



Industrielle Fließfertigung

- Prozessbegleitende Ableitung mechanischer Eigenschaften
- Einfluss von Wärmebehandlung auf Kriechen
- Leichtbaugerechte Präzisionselemente
- Gekrümmte Module für Schalenkonstruktionen
- Modularisierte Schalendächer mit Trockenfugen
- Modulare Segmentbrücke mit Carbonbewehrung



Inhalt Beton- und Stahlbetonbau 11/24

Zum Titelbild:

Beim Neubau des 415 Natoma, einer Brookfield Property in San Francisco, gingen die Architekten von IwamotoScott Architecture und House & Robertson bei der Planung und Ausführung des polierten Sichtbetonbodens im Untergeschoss innovative Wege: Um dauerhaft funktionale Oberflächeneigenschaften sowie Schönheit zu gewährleisten, entschied man sich gegen die traditionelle Leistungsbegutachtung nach Glanz und folgte stattdessen dem internationalen Trend, in die Bewertung der nano-modifizierten Betonoberfläche quantifizierbare Oberflächeneigenschaften, wie die durchschnittliche Oberflächenrauheit (Ra) und den Reibungskoeffizienten (COF), mit einzubeziehen. (Foto: IwamotoScott, House & Robertson)

119. Jahrgang
November 2024, Heft 11
ISSN 0005-9900 (print)
ISSN 1437-1006 (online)

Peer-reviewed journal

Die Beton- und Stahlbetonbau ist im Journal Citation Report von Clarivate Analytics (vormals Thomson Reuters) sowie in Scopus von Elsevier gelistet.

Impact Factor 2023: 1,0
CiteScore 2023: 2,5

Wiley Online Library

<http://wileyonlinelibrary.com/journal/best>

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

www.ernst-und-sohn.de/beton-und-stahlbetonbau

EDITORIAL

Peter Mark
Zirkulär Bauen

797

AUFSÄTZE

Jannik Hoppe, Yannik Schwarz, Jan Stindt, Patrick Forman, David Sanio, Peter Mark

798

Prozessbegleitende Ableitung mechanischer Eigenschaften hochfester Betone bei Schnellfertigung

Jannis Rose, Patrick Forman, Peter Mark

810

Einfluss rascher Wärmebehandlung auf das kurzzeitige Kriechen von hochfestem Beton

Marco Lindner, Ralf Gliniorz, Henrik Funke, Sandra Gelbrich

821

Additive Fließfertigung von leichtbaugerechten Präzisions-Betonelementen

Egor Ivaniuk, Zlata Tošić, Daniel Lordick, Viktor Mechtcherine

830

Fließfertigung von variablen gekrümmten Modulen für dünnwandige Schalenkonstruktionen aus Beton

Felix Hofmann, Marius Hägle, Alexander Stark

838

Errichtung modularisierter Schalendächer mit vorgespannten Trockenfugen

Martin Rettinger, Kai Zernsdorf, Kai Wilhelm, Alex Hückler, Mike Schlaich

847

Eine modulare Segmentbrücke mit thermisch umgeformter Carbonbewehrung

Modularisierungsansatz und Betonfertigteilherstellung

859

BETON- UND STAHLBETONBAU aktuell

861

VERANSTALTUNGSKALENDER

Produkte & Projekte

A4

Böden und Industrieböden

A10

Infrastruktur- und Verkehrswegebau

A18

Decken-, Schal- und Gerüsttechnik

A24

Aktuell

A25

Stellenmarkt

Polierter Beton: Nicht nur glänzend, sondern haltbar und nachhaltig

Architekten und Designer bevorzugen polierte Betonböden, weil sie langlebig und pflegeleicht sind. Sie reduzieren dadurch auch den Materialverbrauch, da bereits vorhandene oder dafür speziell angefertigte Bodenplatten für die Schaffung eines endgültigen Bodenbelags verwendet werden können.

Darüber hinaus bietet polierter Beton eine ästhetische Bandbreite. Die Farbe kann durch die Verwendung von Pigmenten, Farbstoffen, Acid-Stain oder durch die Wahl von Sand und Zuschlagstoffen ausgewählt werden. Zuschlagstoffe können auf verschiedenen Ebenen freigelegt werden. Spezielle Zuschlagstoffe, wie Marmorsplinter und farbiges Glas, können ebenfalls hinzugefügt werden.

Die Reflexionseigenschaften eines polierten Betonbodens können von matt, leicht und hochglänzenden bis hin zu spiegelähnlichen, reflektierenden Oberflächen reichen. Es ist auch einfach, Abriebfestigkeit, Oberflächenverfeinerung und Rutschfestigkeit mit Hilfe quantifizierbarer Reibungskoeffizienten (COF) und Prüfverfahren anzugeben.

Leider konzentrieren sich viele der Benchmarks, die zur Spezifikation und zum Bau polierter Betonböden verwendet werden, nur auf die Ästhetik, sodass Haltbarkeit, Nachhaltigkeit und COF unbeantwortet bleiben.

Die Popularität von poliertem Beton hat in den letzten 20 Jahren zugenommen. Trotz dieser wachsenden Nachfrage ist es der Branche bisher nicht gelungen, eine standardisierte Ausdrucksweise für die Beschreibung haltbarer, sicherer und attraktiver Betonböden zu finden.

In den Anfangsjahren verwendeten Planer gern Begriffe wie „Körnung“, um eine Grundlinie festzulegen, ohne die Vielfalt der Lösungen, die dieses Wort repräsentiert, vollständig zu würdigen. Sie setzten sich damit undefinierbaren Benchmarks aus.

Verwendung von Fachjargon

Die Körnung beschreibt die Schleifgröße von Industriediamanten in der Matrix von Schleif- und Polierpads, die zum Schleifen und Polieren von Beton verwendet werden. Sie hilft Handwerkern bei

der Auswahl der Werkzeuge für die Veredelungsschritte während des Arbeitsprozesses. Sie vermittelt jedoch nicht das Designerergebnis durch einen qualitativen Ansatz.

Obwohl Körnungsgrößen recht universell sind, können Schleifkörner von Metallspänen bis hin zu Industriediamanten und anderen Materialien variieren. Es kann reine Mischungen von Schleifkörnern nur einer Größe geben oder die Matrix des Polierpucks (oft als Diamantwerkzeug bezeichnet) kann variable Abmessungen enthalten, um eine Durchschnittsgröße zu erzeugen. Die Größe und Form des Polierpucks wirkt sich auch auf das Ergebnis auf dem Boden aus und liefert unterschiedliche Kratzmuster und Veredelungsgrade. So wie Beton in der Härte variiert, so variieren auch die Diamantpolierpucks.

Ein einzelner Hersteller kann eine Vielzahl von Schleifwerkzeugen innerhalb einer bestimmten Körnungskategorie herstellen. Mit anderen Worten: Ein Unternehmen könnte mehrere Arten von Schleifwerkzeugen anbieten, die sich in Größe, Form und Matrixmaterial unterscheiden (alle mit unterschiedlichen Kratzmustern) und sie dennoch mit einer identischen Körnungsnummer kennzeichnen.

Sofern man kein Fachmann für das Handwerk ist und die zahllosen Unterschiede versteht, die das Wort „Grit“ bedeuten kann, begibt sich der Planer auf unbekanntes Terrain, das ihn schnell in einen Sumpf von Mitteln und Methoden und zu vertraglichen Risiken führen kann.

Es gibt noch weitere Probleme bei der Verwendung des Wortes Körnung, die nicht unbedingt in Betracht gezogen werden. Körnung beschreibt auch die Größe der Schleifkörner von Schleif- und Polierpads für Reinigungsarbeiten, was diesem Wort weitere Bedeutungen verleiht. Diese Padtypen können mit Oberflächenlösungen verwendet werden, die durch Polieren glänzend werden können. Statt eines polierten Betonbodens kann einem Kunden unwissentlich ein beschichteter, glänzender Doppelgänger übergeben werden, dem es an Haltbarkeit und quantifizierbarem Reibungskoeffizienten mangelt.

Darüber hinaus werden einige Arten von Epoxidharzbeschichtungen in fester Form als Diamantwerkzeuge mit Schleifkörnern verkauft. Diese tragen daher die Bezeichnung Körnung (d. h. 400,

800 usw.) Was jedoch bei diesen Produkttypen tatsächlich passiert, ist, dass sie unter dem Gewicht von handelsüblichen Schleifmaschinen überhitzt werden.

Die hohen Umdrehungen der Schleifmaschine führen dazu, dass das Epoxidharz schmilzt und auf dem Beton verschmiert wird. Durch die Harzübertragung wird eine glänzende Schicht auf den Böden hinterlassen. Planer und Anwender sollten deshalb unbedingt auf Vergütungssysteme achten, die möglicherweise harzhaltige Werkzeuge erfordern oder

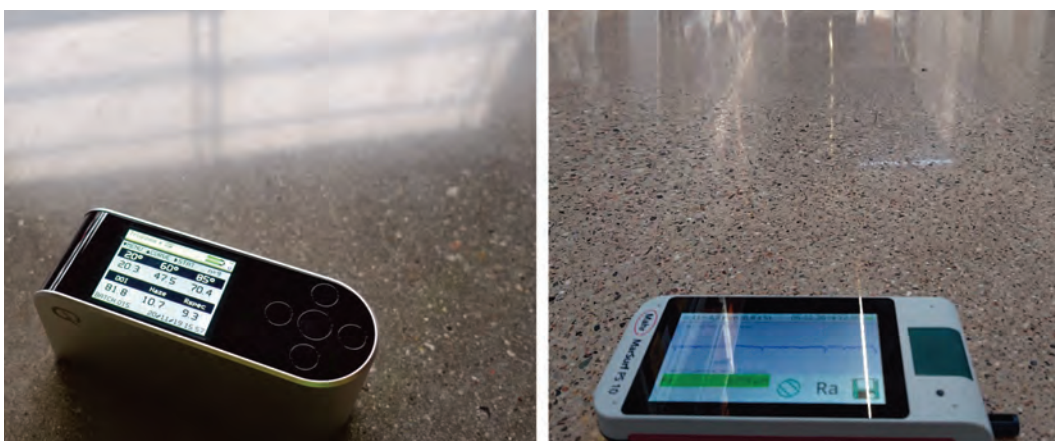


Bild 1 u. 2 Die Einbeziehung quantitativer Messungen, wie Oberflächenrauheit (Ra), Abbildungsschärfe (DOI) und Trübung (Haze), erleichtert die Bewertung und stellt sicher, dass die polierte Betonoberfläche nachhaltig und nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik hergestellt wird. Eine geringe Oberflächenrauigkeit bewirkt eine erhöhte Bodenhaftung. Geschliffene und polierte NORTEC® Böden wurden nach DIN bzw. ÖNORM geprüft und auch im Nässezustand als rutschhemmend bewertet.

strenge Parameter für die Verwendung (oder das Verbot) von harzhaltigen Werkzeugen festlegen, die die Sicherheit beeinträchtigen könnten.

Definition von poliertem Beton

Planer sind nicht die einzigen, die in dieser scheinbar verwirrenden Welt der Quantifizierung von poliertem Beton betroffen sind. In dem Bemühen, Marktanteile im Bodenbelagsbereich zu gewinnen, traten viele Beschichtungsunternehmen den Branchenorganisationen und relevanten Fachausschüssen bei, um für eine Ausweitung der Definition von poliertem Beton zu lobbyieren und damit alle Materialien, die einen Boden zum Glänzen bringen können, einzuschließen.

Eine Definition von poliertem Beton laut Concrete Polishing Council (CPC) und American Society of Concrete Contractors (ASCC) lautet z.B.: „Polierter Beton ist die Veränderung einer Betonbodenoberfläche, mit oder ohne Zuschlagstoffbelag, um einen bestimmten Glanzgrad unter Verwendung einer der aufgeführten Klassifizierungen zu erreichen – gebundener, polierter Beton mit Schleifmittel, polierter Beton mit Glanz oder hybrider polierter Beton.“

Die Fachvereinigungen haben somit nicht etwa polierten Beton ausgeschlossen, der durch Verfeinerung des Materials selbst entsteht, sondern sie haben schichtbildende Materialien mit eingebunden und damit alles als „polierten Beton“ klassifiziert. Wie die Figur Inigo Montoya in William Goldmans berühmten Roman Die Braut des Prinzen sagte: „Sie verwenden dieses Wort immer wieder. Ich glaube nicht, dass es das bedeutet, was Sie denken.“ Am Ende schätzen Bauherren und Nutzer jedoch Langlebigkeit und einfache Pflege mehr als reflektierende Eigenschaften.

Hersteller und Industrieverbände beschränken sich allerdings ebenfalls zur Quantifizierung von poliertem Beton auf Glanz und Reflexionsgrad. Dabei fehlen die qualitativen Eigenschaften, die erforderlich sind, um vollständige Leistungskriterien in Bezug auf die Nutzung des Bodens bereitzustellen.

Beispielsweise verwenden bestimmte Gruppen für die Bestimmung des Reflexionsgrades die Abbildungsschärfe (DOI – Distinctness of Image) als Maßstab. DOI ist ein Maß für die Klarheit und Schärfe eines reflektierenden Bildes. Dies ist hilfreich, um das ästhetische Erscheinungsbild zu beschreiben und wird in der Automobillackierindustrie seit einiger Zeit verwendet, um die reflektierende Autolackqualität zu definieren – daher die Versuche, ähnliche Benchmarks für polierten Beton zu verwenden.

Die für diese Aufgaben verwendeten Geräte heißen Glanzmesser und messen die Lichtausbeute in Lumen (lm). Diese Werkzeuge sind für verschiedene Anwendungen nützlich und können den reflektierten Glanzgrad (oder die Lichtqualität) des Bodens genau messen, geben jedoch nicht annähernd Aufschluss darüber, wie das Licht reflektiert wird.

Wurde der Beton richtig veredelt, d. h. ist die fertige Oberfläche haltbar, nachhaltig und weist einen gewissen COF-Wert auf? Oder wurde stattdessen ein harzhaltiges Beschichtungsprodukt angewendet, das erst dann als Alternative entdeckt wird, wenn der Boden versagt?

Polierter Beton ist jedoch mehr als nur Glanz. Es handelt sich um die mechanische Bearbeitung eines Bodens, um eine Betonoberfläche mit hoher Haltbarkeit und physikalischer Beständigkeit

gegen chemische und fleckenbedingte Angriffe in einem ästhetischen Rahmen zu erzielen. Benchmarks für polierten Beton werden durch Messungen der Mikrooberflächenstruktur des Betons – Oberflächenrauheit – quantifiziert. Mikrooberflächen-Benchmarks werden in Mikrozoll (μ in) oder Mikrometer (μ m) gemäß der American Society of Mechanical Engineers (ASME) B46.1-2009 (R2002) gemessen. In Deutschland regelt DIN EN ISO 1302 die Angaben der Oberflächenbeschaffenheit eines Bauteils.

Polierter Beton ist nicht auf die Anwendung einer oberflächlichen Versiegelung angewiesen, um Leistungsmerkmale zu erzielen. Eine vollständige Verfeinerung und konsistente Oberflächenrauheit (Ra) ist mit Poliersystemen leicht zu erreichen. Ra kann dazu beitragen, dass Hohlräume vollständig durch den Verdichter ausgefüllt werden und der Boden physikalisch verfeinert wird. Ra ist nicht vereinbar mit der Anwendung von glänzenden Beschichtungen, die polierte Betonoberflächen imitieren (oder sogar als solche angepriesen werden), da die mit diesen Systemen verbundene Oberflächenvorbereitung Mikrofrakturen erzeugt und gleichzeitig ein Profil für eine oberflächliche Beschichtung erstellt.

Experten entwickeln einfache Testmethoden

Im letzten Jahrzehnt haben Baufachleute hart daran gearbeitet, Testmethoden zu entwickeln, die einfach und wiederholbar sind und die Betonplatten sowohl physisch robust als auch glänzend und schön machen. Bruce Nicholson und der verstorbene Harry Gressette zählten zu den ersten Fachhandwerkern in Nordamerika, die begannen, den Boden selbst zu messen und nicht nur das reflektierte Licht. Zu den weiteren Branchenpionieren zählen Lever Architecture, Tao Group Solutions, O'Connell Robertson,

Bodenbeschichtungen für die Lebensmittelindustrie

Zuverlässig, leistungsstark und dauerhaft

- Geprüft: HACCP, FDA, ISEGA, Indirekter Kontakt mit Lebensmitteln
- Rutschhemmend einstellbar
- Chemisch, mechanisch und thermisch hoch beständig



www.stocretec.de

sto

StoCretec

Bewusst bauen.

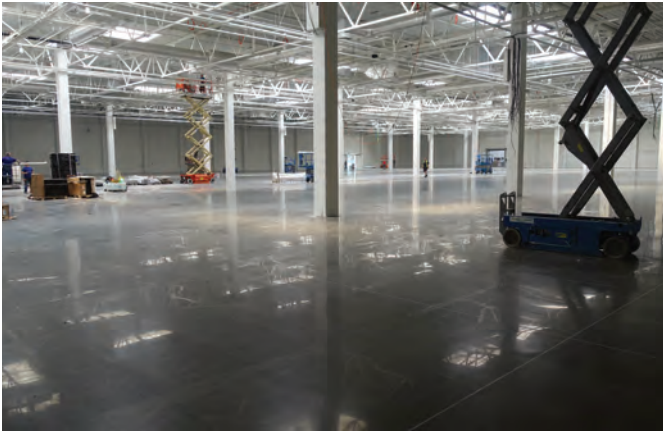


Bild 3 Zunehmender Trend auch beim Neubau im Einzelhandel: der mechanisch hochpolierte Glanz entsteht durch die Härtung und dem hohen Verfeinerungsgrad. Der Boden behält trotz intensiver mechanischer Belastung langfristig seine ansprechende Optik und gewünschte Nutzungseigenschaften.



Bild 4 Dieser fachgerecht hergestellte polierte Betonboden in einem Zentrum für ökologische Bildung überzeugt weiterhin nach dreijähriger Nutzung trotz hohem Besucherverkehr.

Fotos: Probeton (3), Centrum Edukacji i Rozwoju w Czerwodzi (4)

das australische Unternehmen ProGrind und das deutsche Traditionsunternehmen Norsa.

In Deutschland und Polen werden während der Ausführung mit dem NORTEC® System quantitative Messungen mit einbezogen. In Nordamerika haben Gruppen wie Bennett Build und Tao Group Solutions Ra-Benchmarks als Vertragsbedingungen für Projekte wie 415 Natomas von Brookfield Properties, One Universal von Comcast NBCU in Los Angeles und Amazons HQ2 in Washington, DC gefordert.

Das National Center for Education and Research on Corrosion and Materials Performance (NCERCAMP) an der University of Akron setzt die Untersuchung von poliertem Beton, Abriebfestigkeit, COF und sogar der Installation und Aufrechterhaltung des CO₂-Fußabdrucks für diesen Bodenbelag fort. Es veranstaltet weiterhin das National Concrete and Corrosion Symposium in Partnerschaft mit der Kent State University sowie anderen Schulen und Organisationen zur weiteren Forschung.

Darüber hinaus werden Gruppen wie Tao Group Solutions Projektmöglichkeiten sowie Bildungskurse bei Veranstaltungen, wie der World of Concrete im Januar 2025, anbieten. Bauherren, Investoren, Architekten, Akademiker, Konstrukteure und Hersteller können Installationspraktiken erlernen und entwickeln, die genutzt werden können, um nicht nur quantifizierbar auszuschreiben, was laut Baudokumenten erreicht werden soll, sondern auch, wie dies erreicht werden kann. Das Ziel ist es, Designfachleuten zu helfen, bei ihren Projekten Netto-Null-Emissionen zu erreichen.

Schlussfolgerung: Es braucht eine standardisierte Terminologie

Flüssig aufgetragene Guard- und andere Betonoberflächenschutzmittel, die zum Steuern des Schleif- und Polierprozesses verwendet werden, haben für den Auftragnehmer im Alltag die gleiche Bedeutung wie Körnungen. Sie sind hilfreich, um den Prozess zu beschreiben, aber nicht, um die qualitativen und nachhaltigen Nutzungseigenschaften des endfertigen Betonbodens zu veranschaulichen.

Ausschreibungen, die nur Versiegelungen oder Verdichter im Allgemeinen fordern, können nicht vollständig die erforderlichen

nachhaltigen Leistungswerte liefern, die für den Endnutzer wichtig sind, z. B. chemische Beständigkeit, Schadstofffreiheit oder elektrostatische Ableitfähigkeit.

Die reine Angabe von Fachbegriffen hat der gesamten Branche keinen Gefallen getan, da versucht wurde, bestimmte Oberflächenmaterialien in Nischenkategorien zu vermarkten. Nur sehr wenige Menschen können den Unterschied zwischen Versiegelungen und physikalisch veredelten polierten Böden erkennen. Die bloße Angabe der Verwendung verschiedener Oberflächenschutzmittel ohne Erwähnung der Leistungserwartungen kann dazu führen, dass der Auftragnehmer Alternativprodukte vorschlägt. Nur wenige Planer können mögliche Unterschiede erkennen und dies auch nur, wenn die Leistung des Bodens beeinträchtigt ist.

Das Fehlen einer standardisierten Terminologie führt dazu, dass die Angebote für vollständig veredelte, geschliffene und polierte Betonböden oberflächlich aufgetragene Versiegelungen oder Beschichtungen mit umfassen. Die Verwendung der Terminologie von Auftragnehmern in einer Leistungsausschreibung ist immer nach hinten losgegangen und birgt für das Planungsbüro und den Eigentümer das Risiko schlechter Ergebnisse.

Leistungsausschreibungen mit Mikrooberflächen-Benchmarks in Mikrozoll (μ in) oder Mikrometern (μ m) als Mittel zur Beschreibung des Oberflächenprofils und des Reibungskoeffizienten (COF) in Kombination mit der Messung der Abbildungsschärfe (DOI) zur Bestätigung des ästhetischen Erscheinungsbilds können Leistungskriterien erfolgreich definieren, ohne auf die Anwendung von schichtbildenden Oberflächenvergütungen angewiesen zu sein.

Autoren:

Chris Bennett (CSI)

Keith Robinson (RSW, FCSC, FCSI)

Jeannette Hogue (Norsa)

www.norsa.de