

## 1. Internationales Deutsches Formstoff-Forum 2016

---

### **Projektbericht: Einflussanalyse anorganisch gebundener Formstoffe**

### **Project report: Analysis of the influences on inorganically bound cores**

**Dipl.-Ing. Benjamin Griebel** (Vortragender), Robert Ramakrishnan, Wolfram Volk Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) – Technische Universität München (TUM)

Dominik Baibl – BMW Group Werk Landshut, Leichtmetallgießerei

Frank Nürnberger – Loramendi S.Coop

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen eines Kooperationsprojekts der Firmen Loramendi S.Coop, BMW Group und der TUM wurde eine Kernschießmaschine für die Verarbeitung von anorganisch gebundene Formstoffe am Lehrstuhl utg in Betrieb genommen. Ziel des Projektes ist es die Zusammenhänge zwischen Herstellparametern und den daraus resultierenden Kerneigenschaften, sowie die Zusammenhänge zwischen den Kerneigenschaften und formstoffbedingten Gussfehlern zu erforschen. Im vorliegenden Vortrag werden erste Ergebnisse der Messmethode für die Heißverformung vorgestellt und gezeigt wie die thermische Stabilität vom Anteil eines Promotors in der Formstoffmischung abhängt. Weiterhin wird die Absorption von Luftfeuchtigkeit im Kern untersucht und mit dem resultierenden Festigkeitsabfall korreliert.

## Einleitung

Am Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) der Technischen Universität München (TUM) wurde im März 2015 eine Kernschießmaschine der Firma Loramendi vom Typ SLC2-25L in Betrieb genommen. Die Maschine hat ein Schussvolumen von 25 Litern und maximale Werkzeugmaße von 750x960x560 mm<sup>3</sup>. Dies entspricht den Dimensionen einer Serienanlage, wie sie im Automobilbau eingesetzt wird (Abbildung 1)



**Abbildung 1: Kernschießmaschine am utg**

Der Schießkopf und die Schussdüsen sind wassergekühlt, das Werkzeug wird mit Öl beheizt. Somit ist die Anlage speziell auf den Einsatz von anorganischen Bindersystemen ausgerichtet. Das Werkzeug, welches von der Firma Aurrenak gebaut wurde, ist modular aufgebaut und besteht aus zwei Teilen: In der einen Hälfte befinden sich die Kavitäten für verschiedene Prüfkörpergeometrien (Biegeriegel, Gasdurchlässigkeitszylinder und Heißverformungsriegel) und in der anderen Hälfte der 3-Zylinder Wassermantelkern eines BMW Serienmotors (Abbildung 2). Alle Kavitäten werden in einem Schuss gefüllt, wodurch die Vergleichbarkeit der Eigenschaften der Prüfkörper und des Serienkerns sichergestellt wird.

Seit März 2015 läuft ein gemeinsames Forschungsvorhaben der Firmen Loramendi und der BMW Group zusammen mit dem utg. Ziel des Projekts ist es, die Einflüsse der Produktionsparameter auf die Kerneigenschaften wie Festigkeit, Gasdurchlässigkeit und Heißverformung zu ermitteln und schließlich die Kerneigenschaften mit auftretenden Gussfehlern wie Gasporosität und Penetration zu verknüpfen.



Abbildung 2: Unterkasten des Kernschießwerkzeuges mit Prüfkörpern (unten links) und Wassermantelkern (oben rechts)

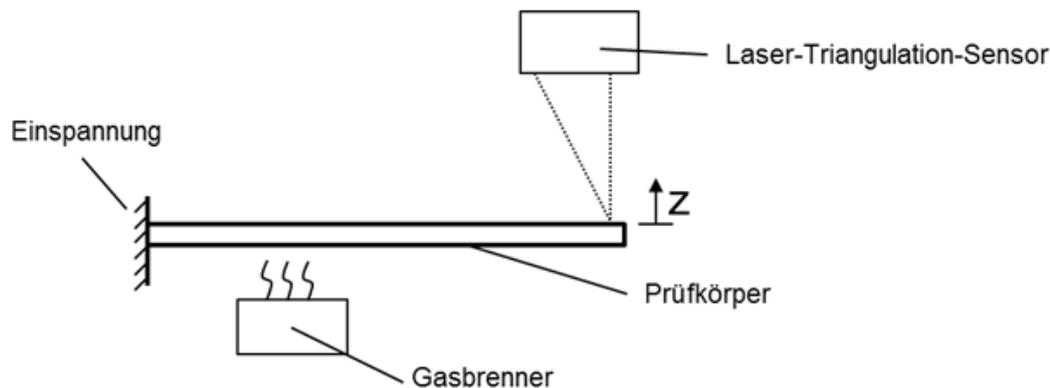
## Vorstellung des Kooperationsprojektes

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist es einen Wirkzusammenhang zwischen Kerneigenschaften und kernbedingten Gussfehlern herzustellen. Daraus wird es möglich Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Bauteilqualität und der Prozessrobustheit abzuleiten. Das Projekt beschränkt sich dabei auf anorganisch gebundene Sandkerne für das Schwerkraft- und Niederdruckkokillengießen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind zwei weitere untergeordnete Ziele formuliert: Zuerst soll eine verlässliche Prüfmethode aufgebaut werden, die es ermöglicht die relevanten Kerneigenschaften reproduzierbar zu erfassen. Anschließend werden die signifikanten Einflussgrößen des Kernschießprozesses auf die Kerneigenschaften identifiziert und deren Einfluss auf die Kerneigenschaften quantifiziert. Im letzten Schritt erfolgt die Korrelation dieser Kerneigenschaften mit auftretenden Gussfehlern.

Im Folgenden sind die ersten Ergebnisse der Heißverformungsprüfung und zu Untersuchungen der Feuchtigkeitsaufnahme dargestellt.

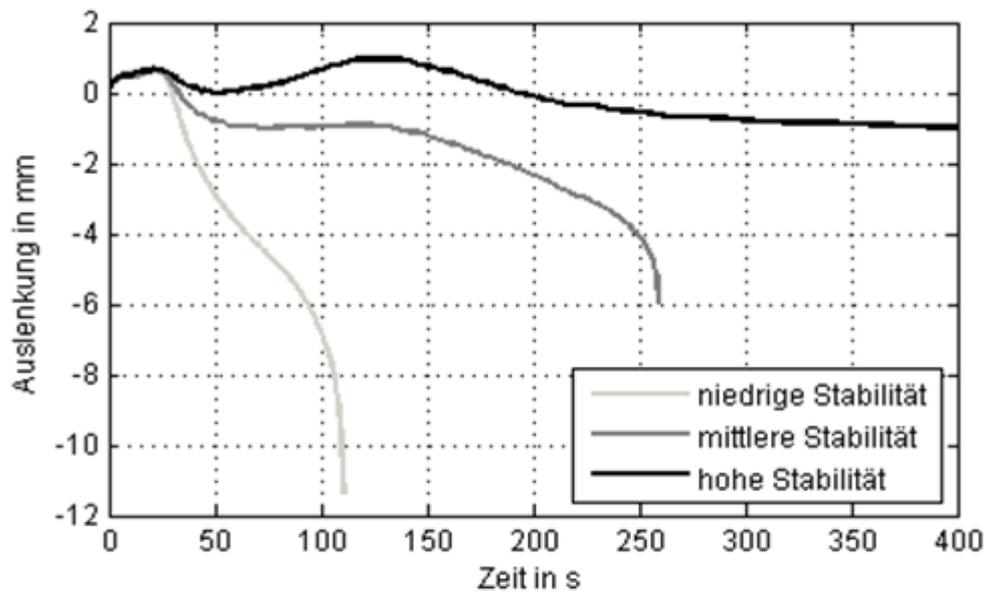
## Heißverformung

Das am Lehrstuhl utg aufgebaute Messgerät zur Bestimmung der Heißverformung ist dem Hot-Distorsion Messgerät der BCIRA nachempfunden. Der Aufbau ist in Abbildung 3 skizziert: Ein Sandriegel mit 25 mm Breite, 6 mm Höhe und 125 mm Länge wird an einem Ende fest eingespannt. Mittig unterhalb des Riegels wird ein Gasbrenner platziert, der die Sandoberfläche auf etwa 700°C heizt. Am freien Ende wird der Riegel mit einem Gewicht von 30 g belastet. Die vertikale Auslenkung  $z$  des freien Endes wird mit Hilfe eines Laser-Triangulation-Wegsensors gemessen.



**Abbildung 3:** Skizze des Messgerätes zur Bestimmung der Heißverformung. Der Prüfkörper aus Formstoff wird an einem Ende fest eingespannt und mittig mit einem Gasbrenner erhitzt. Am freien Ende wird die vertikale Auslenkung gemessen.

Charakteristische zeitlicher Verläufe der vertikalen Auslenkung ( $z$ ) von Formstoffsystemen mit unterschiedlichen thermischen Stabilitäten sind in Abbildung 4 zu sehen. Die erste positive Auslenkung ist bei allen Formstoffsystemen gleich, daher ist davon auszugehen, dass sie rein durch die thermische Dehnung des Sandes bedingt ist und keinen Bezug zum Bindemittel hat. Nach einem mehr oder weniger ausgeprägten Abfall der Kurve, folgt ein Wendepunkt bei allen Systemen. Diese zweite Phase führt beim System mit niedriger thermischer Stabilität lediglich zu einer Verzögerung des Kurvenabfalls, beim mittleren System entsteht dagegen ein fast ebenes Plateau. Das stabilste System zeigt hier ein zweites Maximum. In der dritten Phase sinkt die Spitze des Riegels kontinuierlich ab. Bei dem System mit niedriger Stabilität verformt sich der Riegel plastisch bis zu Werten unterhalb des Messbereichs ohne dabei zu zerbrechen. Die Riegel des mittleren Systems brechen bei einer mittleren Verformung. Beim System mit hoher thermischer Stabilität kommt es hingegen teilweise überhaupt nicht zum Bruch innerhalb der maximalen Messzeit von 1200 s bzw. 20 min. Die größte auftretende Verformung ist deutlich geringer als bei den anderen Systemen.

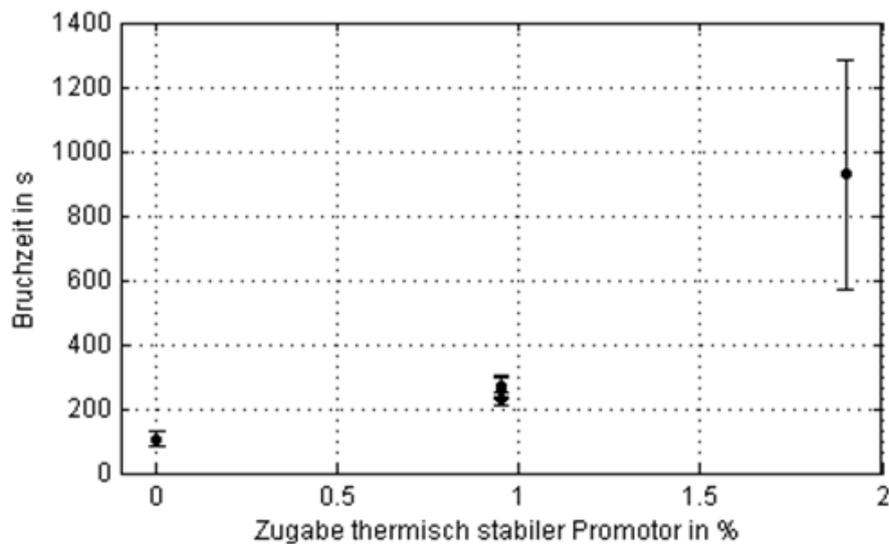


**Abbildung 4: Charakteristischer zeitlicher Verlauf bei der Heißverformungsprüfung von anorganischen Formstoffmischungen unterschiedlicher thermischer Stabilitäten**

Als charakteristischer Wert für die Thermostabilität einer Formstoffmischung wird die Zeit bis zum Bruch des Prüfkörpers ausgewertet. Der Bruch ist definiert durch das Zerbrechen des Prüfkörpers in mehrere Teile oder das Erreichen einer Auslenkung, die kleiner als -10 mm ist. Die Bruchzeit bei Proben, die nach 1200 s Messzeit nicht zerbrochen sind, wird zu 1200 s festgesetzt.

Die Abbildung 5 zeigt die Abhängigkeit der Bruchzeit von der zugegebenen Menge eines Promotors für thermische Stabilität. Bei den Mischungen wurde der Anteil des flüssigen Silikats konstant gehalten und die Veränderung des thermisch stabilen Promotors durch die Zugabe eines thermisch instabilen Promotors ausgeglichen, so dass die sonstigen Eigenschaften der Mischung konstant bleiben. Jeder Punkt zeigt den Mittelwert eines Versuchs und besteht aus sechs Einzelmessungen. Der Fehlerbalken ist dargestellt und hat die Länge von jeweils der doppelten Standardabweichung.

Bei der Mischung mit 1,9% thermisch stabilem Promotor, brach lediglich die Hälfte aller Riegel, die andere Hälfte wurde mit 1200 s bewertet, wodurch sich die hohe Standardabweichung begründet. Der Mittelwert der drei gebrochenen Riegel beträgt 656 s. Die Mischung mit 0,95% thermisch stabilem Promotor wurde in insgesamt drei Versuchen getestet. Hier erkennt man die gute Reproduzierbarkeit des Versuchsaufbaus sowohl innerhalb einer Versuchsreihe (Fehlerbalken), als auch zwischen den unterschiedlichen Versuchsreihen. Die relativen Standardabweichungen liegen hier bei ca. 10% und damit in der gleichen Größenordnung wie die relative Standardabweichung des 3-Punkt-Biegeversuchs an anorganischen Formstoffen.



**Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Anteil des Promotors für thermische Stabilität und dem Zeitpunkt des Bruchs beim Heißverformungstest**

## Feuchtigkeitsaufnahme

Um die Aufnahme von Feuchtigkeit in anorganische gebundenen Sandkernen zu charakterisieren, wurde folgender Messaufbau verwendet: In einer Klimakammer, welche es ermöglicht, die Temperatur auf 0,1 K und die relative Feuchte auf 1 % genau einzustellen, wurde eine Feinwaage mit einer Auflösung von 1 mg platziert. Ein Biegeriegel wird bei 20°C und 20% rel. F. auf der Waage im Klimaschrank für 24h gelagert, bis sich keine Gewichtsänderung mehr feststellen lässt. Anschließend wird die Feuchtigkeit schlagartig auf 60% rel. F. angehoben. Die Massezunahme des Biegeriegels wird als Funktion der Zeit gemessen. Weiterhin wird etwa alle 30 min ein Biegeriegel aus dem Klimaschrank entnommen und auf seine 3-Punkt-Biegefestigkeit geprüft. Beide Kurven sind in Abbildung 6 dargestellt. Für die Festigkeitsabnahme ist eine Ausgleichsgerade dargestellt.

Die Feuchtigkeitsaufnahme erfolgt in den ersten ein bis zwei Stunden rasch, anschließend etwas langsamer. Im dargestellten Zeitraum von 7 Stunden beträgt die maximale Aufnahme von Feuchtigkeit 0,14%. Es wurde noch ein weiterer Messpunkt nach 20 Stunden aufgenommen, der hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist. Dort betrug die Gewichtszunahme 0,25%. Dies entspricht einer linearen Extrapolation der gezeigten Werte. Die Aufnahme von Feuchtigkeit bei einem Biegeriegel ist also auch nach 20 Stunden noch nicht abgeschlossen. Der Verlauf der Festigkeit ist auf der sekundären Achse dargestellt. Abgesehen von der natürlichen Streuung bei diesem Versuch, fällt die Festigkeit linear mit etwa 7% pro Stunde. Die 3-Punkt-Biegefestigkeit fällt also innerhalb der ersten 7 Stunden auf etwa 50% ihres Ausgangswertes.

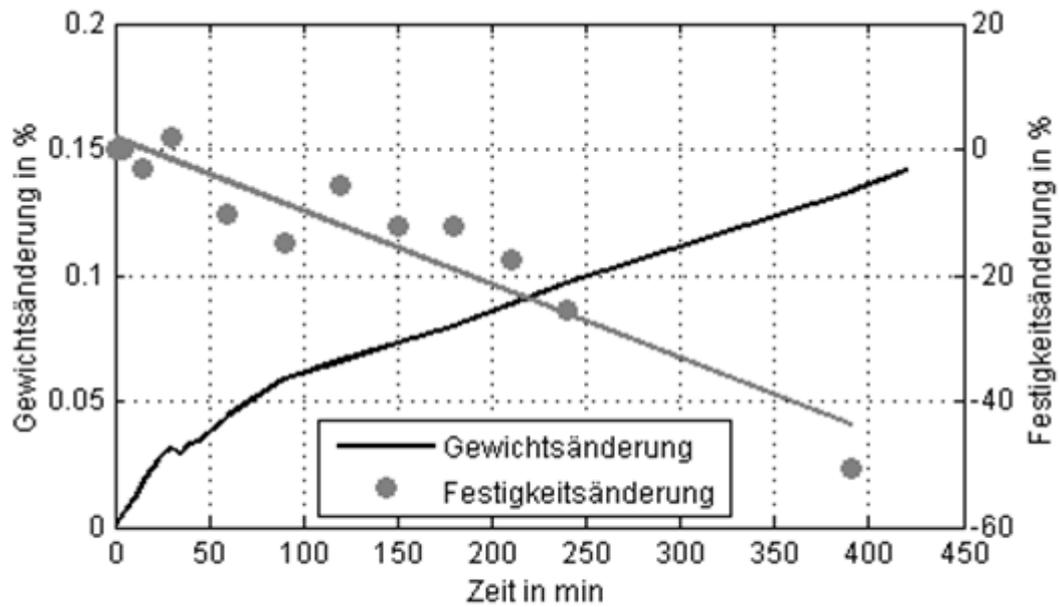


Abbildung 6: Entwicklung des Gewichts und der Festigkeit über die Zeit

## Ausblick

Zum aktuellen Zeitpunkt (Stand Oktober 2015) ist der Aufbau der Prüfmethode abgeschlossen. Wie gezeigt, ermöglicht sie es die gewählten Kenngrößen der Kerne reproduzierbar aufzunehmen und auszuwerten. Im Verlauf des Projektes sollen nun zuerst gezielt Herstellparameter variiert werden, um deren Einfluss auf einzelne Kerneigenschaften zu ermitteln. Zuletzt erfolgt eine Korrelation der Prüfgrößen des Kerns mit seinem Verhalten im Guss. Zu diesem Zweck wird eine Kokille entwickelt, die es ermöglicht übliche Gussfehler wie z.B. Penetration und Gasentstehung gezielt zu provozieren und in ihrem Ausmaß zu bewerten.