

Einfluss der Zementart auf die Texturbeständigkeit von Fahrbahndecken aus Beton

Von Patrik Wenzl, Karsten Beckhaus und Peter Schießl, München

1 Einleitung

Betonfahrbahndecken werden an ihrer Oberfläche strukturiert, um vor allem eine gute Griffigkeit für die Verkehrssicherheit zu erreichen und zu einer Reduzierung des Reifen/Fahrbahn-Geräuschs und somit zu einer Reduktion der Lärmbelastung beizutragen. Da die Textur durch Einwirkungen aus Verkehr und Umwelt im Laufe der Zeit verändert wird, spielt die Texturbeständigkeit zur Gewährleistung der genannten Eigenschaften eine wichtige Rolle. Nach Einführung der ZTV-Beton StB 01 [1] ist die Texturbeständigkeit von besonderer Bedeutung, da hier erstmals Anforderungen an die Griffigkeit für den Zeitpunkt der Abnahme und für das Ende der Gewährleistungsfrist festgelegt worden sind.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens am Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der TU München wurden Untersuchungen durchgeführt, in welchen der Einfluss der Zementart auf die Texturbeständigkeit des Straßenbetons überprüft wurde. Dazu wurde ein im nachfolgenden Text näher beschriebenes kombiniertes Laborprüfverfahren verwendet. Eingesetzt wurden neben einem Portlandzement CEM I 32,5 R (Referenzzement) ein Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL 32,5 R und ein Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R.

2 Einsatz von CEM II-Zementen beim Bau von Verkehrsflächen aus Beton

2.1 Allgemeines

Portlandkompositzemente, wie zum Beispiel Portlandkalksteinzement oder Portlandhüttenzement, sind auf dem deutschen Markt bewährte Zemente, mit denen langjährige baupraktische Erfahrungen vorliegen. Beide Zementarten sind neben weiteren CEM II-Zementen in der neuen europäischen Zementnorm EN 197-1 (seit April 2001 in Deutschland DIN EN 197-1) genormt. Der Einsatz von CEM II-Zementen bei der Herstellung von Beton-Bauteilen nimmt auch hinsichtlich des wachsenden Umweltbewusstseins (CO₂-Emission, Ressourcenschonung) und des Zwangs zur CO₂-Ausstoß-Reduktion bei der Zementherstellung zu.

So ermöglicht der Einsatz von Hütten sand, der bei der Roheisenproduktion durch Granulation aus Hochofenschlacke hergestellt wird, oder von besonders ausgewähltem und aufbereitetem Kalksteinmehl die Reduzierung der zu verwendenden Menge an Portlandzementklinker. Dieser Austausch von Klinker durch andere Hauptbestandteile führt zu einem entsprechend niedrigeren Einsatz von Primärenergie und damit zu einer niedrigeren CO₂-Emission [2, 3, 4].

2.2 Portlandhüttenzement

Schon in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden zahlreiche Autobahnen und Bundesstraßen aus Beton mit Portlandhüttenzement (frühere Bezeichnung Eisenportlandzement) hergestellt. Im Zuge des verstärkten Ausbaus des Straßennetzes wurden diese teilweise erneuert bzw. überbaut. Bei noch vorhandenen Betondecken aus den Jahren 1936/37, die mit Eisenportlandzement und ohne künstliche Luftporen hergestellt worden sind, wurden nach einer nahezu 50-jährigen Beanspruchung eine hohe Festigkeit und ein sehr hoher Frost-Tausalz-Widerstand sowie kaum Gefügeschädigungen festgestellt [5].

In neuerer Zeit wurde beispielsweise ein Teil der Fahrbahndecke der BAB A5 aus einem Beton unter Verwendung von Portlandhüttenzement CEM II/B-S gefertigt. Sowohl bei der Verarbeitung des Frischbetons als auch bei dem Verhalten der Fahrbahndecke unter Verkehr wurden bis zu diesem Zeitpunkt keine signifikanten Unterschiede zu einer Fahrbahndecke festgestellt, die aus Beton mit Portlandzement hergestellt worden ist [6].

2.3 Portlandkalksteinzement

In vielen Bereichen des konstruktiven Hoch- und Industriebaus werden Betone mit Portlandkalksteinzementen seit mehr als einem Jahrzehnt mit Erfolg verwendet. Beim Bau von Fahrbahndecken und Brücken wurden Betone mit Portlandkalksteinzementen, vor allem wegen der Befürchtung eines nicht ausreichenden Frost-Tausalz-Widerstands, bislang kaum eingesetzt. Einige Brückenbauwerke (Brückenerweiterung an der A8-Merklingen, Brücke Ortsumfahrung Merklingen, Brücke

B 31-neu bei Überlingen) wurden unter Verwendung von Portlandkalksteinzement erfolgreich ausgeführt. Die Verwendung von Portlandkalksteinzement ergab ein gutes Wasserrückhaltvermögen und eine gute Verarbeitbarkeit bei der Herstellung und beim Einbau des Frischbetons. Die positiven Ergebnisse der Untersuchung des Frost-Tausalz-Widerstands im Labor wurden durch die Praxis infolge einer frühen Beanspruchung im ersten Winter bestätigt [3]. Die Untersuchung einer Werkstraße nach einer 13-jährigen Liegezeit, die mit einem aus heutiger Sicht vergleichbaren Portlandkalksteinzement hergestellt worden ist, zeigte neben einem guten Verschleißwiderstand auch einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand.

3 Herstellung von texturierten Betonfahrbahnoberflächen

3.1 Betonzusammensetzung

Hinsichtlich der Ausgangsstoffe für die Herstellung von Betonfahrbahnen werden in der ZTV Beton-StB 01 sowohl Anforderungen an die Eigenschaften und die Kornzusammensetzung der Gesteinskörnungen als auch an den zu verwendenden Zement gestellt. Danach dürfen Portlandhütten- und Portlandkalksteinzemente nur „in Abstimmung mit dem Auftraggeber“ eingesetzt werden. Ein ausreichender Gehalt an Luftporen (> 4,0 Vol.-% bzw. bei Verwendung von Fließmittel oder Betonverflüssiger > 5,0 Vol.-% im Tagesmittel) sowie ein w/z-Wert $\leq 0,45$ sollen eine hohe Belastbarkeit des Betons gegenüber den Einwirkungen aus Umwelt und Verkehr sicherstellen. Außerdem muss vor allem bei der Auswahl des Sands und des Edelsplitts des Oberbetons darauf geachtet werden, dass der Wider-

stand gegen Polieren möglichst hoch ist [1, 7].

3.2 Texturierung

Die Fahrbahn zeigt an ihrer Oberseite Abweichungen von einer planen Oberfläche. Zur Beschreibung dieser Eigenschaft werden im Betonstraßenbau die Begriffe Textur und Rauheit gleichbedeutend verwendet.

Die Textur wird üblicherweise unmittelbar nach dem Einbau, Verdichten und Glätten entweder durch Ziehen oder Schleppen von geeigneten Hilfsmitteln in den Oberflächenmörtel des frischen Betons eingepreßt (gerichtete „anisotrope“ Texturen) oder durch Entfernen des Oberflächenmörtels (ungerichtete „isotrope“ Texturen, z.B. Waschbeton) erzeugt. Das Einprägen der Textur in den frischen Oberflächenmörtel erfolgt derzeit zur Lärmemissionsverminderung mit einem nachgezogenen Jutetuch (längs), sonst mit einem Besen oder Kunstrasen (längs). Die erzielbare Textur wird dabei aus betontechnologischer Sicht vor allem von der Konsistenz und der Dicke des Oberflächenmörtels beeinflusst. Zusätzlich zu den beiden grundsätzlichen Möglichkeiten der Herstellung einer Textur – Strukturieren bzw. Entfernen des frischen Oberflächenmörtels – kann durch Fräsen,

Schneiden von Rillen usw. die Oberfläche des erhärteten Betons texturiert werden [7].

Das Texturprofil einer Oberfläche kann mit frequenzanalytischen Methoden beschrieben werden. Die horizontalen Abmessungen der Unregelmäßigkeiten werden als Texturwellenlängen und die vertikalen Abweichungen als Amplituden dargestellt [8]. Das Texturprofil der Oberfläche kann, wie das Licht beim Durchscheitern eines Prismas, in seine Spektralanteile zerlegt werden und wird damit durch sein Wellenlängen-Amplituden-Spektrum eindeutig beschrieben (Bild 1). Hier ist beispielhaft eine Profillinie dargestellt, deren Spektrum aus (nur) drei unterschiedlichen Wellen der Wellenlängen λ_i und Amplituden A_i besteht.

Die Textur von Betonfahrbahndecken wird nach ihren Wellenlängenbereichen in die drei Spektren Mikro-, Makro- und Megatextur unterteilt (Bild 2). Die Mikrotextur schließt den kleinsten Wellenlängenbereich bis 0,5 mm ein, die Makrotextur umfasst Wellenlängen von 0,5 mm bis 50 mm und die Megatextur Wellenlängen oberhalb von 50 mm bis zu einer Wellenlänge von 500 mm. Im nächst höheren Wellenlängenbereich beginnt die Unebenheit [7]. Unterhalb der Wellenlänge

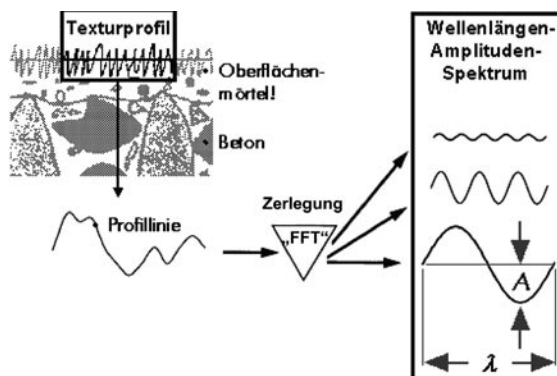


Bild 1: Die in den Oberflächenmörtel eingebrachte Textur kann – im (zweidimensionalen) Profil betrachtet und mittels der Fast-Fourier-Transformation („FFT“) ausgewertet und ebenso über ihr Wellenlängen-Amplituden-Spektrum beschrieben werden

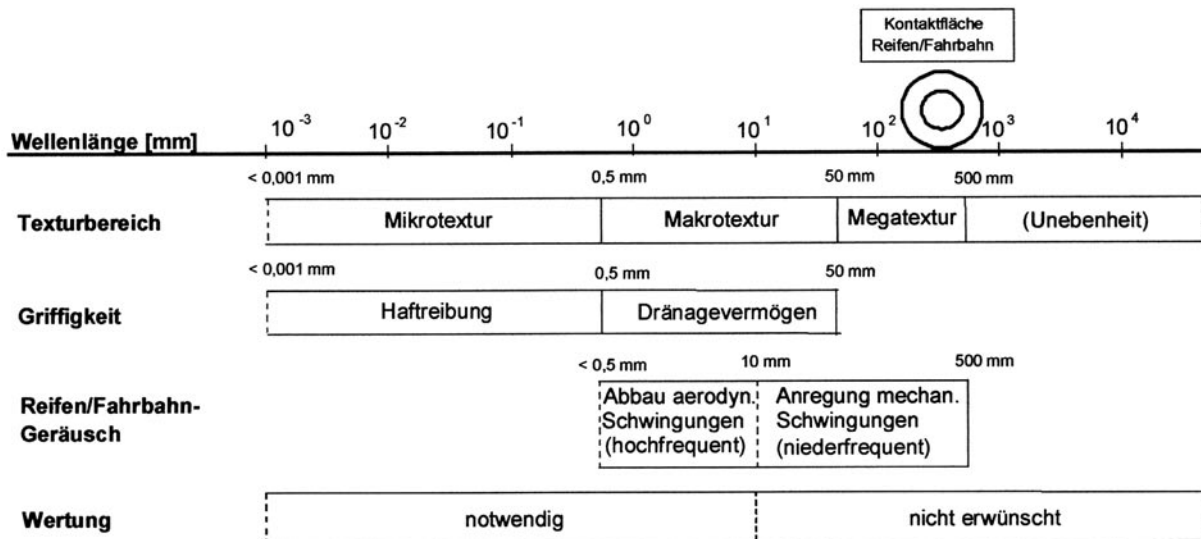


Bild 2: Die Textur wird nach Wellenlängen (λ) in die Bereiche Mikro-, Makro- und Megatextr eingeteilt [7].

von etwa 10 mm wirken sich nach [9] höhere Amplituden günstig auf die Griffigkeit und Lärmemission aus; oberhalb soll die vertikale Ausprägung der Wellen möglichst klein sein.

An den Wellenlängenbereich $\lambda \leq 0,5$ mm (Mikrotextr) wird die Anforderung gestellt, genügend

Profilspitzen für den Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahn zu bieten, wohingegen die Makrotextr ($0,5 \text{ mm} < \lambda \leq 50 \text{ mm}$) einen ausgeprägten Bereich an Wellenlängen bis etwa 10 mm aufweisen soll – insbesondere mit tiefen Profiltriefen –, damit unter dem Reifen Wasser bzw. auch komprimierte Luft entweichen kann [9].

4 Untersuchungen zur Texturbeständigkeit

4.1 Zusammensetzung der Betone

Die untersuchten Betone unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung nur durch die verwendete Zementart, Tafel 1. Die Zemente stammten aus vier unterschiedlichen Herstellwer-

Tafel 1: Zusammensetzung der Laborbetone

Betonfestigkeitsklasse besondere Eigenschaften Konsistenzbereich		C 30/37 LP (nach alter Vorschrift $\beta_{28} > 42 \text{ N/mm}^2$) hoher Frost-Tausalz-Widerstand C2 (KS)
Zementart und Festigkeitsklasse/(Werk) Zementgehalt z	kg/m ³	CEM I 32,5 R/(A), CEM II/A-LL 32,5 R/(A), CEM I 32,5 R/(B), CEM II/A-LL 32,5 R/(B), CEM I 32,5 R/(C), CEM II/B-S 32,5 R/(C), CEM I 32,5 R/(D), CEM II/B-S 32,5 R/(D) 350
Wassergehalt w/z-Wert	kg/m ³	150 0,43
Gesteinskörnung		
Sand 0/2a	kg/m ³	537
Basaltsplitt 2/8	kg/m ³	681
Basaltsplitt 8/16	kg/m ³	722
Gesamtgehalt	kg/m ³	1.900
Zusatzmittel		
Art		Luftporenbilder
Gehalt		je nach Zementart soviel, dass der angestrebte Luftgehalt $A_{Fb} \approx 4,5 \text{ Vol.-%}$ erreicht wurde

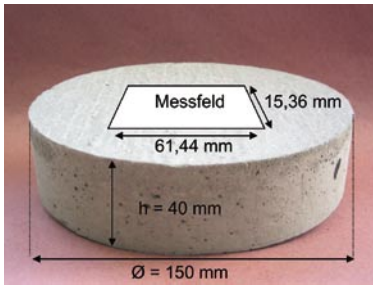


Bild 3: Abmessungen eines Texturprobekörpers mit Darstellung des Messfelds für die Texturmessungen mit dem Triangulationssensor (15,36 mm x 61,44 mm) in der Mitte der Probekörperoberfläche.

ken, wobei aus jedem dieser vier Werke jeweils ein Portlandzement CEM I und ein Portlandkompositzement CEM II (zwei Portlandkalksteinzemente CEM II/A-LL und zwei Portlandhüttenzemente CEM II/B-S) untersucht wurden. Die untersuchten Zemente waren der Festigkeitsklasse 32,5 R zugeordnet. Der Zementgehalt betrug einheitlich 350 kg/m^3 , der w/z-Wert 0,43. Als Gesteinskörnungen wurden Natur sand 0/2 mm und Basaltsplitt der Körnungen 2/8 mm und 8/16 mm verwendet. Alle Betone wurden in

steifer (Straßenbeton-) Konsistenz hergestellt. Der Luftporenbildner wurde je nach Zement so variiert, dass der Gesamtluftgehalt bei allen Frischbetonen annähernd gleich 4,5 Vol.-% betrug.

4.2 Lagerungsbedingungen

Um den Einfluss unterschiedlicher Umgebungsbedingungen bei der Herstellung und Erhärtung in der Praxis zu untersuchen, wurden die Lagerungsbedingungen der Texturprobekörper und der Probekörper zur Bestimmung der Festbetonkennwerte (Druck- und Biegezugfestigkeit) variiert. Neben einem „Standard“-Klima ($20^\circ\text{C} / 85\% \text{ r.F.}$, $T_{\text{Frischbeton}} = 20^\circ\text{C}$) wurde für vier Betone (mit zwei Portlandzementen und den jeweiligen aus dem gleichen Werkstammenden Portlandkalkzement und Portlandhüttenzement) zusätzlich der Einfluss einer Lagerung im „Winter“-Klima ($10^\circ\text{C} / 85\% \text{ r.F.}$, $T_{\text{Frischbeton}} = 10^\circ\text{C}$) auf die Festbetoneigenschaften untersucht.

Laborbeanspruchungszyklus

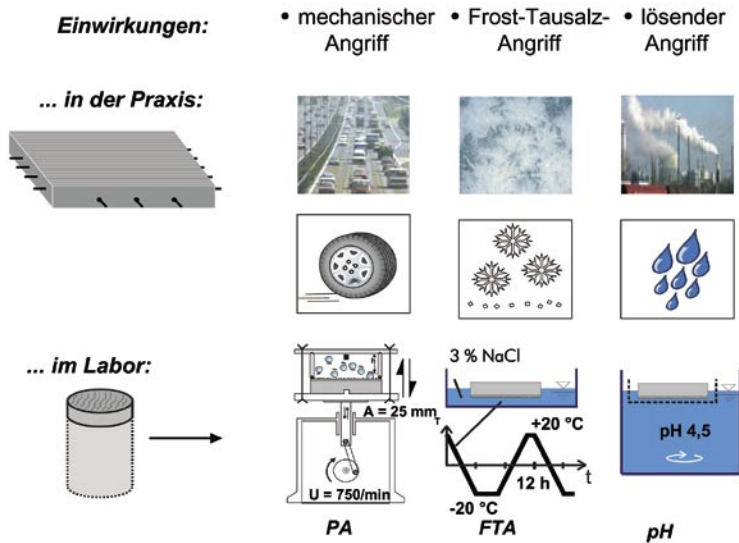


Bild 4: Simulierte Einwirkungen im Laborbeanspruchungszyklus durch Prallabrieb (PA), Frost-Tausalz-Beanspruchung (FTA) und lösenden Angriff (pH)

4.3 Durchgeführte Untersuchungen

Für die Untersuchung der Texturbeständigkeit wurden für die möglichst realitätsnahe Reproduktion einer einschichtigen Betonstraße geschalzte Probekörper mit den Abmessungen $l \times b \times h = 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 260 \text{ mm}$ im Labor hergestellt. Das Aufbringen der Textur fand bei mattschaarbesen statt. Die Reproduktion einer Jutetuch-Textur aus der Praxis mittels eines Rosshaarbesens im Labor hat sich bei vorangegangenen Untersuchungen [10] als geeignet herausgestellt.

Aus diesem „großen“ Probekörper wurden nach rd. 7 Tagen zylinderförmige Texturprobekörper mit einem Durchmesser von 150 mm und

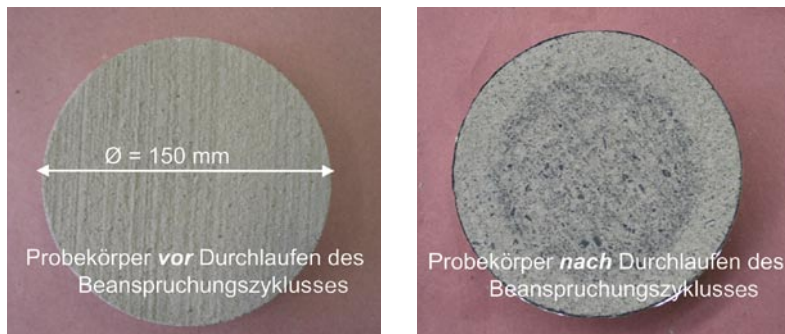


Bild 5: Texturprobekörper vor und nach der kombinierten Laborbeanspruchung

einer Dicke von 40 mm herausgebohrt. Dies war erforderlich, um eine Durchführbarkeit der Untersuchungen und Messungen in den Laborprüf-/Messgeräten zu ermöglichen (Bild 3).

Die Texturbeständigkeit wurde mit einem am cbm entwickelten Laborprüf- und Auswerteverfahren untersucht, welches die Veränderungen der Oberflächen von Betonfahrbahnen praxisnah und zeitraffend simuliert, die Veränderung der Textur erfasst und durch Kennwerte (Texturindizes) beschreibt [vgl. 10]. Im Laborprüfverfahren wird die Praxisbeanspruchung durch eine Kombination aus lösender (gepufferte Lösung mit pH-Wert 4,5), mechanischer (Prallabrieb) und Frost-Tausalz-Bearbeitung (CDF-nahes Verfahren) zeitraffend simuliert. Dies geschieht durch eine definierte Abfolge der Einzelbeanspruchungen. In Bild 4 sind die Bestandteile des Prüfzyklusses schematisch dargestellt und in Bild 5 ist beispielhaft ein Probekörper abgebildet, bevor und nachdem dieser die kombinierte Laborbeanspruchung durchlaufen hat.

Die Veränderungen der Textur infolge der Laborbeanspruchung wurden durch Messung eines repräsentativen Messfelds der Oberfläche (Bild 3)

mit einem Doppeltriangulationssensor mit hoher Genauigkeit vor und nach den Beanspruchungen erfasst. Bei der Auswertung der Texturmessungen wurden die jeweiligen Wellenlängenbereiche der Mikro- und Makrotextur wegen ihrer unterschiedlichen Bedeutung für das Gebrauchsverhalten der Fahrbahnoberfläche getrennt untersucht.

Die Beurteilung der Texturveränderung erfolgte für die Mikro- und Makrotextur u.a. durch Analyse des Wellenlängen-Amplituden-Spektrums (Bild 1). Hierbei wird die Veränderung der Amplitudenhöhen in den jeweiligen Wellenlängenbereichen mit so genannten „Kennamplitudenwerten“ beschrieben. Im Bereich der Mikrotextur ist dies die Mikrokennamplitude $A_{\mu,0,5}$, im Bereich der Makrotextur die Makrokennamplitude $A_{M5,0}$.

Diese Kennwerte ergeben sich durch „Linearisierung“ des Wellenlängen-Amplituden-Spektrums (Ermittlung der Ausgleichsgerade) des jeweiligen Texturbereichs (getrennt für Mikro- und Makrotextur) (Bild 6). Die Ausgleichsgerade mit der Steigung p ermöglicht nun die Bestimmung einer Amplitudenhöhe, die einer Wellenlänge zugehörig ist: zu der Bezugswellenlänge $\lambda = 0,5$ mm ergibt sich die Kennamplitude „ $A_{\mu,0,5}$ “ und zu der

Bezugswellenlänge $\lambda = 5$ mm die Kennamplitude „ $A_{M5,0}$ “.

Eine Abnahme des jeweiligen Kennwerts weist auf einen Höhenverlust der Amplituden des jeweiligen Wellenlängenbereichs hin. Im Bereich der Mikrotextur deutet die Abnahme des Mikrokennamplitudenwerts $A_{\mu,0,5}$ auf ein Polieren oder dessen Zunahme auf ein Aufräumen hin.

4.4 Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Die im Labor unter Standardbedingungen ($T_{\text{Frischbeton}} = 20$ °C) hergestellten und untersuchten Oberflächen der jeweiligen Betone wiesen eine der Jutetuch-Texturierung vergleichbare Textur auf. Die Texturen der Probekörper, die mit einer Frischbetontemperatur von 10 °C hergestellt wurden, wiesen eine sehr ausgeprägte Makrotextur auf. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der Oberflächenmörtel dieser Betone eine verhältnismäßig große Schichtdicke aufwies, und sich somit eine „tiefe“ Makrotextur einprägen konnte.

In Bild 7 bis Bild 10 sind die Werte der Mikro- und Makrokennamplituden für die jeweiligen Oberflächen und getrennt für die zwei untersuchten Lagerungsarten „Standardklima“ und „Winterklima“ dargestellt. Die Werte, die zu Beginn des Beanspruchungszyklusses (Nullmessung = NM) und nach dem Beanspruchungszyklus (Prüfende = PE) gemessen wurden, sind jeweils gegenüber gestellt.

Die Mikrokennamplitudenwerte $A_{\mu,0,5}$ (Bild 7 und Bild 8) sind bei den untersuchten Oberflächen der jeweiligen Betone beider Lagerungsarten nach Durchlaufen des gesamten Beanspruchungszyklusses (PE) deutlich höher als vor dem Beanspruchungs-

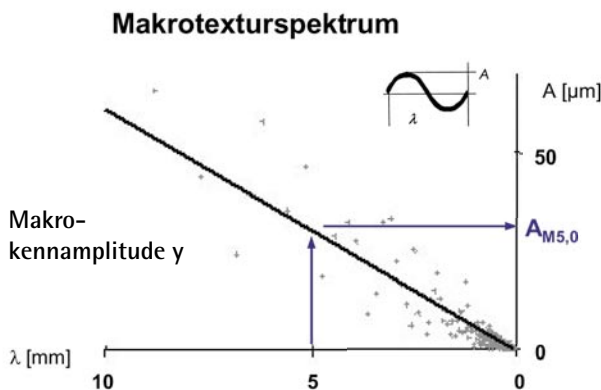


Bild 6: Darstellung der Bestimmung des Makrokennamplitudenwerts $A_{M5,0}$ [nach 10].

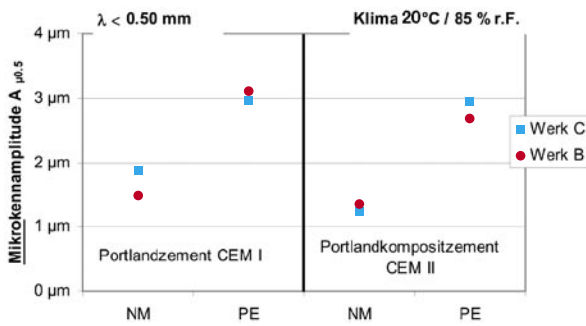


Bild 7: Einfluss des Zements bei Lagerung der Probekörper im Standardklima 20 °C / 85 % r.F. – Gegenüberstellung der Mikrokennamplituden vor (NM) und nach (PE) Durchlaufen des gesamten Beanspruchungszyklusses

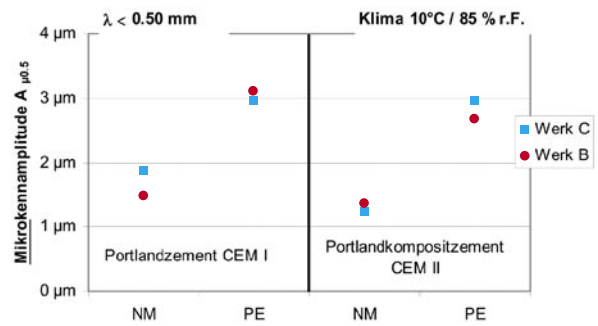


Bild 8: Einfluss des Zements bei Lagerung der Probekörper im Winterklima 10 °C / 85 % r.F. – Gegenüberstellung der Mikrokennamplituden vor (NM) und nach (PE) Durchlaufen des gesamten Beanspruchungszyklusses

zyklus (NM). Dies ist auf den Anstieg der Mikrorauheit durch den Verlust des Oberflächenmörtels zurückzuführen. Während dieses Abwitterungsverlaufs kommt es zuerst zu einem Freilegen der Eigenrauheit des Sandes und im Weiteren dann zu einem Freilegen der groben Gesteinskörner. Dieser Aspekt ist ebenfalls in der Praxis festzustellen als Folge davon, dass eine Zunahme der Mikrorauigkeit durch ein Aktivieren der Eigenrauheit des Sandes bzw. der groben Gesteinskörnungen zu einem höheren Griffigkeitspotential führt.

Die Werte der Makrokennamplituden $A_{M5,0}$ bleiben nach Durchlaufen des Beanspruchungszyklusses (PE) alle etwa auf dem gleichen Niveau (Bild 9 und Bild 10). Unterschiede sind bei den Werten der Makrokennamplituden $A_{M5,0}$ nur bei den Ausgangstexturen (NM) eines Portlandkompositzements feststellbar (Bild 10). Dies ist, wie zuvor bereits erwähnt, darauf zurückzuführen, dass der Oberflächenmörtel dieses Betons zum Zeitpunkt der Texturierung sehr mächtig war und sich deshalb eine starke Makrotextur ein-

prägen konnte. An diesem Kennwert ist außerdem gut das „Einebnen“ der groben Strukturen infolge des Laborbeanspruchungszyklusses sichtbar.

Insgesamt zeigten sich keine Unterschiede zwischen Portland-, Portlandhütten- und Portlandkalksteinzementen, d.h., Betone mit Portlandkompositzementen verhalten sich unter den im Labor simulierten Beanspruchungen von Betonfahrbahnen hinsichtlich der Oberflächenbeständigkeit wie Portlandzementbetone.

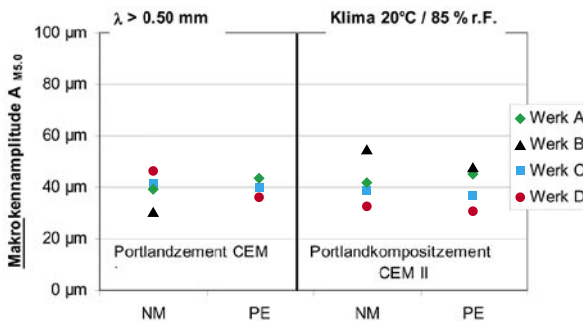


Bild 9: Einfluss des Zements bei Lagerung der Probekörper im Standardklima 20 °C / 85 % r.F. – Gegenüberstellung der Makrokennamplituden vor (NM) und nach (PE) Durchlaufen des gesamten Beanspruchungszyklusses

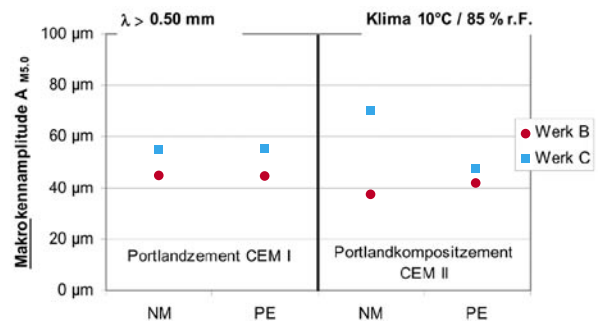


Bild 10: Einfluss des Zements bei Lagerung der Probekörper im Winterklima 10 °C / 85 % r.F. – Gegenüberstellung der Makrokennamplituden vor (NM) und nach (PE) Durchlaufen des gesamten Beanspruchungszyklusses

5 Zusammenfassung

Die heutigen Anforderungen an eine Betonfahrbahndecke, auch bei immer höherer Verkehrsbelastung eine dauerhaft hohe Griffigkeit sicherzustellen, erfordern eine gute Texturbeständigkeit der Oberfläche. Hierbei ist das Anpassen der Betonzusammensetzung (im Rahmen der vorgegebenen Bestimmungen, z.B. ZT-StB 01, MOB) an die jeweiligen Erfordernisse eine Aufgabe der Bontotechnologie.

Mit dem am Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der TU München entwickelten realitätsnahen und Zeit raffenden Laborprüfverfahren wurden Untersuchungen zum Einfluss der verwendeten Zementart auf die Texturbeständigkeit bei sonst gleicher Betonzusammensetzung durchgeführt. Bei den untersuchten Zementen handelte es sich ausschließlich um Zemente der Festigkeitsklasse 32,5 R, wobei aus vier Herstellwerken jeweils ein Portlandzement CEM I und ein Kompositzement CEM II (zwei Portlandkalksteinzemente CEM II/A-LL und zwei Portlandhüttenzemente CEM II/B-S) verwendet wurden. Im Wesentlichen zeigte sich für alle geprüften Betone, dass infolge der durchgeführten Laborbeanspruchung eine Zunahme der Mikrorauheit vor allem nach dem „Aktivieren“ der Eigenrauheit des verwendeten Sandes auftrat und dass die Texturkennwerte im Wellenlängenbereich der Makrotextur nahezu konstant blieben. Somit sind nach den vorliegenden Untersuchungen zur Texturbeständigkeit eine gleich gute Beständigkeit der eingebrachten Textur zu erwarten, wenn der Straßenbeton statt mit einem Portlandzement CEM I 32,5 R mit einem Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL 32,5 R oder Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R hergestellt wird.

6 Literatur

- [1] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (ZTV-Beton StB 01); Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Fassung 2001.
- [2] Schneider, M.; Meng, B.: Ressourcenschonung bei der Zementherstellung am Beispiel des Einsatzes von Hüttensand. Beton-Informationen 40 (2000) H. 1, S. 3-7.
- [3] Hartmann, V.; Rothenbacher, W.; Haist, H.: Erfahrungen mit Portlandkalksteinzement. beton 49 (1999) H. 5, S. 272-275.
- [4] Klose, N.: Klimarelevante Umweltvorsorge der Zementindustrie und deren Umsetzung im Baugeschehen. Beton-Informationen 42 (2002) H. 1, S. 3-7.
- [5] Lang E.: Untersuchungen an alten Fahrbahndeckenbeton mit Eisenportlandzement. Beton-Informationen 39 (1999) H. 5/6, S. 3-12.
- [6] Guse, U.; Müller, H.S.; Kraeft, U.; Härdtl, R.: Fahrbahndeckenbeton mit Portlandhüttenzement CEM II/B-S für die Autobahn A5 Walldorf-Bruchsal. Beton-Informationen 42 (2002) H. 1, S. 8-15.
- [7] Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Fahrbahndecken aus Beton (MOB). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Fassung 2000.
- [8] DIN ISO 13473-2: Charakterisierung der Textur von Fahr-

bahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 2: Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahnprofilen, Ausgabe 07-2004.

- [9] Krieger, B.; Sulten, P.: Stand der Entwicklung von lärmarmen Betondecken. Straße und Autobahn 50 (1999) H. 9, S. 479-486.
- [10] Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Wohnen (Hrsg.): Oberflächendauerhaftigkeit. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, H. 902, Oktober 2004.