



Feuerfest-Systeme | **HOCHWERTIGE UNTERGUSS-  
WERKSTOFFE FÜR 'CLEAN STEEL CASTING'**

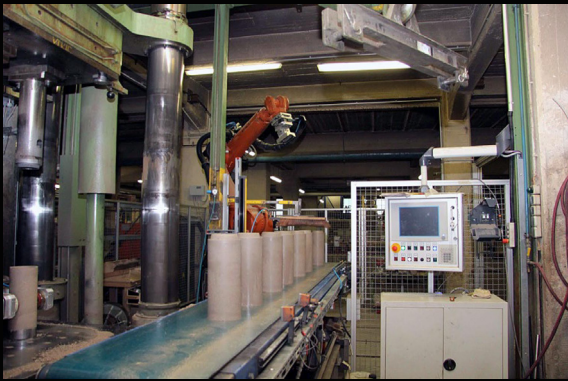


Bild 1 a (links) und b (rechts): Halbtrockenes Pressen von Trichterrohren und Kanalsteinen



# HOCHWERTIGE UNTERGUSS-WERKSTOFFE FÜR 'CLEAN STEEL CASTING'

Dipl.-Min. Werner Schönwelski, Klaus Ruwier, Stephan Föllbach, Dipl.-Ing. Jens Sperber  
STEULER-KCH, Feuerfest-Systeme

**Qualitativ hochwertiger Stahl setzt voraus, dass keramische Einschlüsse ("clean steel"), die die Weiterverarbeitung von Gießblöcken durch Walzen oder Schmieden be- oder verhindern, vermieden werden. Die neuesten Feuerfest-Entwicklungen der STEULER-KCH stellen bereits 92%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  als Standard zur Verfügung, 99% steht zur Zeit an der Schwelle vom Labor zur Serienreife. Die Korrosionsanfälligkeit sinkt mit steigendem Tonerdegehalt. Silika ist die schwächste keramische Komponente in Feuerfest-Untergussmaterial; konsequenterweise sollte dessen Tonerdegehalt höchstmöglich angehoben werden. Eine vollständige Nichtbenetzung mit Stahlschmelze kann erzielt werden, wenn nitridhaltiges Tonerdematerial für Korrosionsversuche eingesetzt wird.**

**Auch in der Praxis zeigen hochtonerdehaltige Produkte im Gegensatz zu Standardqualitäten deutlich verminderte Korrosionserscheinungen. Speziell bei großen Gießblöcken und entsprechend langen Gießzeiten werden keramische Einschlüsse vermieden.**

## EINFÜHRUNG

Nichtmetallische Einschlüsse jeglicher Art vermindern die Qualität und Verarbeitbarkeit der im Untergussverfahren vergossenen Stahlblöcke. Diese Einschlüsse können aus Schlacken stammen, Reoxidationsprodukte oder aus Feuerfestmaterial herausgelöste keramische Partikel sein.

Der Einfluss und die Beteiligung von Unterguss-Feuerfestmaterial an der Stahlqualität wurde bis vor einem Jahrzehnt weitgehend vernachlässigt. Zunächst für tot erklärt und durch den Strangguss als völlig ersetzbar prognostiziert, erlebte das Untergussverfahren um die Jahrtausendwende eine Renaissance. Die Feuerfestmaterialien hatten primär nur das Kriterium „preiswert“ zu erfüllen, da sie als Einweg- und

Wegwerfware galten. Deshalb wurden sie vorwiegend aus den Billigrohstoffen Schamotte und Ton hergestellt, was für einfache Kohlenstoff-Baustahlqualitäten nach wie vor ausreichend ist. Bestimmte Stahlgüten und Blockformate können aber nicht im Stranggussverfahren vergossen werden.

Mit der Vielfalt der Legierungszusammensetzungen, den höheren Gießtemperaturen und der längeren Gießzeiten wuchsen die Anforderungen an die Stahlqualität. Konsequenterweise musste die Qualität des Feuerfestmaterials Schritt halten [1]. Verschiedene Wege wurden verfolgt, Einschlüsse, die auf Korrosion von Feuerfestmaterial zurückzuführen sind, auf ein Minimum zu reduzieren. Aber nur wenige Feuerfestproduzenten beschäftigten sich mit diesem Problem.

Die Wechselwirkung zwischen Legierungselementen und Feuerfestkeramik ist weitestgehend bekannt, wobei freies  $\text{SiO}_2$  als schwächste Komponente gilt und von den aggressivsten Elementen Chrom und vor allem Mangan angegriffen wird [2].  $\text{Al}_2\text{O}_3$  erweist sich dagegen als weitgehend beständig. Folgerichtig musste es Ziel der Feuerfestproduzenten sein, den Tonerdegehalt der Untergusskeramik (Hohlware) zu erhöhen. Einer der ersten Schritte vor ca. 20 Jahren war es, eine durchschnittlich mullitische Zusammensetzung zu erzeugen, indem man hochtonerdehaltiges Grobkorn verwendete. Letztendlich war das eine unvollständige Maßnahme, da die Bindematrix als Schwachpunkt verblieb.

Vor etwa 10 Jahren folgte der nächste Entwicklungsschritt; Die Bindematrix mit einem minimalen Gehalt an freiem  $\text{SiO}_2$  von unter 1,5% voll mullitisch zu konzipieren, dabei das Grobkorn aber nach wie vor hochtonerdehaltig – z. B. auf Basis Bauxit – zu belassen. Heute gelten solche Feuerfestprodukte als Standard.



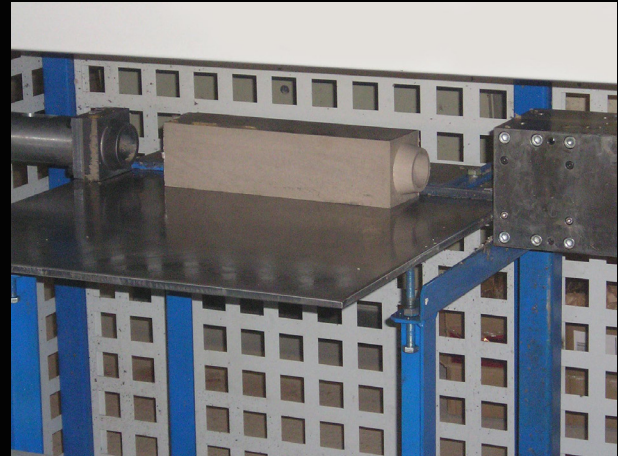
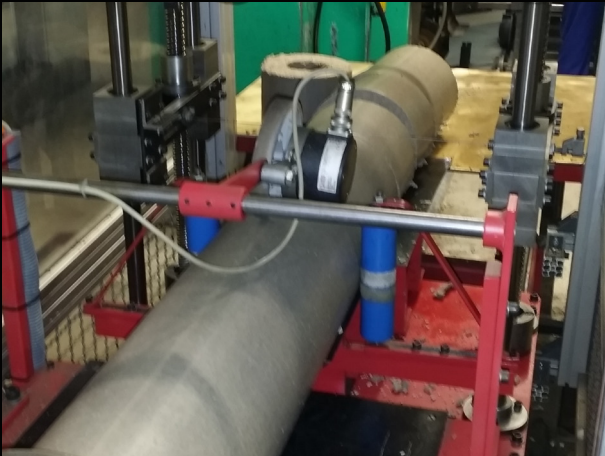


Bild 2 a (links) und b (rechts): Plastische Formgebung durch Extrudieren und sekundäre Endformgebung

Für spezielle Legierungen und lange Gießzeiten bestand aber weiter Verbesserungsbedarf. Die Verwendung von Kohlenstoff in verschiedenster Form als Korrosionsschutz wurde aus materialtechnischer Sicht erfolgreich getestet [3, 4], zeigte aber verschiedene Nachteile wie die Entstehung flüchtiger Abgase oder die Oxidationsanfälligkeit. Deshalb ist die Produktion und Entwicklung derartiger Produkte mit der Zeit weitgehend zum Stillstand gekommen.

Entwicklungen durch STEULER-KCH konzentrierten sich stattdessen auf die Erhöhung des Tonerdegehalts der Feuerfestkeramik.

#### EXPERIMENTELLES, PRODUKTION UND ANWENDUNG

Es erscheint vordergründig einfach, Feuerfestrohstoffe durch solche mit hohem Tonerdegehalt zu ersetzen, aber technologische Faktoren wie Produzierbarkeit und physikalische Eigenschaften des Fertigprodukts setzen hier Grenzen. Speziell die Formgebung von Hohlware für den Blockguss erfordert sowohl die Möglichkeit zum halbtrockenen Pressen für gerade Formate (Trichterrohre, Kanalsteine), als auch zum plastischen Extrudieren für komplexere Formen wie Königsteine oder Trichterhauben. Für das Extrudieren benötigt man normalerweise höhere Tongehalte als für das halbtrockene Pressen um die notwendige plastische Konsistenz der Masse zu erzeugen. Dies widerspricht aber der Forderung nach möglichst geringem  $\text{SiO}_2$  - Gehalt. Ferner benötigt man normalerweise

einen gewissen Tongehalt um die Mindestanforderung an Grünfestigkeit zu erfüllen.

In den letzten zwei Jahren konnte eine 92%ige Tonerdequalität erfolgreich am Markt etabliert werden, indem ein Teil des Tons durch feine Tonerde ersetzt wurde. Rohstoffbasis ist Korund, der Gehalt an freiem  $\text{SiO}_2$  ist Null. Dieses Material ist auf lange Gießzeiten und aggressive Legierungszusammensetzungen zugeschnitten. Nach dem Guss können Feuerfest und Stahlknochen mühelos getrennt werden; die Oberfläche ist glatt und das Ankleben ist auf ein Minimum reduziert.

Diverse Feuerfestkeramiken wurden mit der Stahlsorte 1.3816 im Labor, zwei Stundenlang bei  $1530^\circ \text{C}$  auf Korrosionsbeständigkeit getestet. Wie erwartet waren die Ergebnisse bei dieser Temperatur mit Schamottmaterial katastrophal, verbesserten sich aber mit steigendem Tonerdegehalt. Versuche in verschiedenen Stahlwerken bestätigten diese Laborversuche.

Im Fall der Korundkeramik bildet sich eine dünne, mit Stahl infiltrierte Schicht von 1-2 mm, die aber an der Keramik haftet und dort verbleibt. Der Stahlknochen selbst trennt sich von dieser Schale, darum lösen sich keine keramischen Partikel ab und der Stahl bleibt einschussfrei.

Für Anwendungen, bei denen ein  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt von 92% nicht ausreicht, hat STEULER-KCH eine Keramik mit 99.5% Tonerde entwickelt. Die Tiegeltests zeigen, dass die verbliebene „Kor-





Bild 3 a (links) und b (rechts): Tiegeltest mit Schamottematerial mit Stahl 1.3816, 2 h bei 1530° C, ohne (a) und mit (b) verbleibendem Stahlrest nach Durchbruch



Bild 4 a (links) und b (rechts): Tiegeltest mit verbessertem Feuerfestmaterial der ersten Generation auf Basis Bauxit mit mullitischer Matrix, Testbedingungen wie oben.



Bild 5 a (links) und b (rechts): Tiegeltest mit verbessertem Feuerfestmaterial der zweiten Generation auf Basis Korund mit vollmullitischer Matrix, Testbedingungen wie oben.



Bild 6 a und 6 b: Bauxitkeramik erste Generation, Kanalsteinstück nach Gebrauch

rosion“ vorwiegend im Bereich der Oxidation der Stahloberfläche stattfindet, sicherlich verstärkt durch die hohe Sauerstoffaffinität der Legierungselemente. Die Oberflächenrauigkeit des Stahlklotzes als Index für die Korrosion ist weiter reduziert und es gibt keine Einschlüsse in Form von aufgelösten Körnern.

Die Herausforderung für die Herstellung eines reinen Tonerdeprodukts lag in der absoluten Abwesenheit von Ton. Für halb trocken gepresste Produkte ist eine solche Tonfreiheit, indem man temporäre Binder einsetzt, leichter umzusetzen als für plastische Formgebung. Aber zur Erreichung einer plastischen Konsistenz müssen sehr spezielle Zusatzstoffe herangezogen werden. Zusätzlich müssen die Brennbedingungen angepasst werden, da die erforderlichen Brenntemperaturen mit dem Tonerdegehalt steigen. Bei STEULER-KCH stehen die notwendigen Aggregate zur Verfügung, so dass die entsprechenden Produkte gefertigt und demnächst in der Praxis erprobt werden können.

Wer mit diesem Entwicklungsschritt noch nicht zufrieden ist, für den kann unter Einbeziehung nichtoxidischer Komponenten noch eine weitere Stufe erreicht werden. Hierfür erscheinen einige Kandidaten als mögliche Zusätze, vorwiegend Nitride, sinnvoll. Aus der Literatur ist hinlänglich bekannt [3], dass Siliziumnitrid heftig mit Stahlschmelzen reagiert und deshalb keinen möglichen Zusatzstoff darstellt, obwohl es bei NE-Metallen mit guten Ergebnissen eingesetzt wird. Für Stahllegierungen müssen andere Komponenten gefunden werden wie Aluminiumnitrid oder Bornitrid. Tatsächlich werden beide Stoffe, wo es möglich und sinnvoll ist, bereits eingesetzt und es gibt keinerlei Benetzung mehr zwischen Stahlschmelze und Feuerfest (Bild 10). Die Herausforderung liegt in der Integration solcher Komponenten sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht, weshalb die primäre Nutzung wahrscheinlich nicht nur im Bereich Untergusskeramik anzusiedeln ist. Für diese Werkstoffe werden sich andere spezielle Anwendungen ergeben.

## ZUSAMMENFASSUNG

Je höher die Anforderungen an den Reinheitsgrad von Stählen sind, desto höher sind auch die Qualitätsanforderungen an das Feuerfestmaterial. Das kann durch die Erhöhung des Tonerdegehalts in der Keramik erzielt werden, wo nötig und sinnvoll bis zu einem Anteil von 99%. Weitere Verbesserungen können durch Zusatz spezieller Komponenten wie Nitride erzielt werden. Durch das Preis-/Leistungsverhältnis ist Untergusskeramik nicht unbedingt das mögliche Hauptanwendungsgebiet für solche „High-Tech“-Produkte. Aber es sollte gezeigt werden, dass – wenn nötig – vieles machbar ist. Derartige hochtechnologische und damit auch hochpreisige Produkte werden niemals ein Massenprodukt werden, nicht nur aus ökonomischen Gründen, sondern weil sie auch große Herausforderungen an die Produktion stellen.

Speziell im Fall des Zusatzes von Nitriden müssen passende Partner im Zusammenspiel Komponente/Stahlschmelze gefunden werden. Dabei ist sorgfältig darauf zu achten, dass andere physikalische Eigenschaften neben der Korrosionsbeständigkeit nicht negativ beeinflusst werden und entsprechende Produktionsmöglichkeiten gegeben sind.

Feuerfestkeramik kann als hochtechnologisches Produkt seinen Anteil an der Produktion von „Cleaner Steel“ leisten – nicht nur für den Blockguss.

Dieser Beitrag wurde sinngemäß auf der 2nd ICRF 2014 in Mailand vorgetragen [5]

## REFERENZEN

- [1]. J. EISENKOLB, R. FANDRICH, R. GERLING, H.-P. JUNG, Stahl und Eisen 132 (2012), No. 5, pp 49-59.
- [2]. WAHLSTER, M. et al.: Archiv f. d. Eisenhüttenwesen 41 No. 1 (Jan. 1970), pp. 37-42
- [3]. Patent WO2011054872
- [4]. R. de PAULA RETTORE, E. GUEGUEN, W. RITTER, ICRF Conference Paper 2012
- [5]. W. SCHOENWELSKI et al., Vortragsband der 2nd ICRF, Mailand, Italien 2014



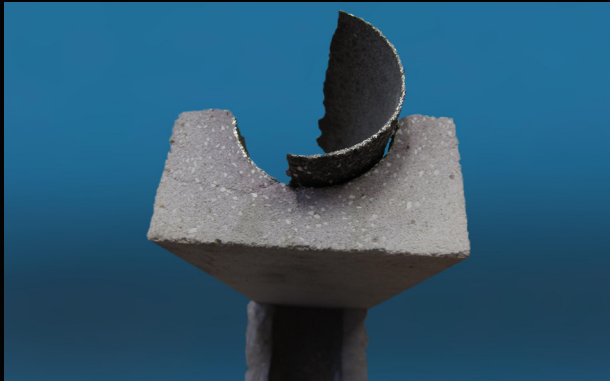


Fig 7 a und 7 b: Korundkeramik zweite Generation, KE 92 UG Kanalstein nach Gebrauch



Bild 8 a (links) und b (rechts): Tiegeltest mit 99% Tonerde-Keramikmaterial mit Stahl 1.3816, 2 h bei 1530° C



Bild 9 a und b: Endstein (plastisch geformt) und Trichterrohr (halbtrocken gepresst) aus reinem Tonerdematerial



Bild 10: Tiegeltest mit 99% nitridhaltigem Tonerdematerial. Versuchsbedingungen wie oben. Es resultiert eine absolute Nichtbenetzung. Zu beachten ist dass die graue Farbe die Originalfarbe des Feuerfestmaterials ist und nicht aus dem Test stammt; während des Versuchs hat im Gegenteil eine Entfärbung der Außenseite stattgefunden.





**Steuler Técnica S.L.**  
Spain

**Steuler France S.A.R.L.**  
France

**Ditescor S.A. de C.V.**  
Mexico

**Steuler Maroc S.A.R.L.**  
Marocco

**Alphaplast S.A.**  
Spain

**Steuler Nordic AB**  
Sweden

**Shanghai STEULER-  
KCH Anticorrosion  
Engineering Co. Ltd.**  
China

**CIMA S.r.l.**  
Italy

**KCT Sp. z o.o.**  
Poland

**Steuler Industrial  
Corrosion Protection  
Pty. Ltd.**  
Australia

**Steuler New Caledonia  
S.A.R.L.**  
New Caledonia

**STEULER-KCH**  
Branch Saudi Arabia

**STEULER-KCH**  
Branch Austria



Zusammen mit internationalen Tochtergesellschaften und Vertretungen bietet STEULER-KCH seinen Kunden ein weltweites Netzwerk, das umfassende Anlagenlösungen entwickelt und umsetzt.



**OBERFLÄCHENSCHUTZ-SYSTEME**

Auskleidungs- und Bodenbeschichtungssysteme, Kitten, Verfugematerialien, Ausmauerungssysteme, Gummierungen



**KUNSTSTOFF-TECHNIK**

Thermoplastische Auskleidungssysteme Apparate, Rohrleitungen und Behälter aus Duro- und Thermoplasten



**FEUERFEST-SYSTEME**

Feuerfeste Auskleidungssysteme



**SCHWIMMBADBAU**

STEULER-Q<sup>7</sup>-System



**STEULER-KCH GmbH**

**Geschäftsbereich Feuerfest-Systeme**

Georg-Steuler-Straße  
56203 Höhr-Grenzhausen | GERMANY  
Phone: +49 26 24 13586  
Fax: +49 26 24 13-305  
Mail: ff.info@steuler-kch.de



Oberflächenschutz-Systeme  
Kunststoff-Technik  
Schwimmbadbau  
Berggarten 1  
56427 Siershahn | GERMANY  
Phone: +49 26 23 600-0  
Fax: +49 26 23 600-513  
Mail: info@steuler-kch.de

[www.steuler-kch.de](http://www.steuler-kch.de)

**Fortschritt im Fokus**

Alle Angaben entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse; sie stellen keine Beschaffungsangeben dar. Technische Änderungen bleiben vorbehalten.