

# Temperaturunterschied in der Kammer – der Feind der Qualität

■ Daniel Rafter und Stefan Rick, Kraft Curing Systems GmbH, Deutschland

**Unterschiedliche Klimazonen in Härtingkammern sind eher der Normalfall als die Ausnahme. Sie rufen Farbunterschiede und Probleme bei der Festigkeit von Betonprodukten hervor. Abhilfe schaffen eine gute Isolierung sowie eine gleichmäßige Luftverteilung und Wärmesteuerung.**

## Temperaturunterschiede in Räumen sind Normalzustand

Man muss kein Physiker sein, um zu wissen, dass warme Luft nach oben steigt. Jeder hat dieses Phänomen schon einmal beobachtet, ob am Lagerfeuer, beim Grillen oder über dem heißen Asphalt im Sommer. Aber warum ist das so? Wärmere Luft hat eine geringere Dichte als kältere. Die Moleküle nehmen Energie auf und sind stärker in Bewegung, ihr Abstand zueinander wird größer.

In Wohnräumen kann dies bei kälteren Temperaturen am eigenen Leib erfahren werden. Ein Heizkörper erwärmt die Raumluft und erzeugt den eingangs beschriebenen Effekt, der durch die Bauweise des Heizkörpers noch verstärkt wird.

Unter der Zimmerdecke staut sich warme und trockene Luft. Kühlt sie sich ab, sinkt sie zu Boden. Ihre Fähigkeit, Feuchtigkeit aufzunehmen, lässt nach, die Luftfeuchtigkeit erhöht sich und kühlt den bodennahen Bereich des Zimmers zusätzlich. Das Ergebnis, besonders in der Winterzeit: man bekommt auf die Dauer einen warmen Kopf und hat trotzdem kalte Füße. Vor allem in weniger gut isolierten Altbauten und beim Heizen mittels Konvektorheizkörpern ist dies der Normalfall.

Was in Wohnräumen ungemütlich wirkt und im schlimmsten Fall gesundheitliche Folgen hat, ist auch für hochwertige Betonprodukte ungünstig. Allerdings sind die Unterschiede hier weit größer. Während bei schlecht isolierten Wohnbereichen schon bei einer Deckenhöhe von 2,50 m Temperaturunterschiede von bis zu 10°C auftreten (z. B. 17°C am Fußboden und 27°C unter der Zimmerdecke), können die Abweichungen in Härtingkammern bei Deckenhöhen von bis zu 10 m noch deutlich höher liegen. Bei Messungen, die die Firma Kraft im Rahmen von Untersuchungen von Härtingkammern vorgenommen hat, wurden schon Temperaturunterschiede von über 20°C gemessen.

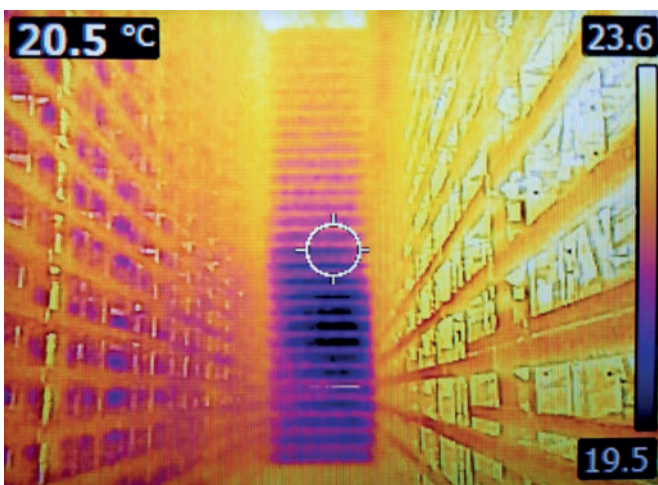


Abb. 1: Wärmebild eines gefüllten Brettstapels im Regalgang. Deutlich zu erkennen: im unteren Bereich sind die Regalteile und auch die Betonprodukte relativ kalt. Sie werden wärmer, je weiter oben im Regal sie lagern – ein unerwünschter Effekt. (Bild: Kraft Curing Systems)

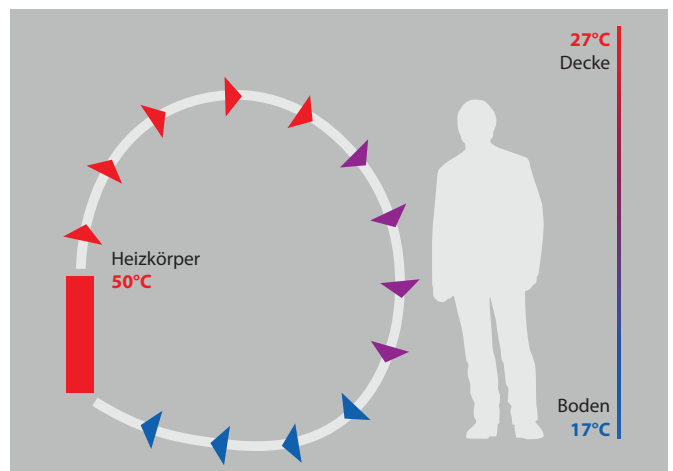


Abb. 2: „Heißer Kopf und kalte Füße“ – der typische Effekt bei klassischer Beheizung von Wohnräumen lässt sich auf die Zustände in Betonhärtingkammern übertragen und sorgt auch dort für negative Auswirkungen. (Zeichnung: Kraft Curing Systems)



WWW.KRAFT-TREX.COM ◀

T-REX GRANULATDOSIERER

# SCHICHTWEISE SCHUTZ FÜR BETONPRODUKTE



Granulat biologisch abbaubar

## SICHERUNG DER LAGE

gegen Verrutschen

## SCHUTZ DER OBERFLÄCHEN

gegen Verkratzen

## VERMEIDET AUSBLÜHUNGEN

Luftzirkulation begünstigt Abbinden

## UMWELTFREUNDLICH

biologisch abbaubares Granulat

## AUTOMATISCHER BETRIEB

Sensoren erkennen Produkte

## LANGLEBIGES SYSTEM

ohne Verschleißteile



 **KRAFT  
CURING**

WWW.KRAFTCURING.COM ◀

CONCRETE CURING SOLUTIONS. MADE IN GERMANY ◀

**Temperaturunterschiede haben einen negativen Einfluss auf die Betonqualität**

Um eine möglichst hohe und einheitliche Betonqualität zu erzielen, sind Betonhersteller an einem gleichmäßig ablaufenden Abbindeprozess interessiert. Dieses Abbinden, auch Hydratation genannt, muss in allen Bereichen der Kammer identisch ablaufen. Nur dann sind auch identische Betonprodukte zu erzielen. Die Temperatur in der Umgebung des Betonprodukts ist ein entscheidender Einflussfaktor für den Ablauf dieses chemischen Prozesses.

Angesichts des weltweit stetig steigenden Qualitätsanspruchs der Kunden, steigt durch Temperaturunterschiede während des Härtungsprozesses auch die Gefahr von Reklamationen. Die Ausschussrate nimmt zu, der Ruf als Qualitätshersteller kann leiden. Es sind vor allem zwei Eigenschaften der fertigen Betonprodukte, die von Temperaturunterschieden negativ beeinflusst werden: die Farbe bzw. Farbintensität und die Dichte bzw. Festigkeit.

**Temperaturunterschied führt zu unterschiedlichen Farben**

Die offensichtlichste, auch für den Laien sofort erkennbare Auswirkung von Temperaturunterschieden in der Härtungsumgebung sind Farbunterschiede am Betonprodukt. Der Grund hierfür ist eine unterschiedlich schnell ablaufende Hydratation. Bei höheren Temperaturen läuft diese schneller ab als bei niedrigeren. Grundsätzlich läuft die Hydratation so ab, dass der Zement mit dem in der Betonmischung vorhande-

**Einfluss der Härtungstemperatur auf pigmentierten Beton**

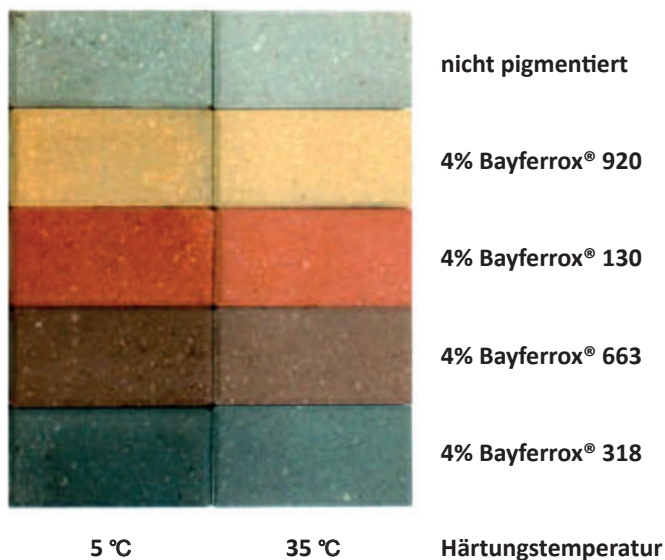


Abb. 3: Einfluss der Härtungstemperatur auf den Farbeindruck von Betonsteinen. Höhere Temperaturen führen zu helleren Farben. (Bild: „Verarbeitungstechnische Hinweise für Pigmente“, Scholz Farbpigmente)

nen Wasser zum sogenannten Zementstein reagiert. Je nachdem, wie hoch die Temperatur ist, bei der diese Reaktion abläuft, bildet der Zementstein mehr oder weniger große Kristalle mit feinen Verästelungen, den Kristallnadeln.

Die Größe der Kristalle und die Feinheit der Kristallnadeln sind dafür verantwortlich, wie das auf den Beton auftreffende Licht gestreut wird und welcher Farbeindruck entsteht. „Höhere Härtungstemperaturen führen zu feineren Kristallnadeln. Die stärkere Lichtstreuung feiner Kristallnadeln bewirkt, dass der Betonfarbton heller ausfällt als der Farbton eines sonst gleichen Betons, der bei niedrigerer Temperatur gehärtet wurde. Dieses Phänomen wird in der Regel allerdings erst dann erkennbar, wenn der Temperaturunterschied eine bestimmte Größenordnung erreicht, also z. B. ein dampfgehärteter Beton mit einem Beton verglichen wird, der bei normaler Raumtemperatur gehärtet wurde. (aus: Einfärbung von Beton – Verarbeitungstechnische Hinweise für Pigmente, Veröffentlichung der Fa. Scholz Farbpigmente, 11/2011)“

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass es sich um einen bleibenden Effekt handelt. Der Prozess der Kristallisation der Zementpartikel ist nach wenigen Stunden abgeschlossen. Ein nachträgliches Aufhellen der fertigen Steine nach einigen Tagen Lagerung kann nicht erwartet werden.

**Temperaturunterschied führt zu unterschiedlichen Festigkeiten**

Eine nicht sofort erkennbare, aber ebenso wichtige Auswirkung von Temperaturunterschieden in der Härtungsumgebung sind Unterschiede in der Festigkeit von Betonprodukten. Neben den bekannten Einflussfaktoren wie w/z-Wert und Zementart sind die Klimafaktoren Feuchtigkeit und Temperatur entscheidend für die Festigkeitsentwicklung des Betons. Die Festigkeit entwickelt sich zu Beginn der Hydratation schneller und nimmt im weiteren Verlauf nur noch langsam zu. Die Temperatur hat einen starken Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung, vor allem auf die Frühfestigkeit. „Die Einflüsse wirken sich besonders stark auf die Anfangserhärtung in den ersten Tagen aus. Niedriger Wasserzementwert und höhere Zementfestigkeit bringen eine schnellere Festigkeitsentwicklung. Ebenso wird sie durch höhere Temperatur beschleunigt“ (aus: beton.wiki: Festigkeitsentwicklung).

Auch bei der Festigkeit hat der Einfluss der Härtungstemperatur einen bleibenden Effekt. Wie aus Abb. 4 zu erkennen ist, ist bei niedrigeren Temperaturen auch nach einer Lagerdauer von 28 Tagen die Endfestigkeit noch nicht so weit entwickelt wie bei einer Produktionstemperatur von 20°C. Auch hier hilft es also nicht, nur ausreichend lange zu warten, um die gewünschte Endfestigkeit zu erzielen.

Je nach verwendetem Zement sind die beobachteten Effekte mal stärker, mal schwächer ausgeprägt. Sie sind aber immer vorhanden, und sie sind definitiv nicht erwünscht, denn sie resultieren in schlechterer Qualität. Das Härten eines Betonsteins bei zu niedrigen Temperaturen kann zu abplatzenden Ecken und Kanten führen (Soforteffekt) oder zu schnellerem Verschleiß und verkürzter Lebensdauer (Langzeiteffekt).



## Entwicklung der Betonfestigkeit in % der Festigkeit nach 28 Tagen bei 20°C

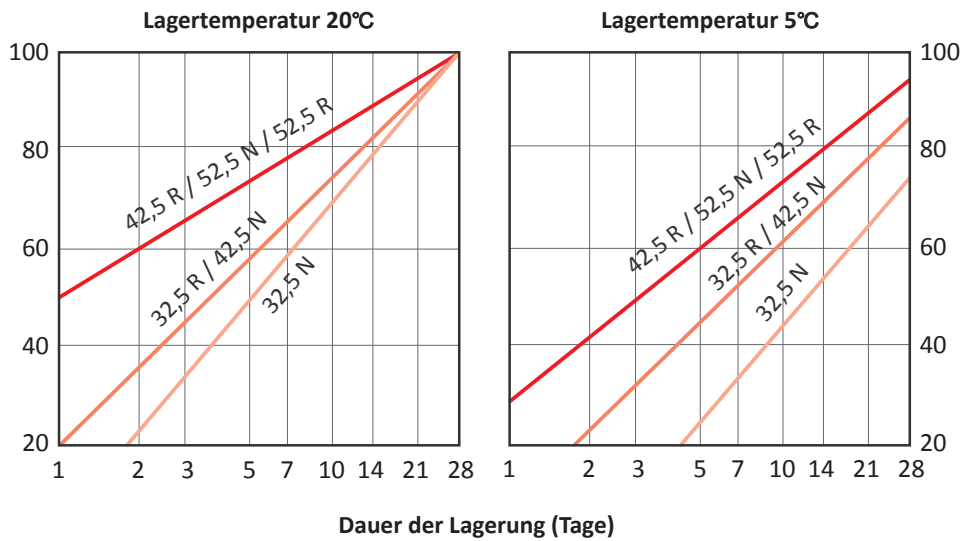


Abb. 4: Darstellung der Abhängigkeit der Festigkeitsentwicklung verschiedener Zemente bei unterschiedlichen Temperaturen. (Grafik: Kraft Curing Systems)

Treten diese Probleme in einer Charge mit einwandfreien Steinen auf, wird unter Umständen die gesamte Charge reklamiert.

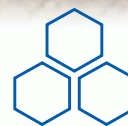
### Temperaturunterschiede vermeiden - aber wie?

Das Verständnis dieser Probleme ist entscheidend für die Lösung. Die Firma Kraft Curing Systems ist der Ansicht, dass die beschleunigte Aushärtung von Betonprodukten ohne Kompromisse bei der Produktqualität, Farbe und Festigkeit erfolgen sollte. Als Entwickler von Heizungs- und Klimatisierungsanlagen für die Betonindustrie mit über 25 Jahren Erfahrung hat Kraft die Herausforderung angenommen und mit Quadrix® ein System geschaffen, das eine gleichmäßige Aushärtungsumgebung für die beschleunigte Aushärtung von

Betonplatten und -pflastersteinen bietet. Um die Gleichmäßigkeit des Härteklimas noch weiter zu steigern, hat Kraft zusätzlich zum Quadrix-System ein eigenes Härteregele entwickelt, welches eine aktive Rolle im Härteprozess spielt.

Durch die Integration des Regals in das Härteungssystem (Stützen und Querverbindungen fungieren als Luftkanäle) ist das Kraft-System in der Lage, eine große Menge erwärmter Luft, typischerweise 30.000 m<sup>3</sup> pro Stunde, bei extrem niedrigen Luftgeschwindigkeiten durch die gesamte Regalkonstruktion zu bewegen. Dieser neuartige Ansatz ermöglicht eine Temperaturgenauigkeit von  $\pm 1$  Grad Celsius an jedem Punkt in der Härteumgebung, und zwar unabhängig von der Größe und Form der Kammer. Das Quadrix-Gerät als Herzstück des Systems bietet einstellbare Aushärtungstemperatu-

Höchste Präzision für die besten Produkte



**WÜRSCHUM**

Die Dosierexperten für Farbe und Additive





Abb. 5: Durch die Einbeziehung sämtlicher Stützen an der Kammerwand verschiebt das Kraft-Regal den Taupunkt der Bodenplatte nach außen und beugt so Kondensation und Korrosion vor. (Bild: Kraft Curing Systems)

ren zwischen 35 und 40 Grad Celsius bei einer Energieeffizienz von 94 % und mehr. Leistungstarke Radialventilatoren, ein Wärmetauscher und ein Brenner aus Edelstahl in Kombination mit dem Kraft-Härteregal halten diese besonders gleichmäßige Temperatur über den gesamten Aushärtungsbereich aufrecht.

Wenn die Quadrix-Einheit das Herzstück des Systems ist, entspricht das Regal der Lunge, die dazu beiträgt, eine homogene Härtungsumgebung zu schaffen. In herkömmlichen Regalen werden meistens zwischen 8 und 16 vertikale Kanäle verwendet, um die Luft in der Kammer zu verteilen. Dies führt zwangsläufig zu einer nicht idealen Vermischung der erwärmten Zuluft mit der Kammerluft, so dass ungünstige Temperaturunterschiede wie im Wärmebild auftreten. Im Kraft-Härteregal ist dieses Problem beseitigt. Hier sorgen über 100 Luftöffnungen für eine besonders gleichmäßige Temperaturverteilung bei gleichzeitig sehr niedriger Luftgeschwindigkeit. Durch ihre neue Rolle als Luftzufuhrkanäle tragen die Regalstützen außerdem zur Erwärmung der Bodenplatte bei. Diese wirkt wie ein Wärmespeicher und gibt durch Strahlungswärme sanft Wärme an die Aushärtungsumgebung ab, vergleichbar mit einer Fußbodenheizung.

Neben der Erzielung einer sehr geringen Temperaturdifferenz innerhalb des Aushärteklimas verbessern im Kraft-System die Verwendung der Stützen als Luftkanäle die Langlebigkeit der Struktur. Die erwärmte Luft, die durch die Stützen strömt, hat eine heizende Wirkung auf den Stahl. Die gesamte Konstruktion ist etwas wärmer als die Umgebungsluft, wodurch Kondensation und Korrosion vermieden werden. In traditionellen Systemen können schlecht isolierte Bodenplatten Wärmebrücken nach außen bilden. An der Kammerwand herrschen daher immer niedrigere Temperaturen als im Innern des Regals. Die äußeren Stützen sind immer kälter als die inneren. Hier kann sich Kondenswasser sammeln und die Stützen folg-

lich dann korrodieren, langfristig bis zum Ausfall des gesamten Regals. Da im Kraft-Regalsystem jede Stütze an der Kammerwand mit warmer Luft versorgt wird, verschiebt sich der Taupunkt nach außerhalb der Härtungskammer, wo er der Regalstruktur keinen Schaden mehr zufügen kann.

Das Ergebnis dieser durchdachten Konstruktion ist eine völlig ausgewogene, maßgeschneiderte Aushärtungsumgebung, die es Betonherstellern ermöglicht, den äußerst wichtigen Aspekt der Temperaturkontrolle in der Kammer vollständig zu kontrollieren. ■



Kraft Curing ermöglicht allen Lesern der BWI den kostenlosen Download dieses Artikels im pdf-Format. Besuchen Sie die Webseite [www.cpi-worldwide.com/channels/kraft\\_curing](http://www.cpi-worldwide.com/channels/kraft_curing) oder scannen Sie den QR-Code mit Ihrem Smartphone ein, um direkt auf diese Webseite zu gelangen.



#### WEITERE INFORMATIONEN



Kraft Curing Systems GmbH  
 Mühlenberg 2  
 49699 Lindern, Deutschland  
 T +49 5957 96120  
 F +49 5957 961210  
[info@kraftcuring.com](mailto:info@kraftcuring.com)  
[www.kraftcuring.com](http://www.kraftcuring.com)