

## Simulation der Beanspruchungen von Betonfahrbahndecken

FA 8.209

Forschungsstelle:	Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung, Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen (Prof. Dr.-Ing. C. Gehlen)
Bearbeiter:	Skarabis, J. / Gehlen, C. / Spengler, A.
Auftraggeber:	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
Abschluss:	Oktober 2015

### 1 Einleitung und Ziel

Fahrbahndecken aus Beton müssen während der Nutzungszeit neben einer ausreichenden Tragfähigkeit vor allem dauerhaft gute Gebrauchseigenschaften, insbesondere hinsichtlich Griffigkeit und Geräuschemission, aufweisen. Diese Gebrauchseigenschaften werden von der eingebrachten Textur bestimmt, die im Wesentlichen durch Fahrzeugreifen, Frost-Tausalz-Einwirkung und sauren Regen beansprucht wird, was wiederum Griffigkeit und Geräuschemission der Fahrbahn verändert.

Zur Untersuchung der Oberflächendauerhaftigkeit, insbesondere der Texturbeständigkeit von Betonfahrbahndecken, wurde am cbm der TU München im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben ein kombinierter Laborbeanspruchungszyklus entwickelt. Das Forschungsvorhaben "Dauerhaftigkeit von Betondeckenoberflächen" (FE 08.0157/1999/LRB [1]) befasste sich mit der Entwicklung eines zeittraffenden kombinierten Laborbeanspruchungszyklus, der die Einwirkungen aus Verkehr und Umwelt durch eine Kombination aus lösendem Angriff (pH 4,5), mechanischer Beanspruchung (Prallabrieb) und Frost-Tausalz-Angriff (CDF-nahes Verfahren) simuliert. Das Forschungsvorhaben "Messung der Texturveränderung auf bestehenden Fahrbahnoberflächen aus Beton mit berührungslosen Oberflächenmessgeräten und Kalibrierung im Labor" (FE 08.0180/2004/LGB [2]) hatte das Ziel, diesen zeittraffenden kombinierten Laborbeanspruchungszyklus an die in der Praxis auftretenden Einflüsse aus Verkehr und Witterung anzupassen. Der kombinierte Laborbeanspruchungszyklus soll die Exposition eines Straßenbetons praxisnah und zeittraffend simulieren. Die Praxisbeanspruchung wird dabei durch eine Kombination aus lösender und mechanischer Beanspruchung sowie Frost-Tausalz-Beanspruchung simuliert. In dem Laborbeanspruchungszyklus erfolgen ein lösender Angriff (Lagerung in gepufferter Essigsäure – pH 4,5) für eine Dauer von einer Stunde, der folgende Prallabrieb (PA) für eine Dauer von 60 Minuten, sechs Zyklen des Frost-Tausalz-Angriffs (FTA) sowie weitere 60 Minuten Prallabrieb. Somit ist der mechanischen Beanspruchung jeweils eine Umweltbeanspruchung vorgeschaltet. Diese Laborbeanspruchungen sind zwar keine voneinander unabhängigen Einflussparameter, sie werden aber im Laborprüfverfahren getrennt voneinander durch eine Abfolge von zeittraffenden und reproduzierbaren Einzelbeanspruchungen praxisnah simuliert. Eine wiederkehrende Abfolge der einzelnen Belastungen in einem Zyklus soll die wiederkehrende Abfolge von Regen beziehungsweise Frostereignissen und Verkehrsbeanspruchung simulieren.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war, diese fehlende aussagefähige Kalibrierung des Laborbeanspruchungszyklus durchzuführen. An Bohrkernen, die sieben Jahre nach Verkehrsfreigabe aus dem Standstreifen und dem 1. Fahrstreifen entnommen worden sind, wurden dieselben oberflächenspezifischen Kennwerte ermittelt wie an den Bohrkernen, die 2005 entnommen wurden. Eine Auswertung von Verkehrsaufkommen und Wetterdaten, wie zum Beispiel Niederschlag und Frostperioden, sowie der Vergleich der oberflächenspezifischen Kenndaten an den aus dem unbelasteten Standstreifen sowie aus der Fahrbahn entnommenen Bohrkernen über eine Zeitspanne von sieben Jahren sollten es ermöglichen, die Effektivität des kombinierten Laborbeanspruchungszyklus hinsichtlich Umweltbeanspruchung und mechanischer Beanspruchung zu beurteilen.

### 2 Vorgehensweise

Aus dem bereits im Forschungsvorhaben "Messung der Texturveränderung auf bestehenden Fahrbahnoberflächen aus Beton mit berührungslosen Oberflächenmessgeräten und Kalibrierung im Labor" [2] untersuchten Streckenabschnitt der BAB A 4 wurden im Juli 2012 aus der Lkw-Rollspur und dem Standstreifen erneut insgesamt 30 Bohrkern entnommen. Der betrachtete Streckenabschnitt befindet sich auf der A 4 bei Köln in Fahrtrichtung Köln zwischen der Tank- und Rastanlage "Frechen" und dem AK Köln-West (km 59,515 bis km 61,500). Der Vergleich der Oberflächen der unterschiedlich stark beanspruchten Fahrstreifen sollte zeigen, welchen Einfluss die Intensität der mechanischen Beanspruchung auf die Textureigenschaften hatte.

Die an den 30 Bohrkernen ermittelten Textureigenschaften wurden den Textureigenschaften der Bohrkern, die unmittelbar nach der Herstellung der Fahrbahndecke beziehungsweise bis zum Alter von sieben Jahren entnommen wurden, gegenübergestellt. Dies sollte Aufschluss über die Texturveränderung seit der Herstellung der Betonfahrbahndecke in Abhängigkeit der Einwirkungen aus Verkehr und Umwelt geben.

Für eine eventuelle Anpassung des kombinierten Laborbeanspruchungszyklus konnten die dem Standstreifen im Jahr 2005 entnommenen Bohrkern dienen.

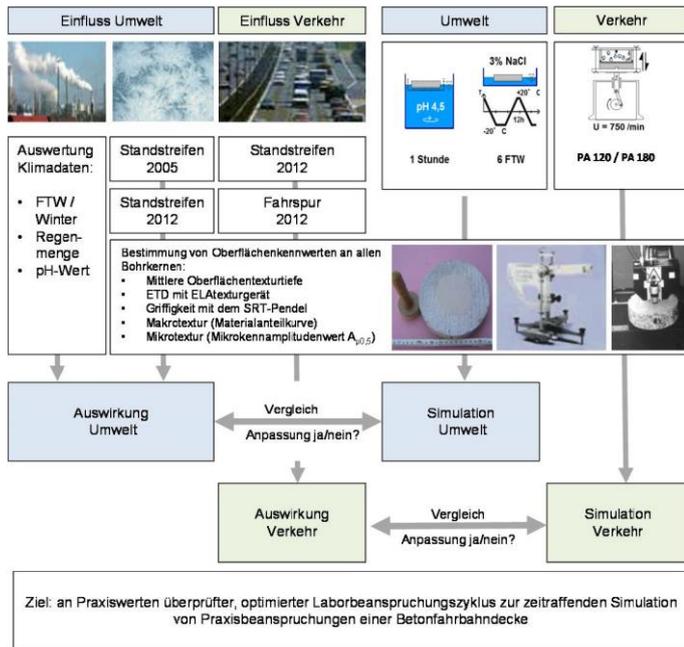
Nach der Aufnahme aller Bohrkern lag also Datenmaterial vor über:

- die Oberfläche des Standstreifens vor Verkehrsfreigabe (die der Fahrbahnoberfläche entspricht),
- die Oberfläche des 1. Fahrbahnstreifens nach 2, 4, 7,5 Wochen und sieben Jahren nach Verkehrsfreigabe,
- die Oberfläche des Standstreifens sieben Jahre nach Verkehrsfreigabe
- sowie die Oberfläche des Standstreifens beansprucht lediglich durch den kombinierten Laborbeanspruchungszyklus.

Das Verkehrsaufkommen sowie die Regen/Frost-Ereignisse auf diesem Streckenabschnitt wurden ebenfalls über den Zeitraum von 2005 bis 2013 erfasst. Die Verkehrszählung wurde von der

Zählstelle AK Kerpen in Fahrtrichtung Köln durchgeführt. Die Wetterdaten nahe dem untersuchten Autobahnabschnitt wurden von einer vom Deutschen Wetterdienst betreuten Wetterstation erfasst.

Die Vorgehensweise des Forschungsvorhabens ist schematisch in folgender Übersicht zusammengestellt. Ziel ist, eine Übereinstimmung der Texturveränderung an Bohrkernoberflächen, die im Labor beansprucht wurden, mit der Texturveränderung von praxisbeanspruchten Bohrkernoberflächen zu erreichen. Anhand einer solchen Kalibrierung könnte eine Prognose der Zustandsentwicklung existierender Strecken möglich gemacht werden.



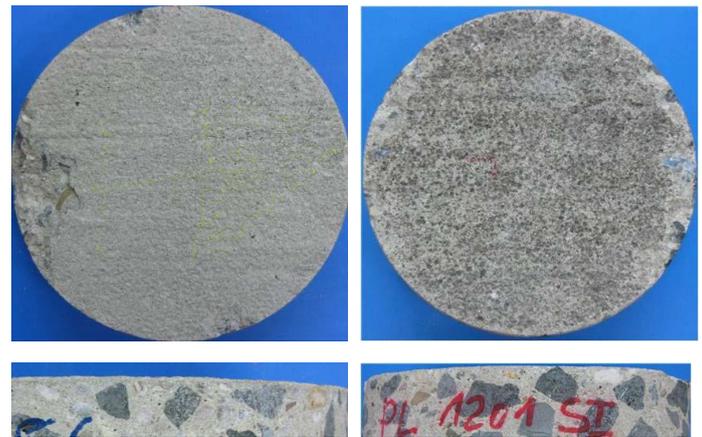
**Bild 1: Vorgehensweise des Forschungsvorhabens (schematischer Ablauf)**

Die Textur der entnommenen Bohrkern wurde nach ihren Wellenlängenbereichen in die drei Spektren Mikro-, Makro- und Megatextur unterteilt. Um den Bereich der Makrotextr zu beurteilen, wurde an allen Bohrkernen die mittlere Oberflächentexturtiefe und der ETD-Wert bestimmt sowie aus den Messungen mit dem Doppeltriangulationssensor die Materialanteilkurve berechnet. Um den Bereich der Mikrotextr zu beurteilen, wurden Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel durchgeführt und aus den Texturmessungen mit dem Doppeltriangulationssensor die Mikrokennamplitude  $A_{\mu,0,5}$  bestimmt.

**3 Begutachtung der Praxisstrecke**

Unmittelbar vor der Entnahme der Bohrkern wurde der Streckenabschnitt begutachtet. Es zeigte sich, dass die Texturierung der einzelnen Platten des Standstreifens noch gut zu erkennen beziehungsweise zu ertasten war (vgl. Bild 2). Die Oberflächentexturierung der Fahrbahnplatten hingegen war bei zahlreichen Platten nur schlecht zu erkennen beziehungsweise mit den Fingerkuppen nicht zu tasten. Im Prinzip war der Oberflächenmörtel stellenweise so abgefahren, dass die oberen Spitzen der groben Gesteinskörner an der Fahrbahnoberfläche zum Vorschein kamen, die wiederum ebenfalls poliert wurden.

Eine äußere Frostschädigung war weder auf dem Standstreifen noch auf der Fahrbahn zu beobachten.



**Bild 2: Ober- und Mantelflächen der Bohrkern des Standstreifens aus dem Jahr 2005 (Nullzustand) und aus dem Jahr 2012 (jeweils Platte1201)**

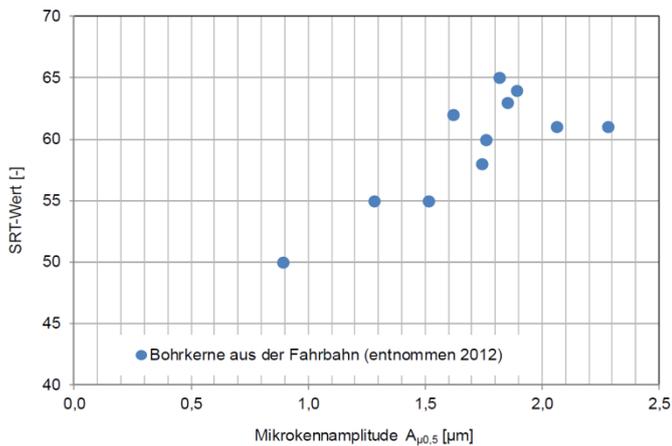
**4 Untersuchungsergebnisse**

**4.1 Unter Praxisbedingungen beanspruchte Bohrkern**

Der Vergleich der oberflächenspezifischen Kennwerte von Bohrkernen, die kurz vor Verkehrsfreigabe und nach sieben Jahren aus dem Standstreifen entnommen wurden, bestätigte, dass sich die Oberflächentextur durch die realen Umwelteinflüsse kaum änderte. Die Bohrkern, die nach sieben Jahren Verkehrsbelastung aus der Fahrbahn entnommen wurden, bestätigen durch die ermittelten oberflächenspezifischen Kenndaten, dass das Profil der Fahrbahn glatter war, durch den Verkehr poliert wurde und eine geringere Griffigkeit aufwies als das der Bohrkern aus dem Standstreifen, die den gleichen Umwelteinflüssen ausgesetzt waren. Sowohl die Kennwerte zur Beurteilung der Makrotextr (mittlere Oberflächentexturtiefe, ETD-Wert und rechnerische Gesamthöhe (Materialanteilkurve)) als auch die Kennwerte zur Beurteilung der Mikrotextr (Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel und Mikrokennamplitude  $A_{\mu,0,5}$ ) waren bei Bohrkernen aus der Fahrbahn geringer als bei Bohrkernen aus dem Standstreifen. Die Untersuchungen zeigten zudem, dass die Änderung der Mikrotextr der Fahrbahn offensichtlich nur zusammen durch die beiden oberflächenspezifischen Kenndaten des SRT-Werts und der Mikrokennamplitude  $A_{\mu,0,5}$  umschrieben werden sollte. So zeigten die Untersuchungen, dass eine speckig glänzende, stark polierte Oberfläche, wie sie bei der Fahrbahn teilweise vorhanden war, SRT-Werte im Bereich von 50-55 und Mikrokennamplituden  $A_{\mu,0,5}$  im Bereich von 1,0-1,5  $\mu\text{m}$  aufwiesen (Bild 3).

**4.2 Optimierung des Laborbeanspruchungszyklus**

Die Untersuchungen zu den umweltsimulierenden Beanspruchungen haben ergeben, dass die realen Beanspruchungen durch sauren Regen und Frostperioden mit Niederschlag mit den Stationen der Essigsäurelagerung und der sechs Frost-Tau-Wechsel (in Anlehnung an das CDF-Verfahren) im Rahmen des kombinierten Laborzyklus ausreichend beschrieben werden und vorerst nicht geändert werden sollten.



**Bild 3:** Zusammenhang zwischen ermittelten Mikrokennamplituden  $A_{\mu 0,5}$  und SRT-Werten an Bohrkerne aus der Fahrbahn (entnommen 2012)

Hauptaugenmerk lag somit auf der Optimierung der Simulation der mechanischen Beanspruchung, deren Ergebnis eine polierte, glänzende und wenig griffige Oberfläche ist, deren Oberflächentextur nicht mehr zu erkennen beziehungsweise zu ertasten ist. Die Beanspruchung durch Verkehr wurde über verschiedene Varianten simuliert. Zunächst wurde die Wirkung einer mechanischen Prallbeanspruchung mit Gummikugeln mit und ohne Schmirgel sowie die Wirkung einer mechanischen Prallbeanspruchung mit Stahlkern-Gummikugeln untersucht. Ebenfalls untersucht wurde die Wirkung der polierenden Station der Prüfanlage Wehner/Schulze, bei der Polierwalzen die Bohrkerne überrollten. Um eine praxisnahe Verkehrssimulation zu erreichen, wurde die Fahrbahnoberfläche während des Polierens zusätzlich mit einem Quarzmehl-Wasser-Gemisch als Schleifmittel beansprucht, das den Straßenstaub simulierte. Als Letztes wurde die Wirkung von sogenannten Polierstiften beziehungsweise Polierwalzen untersucht. Nach jeder Untersuchungsreihe wurde die polierte Oberfläche mit der realen Fahrbahnoberfläche nach sieben Jahren Verkehrsbeanspruchung verglichen und die oberflächenspezifischen Kennwerte bestimmt.

Der Prallabrieb mit Gummikugeln und Schmirgel (Korundsand beziehungsweise Glassand) führte zu keiner polierten Oberfläche. Ähnlich wie bei der mechanischen Prallbeanspruchung ohne Schmirgel wurden die Profilspitzen weggeprallt, was die Oberfläche "eingeebnet" erschienen ließ. Eine polierte, glänzende Oberfläche wie auf der Fahrbahn ergab sich durch die Beanspruchung nicht. Nach beiden Laborbeanspruchungsarten wurden zwar nach der jeweiligen Beanspruchung kleinere SRT-Werte gemessen, die Mikrokennamplituden verringerten sich aber nicht. Ebenso führte die mechanische Prallbeanspruchung mit Stahlkern-Gummikugeln zwar zu einer Reduzierung des Oberflächenmörtelanteils, die polierende Wirkung der Reifen wurde dadurch aber ebenfalls nicht simuliert. Es zeigte sich, dass die Überrollungen in der Prüfanlage Wehner/Schulze diese polierende Wirkung haben, diese allerdings nicht mit einem vertretbaren Aufwand erreicht werden kann. Vielversprechend waren hier erste Versuche, die mit der manuell zu bedienenden Poliervorrichtung mit Polierstiften durchgeführt wurden. Um die unterschiedliche Kornzusammensetzung von Schmirgel auf einer Fahrbahn mit Schwerlastverkehr möglichst umfang-

reich zu simulieren, wurden Polierstifte mit unterschiedlicher Körnung verwendet. Bei allen Stiften diente als Schleifmittel Korund, das auf einem Schleifvlies haftete. Der größte Polierstift hatte die Körnung A 100, weiterhin wurde ein Polierstift A 180 und ein sehr feiner Polierstift A 280 getestet. Die Untersuchungen ergaben, dass sowohl der SRT-Wert als auch die Mikrokennamplitude geringer wurden und die Bohrkernoberfläche augenscheinlich der polierten Fahrbahnoberfläche glich.

Um eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde in Zusammenarbeit mit der Firma IWS Messtechnik ein Prototyp eines Poliergeräts (vgl. Bild 4) entwickelt, bei dem der Anpressdruck der Polierwalze über einen Kragarm mit zwei Federn konstant gehalten werden kann. Ein Dämpfer kompensiert Schwingungen, die sich während der Messung aufbauen können. Bei der Vorrichtung kamen Polierwalzen A 100 mit einer Breite von rund 100 mm zum Einsatz. Die Drehzahl der Polierwalze lag bei 2 600 U/min.



**Bild 4:** Poliervorrichtung (Prototyp)

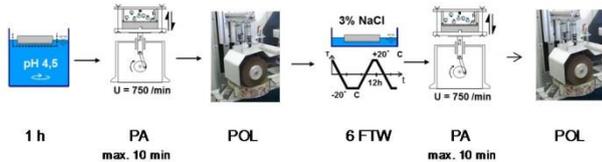
Die mit dieser Poliervorrichtung durchgeführte Testreihe zeigte, dass das Oberflächenprofil offensichtlich stark im Bereich der Spitzen, aber nicht im Bereich des Kerns poliert wurde. Hinsichtlich der SRT-Werte wiesen die Einzelwerte eine hohe Reproduzierbarkeit auf, insgesamt kam es durch das Polieren zu einem deutlichen Abfall der SRT-Werte auf unter 50. Die Mikrokennamplituden  $A_{\mu 0,5}$  aber lagen in der Regel noch deutlich über 2,0  $\mu\text{m}$ . Auch zeigte der visuelle Vergleich keine eindeutige Übereinstimmung mit den Oberflächen, die sich auf der Fahrbahn zeigten. Die Oberflächen waren augenscheinlich ebenfalls nicht mit den Oberflächen zu vergleichen, die nach dem Polieren mit der manuell zu bedienenden Poliervorrichtung mit Polierstiften vorlagen.

Um die mechanische Beanspruchung hinreichend genau zu umschreiben, muss zunächst die computergestützte Poliervorrichtung optimiert werden. Hierbei ist es wichtig, dass die Polierwalze das Profil möglichst gleichmäßig erfasst. Neben dem Bereich der Spitzen muss auch der Kernbereich poliert werden. Wie die Voruntersuchungen mit den Polierstiften zeigten, sind hier unterschiedliche Körnungen des Schmirgels von Vorteil. Günstig würde sich auch eine profilierte Walze auswirken, in der längere Borsten angebracht sind, die in den Kern- und Riefenbereich der Oberflächentextur vordringen. Diese Weiterentwicklung von Walze und Poliervorrichtung erfolgt derzeit in Zusammenarbeit mit der Firma IWS Messtechnik. Wenn das Polierverfahren optimiert ist und die Beanspruchung durch

Verkehr genau und reproduzierbar simuliert wird, werden die Bohrkern aus der A 4 bei Frechen im optimierten kombinierten Laborbeanspruchungszyklus weiter untersucht.

### 5 Ausblick

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens lassen die Folgerung zu, aus welchen Belastungsstationen der optimierte kombinierte Laborbeanspruchungszyklus nach dieser Optimierung der computergestützten Poliervorrichtung zusammengesetzt sein könnte. Bild 5 veranschaulicht diesen optimierten Ablauf.



**Bild 5: optimierter kombinierter Laborbeanspruchungszyklus (Ausblick)**

Im Folgenden sind die Einzelbeanspruchungen im Detail beschrieben und begründet:

**pH 4,5** Die umweltsimulierende Belastung Essigsäurelagerung soll unverändert bleiben. Die texturierte Betonoberfläche wird einem konstanten lösenden Angriff mit pH 4,5 für die Dauer von einer Stunde bei 20 °C ausgesetzt. Ein pH-Wert von 5 oder eine kürzere Lagerungsdauer werden nach Auswertung der hier vorgestellten Untersuchungen und Klimadaten als nicht zielführend erachtet.

**PA und POL** Die durch die Essigsäure angeraute, angegriffene Oberflächenmörtelschicht soll durch eine mechanische Prallbeanspruchung von maximal 10 Minuten abgetragen werden, was die schlagende Beanspruchung der Profilklotzchen von Reifen simuliert. Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens zeigten, dass ein weiterer Prallabrieb nicht zielführend ist und es lediglich zu einer Verringerung des SRT-Werts kommt, nicht aber zu einer Verringerung der Mikro-kennamplitude. Die polierende Wirkung wird durch das Polieren mit einer Polierwalze simuliert. Die Poliervorrichtung und die Polierwalze werden von der Firma IWS Messtechnik hinsichtlich Walzenprofil und Walzenart optimiert. Ziel ist es hier, neben dem Bereich der Spitzen auch den Bereich des Kerns und der Riefen zu erfassen.

**FTA** Die Proben werden weiterhin in Anlehnung an das CDF-Verfahren sechs Frost-Tau-Zyklen ausgesetzt, während die texturierten Oberflächen in eine 3 %ige NaCl-Lösung eingetaucht sind. Um die Beanspruchung zu verringern, wird weiterhin auf das einwöchige kapillare Saugen vor der Frostlagerung und die damit verbundene höhere Porensättigung verzichtet.

Die Auswertung des Verkehrsaufkommens ergab eine durchschnittliche, tägliche Kraftfahrzeugbelastung von rund 42 800 Kfz/24 h, der Schwerverkehr betrug durchschnittlich 6 000 Kfz/24 h. Die Niederschlagsmenge lag im betrachteten Zeitraum bei knapp 800 l/m<sup>2</sup> im Jahr und rein rechnerisch wurden rund zwölf Frost-Tau-Ereignisse mit Niederschlag pro Winter gezählt. Nach der Optimierung der Poliervorrichtung kann der kombinierte Laborbeanspruchungszyklus unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen die Dauerhaftigkeit hinsichtlich Geräuschemission und Griffigkeit von ähnlich texturierten Betonfahrbahnen beurteilen.

### 6 Literatur

[1] Schießl, P.; Beckhaus, K.; Wenzl, P.: Dauerhaftigkeit von Betondeckenoberflächen: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 902; Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2004.

[2] Schießl, P.; Wenzl, P.: Messung der Texturveränderung auf bestehenden Fahrbahnoberflächen aus Beton mit berührungslosen Oberflächenmessgeräten und Kalibrierung im Labor, Forschungsbericht, München 2007.