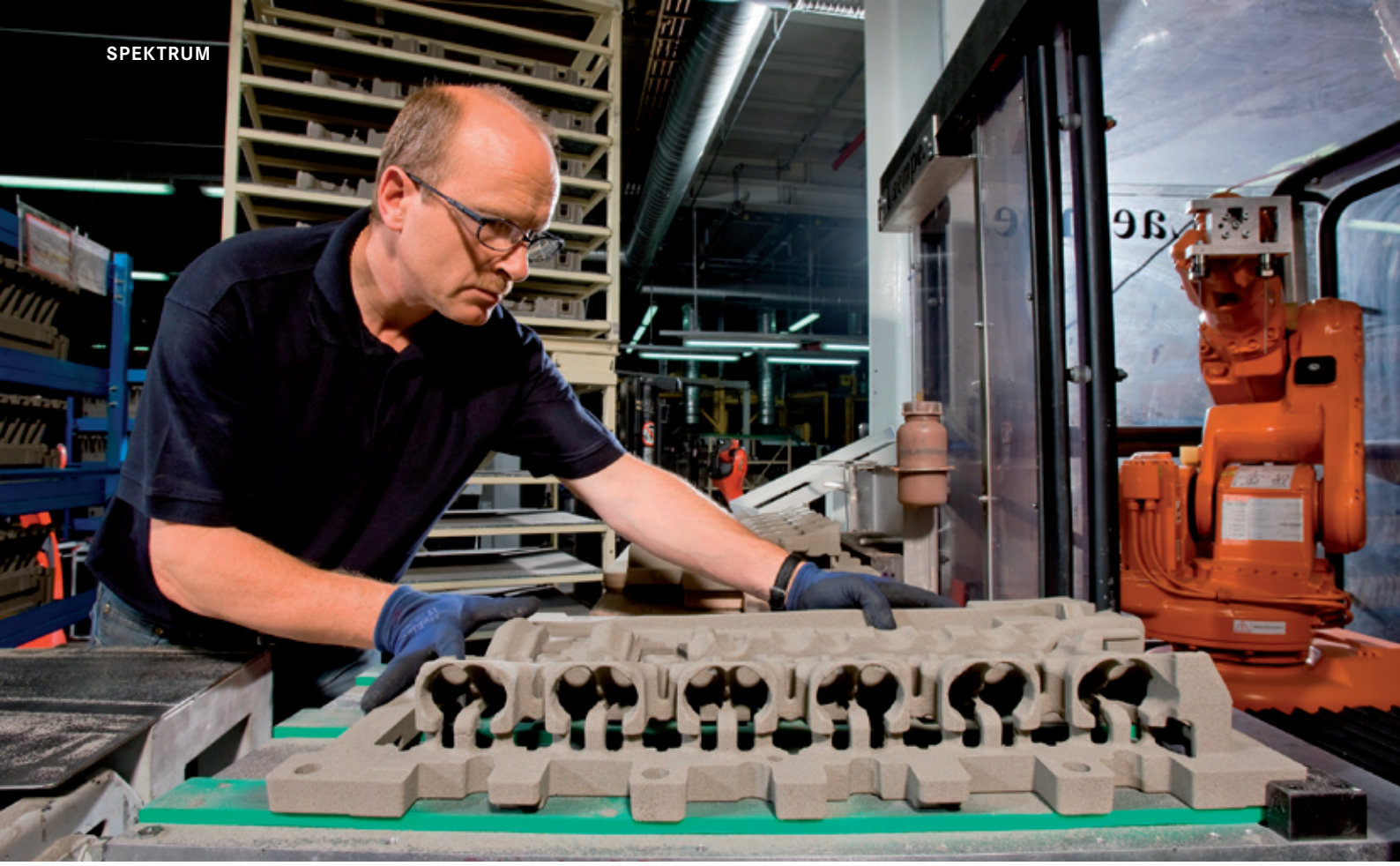


KURZFASSUNG:
Ein Meilenstein bei der Einführung eines anorganischen Bindersystems in einer Gießerei ist die Abstimmung der Arbeitsvorgänge auf die neue Bindertechnologie. Um Prozessstabilität zu erzielen, müssen die Prozessparameter verändert und die Formstoffmischung angepasst werden. Ein grundlegendes Verständnis der anorganischen Kernfertigung ist dabei die Basis für eine optimale Gestaltung der Prozesskette bis hin zur Lagerung, die als Schwachpunkt anorganischer Bindersysteme gilt. Durch gezielte Beeinflussung der Kernherstellungsparameter und Anpassung, Kombination und Weiterentwicklung der Sandrezepturen konnten deutliche Fortschritte bei der Lager- und Feuchtestabilität erzielt werden, wie Versuche mit anorganisch gebundenen Versuchskernen aus einer Kombination gängiger Inotec-Silicatbinder und Inotec-Promotoren ergaben.

Steuerung der Prozessstabilität bei der anorganische Kernfertigung

VON AXEL KASPEROWSKI, JÖRG KÖRSCHGEN, MARCUS FROHN UND CAROLIN WALLENHORST, HILDEN

In der Vergangenheit ist es oft bei dem Versuch geblieben, ein anorganisches Kernherstellungsverfahren in der Serienproduktion zu etablieren, da dessen Eigenschaften hinsichtlich Prozessstabilität und Produktivität zu nachteilig erschienen. Die Entwicklungen der vergangenen Jahre haben jedoch gezeigt, dass anorganische Kernbinder eine wirtschaftliche Alternative zu den herkömmlichen organischen Systemen darstellen können. Bindemittel auf Basis von anorganischen Salzen wie Magnesiumsulfat oder Polyphosphaten nehmen – von Nischenanwendungen abgesehen – allerdings schon lange keine bemerkenswerte Stellung mehr ein. Die Entwicklung konzentriert sich nahezu vollständig auf modifizierte Alkalisilicat- bzw. Wasserglassysteme.

Wasserglas an sich hat als Bindemittel eine sehr lange Historie und wird in vielen Prozessen erfolgreich eingesetzt, ob nun in der Kernherstellung mit CO_2 oder im Formbereich mit Estern als Katalysator. Mit diesem Prozess hergestellte Kerne und Formen besitzen jedoch Eigenschaften, die mit den heutigen Prozessanforderungen häufig nicht vereinbar sind: Ein niedriges Festigkeitsniveau, geringe Fließfähigkeit, mäßige Zerfallseigenschaften und ein begrenzter Wiederverwendungsgrad der regenerierten Altsande sind die Hauptgründe, dass sich diese Systeme im Vergleich zu ihren organischen Konkurrenten nicht durchsetzen konnten.

Viele dieser Nachteile konnten inzwischen durch die Anpassung der Formstoffmischung und Veränderung der Prozessparameter behoben werden. So wird durch die Zugabe spezieller Additive (sogenannte Promotoren) und durch thermische Aus-

In der Landshuter BMW-Leichtmetallgießerei werden anorganische Kernherstellungsverfahren zur Fertigung von Zylinderköpfen und -kurbelgehäusen genutzt.

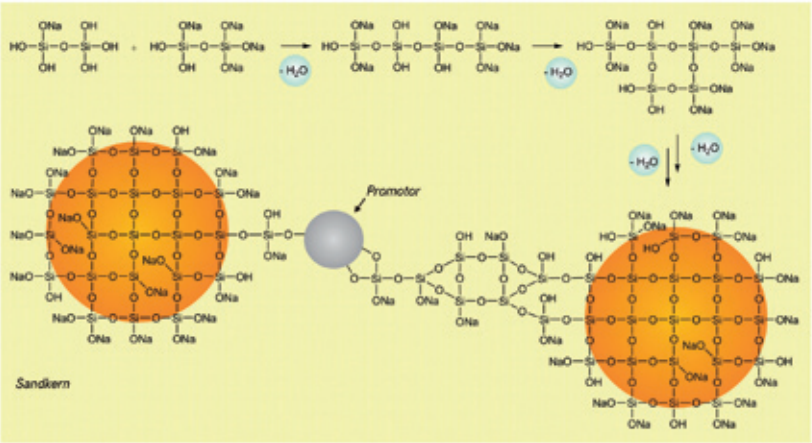


Bild 1: **Chemische Aushärtung des Inotec-Bindemittels.**

FOTO: ASK CHEMICALS

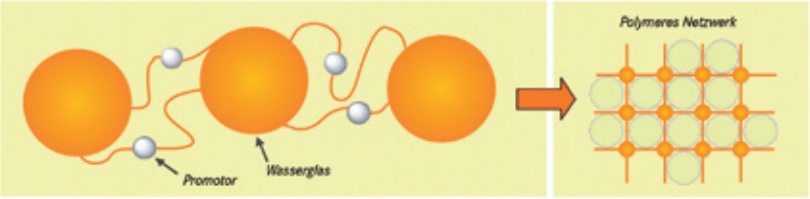


Bild 2: **Aufbau eines polymeren Netzwerkes durch das Inotec-Bindemittel.**

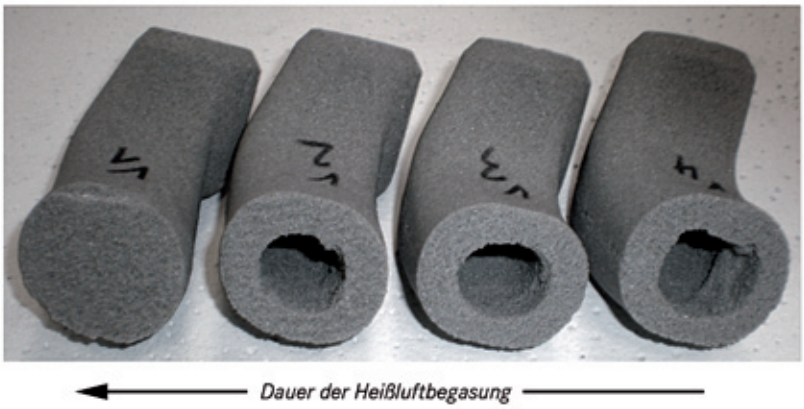


Bild 3: **Ausbildung einer Randschale.**

FOTO: BMW

härtung anstelle der Begasung mit CO_2 ein Festigkeitsniveau erreicht, das mit dem der organischen Kerne vergleichbar ist. Eine verbesserte Fließfähigkeit des Bindemittels ermöglicht die Herstellung von komplizierten Geometrien, wie etwa filigrane Wassermäntel, deren Abguss ohne Maßabweichungen durch eine erhöhte thermische Stabilität des Binders gewährleistet wird [1]. Mit dem Einsatz in der Praxis kam auch der positive Einfluss dieser Binder auf die Materialeigenschaften zum Vorschein: Das Inotec-System führt aufgrund fehlender Gasporositäten zu deutlich verbesserten Festigkeiten des Gussteils [2]. Ein weiterer wichtiger Faktor für die Gießereien bei der Entscheidung, ein anorganisches Bindersystem einzuführen, ist die Regenerierbarkeit der Altsande. Durch die Kombination eines mechanisch-pneumatischen und eines thermischen Verfahrens kann eine Regeneratsandqualität mit einer Wiedergewinnungsquote von ca. 90 % erreicht werden, die erfolgreich in der Fertigung von Zylinderköpfen und Kurbelgehäusen eingesetzt wird [3].

Anorganische Kernfertigung

Allerdings ist mit dem Wechsel des Bindersystems ein gewisser technischer Aufwand verbunden. Dazu gehört unter anderem die Umrüstung der Kernschießmaschinen auf beheizbare Kernkästen mit integriertem Heißluftbegasungssystem, aber auch die Abstimmung des gesamten Prozessablaufes auf das neue Bindersystem. Ein grundlegendes Verständnis über die chemischen Hintergründe ist daher essentiell, um den gesamten Prozess der anorganischen Kernfertigung optimal gestalten zu können [4].

Bezogen auf die anorganischen Bindemittel beginnt in der Formstoffmischung nach thermischer Aktivierung die Binderaushärtung. Wie in **Bild 1** dargestellt, findet in einem ersten Schritt unter Freisetzung von Wasser eine Zusammenlagerung der Moleküle des Silicatbinders statt. Es findet eine konsequente Vergrößerung der Partikel über den Aufbau von Siloxanbindungen (Si-O-Si) statt. In den Inotec-Bindemitteln übernimmt der Promotor die Aufgabe eines zusätzlichen Netzwerkbildners. Der Promotor verbindet über reaktive Gruppen die einzelnen Binderpartikel miteinander und baut ein Silicatgerüst als dreidimensionales Netzwerk auf (**Bild 2**). Dadurch ist der Binder nun in der Lage, die Sandkörner sehr schnell miteinander zu verfestigen und in Form zu halten. Ohne Zusatz des Promotors bildet sich das Netzwerk sehr langsam im Laufe der Nachhärtung aus, die Sandkerne weisen dann entscheidende Nachteile wie z. B. niedrige Sofortfestigkeiten und eine besonders geringe Feuchtestabilität auf.

Der Prozess der thermischen Aushärtung wird über die Wärmezufuhr durch beheizbare Kernkästen und eine Heißluftspülung initiiert. In der Kernfertigung wird bedingt durch die Verwendung des heißen Werkzeuges zunächst eine Randschale am Kern gebildet (**Bild 3**). Durch den Einsatz von heißer Spülluft wird sowohl das als Lösungsmittel im Binder vorhandene Wasser als auch das Wasser, das im Zuge der Aushärtung bei jedem Reaktionsschritt freigesetzt wird, aus dem Kern getrieben. Das chemische Gleichgewicht wird in Richtung Molekülvergrößerung verschoben und die Reaktion wird insgesamt beschleunigt. In Abhängigkeit von der Taktzeit und des Spülluftdurchflusses gibt es allerdings nicht ausgehärtete Bereiche im Inneren des Kerns, die im Anschluss an die Kernfertigung nachhärten.

Einfluss der Prozessparameter

Eine logische Schlussfolgerung aus den oben beschriebenen Zusammenhängen ist die Erhöhung der Kernkastentemperatur und der Taktzeit, um den Kern nach Mög-

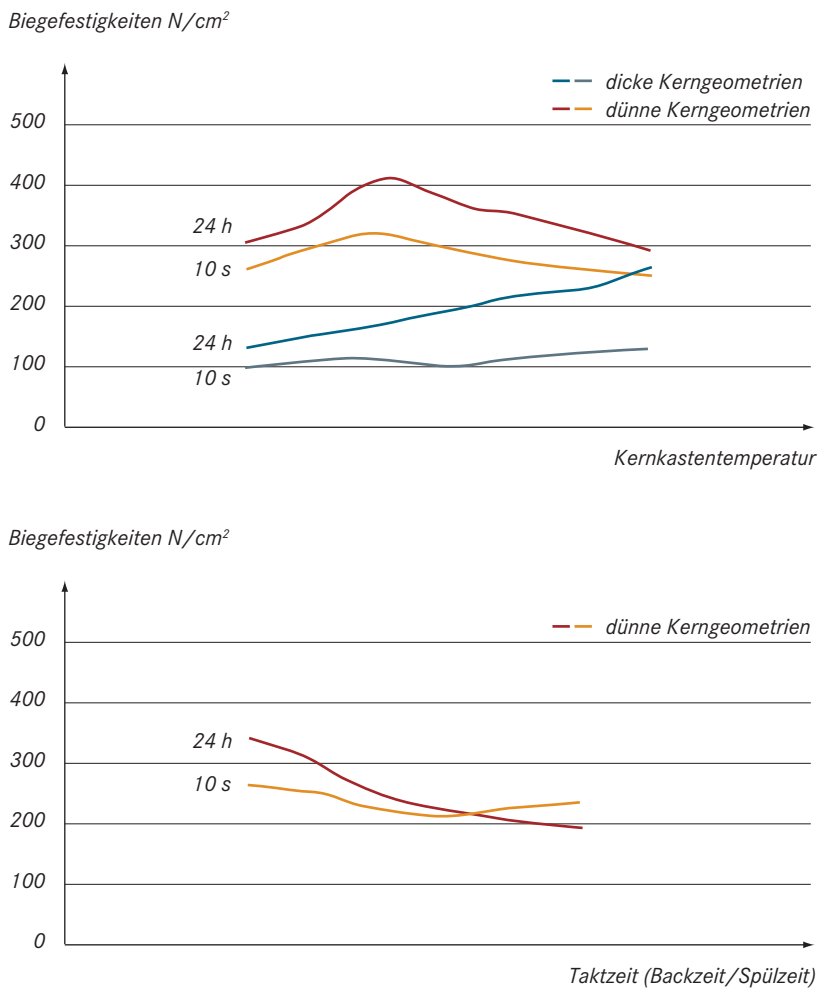
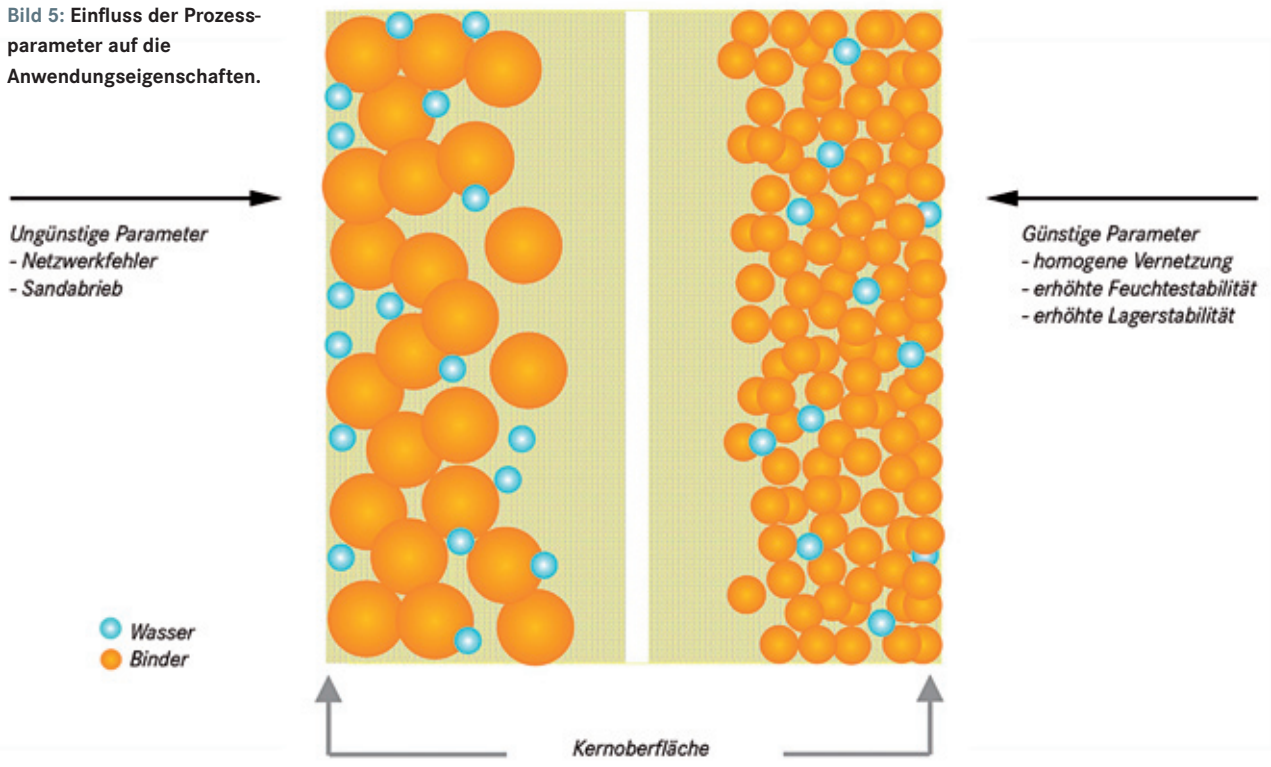


Bild 4: **Festigkeiten anorganisch gebundener Sandkerne in Abhängigkeit von den Prozessparametern.**

Bild 6: **Nachstellen der Rissbildung im ASK-Technikum.**

Bild 5: **Einfluss der Prozessparameter auf die Anwendungseigenschaften.**



lichkeit vollständig auszuhärten. Durch Erhöhung der Reaktionstemperatur steigen sowohl die Sofortfestigkeiten als auch die Langzeitfestigkeiten. Ab einem bestimmten Punkt ist speziell in dünnen Kerngeometrien jedoch ein gegenläufiger Effekt zu beobachten. Wie in **Bild 4** gezeigt, sinken die Festigkeitswerte wieder. Dieser Effekt konnte schon im Wasserglas-CO_2-Prozess beobachtet werden. Mit steigender CO_2-Begasungszeit steigen auch hier die Festigkeitswerte zunächst an, ab einem bestimmten Punkt sinken sie bezogen auf die Begasungszeit jedoch wieder, da das Bindergerüst seine Struktur und damit seine Netzwerkeigenschaften verliert. Ein ähnliches Verhalten kann bei beliebiger Verlängerung der Taktzeit beobachtet werden. Der Kernbinder härtet ab einem bestimmtenPunkt nicht mehr nach, die Werte der Langzeitfestigkeiten können sogar unter die der Sofortfestigkeiten sinken. Es wird deutlich, dass der Festigkeitsverlauf des Kernbinders und die Lagerstabilität der Sandkerne durch die Einstellung der Kernherstellungsparameter entscheidend beeinflusst werden.

In Abhängigkeit von der Reaktionsführung werden zudem entweder überwiegend homogene Binderstrukturen oder Strukturen mit Fehlstellen aufgebaut. Die Anzahl der Fehlstellen im Netzwerk und die Dichte des Netzwerkes wirkt sich unmittelbar auf die weiteren Anwendungseigenschaften, wie z. B. die Feuchtebeständigkeit, aus (**Bild 5**).

Die niedrige Feuchte- und Lagerstabilität war immer ein Schwachpunkt anorganischer Bindersysteme. Aus Wasserglas gefertigte Sandkerne verlieren bei hohen Feuchtigkeitswerten der Umgebungsluft schneller an Festigkeit als Coldbox-Sandkerne. Dies erklärt sich dadurch, dass die chemische Struktur (Si-O-Si-Bindungen) des ausgehärteten Silicatbinders durch Wasser oder Lauge wieder gespalten werden kann [4]. Die Reaktion benötigt allerdings, wie alle chemischen Reaktionen, eine gewisse Aktivierungsenergie, welche in diesem Fall von der Qualität der Aushärtung abhängig ist. Das Bestreben zur Auflösung des Silicatgerüsts ist in einem homogen ausgehärteten Sandkern geringer als in einem Kern mit vielen Fehlstellen und Netzwerkfehlern.

Der Zusammenhang zwischen den Prozessparametern und den Anwendungseigenschaften konnte in unterschiedlichen Versuchsreihen im Gießerei-Anwendungstechnikum der ASK Chemicals GmbH, Hilden, bestätigt werden. Die Einflussfaktoren auf die Kernfertigung wurden durch Variation der Kernherstellungsparameter untersucht und die entsprechenden Auswirkungen auf die Kernqualität definiert. So begünstigt eine hohe Kernkastentemperatur zwar die Geschwindigkeit der Binderaushärtung und ermöglicht somit eine Reduzierung der Taktzeit, gleichzeitig kann jedoch durch die Erhöhung der Kernkastentemperatur die Bildung eines homogenen Netzwerks eingeschränkt und die Feuchtestabilität gesenkt werden. Die Festigkeiten können durch die Verlängerung der Taktzeit somit nicht unbegrenzt erhöht werden.

Wie bereits erwähnt, wird in der Kernfertigung, bedingt durch die Verwendung des heißen Werkzeuges, zunächst eine Randschale am Kern gebildet. Eine hohe Luftfeuchtigkeit schwächt nun die Randschale, so dass das Risiko der Rissbildung entsteht (**Bild 6**). Eine Vorhersage der Kern- und Randschalenqualität ist allerdings nur unter Betrachtung aller Einflussfaktoren und deren Kombinationen untereinander möglich. Zu den Prozessparametern, die sich gegenseitig beeinflussen, zählen sowohl die Kerngeometrie, Temperatur, Taktzeit und die Spülluft als auch das Bindersystem selbst.

Der Vergleich von geeigneten Testkernen nach der Lagerung bei extremen klimatischen Bedingungen im ASK-Technikum in **Bild 7** zeigt, dass die molekulare Zusammensetzung der Binderkomponenten ebenfalls Einfluss auf die Feuchtebeständigkeit des Systems nimmt.

Die anorganisch gebundenen Versuchskerne werden durch die Kombination gängiger Inotec-Silicatbinder und Inotec-Promotoren hergestellt. Die Prozessparameter entsprechen einer Einstellung, die aus vorhergehenden Versuchreihen als ungünstig für die Lager- und Feuchtestabilität zu bewerten ist. Die Kerne werden im Anschluss an die Fertigung einem Klima mit hoher Luftfeuchtigkeit ausgesetzt, wobei im Zuge der Lagerung an der Kerngeometrie Risse entstehen. Da diese in jedem Kern an der gleichen Position auftreten, wird die Anzahl der beobachteten Rissbildungen als Maß für die Stabilität des Systems herangezogen. Je geringer die Rissbildungstendenz, desto stabiler ist das Bindemittel gegen Feuchtigkeit.

Durch gezielte Beeinflussung der Kernherstellungsparameter und Anpassung, Kombination und Weiterentwicklung der Sandrezepturen können so deutliche Fortschritte im Bereich der Lager- und Feuchtestabilität erzielt werden.

Mit Inotec steht den Gießereien eine neue weitentwickelte Technologie zur Verfügung, die eine umweltfreundliche und wirtschaftliche Alternative zu den herkömmlichen Kernherstellungsverfahren darstellt. Ein grundlegendes Verständnis über die chemischen Hintergründe ist jedoch essentiell, um den gesamten Prozess der anorganischen Kernfertigung optimal gestalten zu können, schließlich unterscheiden sich die Kernbinder nicht nur in ihren Zusammensetzungen, sondern auch im Mechanismus der Binderaushärtung maßgeblich voneinander.

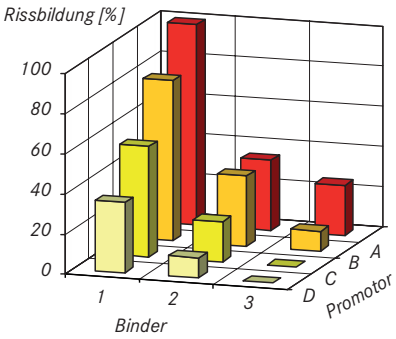


Bild 7: Einfluss des Bindersystems auf die Feuchtebeständigkeit (nach 3 Tagen Lagerung).

Dieser Fachartikel basiert auf einem Vortrag von Frau Dr. Carolin Wallenhorst bei den 8. Duisburger Formstofftagen, die am 23. und 24. Februar 2010 stattfanden.

Literatur:

[1] J. Müller, D. Koch, M. Frohn, G. Weicker, J. Körschgen, S. Schreckenberg, Giesserei 95 (2008) Nr. 1, 44-48.
[2] T. Pabel, Ch. Kneißl, J. Brotzki, J. Müller, Giesserei-Praxis (2009) Nr. 11, 359-366.
[3] H. Schwickal, H. Hoffmann, W. Blümlhuber, E. Weissenbek, Giesserei 96 (2009) Nr. 11, 40-44.

Axel Kasperowski, Jörg Körschgen, Marcus Frohn und Dr. Carolin Wallenhorst, Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH, Hilden

ANZEIGE
55 x 63
MK