

BWI

BetonWerk International
Deutschsprachige Ausgabe

 1 | 2023

www.cpi-worldwide.com



BUILDING TRUST

SONDERDRUCK | BETONWAREN/BETONWERKSTEIN

SONDERDRUCK
BWI 1/2023

Keine Angst vor neuen Zementen



Keine Angst vor neuen Zementen

■ Dipl.-Ing. (FH) Jorg Schrabback, Fachingenieur für Pflasterbau (EIPOS), Business Development Manager Betonwaren, Sika Deutschland GmbH

Die Bemühungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beeinflussen die gesamte Menschheit und beherrschen unseren Alltag wie noch nie. Im Baubereich bietet dabei das für die Betonherstellung benötigte Bindemittel Zement das größte Einsparungspotenzial und steht somit häufig im Fokus der Diskussionen. Die Produktion des festigkeitsbildenden Hauptbestandteils Klinker erfordert große Mengen thermischer und elektrischer Energie und verursacht den größten Teil der CO₂-Emissionen des Zementes. Daher entwickeln Zementhersteller neue Bindemittel mit weniger Klinker und mehr Klinkerersatzstoffen. Die Industrie befürchtet angesichts dieser Entwicklung eine „Verdünnung“ des Zementes verbunden mit geringeren Festigkeiten und verkürzter Dauerhaftigkeit. Darüber hinaus stellt sich die Frage, welchen Einfluss diese neuen Zemente auf die Wirkung der bisher verwendeten Betonzusatzmittel sowie auf die Produktion und Qualität von Produkten aus erdfeuchtem Beton haben.

Seit Jahren beschäftigt sich die Sika Deutschland GmbH mit den einzelnen Betonbestandteilen und deren Auswirkungen auf die Prozess- und Qualitätsparameter von Produkten aus erdfeuchtem Beton. Kern der Untersuchungen ist dabei die Verdichtungswilligkeit der erdfeuchten Betone, die im Labor mit einem Kreiselverdichter getestet wird. Bei der Umsetzung der Erkenntnisse in der Produktion fiel auf, dass zum Erreichen einer intensiven Betonverdichtung eine gleichmäßige Befüllung der Form benötigt wird. Dies erfordert einen rieselfähigen Beton.

Einflüsse auf die Gleichmäßigkeit der Betonwaren

Eine hohe Rieselfähigkeit, also eine „Fließfähigkeit“ des frischen, unverdichteten erdfeuchten Betons ermöglicht es den einzelnen Bestandteilen der Gesteinskörnung, sich während der Befüllung der Verdichtungsform mit geringem Energieaufwand möglichst gleichmäßig ineinander zu lagern. Dies ist die Basis für eine gute Verdichtung.

Der speziell für diese Herausforderung von Sika entwickelte „Rieselfähigkeits-Test“ ermöglicht die quantitative Erfassung der Rieselfähigkeit im Labor. Zusammen mit dem Test der Verdichtungswilligkeit ermöglicht dies eine systematische Erforschung der Einflüsse auf die Gleichmäßigkeit der Betonwarenqualität sowie die gezielte Entwicklung von speziellen Betonzusatzmitteln zur Optimierung von Prozess- und Qualitätsdaten erdfeuchter Betone.

Die Einflüsse von Wasser und Betonzusatzmitteln wurden bereits in BWi Heft 3/2021 [1] umfassend erläutert. Die steigende Betonfeuchte bewirkt neben einer leichteren Verdichtung des Betongefüges auch eine Zunahme der Klebrigkeit und eine Abnahme der Rieselfähigkeit. Verdichtungsfördernde Betonzusatzmittel (Verdichtungshilfen) können sich dabei je nach Zusammensetzung positiv wie auch negativ auf die Rieselfähigkeit auswirken.

Positive Wirkung von SikaPaver bei unterschiedlichsten Zementen

Auf Basis gewonnener Erkenntnisse wurde die Befüll- und Verdichtungshilfe SikaPaver HC-218 entwickelt, welche die beiden wichtigen Eigenschaften Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit fördert. Um die Leistungsfähigkeit dieser neuen Zusatzmitteltechnologie zu überprüfen, wurden im Laufe der Entwicklung und Markteinführung über 40 verschiedene Zemente nach einem standardisierten Testprogramm hinsichtlich ihrer Eignung für die Betonwarenproduktion untersucht. Beurteilungskriterien waren die Rieselfähigkeit bei konstantem Wassergehalt, der zum Erreichen des Zielporengehalts benötigte Verdichtungsaufwand (Anzahl der Rotationszyklen) und die resultierende Festigkeit.

Dabei wurden neben reinen Portlandzementen auch die zunehmend häufiger verwendeten klinkerarmen Komposit-Zemente (mit Hochofenschlacke, Flugasche, Puzzolanen und Kalkstein als Klinkerersatzstoffe) getestet. Erfreulicherweise zeigte sich eine positive Wirkung von SikaPaver HC-218 mit im Durchschnitt 27 % höherer Rieselfähigkeit und 20 % geringerem Verdichtungsaufwand. Dabei ergaben sich unter den konstanten Rahmenbedingungen im Labor deutliche Unterschiede zwischen den Zementen sowohl bei der Rieselfähigkeit (8 bis 50 %) als auch bei der Verdichtungswilligkeit (6 bis 48 %) (Abb. 1).

Analyse der Einflussfaktoren für die Weiterentwicklung von Zusatzmitteln

Um gezielt Zusatzmittel für die Betonwarenherstellung mit neuen Zementen optimieren zu können, muss die Frage nach den Einflussfaktoren und den Hintergründen für die unterschiedliche Intensität der positiven Wirkung von SikaPaver weiter untersucht werden. Da die Zementfeinheit einen bekannten Einfluss auf den Wasseranspruch des Zementes hat, wurde schon früh damit begonnen, bei jedem untersuchten



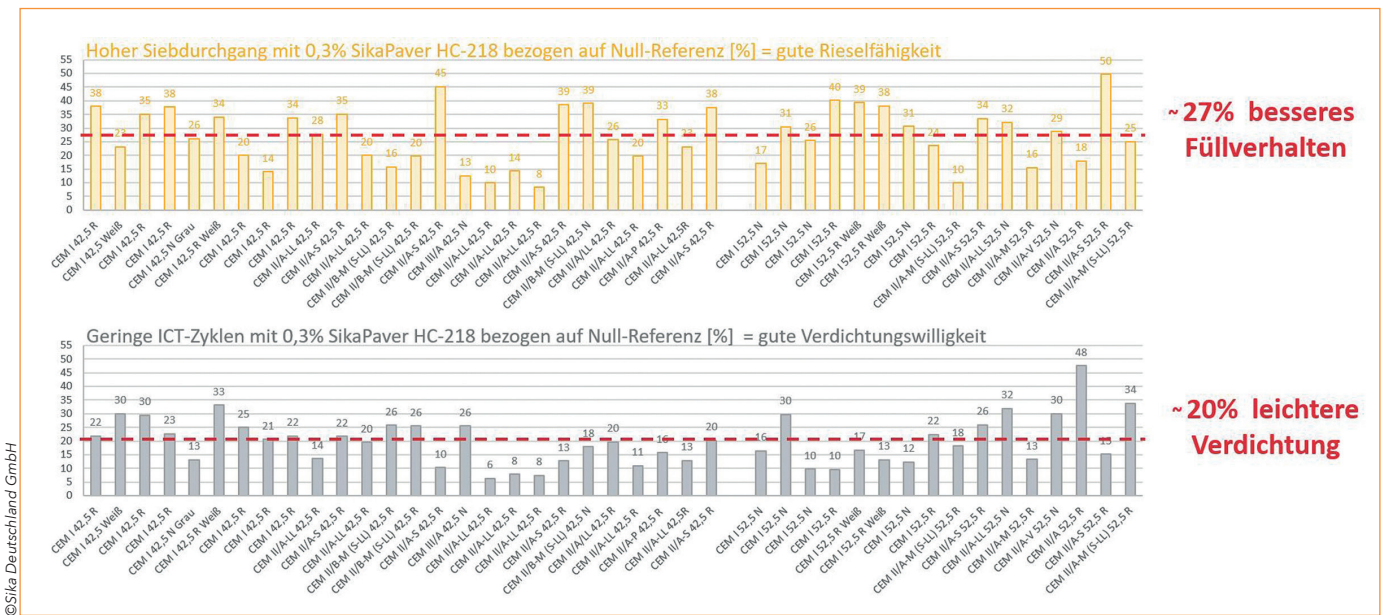
■ Dipl.-Ing. (FH) Jorg Schrabback, seit 1994 Betontechnologie mit Schwerpunkt auf Optimierung und Beratung von erdfeuchtem Beton sowie der dafür benötigten Zusatzmittel. 1999 bis 2015 international tätig mit Fokus auf Betonwaren und Zementtechnologie. Umfangreiche praktische Erfahrung führte seit 2016 zur Intensivierung der Forschung hinsichtlich Formfüllverhalten, Verdichtung und Dauerhaftigkeit von erdfeuchtem Beton.
 schrabback.jorg@de.sika.com

satzstoffe) und Zement-Produktionsverfahren (Mühlen- und Sichter-System, getrennte oder gemeinsame Vermahlung) ließen sich keine allgemeingültigen Trends erkennen. Allerdings zeigten die Untersuchungen immer wieder die gleichen Auffälligkeiten.

Zusammenhang von Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit

Die erste Beobachtung zeigt sich bei der Gegenüberstellung von Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit bei konstantem Betonkonzept inklusive Wassergehalt mit und ohne Zusatzmittel (Abb. 2). Deutlich erkennbar ist, dass Zemente, die eine gute Rieselfähigkeit aufwiesen, sich auch gut verdichten ließen. Beide bereits positiven Eigenschaften wurden durch 0,3 % SikaPaver HC-218 noch weiter gesteigert.

Zement die Partikelgrößenverteilung (PSD – Particle Size Distribution) zu ermitteln. Neben den Durchgangswerten bei den unterschiedlichen Korngrößen wurden auch die Kennwerte nach RRSB (Rosin-Rammer-Sperling-Bennett-Häufigkeitsverteilung) ermittelt, welche üblicherweise zur Charakterisierung der Partikelgrößenverteilung verwendet werden. Aufgrund der vielfältigen Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen Ausgangsstoffe (Klinker-Mineralogie, Klinkerer-



~27% besseres Füllverhalten

~20% leichtere Verdichtung

Abb. 1: Steigerung der Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit von 40 Zementen mit 0,3 % SikaPaver HC-218

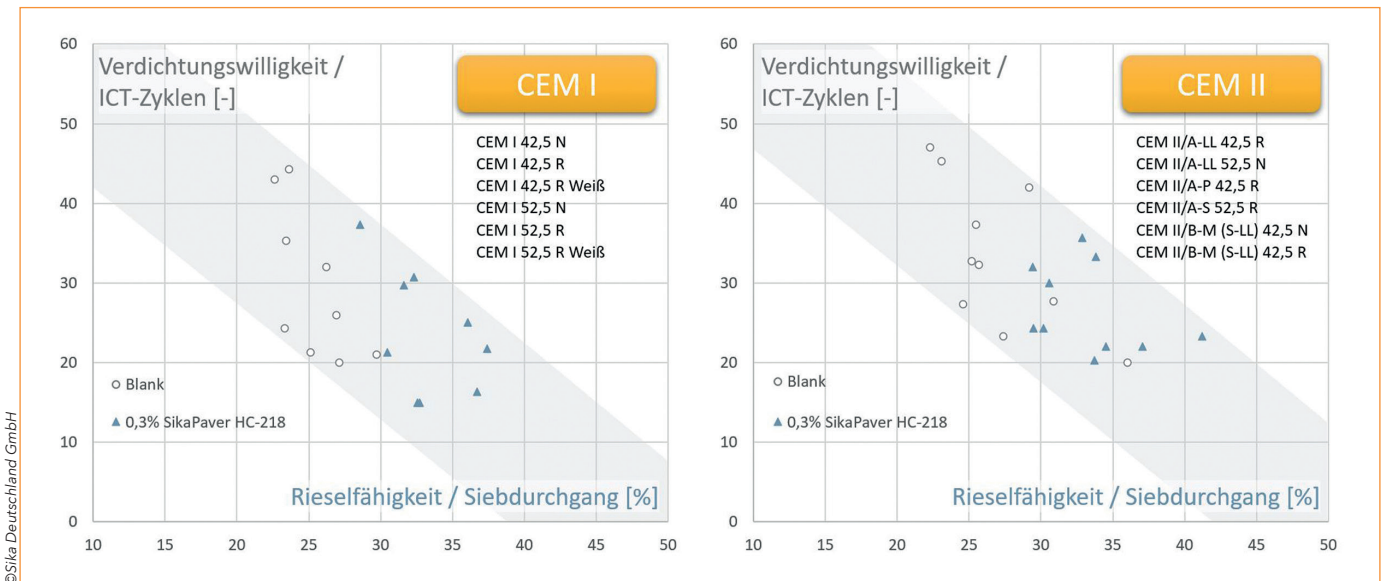


Abb. 2: Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit bei konstantem Betonkonzept mit und ohne Zusatzmittel für Portland- bzw. Komposit-Zemente

Überraschend war, dass sich diese Trends sowohl bei den untersuchten CEM-I-Typen als auch bei den unterschiedlichen CEM-II-Typen zeigten.

Einfluss von Zementfeinheit auf Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit

Die zweite Beobachtung zeigt sich bei der Betrachtung von unterschiedlichen Komposit-Zementen mit Hochofenschlacke und Kalkstein als Klinkerersatz (jeweils ohne Zusatzmittel). Abb. 3 zeigt die benötigten Verdichtungszyklen bzw. die Rieselfähigkeit in Relation zum Lageparameter x' (Korndurchmesser bei einem Durchgang von 63,2 %). Ein größerer Lageparameter x' charakterisiert einen gröberer Zement. Tendenziell benötigt ein gröberer Zement mehr Verdichtungsarbeit und weist eine schlechtere Rieselfähigkeit auf. Dies gilt für beide Zementersatz-Arten. Während die Riesel-

fähigkeit sehr stark vom Lageparameter x' abhängt, scheint die Verdichtungswilligkeit zusätzlich mit zunehmender Größe der größten Zementpartikel (d_{99}) abzunehmen.

Nutzung des vollständigen Klinkerpotenzials für Festigkeitsbildung

Eine grobe Aufmahlung des Klinkers wie bei reinen Portlandzementen oder bei niedrigeren Festigkeitsklassen bewirkt im Allgemeinen ungenutztes Hydratationspotenzial. Bekanntermaßen steigen mit zunehmender Feinheit des Klinkers die Festigkeiten (Früh- und Endfestigkeit) an. Abb. 4 bestätigt dies auch für die Anwendung in erdfeuchtem Beton mit einem Wasserzementwert 0,40. Die größte Bedeutung für die Festigkeitsentwicklung haben die Korngrößen 3 bis 32 μm [2]. Solange gröbere Klinkerpartikel existieren, kann das Festigkeitspotenzial des Klinkers vollständig genutzt und der

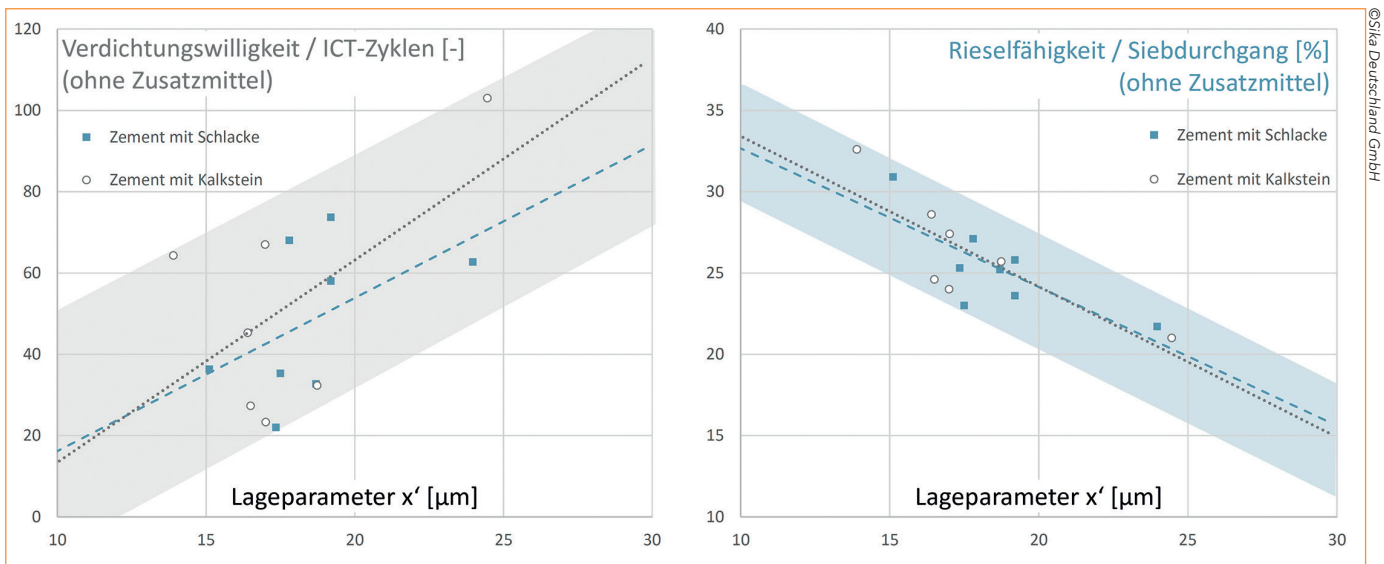


Abb. 3: Einfluss von Zementfeinheit auf die Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit von Komposit-Zementen

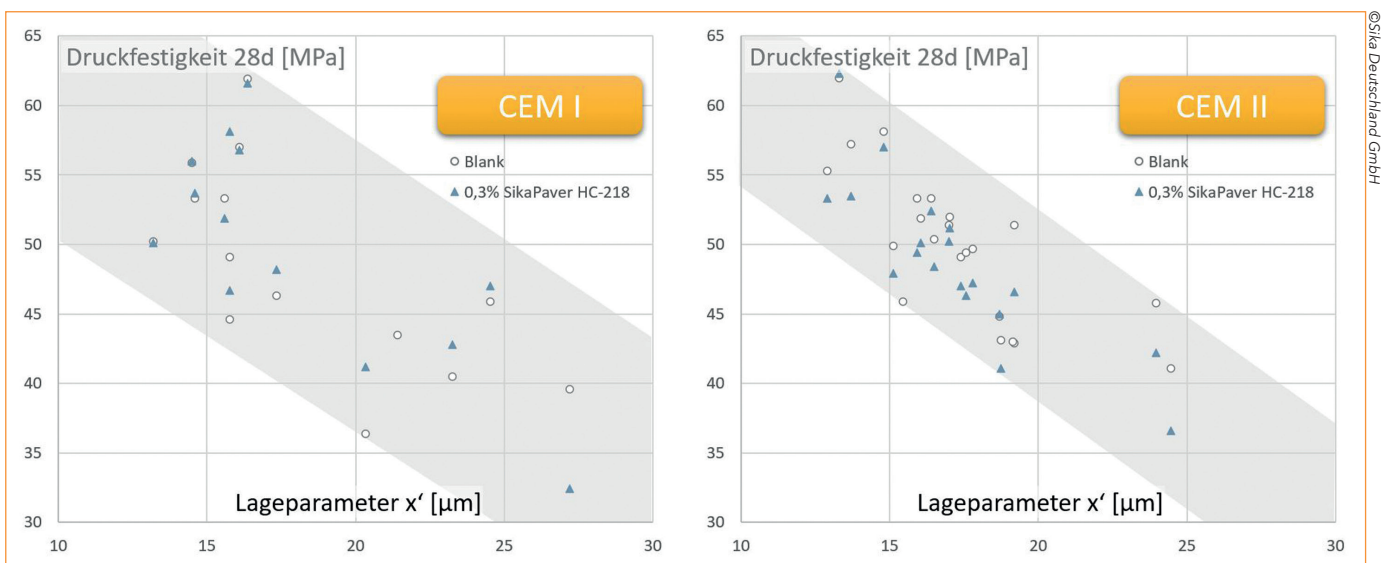


Abb. 4: Einfluss von Zementfeinheit auf die Endfestigkeit von Portland- und Komposit-Zementen mit und ohne Zusatzmittel

Anteil an Klinkerersatzstoffen erhöht werden. Eine feinere Mahlung des Klinkers in Komposit-Zementen ist daher aus wirtschaftlicher Sicht sowie aus Perspektive der Nachhaltigkeit positiv zu bewerten.

Höhere Zementfeinheit verbessert Pflastersteinqualität

Allerdings bestehen bei hohen Zementfeinheiten Bedenken hinsichtlich des erhöhten Wasseranspruches. Neueste Laboraten belegen nun, dass sich die zunehmende Feinheit von Portland- und Komposit-Zementen in erdfeuchtem Beton positiv hinsichtlich Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit auswirken. Dabei liegen unterschiedliche Wirkprinzipien zugrunde.

Die mit zunehmender Feinheit steigende Rieselfähigkeit ist auf die höhere Wasserbindfähigkeit eines feingemahlten Zementes zurückzuführen. Somit stellt der üblicherweise als ungünstig vermutete hohe Wasseranspruch von Komposit-Zementen aus Sicht der gleichmäßigen Pflastersteinqualität einen positiven Aspekt dar.

Die mit zunehmender Feinheit leichtere Verdichtung der erdfeuchten Betonmatrix ist auf die geringeren Partikeldurchmesser zurückzuführen. Je feiner die Zementpartikel sind, desto besser wirkt der Zementleim als Gleitfilm bei der Verschiebung der Gesteinskörnung in ihre finale Position. Grobe Partikel im Zementleim hingegen erhöhen die Reibung und erschweren die Verschiebung der Gesteinskörnung, wodurch die Verdichtung vermindert wird.

Moderne Mahlhilfen ermöglichen Produzierbarkeit von Komposit-Zementen

Der mögliche Anteil an Klinkerersatzstoffen (CEM II/A bis 20 %, CEM II/B bis 35 %) wird durch mehrere Faktoren begrenzt:

- Verfügbarkeit und Reaktivität der Klinkerersatzstoffe,
- Mahlprozess und
- resultierender Wasseranspruch des Komposit-Zementes.

Bei gemeinsamer Vermahlung von Klinker und z. B. Kalkstein gilt es, den harten Klinker fein zu mahlen, während der deutlich weichere Kalkstein eine möglichst vergleichbare Partikelgrößenverteilung erzielen sollte.

Die Erfahrung hinsichtlich der gemeinsamen Vermahlung von Komposit-Zementen mit weichen Klinkerersatzstoffen hat gezeigt, dass die Mühlensteuerung sowie die Verwendung von besonders leistungsfähigen Zement-Additiven eine entscheidende Rolle spielt [3]. Sika hat sich intensiv mit den Wirkungsweisen der unterschiedlichen Mahlhilfen beschäftigt - von molekularer Modellierung über Laborversuche bis hin zur praktischen Umsetzung [4]. Leistungsstarke Mahlhilfen sind die Basis aller Qualitätssteigerer, welche für heutige Komposit-Zemente benötigt werden. Der Markenname SikaGrind steht für ein Portfolio von maßgeschneiderten Zement-Additiven zur Bewältigung lokaler Herausforderungen.

Anwendung in der Betontechnologischen Beratung

Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für die betontechnologische Beratung von Sika und ermöglichen die Einschätzung, ob sich ein Zement für die Herstellung hochwertiger Betonwaren eignet. Zwei Beispiele aus der Praxis verdeutlichen dies anschaulich.

Beispiel 1: Optimierung eines Kalksteinzementes

Ziel war die Überprüfung eines CO₂-reduzierten Zements mit Kalkstein als Klinkerersatzstoff hinsichtlich seiner Eignung für die Betonwarenproduktion. Der auf einer Kugelmühle im Durchlaufverfahren produzierte CEM II/A-LL 42,5 R wies eine grobe Partikelgrößenverteilung mit einem Lageparameter x'=24,5 µm auf (Abb. 5a). Passend zu den Erfahrungswerten

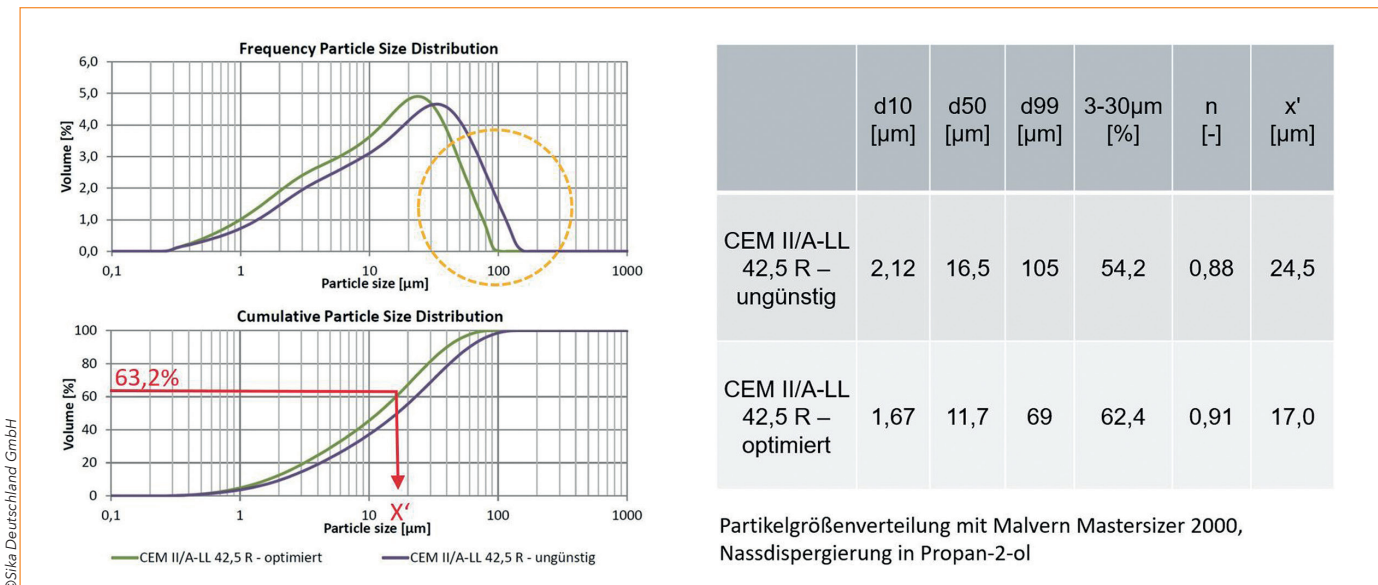


Abb. 5a: Partikelgrößenverteilung (PSD) bei Beispiel 1 - CEM II/A-LL 42,5 R ungünstig gegenüber optimiert

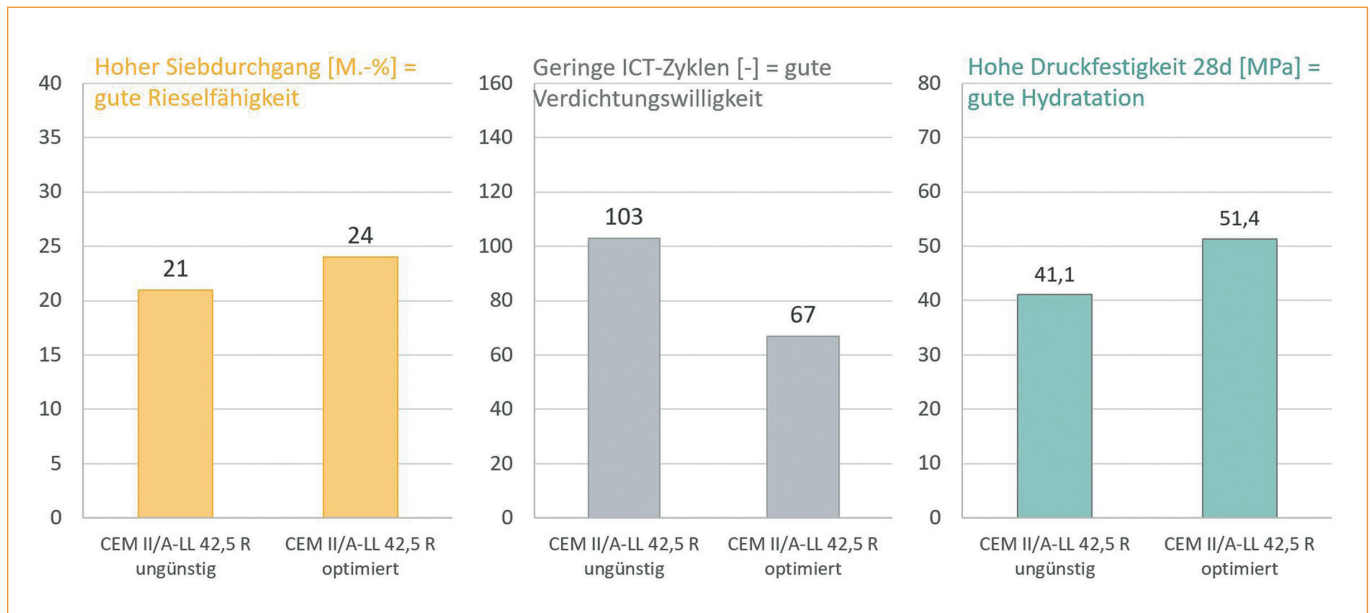


Abb. 5b: Rieselfähigkeit, Verdichtungswilligkeit und Festigkeit von ungünstiger und optimierter Partikelgrößenverteilung (PSD)

ließ sich der erdfeuchte Beton schwer auf den Zielporengehalt verdichten und führte zu einem kratzenden Geräusch beim Entschalen der Probekörper. Nach Veränderung der Randbedingungen im Zementwerk wurde ein neuer Ansatz des CEM II/A-LL 42,5 R produziert. Die Optimierung der Partikelgrößenverteilung während des Mahlprozesses (Lageparameter $x' = 17,0 \mu\text{m}$) führte zu höherer Rieselfähigkeit, leichter Verdichtungswilligkeit und besseren Festigkeiten (Abb. 5b). Erfahrungen aus der praktischen Anwendung bestätigen diese positiven Ergebnisse.

Beispiel 2: Vergleich von Portlandzement und Puzzolanzement

In einem weiteren Fall war das Ziel, einen Vergleich von zwei eingeführten Zementen eines Werkes (Portlandzement und

Puzzolanzement) hinsichtlich der Eignung für die Produktion von erdfeuchtem Beton durchzuführen. Dabei wurde der gleiche Klinker auf der gleichen Kugelmühle gemahlen. Der Unterschied bestand im zusätzlich verwendeten Klinkererzatzstoff. Der Puzzolanzement CEM II/A-P 42,5 R (Lageparameter $x' = 15,9 \mu\text{m}$) hatte eine deutlich feinere Partikelgrößenverteilung (Abb. 6a) als der Portlandzement CEM I 42,5 R (Lageparameter $x' = 23,3 \mu\text{m}$). Beim Vergleich wurde zusätzlich die Auswirkung auf die in der Produktion von erdfeuchtem Beton verwendete Verdichtungshilfe SikaPaver HC-339 untersucht (Abb. 6b).

Hinsichtlich der Rieselfähigkeit ergaben sich kaum Unterschiede zwischen den beiden Zementen. Allerdings konnte die Rieselfähigkeit bereits mit der Zugabe von 0,2 % Sika-

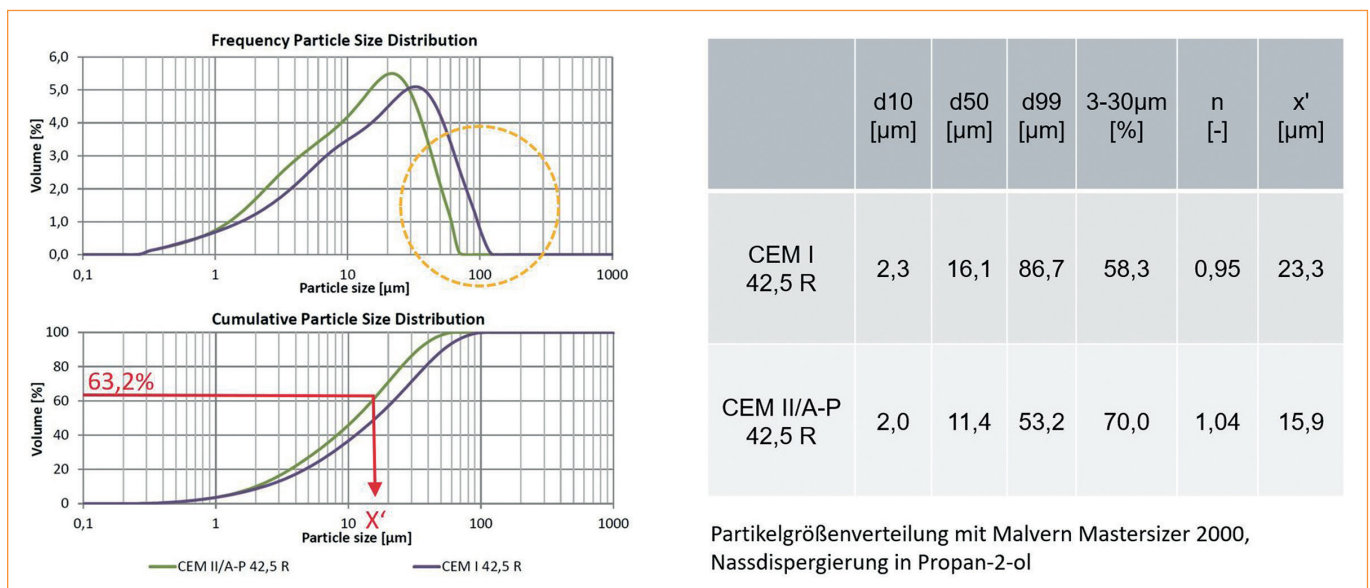


Abb. 6a: Partikelgrößenverteilung (PSD) bei Beispiel 2 - CEM I 42,5 R gegenüber CEM II/A-P 42,5 R

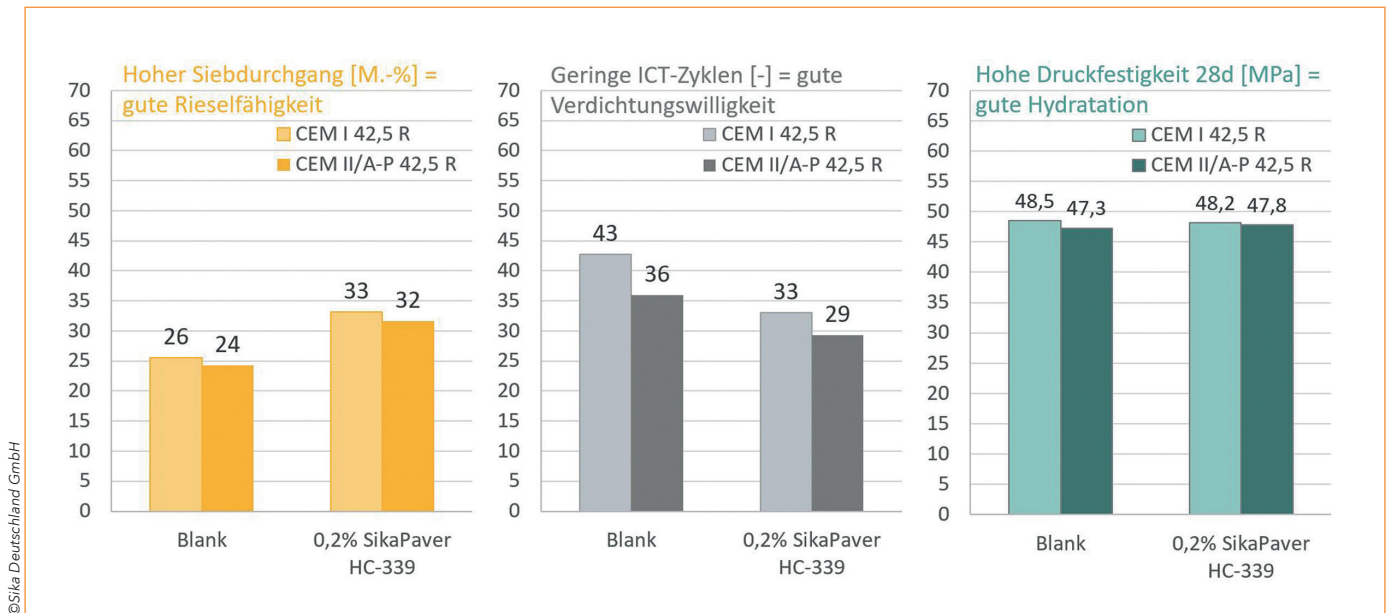


Abb. 6b: Rieselfähigkeit, Verdichtungswilligkeit und Festigkeit von CEM I gegenüber CEM II/A-P

Paver HC-339 bei beiden Zementen deutlich gesteigert werden (ca. +30 %). Der Puzzolanement ließ sich deutlich leichter verdichten (23 %) und zudem durch das Zusatzmittel um weitere 12 % verbessern. Bei den Festigkeiten zeigten sich erwartungsgemäß keine signifikanten Unterschiede. Um das häufig für Komposit-Zement kritisch betrachtete Thema Dauerhaftigkeit zu untersuchen, wurden mit beiden Zementen Probekörper aus erdfeuchtem Beton für die CDF-Prüfung hergestellt (8 Vol.-% Verdichtungs-poren, Dichte 2,23 kg/dm³, w/z-Wert von 0,40). Nach 28 Frost-Tau-Wechseln lagen die Einzelwerte der Abwitterungen beider Serien im Bereich von 88 bis 454 g/m². Die Mittelwerte waren mit 210 g/m² beim CEM I und 290 g/m² beim CEM II vergleichbar und erreichten mit Abstand die Anforderungen (≤ 1.500 g/m²). Die im Labor festgestellte leichtere Verdichtungswilligkeit des Puzzolanements bei ansonsten gleichbleibender Qualität wurde im Nachgang von unabhängigen Herstellern erdfeuchter Betone bestätigt.

Zusammenfassung

Durch die verstärkte Anwendung von CO₂-reduzierten Komposit-Zementen befürchtet die Betonwarenindustrie Verluste bei der Festigkeit und eine verkürzte Dauerhaftigkeit. Darüber hinaus besteht großes Interesse an der Frage, welchen Einfluss diese neuen Zemente auf die Wirkung der aktuell verwendeten Betonzusatzmittel sowie auf die Produktion und Qualität von Produkten aus erdfeuchtem Beton haben.

Untersuchungen an über 40 Zementen unterschiedlicher Werke und Zusammensetzungen (Portland- sowie Komposit-Zemente mit Hochofenschlacke, Flugasche, Puzzolanen und Kalkstein) zeigten, dass Komposit-Zemente hinsichtlich gleichmäßiger Formfüllung (Rieselfähigkeit) und Verdichtungswilligkeit der erdfeuchten Betone Vorteile gegenüber reinen Portlandzementen haben können. Wichtig ist dabei die Produktion einer optimierten Partikelgrößenverteilung.

Günstig wirken sich feinere Zemente mit einem kleinen Größtkorn aus, da sie mit Wasser einen geschmeidigen Zementleim ergeben, durch den die Gesteinskörnung leicht eine hohlraumarme Packung einnehmen kann. Interessanterweise können erdfeuchte Betone mit diesen optimierten Zementen durch die untersuchten Betonzusatzmittel SikaPaver HC-218 und SikaPaver HC-339 noch weiter hinsichtlich Rieselfähigkeit und Verdichtungswilligkeit verbessert werden. Erfreulicherweise bestätigte sich auch die gute Dauerhaftigkeit des untersuchten Puzzolanementes.

Es ist festzustellen, dass Komposit-Zemente bei optimierter Konzeption und Mahlung die wirtschaftliche Reduzierung der CO₂-Emissionen bei gleichzeitigen Vorteilen für die Herstellung von Fertigteilen aus erdfeuchtem Beton ermöglichen. ■

Quellen

- [1] Schrabback, J.M.: Mehr Qualität und Produktivität in der Betonwarenherstellung. In: BWI BetonWerk International 03/2021, S. 70-74
- [2] Schrabback, J.M.: Finest strength development. In: ICR International Cement Review, September 2009, S. 75-80
- [3] Schrabback, J.M.: Profitable limestone cement. In: ICR International Cement Review, August 2014, S. 94-98.
- [4] Schrabback, J.M., Weibel, Dr. M.: Powerful grinding aids. In: ICR International Cement Review, Mai 2015, S. 82-84

WEITERE INFORMATIONEN



BUILDING TRUST

Sika Deutschland GmbH
Kornwestheimer Straße 103-107
70439 Stuttgart, Deutschland
T +49 711 8009 0

info@de.sika.com, www.sika.de

EGAL WOHIN ICH SCHAU E –
ÜBERALL EINWANDFREIE

BETONWAREN



BAU 2023

17.–22. April · München

Besuchen Sie uns: Halle A1 Stand 502

SikaPaver®

ZUSATZMITTEL FÜR ERDFEUCHTEN BETON

- **ZIELSICHERE ANWENDUNG**
bei unterschiedlichen Materialien und Rezepturen
- **SCHNELLERE PRODUKTION**
bei optimalem Wassergehalt
- **GLEICHMÄSSIGERE BEFÜLLUNG**
von anspruchsvollen Formen
- **ZUVERLÄSSIGER SERVICE**
mit individuellen Lösungen
- **BESSERE QUALITÄT**
bei einheitlichem Erscheinungsbild und minimiertem Ausschuss



Jetzt informieren
unter
www.sika.de

BUILDING TRUST

