

UNSERE  
PRODUKTE

FÜR   
ECHTE  
PROFIS

- **Randdämmstreifen**
- Bitumenpapiere
- PE-Baufolien
- Trittschalldämmbahnen
- Estrichzusatzmittel
- und vieles mehr ...



Mit uns legen Sie richtig  
0208 802080 • gera-chemie.de

Herstellung von Industrieböden

## PCE-haltige Zusätze: Fluch oder Segen?

Für die einen sind PCE-haltige Fließmittel bei der Herstellung von Industrieböden aus Beton unverzichtbar, für die anderen sind sie für viele Schäden an Industrieböden verantwortlich. Gibt es ein abschließendes Urteil?

### 1. Ausgangssituation

Über die Verwendbarkeit von Polycarboxylatethern (PCE) für die Herstellung von Industrieböden wird seit Jahren intensiv und sehr kontrovers diskutiert. Die Vertreter der einen Gruppe weist immer wieder darauf hin, dass PCE bei den heutigen beton-technologischen Anforderungen (Herstellung von Betonen mit sehr geringen w/z-Werten) unverzichtbar sind und sich auch „als anwendungssicheres Produkt“ auch für Industrieböden bewährt haben. Die andere Gruppe führt im Gegensatz dazu aus, dass eine Vielzahl von Schäden an Industrieböden (Abplatzungen durch die Bildung einer *Elefantenhaut* bzw. durch einen ungeplanten Luftporeneintrag) auf die Verwendung PCE-haltiger Fließmittel zurückzuführen sind.

**Anmerkung:** Unter dem Begriff „*Elefantenhaut*“ wird eine frühzeitige (im Vergleich zum tiefer liegenden Beton) deutlich beschleunigte Ansteifung der oberflächlichen Randzone des Frischbetons verstanden. Bei Ausbildung einer derartigen *Elefantenhaut* erscheint der Beton in der Oberfläche augenscheinlich bereits angesteift, obwohl die tiefer liegenden Betonzonen noch nicht die zum Glätten erforderliche Konsistenz aufweisen.

Bei Vorliegen einer *Elefantenhaut* finden sich dünnschliffmikroskopisch häufig oberflächenparallel gelängte Luftporen und Ablösungen im oberflächennahen Beton (im Bereich der Grenzschicht zwischen der zum Glätt-

zeitpunkt bereits angesteiften Betonoberfläche und dem noch nicht ausreichend angesteiften Beton).

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand wird die Bildung einer *Elefantenhaut* vor allem durch eine deutlich beschleunigte Austrocknung der Betonrandzone verursacht. Bisher sind diese Effekte im Regelfall bei Verwendung PCE-haltiger Verflüssiger aufgetreten.

**Anmerkung:** Unter einem „*ungeplanten Luftporeneintrag*“ wird die Einbringung von Luftporen aufgrund nicht ausreichend entschäumter Zusatzmittel verstanden. Während Innenbauteilbetone üblicherweise einen Luftgehalt von ca. 1,5 Vol.-% enthalten, werden bei diesen Betonen dann deutlich höhere Luftgehalte vorgefunden. Hinsichtlich des erhöhten Luftgehaltes weisen diese Betone dann keine „typische Beschaffenheit“ auf.

### Pro PCE

Die Vertreter der „Pro-PCE-Gruppe“ begründen ihre Meinung in erster Linie mit den Ergebnissen eines durch die Deutsche Bauchemie finanzierten Forschungsvorhabens, nach denen sich eine *Elefantenhaut* nur ausbildet, wenn Betone mit sehr geringen Wassergehalten (w/z-Werten) hergestellt werden und die Betonoberfläche in der Folge austrocknet.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde festgestellt, dass sich eine *Elefantenhaut* bevorzugt dann ausbildet, wenn keine Zwischennachbe-

handlung ausgeführt wird. Nach den Ergebnissen dieser Untersuchungen soll die Bildung der *Elefantenhaut* durch eine geringe Blutneigung und eine lange Konsistenzhaltung des Betons begünstigt werden [L 8]. Vor dem Hintergrund dieser Untersuchungsergebnisse stellt sich dem geneigten Leser somit die Frage, ob das bedeutet, dass PCE-haltige Betone zur Herstellung von Industrieböden grundsätzlich mit einer Zwischennachbehandlung versehen werden müssen, da die Bildung einer *Elefantenhaut* ansonsten nicht zielsicher zu vermeiden ist? Bislang wird die Ausführung einer Zwischennachbehandlung nur dann gefordert (siehe Abschnitt 8.5 (5) der **DIN EN 13 670**), wenn „die Rissbildung an der freien Oberfläche infolge Fröhschwinden vermieden werden“ soll. Ein weiteres Problem der Verwendung von PCE-haltigen Betonen besteht darin, dass nicht vorherzusehen ist, wann sich die Bildung der *Elefantenhaut* einstellt. Erste Erfahrungen legen nahe, dass sich die nachfolgenden Einflussfaktoren in deutlichem Maße auf die Bildung einer *Elefantenhaut* auswirken:

- Hoher Anteil an Feinanteilen in der Gesteinskörnung;
- Verwendung langkettiger (klebriger) PCE;
- Einbaubedingungen mit höherer Temperatur.

Neben der Bildung der *Elefantenhaut* wird auch häufig über den *Luft eintrag* durch die Verwendung PCE-haltiger Zusatzmittel diskutiert.

Bezüglich der Bildung von Abplatzungen an Industrieböden stellen zwar auch die Vertreter der „Pro-PCE-Gruppe“ fest, dass derartige Schäden in der Vergangenheit verstärkt aufgetreten sind, wenn im Festbeton erhöhte Luftgehalte vorgelegen haben. Mit dem Hinweis auf die Ergebnisse des Forschungsvorhabens führen die Vertreter der „Pro-PCE-Gruppe“ aber aus, dass die o. g. „Versuchsergebnisse die Praxiserfahrung bestätigen, dass auch Betone mit höheren Luftgehal-

ten problemlos ohne Ausbildung von Hohlstellen geglättet werden können“ [L 8]. Allerdings ist bei der neutralen Bewertung der Ergebnisse des o. g. Forschungsvorhabens darauf hinzuweisen, dass die Versuche zum einen nur mit einem **handgeführten** maschinellen Glätter (also mit vergleichsweise geringer Verdichtungsenergie) erfolgten. Versuche mit höherer Glättenergie z. B. bei Verwendung von Duo-Glätttern erfolgten nicht. Weiterhin erklären diese Ergebnisse nicht, warum die Abplatzungen verstärkt dann auftreten, wenn im Beton hohe Luftgehalte enthalten sind. Auch ist die Formulierung interessant, dass es „möglich ist“, schadensfreie Industrieböden unter Verwendung luftporenhaltiger Betone herzustellen. Diese Ergebnisse lassen aber keine Schlüsse dazu zu, ob und wenn ja, in welcher Größenordnung das Risiko für die Bildung von Abplatzungen bei Verwendung PCE-haltiger Zusatzmittel ansteigt.

#### Contra PCE

Die „Contra-PCE-Gruppe“ verweist im Gegensatz dazu auf eine Vielzahl von Schäden an Industrieböden, bei denen Abplatzungen entstanden sind, bei denen der Beton unerwartet hohe Luftgehalte enthielt. Weiterhin liegen Erkenntnisse aus einem Forschungsvorhaben zu Luftporenbetonen vor, die belegen, dass sich das Betongefüge luftporenhaltiger Betone im oberflächennahen Bereich beim intensiven Glätten der Betonoberfläche signifikant verändert. So wurde sowohl von Krell [L 1] als auch von Raupach [L 6] berichtet, dass das Glätten von LP-Betonen zu einer Verschlechterung des Haftverbundes des Betons in der Betonrandzone führen kann.

Raupach führte diesbezüglich in [L 6] aus, dass die Einwirktiefe des Glättens im Rahmen dünnstliffmikroskopischer Untersuchungen mehrheitlich bis zu einer Tiefe von ca. 10 und 15 mm, im Einzelfall sogar bis in eine Tiefe von 20 mm erkennbar war.

## 2. Vorgefundene Schäden

Eine Vielzahl von Schäden belegt, dass die Verwendung PCE-haltiger Fließmittel einen negativen Einfluss auf die Qualität der Oberfläche von Industrieböden haben kann (aber nicht muss). Diese Schäden stellen sich üblicherweise so dar, dass oberflächenparallele Risse in einer Tiefe in ca. 1 – 10 mm (manchmal auch noch in größerer Tiefe) auftreten (Vgl. hierzu auf Seite 6 die Abb. 1a und 1b: Hohlstellen in einem Industrieboden).

Erfahrungsgemäß verlaufen diese Risse im Zementstein und durchlaufen die Gesteinskörnung üblicherweise nicht. Selbst augenscheinlich sind in diesen Fällen häufig bereits erhöhte Mengen an Luftporen in der Bohrkernmantelfläche und/oder der Abrissfläche der Betone erkennbar (Vgl. auf Seite 6 die Abb. 2a und 2b: „Rissbildung sowie erkennbare Poren und die Abb. 3a und 3b: Abrissebene am Bohrkern eines Industriebodens).

Mikroskopisch stellen sich diese Schäden normalerweise in Form einer oberflächenparallelen Rissbildung dar, die über die im Beton enthaltenen Poren (*ungeplanter Luftporen*) fortschreitet. Charakteristisch für die Bildung einer *Elefantenhaut* ist dabei eine oberflächenparallele Längung der Poren. Diese oberflächenparallele Längung der Poren lässt vermuten, dass der Beton vor Ort verdichtet wurde, bevor der Erstarrungszeitpunkt (und damit der Beginn des Zeitfensters für das Glätten) erreicht wurde (Vgl. die Abb. 4a und 4b auf Seite 8: Dünnstliffmikroskopische Aufnahme einer Rissbildung sowie der in der Abrissfläche erkennbaren, zum Teil gelängten Poren).

Ursächlich ist die oberflächenparallele Längung der Poren darauf zurückzuführen, dass der bereits angezogene (erstarrte) Beton der Bauteiloberfläche beim Glätten auf dem darunter befindlichen, noch verarbeitbaren Beton bewegt wird. Oberhalb der Abrisszone enthält der Beton im Normalfall eine erwartungsgemäße bzw. sogar



Abb. 1a und 1b: Hohlstellen in einem Industrieboden.

Fotos: MPVA Neuwied, Voß



Abb. 2a und 2b: Bild Rissbildung sowie erkennbare Poren.

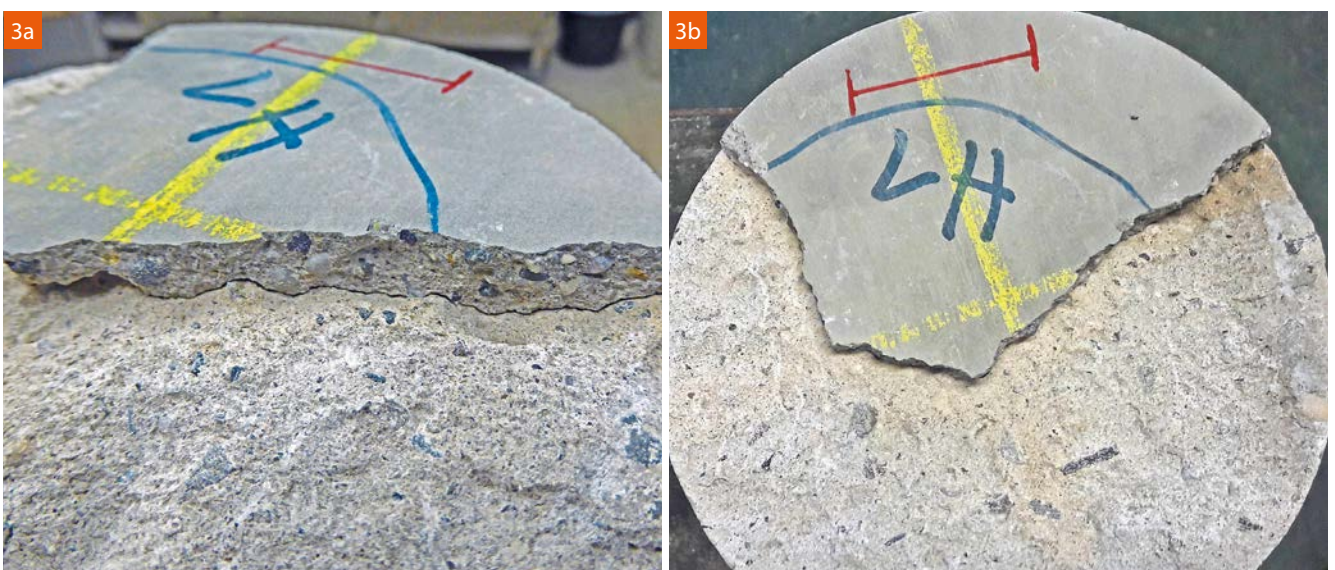


Abb. 3a und 3b: Abrissebene am Bohrkern eines Industriebodens.

eine sehr geringe Menge an Luftporen, da die in dieser Zone enthaltene Luft durch die Verdichtung beim Glätten ausgetrieben wird. Im Gegensatz dazu werden in der darunter befindlichen Zone des Betons häufig aufgrund des *ungeplanten Lufteintrags* stark erhöhte Luftgehalte (im nachfolgend abgebildeten Fall über 8 Vol.-% für einen Innenbauteilbeton) vorgefunden (Vgl. die Abb. 5a und 5b: Porengehalt im oberflächennahen und oberflächenfernen Bereich auf Seite 8).

Derartig hohe Luftgehalte sind als untypisch für normale Innenbauteilbetone zu bewerten. So weisen übliche Innenbauteilbetone (ohne Zusatz von LP-Bildnern) im Normalfall Luftgehalte von ca. 1,5 Vol.-% auf (siehe Erstprüfung des jeweiligen Betons). Aufgrund dieser im Beton enthaltenen, ungeplant hohen Luftgehalte weist der Beton somit nicht die geplante Betonzusammensetzung (da deutlich erhöhte Luftgehalte im Vergleich zur Erstprüfung) und damit auch keine „typische Beschaffenheit“ auf.

### 3. Schadensursache und mögliche Schutzmaßnahmen

#### 3.1. Allgemeines

Um die Verwendbarkeit der Betone zur Herstellung von Industrieböden sicherzustellen, müssen die Frischbetoneigenschaften (Ansteifverhalten und Bluten) besondere Anforderungen erfüllen [L 5]. Weist der Beton diese Eigenschaften nicht auf, so können Schäden z. B. in Form von Rissen und Ablösungen am Industrieboden resultieren. Gleichzeitig müssen Betone zur Herstellung von Industrieböden aufgrund der Anforderungen der Betonnormen an den Verschleißwiderstand (Expositionsklasse XM) üblicherweise unter Verwendung geringer w/z-Werte hergestellt werden.

**Anmerkung:** Der normativ (DIN 1045 und DIN EN 206) für hohe Verschleißwiderstände (Expositionsklassen XM2 und XM3) geforderte sehr geringe w/z-Wert von < 0,45 ist bei Kombination mit einer Einstreuung im Normalfall nicht zu erreichen, da in diesem Fall zu wenig Wasser zur Hydratation des Zementes der Einstreuung zur Verfügung steht. Wie diese Ausführungen zeigen, handelt es sich bei Betonen zur Herstellung von Industrieböden um Spezialbetone, deren Rezeptierung ein hohes Maß an Erfahrung voraussetzt.

Bei der Erfüllung all dieser Anforderungen sollten die Fließmittel der „neuen Generation“ auf Basis von Polycarboxylatethern (PCE) helfen. Diese Fließmittel haben den Vorteil, dass sie entweder eine deutliche Verbesserung der Verarbeitbarkeit oder eine Reduzierung des w/z-Wertes ermöglichen. Aufgrund dieses Einflusses auf die Verarbeitbarkeit lassen sich einzelne Frischbetoneigenschaften gezielt aussteuern. Wie diese Ausführungen zeigen, handelt es sich bei sachgerecht eingestellten PCE-haltigen Fließmit-

teln um hochwertige Produkte mit hervorragenden Eigenschaften. Bei Verwendung dieser Fließmittel lassen sich demnach deutliche Konsistenzsteigerungen erreichen, ohne dass die Betoneigenschaften wie z. B. die Betondruckfestigkeit signifikant beeinträchtigt werden.

Neben diesen sehr positiven Eigenschaften kann die Verwendung PCE-haltiger Fließmittel aber auch betontechnologische Nachteile nach sich ziehen. So weisen PCE-haltige Fließmittel häufig nur einen vergleichsweise geringen „Stabilitätsbereich“ auf, so dass bereits eine geringe Überdosierung dieser Fließmittel zu einer Entmischung des Betons beitragen kann. Weiterhin können sich die Betoneigenschaften z. B. beim Wechsel des Zementes bei gleichzeitigem Vorhandensein eines PCE-haltigen Fließmittels in erheblichem Umfang ändern.

Daneben erhöht die Verwendung PCE-haltiger Fließmittel üblicherweise die Klebrigkeit des Betons deutlich, so dass das Risiko für die Bildung einer *Elefantenhaut* sowie eines *ungeplanten Lufteintrags* in erheblichem Umfang steigt. Hierauf wird in den nachfolgenden Abschnitten näher eingegangen.

UNSERE PRODUKTE  
FÜR ECHE

PROFIS



Mit uns legen Sie richtig: 0208 802080 • gera-chemie.de

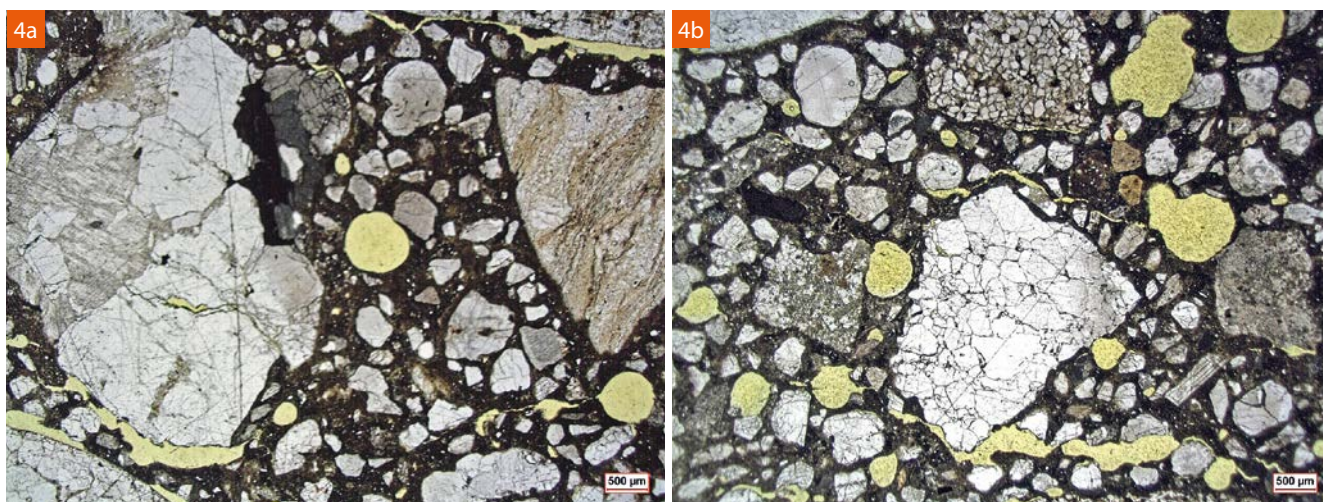


Abb. 4a und 4b: Dünnschliffmikroskopische Aufnahme einer Rissbildung sowie der in der Abrissfläche erkennbaren, zum Teil gelangten Poren.

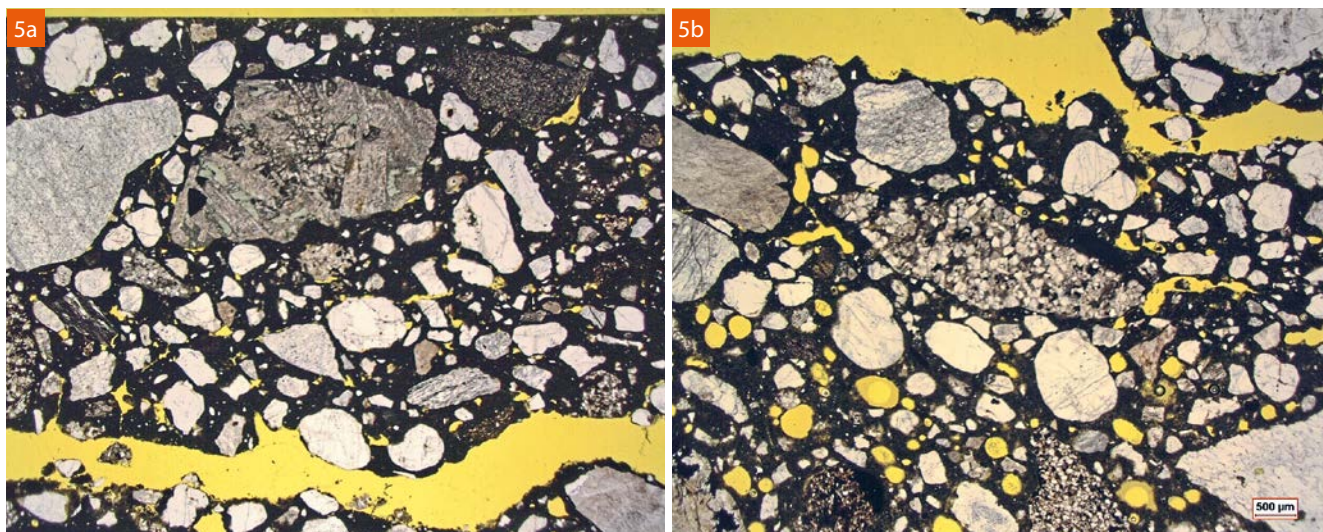


Abb. 5a und 5b: Porengehalt im oberflächennahen (links) und oberflächenfernen (rechts) Bereich.

### 3.2. Elefantenhaut

Die Bildung einer *Elefantenhaut* ist ursächlich darauf zurückzuführen, dass der unter Verwendung PCE-haltiger Fließmittel hergestellte Industriebodenbeton normalerweise nur wenig Wasser enthält, gleichzeitig eine höhere Klebrigkeit (und damit auch ein nur sehr geringes Bluten) aufweist und somit bereits sehr geringe Wasserverluste durch die Austrocknung zu einem Ansteifen des Betons in der Betonoberfläche führen können. Obwohl der Verarbeiter aufgrund der Bildung der *Elefantenhaut* in der Betonoberfläche den Eindruck bekommt, dass der Zeitpunkt zum Glät-

ten des Betons erreicht ist, hat der darunter befindliche Beton den Erstarrungszeitpunkt und damit den Beginn des Zeitfensters für das Glätten noch nicht erreicht. Glättet der Verarbeiter die Betonoberfläche zu diesem Zeitpunkt, wird die angezogene Betonoberfläche auf dem darunter befindlichen Betoninneren bewegt, wobei das Betoninnere durch den Eintrag der Glättenergie zum Teil „verflüssigt“ wird und sich Mikrorisse „und oberflächenparallel gelangte Poren in dieser Zone bilden. In der Folge platzt der oberflächennahe Beton im Bereich der Überganszone bei der Einwirkung mechanischer Beanspruchung ab.

### 3.3. Lufteintrag

Bei PCE-haltigen Fließmitteln handelt es sich um Substanzklassen, die im Rahmen der Betonherstellung zu einem *ungeplanten Lufteintrag* führen können. Aus diesem Grund werden PCE-haltigen Fließmitteln sog. „Entschäumer“ zugesetzt, welche die ungeplante Einbringung von Luft in die Betonmischungen verhindern sollen. Werden diese Entschäumer nicht in ausreichender Menge dosiert, so kann ein *ungeplanter Lufteintrag* erfolgen. Das Problem bei der Dosierung des Entschäumers besteht u. a. darin, dass gerade die Aktivität von „Luftporenbildnern“ ganz erheblich von der

Menge der zur Betonherstellung eingesetzten Feinteile (Zement, abschlämmbare Bestandteile der Gesteinskörnung und Zusatzstoffe) oder auch von der Umgebungstemperatur beeinflusst wird. So können bereits geringe Schwankungen in den Feinteilgehalten der Gesteinskörnungen oder bei den Umgebungstemperaturen zu deutlichen Veränderungen beim *Luft-eintrag* führen.

### 3.4. Maßnahmen des Betonlieferanten und des Ausführenden

Nachfolgend sind mögliche Maßnahmen der Betonlieferanten und der Ausführenden zur Begrenzung des Schadensrisikos zusammengestellt.

#### Maßnahmen des Betonlieferanten

- Verwendung von Betonen, die eine besondere Eignung zur Herstellung von Industrieböden (z. B. hinsichtlich

des Ansteifverhaltens und des Blutens) aufweisen;

- Regelmäßige Bestimmung der Menge an abschlämmbaren Bestandteilen und der Feinanteile der eingesetzten Gesteinskörnung;
- Regelmäßige Überprüfung der Betoneigenschaften im Sinne einer Erstprüfung. Im Rahmen dieser Erstprüfung sind die Luftgehalte in Abhängigkeit von der Temperatur und der Verarbeitungskonsistenz zu bestimmen. Darüber hinaus sollte das Bluten des Betons zwar nicht zu groß, aber auch nicht zu gering sein.

#### Maßnahmen des Ausführenden

- Regelmäßige Bestimmung der Luftgehalte der gelieferten Betonchargen vor, aber auch nach der Betonpumpe (bei allen PCE-haltigen Betonen). Der Luftgehalt des Betons

sollte bei maximal 3,0 Vol.-%, besser aber bei unter 2,5 Vol.-% liegen;

- Regelmäßige Bestimmung der Blutneigung des Betons und Einhaltung der in [L 5] genannten Richtwerte;
- Einhaltung des durch die Erstprüfung definierten Temperaturfensters bei der Herstellung des Industriebodens;
- Überprüfung des Erstarrungsverhaltens des Betons unterhalb der Betonoberfläche z. B. mit einem Stahlstab;
- Nicht zu intensives Glätten der Bauteiloberflächen;
- Optimierung der Wasserrückhaltung des Betons z. B. durch Verwendung einer Zwischennachbehandlung.

### 4. Verantwortlichkeit für diese Schäden

Normale Innenbauteilbetone weisen



**Estro<sup>®</sup>  
-well**

Ein starkes Stück  
Randdämmstreifen...

...für leistungsfähige  
Estrich Zusatzmittel  
von...

**Estrolith<sup>®</sup>**  
Qualität von Anfang an



üblicherweise Luftgehalte von ca. 1,5 Vol.-% auf und sollten auch nicht zur Bildung einer *Elefantenhaut* neigen. Führt ein Zusatzmittel zu einer signifikanten Veränderung der Betoneigenschaften, dann ist der Betonlieferant hinweispflichtig. Weist er nicht auf die veränderten Eigenschaften des resultierenden Betons hin, dann liefert er einen Beton, mit „untypischen Eigenschaften“, der zumindest bei der Herstellung von Industrieböden nicht die übliche Verwendungseignung aufweist. Neben der Gefahr für die Bildung einer *Elefantenhaut* oder für den *ungeplanten Luftenintrag* können aufgrund der erhöhten (und signifikant von der Erstprüfung abweichenden) Luftgehalte auch weitergehende Betoneigenschaften wie z. B. die Druck- oder Haftzugfestigkeit negativ verändert werden. ■ Dr. Karl-Uwe Voß



### Dr. Karl-Uwe Voß

Der Autor ist promovierter Chemiker und seit 2002 Geschäftsführer und Institutsleiter der Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied. Voß ist unter anderem seit 2004 von der IHK Koblenz als Sachverständiger für die „Analyse zementgebundener Baustoffe“ öffentlich bestellt und vereidigt und seit 2013 stellv. Bereichsgruppenleiter beim Landesverband ö. b. u. v. Sachverständiger e.V. 2014 erfolgte die Präzisierung des Vereidigungstenors durch die IHK Koblenz als Sachverständiger für den Bereich „Analyse zementgebundener Baustoffe, insb. Flächenbefestigungen aus Betonpflastersteinen und Betonwaren“.

**Kontakt:** Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied GmbH, Sandkauler Weg 1, 56564 Neuwied, Tel. 02631/3993-0

voss@mpva.de

### Literatur

- [L 1] Deutsche Bauchemie: (2011): Anwendung von Fließmitteln im Industriebodenbau. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim;
- [L 2] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Betonböden für Produktions- und Lagerhallen. 4. Auflage. Erkrath: Verlag Bau + Technik, 2012;
- [L 3] Krell, J. (15. März 2007): Oberfläche und Nachbehandlung von Beton. Symposium Industrieböden aus Beton, 4. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung. Universität Karlsruhe;
- [L 4] Wiegrink, K.-H.; Roos, F. (2007): Schäden bei Betonböden aus LP-Beton; 4. Internationales Kolloquium Industriefußböden;
- [L 5] Wiegrink, K.-H. (2010): Einsatz von Zusatzmitteln im Industriebodenbau; 7. Internationales Kolloquium Industriefußböden;
- [L 6] Büttner, Till; Wolff, Lars; Raupach, Aachen (7+8-2011): Schadensbilder beim maschinellen Glätten von LP-Beton – Ursachen und Lösungsansätze, Beton, Verlag Bau + Technik GmbH, Erkrath, Seite 282;
- [L 7] Krell, Jürgen; Fischer, Petra (12-2017): Glätten von Industrieböden aus Beton mit erhöhten Luftgehalten, Beton, Verlag Bau + Technik GmbH, Erkrath, Seite 472;
- [L 8] Kleen, Eugen; Fischer, Petra (09-2018): Betonzusatzmittel in der Praxis – Hinweise für den Betontechnologen, Beton, Verlag Bau + Technik GmbH, Erkrath, Seite 324;
- [L 9] Wiegrink, K.-H. (2020): Ablösungen, Hohllagen und Rissbildungen bei geglätteten Industrieböden; 10. Internationales Kolloquium Industriefußböden

## Für mehr Bodenkompetenz

bodenwanddecke  
**bwd**

www.boden-wand-decke.de

**ESTRICHTECHNIK**  
& FUSSBODENBAU

www.estrichtechnik.de



Husqvarna®

# DIE ORANGE EVOLUTION



Eine Mission.  
Ein Partner.  
Eine ganz neue Welt  
von Optionen.

[www.husqvarnacp.de](http://www.husqvarnacp.de)