Wiederholgenauigkeit führt. Untersuchungen zeigen eine um fünfzig Prozent geringere Streuung der Ergebnisse im Vergleich zu den Sandflächenverfahren (Abbildung 7). Messungen an vertikalen, geneigten und gekrümmten Oberflächen bzw. über Kopf sind mit diesem System einfach und unkompliziert möglich. Bei zehn Messpunkten liegt die Messdauer und Verarbeitungszeit des Systems bei unter einer Minute. Damit reduziert sich der zeitliche Aufwand im Vergleich zu den Sandflächenverfahren erheblich. Zudem werden für die Prüfung mit dem hier vorgestellten System keine weiteren Prüfmittel benötigt. Aufwendige und kostenintensive Kalibrierungen sind ebenfalls nicht notwendig, da bei der Realisierung auf bewegte mechanische Teile verzichtet wurde. Zur Überprüfung der Funktion sind lediglich Einzelmessungen an einem genau definierten Standard durchzuführen.

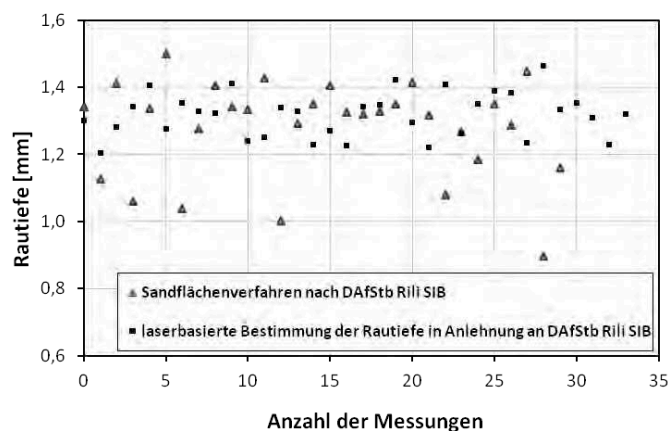


Abbildung 7: Untersuchung der Wiederholgenauigkeit von Sandflächenverfahren und laserbasierter Rauigkeitsmessung

Abbildung 8: Messsystem bestehend aus Mess- und Auswerteeinheit

4 Literatur

- Gluth, G.J.G.; Oppat, K.; Vogler, N.; Kühne, H.-C.(2010): Vergleich unterschiedlicher Verfahren zur Messung der Oberflächenrauheit, 7. Internationales Kolloquium Industrieböden 2010, S. 135-141
- DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie), Ausgabe Oktober 2001
- DIN EN 13036-1:2001-08, Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen - Prüfverfahren – Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens
- DIN EN 1766:2000-03, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken-Prüfverfahren-Referenzbetone für Prüfung
- DIN EN ISO 4287:1998-10, Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit.
- DIN 4760:1982-06, Gestaltabweichungen; Begriffe, Ordnungssystem.
- Kaufmann, N.(1971): Das Sandflächenverfahren, Straßenbau-Technik, Jg. 24(1971), H. 3, S. 131-135
- Mellmann, G.; Oppat, K.(2008): Maß für Maß: Rautiefen-Bestimmung von Betonoberflächen mittels Laserverfahren, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 31 (2008), H.2 S.30-32
- Momber, A. W.; Schulz, R.-R.(2006): Handbuch der Oberflächenbearbeitung Beton: Bearbeitung-Eigenschaften-Prüfung, Birkhäuser, 2006
- Vogler, N.; Gluth, G.J.G.; Oppat, K.; Kühne, H.-C.(2013): Optical measurement techniques to determine the properties of surfaces for the repair in the field of construction, International Conference on Advances in Cement and Concrete Technology in Africa 2013, S. 1063-1071
- Vogler, N.; Gluth, G.J.G.; Oppat, K.; Kühne, H.-C.(2013)*: Charakterisierung von Bauteiloberflächen mittels laserbasierter Rauigkeitsmessung, Tagung Werkstoffprüfung 2013, S. 291-296

Autoren:

Nico Vogler

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Tel.: +49 (0)30 8104 3226
Fax: +49 (0)30 8104 1717
E-Mail: Nico.Vogler@bam.de

Dr.-Ing. Gregor J.G. Gluth

Klaus Oppat

Dr.-Ing. Hans-Carsten Kühne

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung
Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Tel.: +49 (0)30 8104 1711
Fax: +49 (0)30 8104 1717
E-Mail: Gregor.Gluth@bam.de
Hans-Carsten.Kuehne@bam.de