

Salzkerne im Druckguss

Die Herstellung und der Umguss von Salzkerne, um Hohlräume in Druckgussteilen herzustellen, ist in vielen Bereichen ein aktuelles Thema. Mit Salzkerne könnten Closed-Deck-Zylinderkurbelgehäuse, die durch die gestiegene Beanspruchung im Brennraum immer wichtiger werden – und im Druckgießverfahren in Ermangelung der richtigen Kerntechnologie bislang nicht im Großserienmaßstab darstellbar sind – auf Druckgießmaschinen hergestellt werden. Zum anderen werden die Anforderungen an Strukturteile für den Karosseriebau immer höher. Hier könnten durch den Einsatz von Salzkerne wesentlich höhere Steifigkeiten erzielt werden. Der Artikel gibt einen Überblick über die verschiedenen Technologien und Herstellungsverfahren, von Salzsystemen und zeigt Beispiele realisierter Projekte, bei denen Salzkerne zum Einsatz kamen.

Lothar Kallien, Aalen

1 Einführung

Das Druckgießverfahren ist ein etablierter und weitverbreiteter Prozess zur Herstellung endkonturnaher Bauteile und bietet aufgrund der hohen Produktivität und der Herstellbarkeit dünnwandiger Bauteilgeometrien ein sehr hohes Leichtbaupotenzial. Die zunehmende Funktionsintegration in Druckgussteilen und die gerade im Automobilbereich kleiner werdenden Bauräume führen zu immer aufwändigeren und komplexeren Druckgießwerkzeugen mit zahlreichen Kernzügen (**Bild 1**) [1].

Nicht jede beliebige Gussteilgeometrie ist im Druckgießverfahren herstellbar. Die verfahrensbedingten Grenzen des Druckgießens werden deutlich, wenn Hinterschnitte, die im Sand- oder Kokillengießverfahren durch die Verwendung verlorener Sandkerne darstellbar sind, in Druckgussbauteilen nicht mit Kernzügen abbildbar sind. Dennoch werden seitens der Automobilindustrie zunehmend in Druckgussbauteilen Hinter-

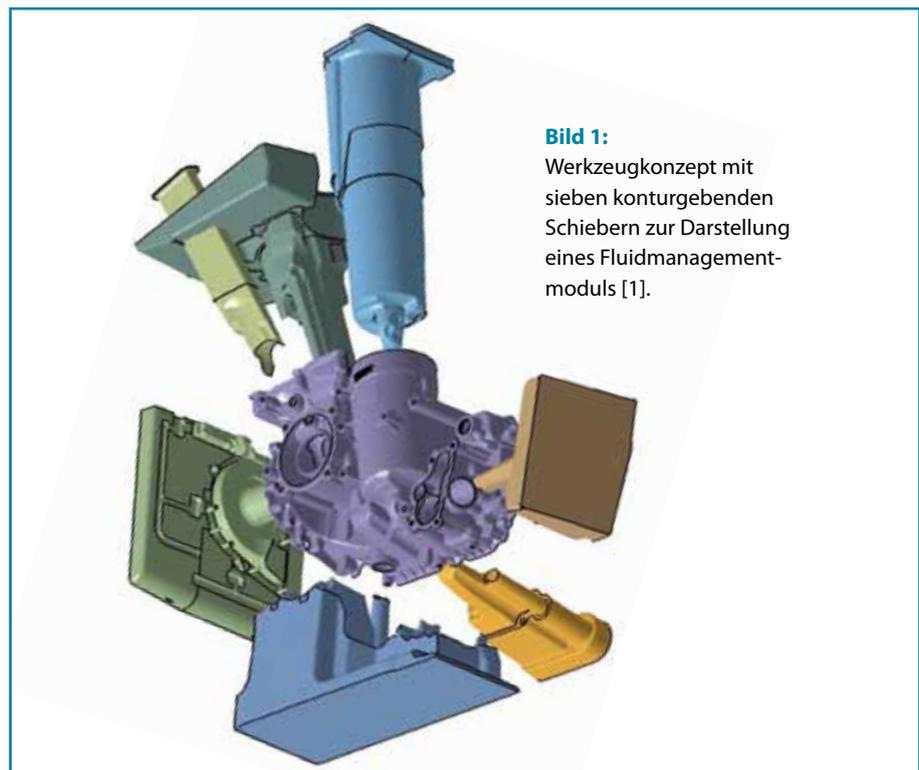


Bild 1: Werkzeugkonzept mit sieben konturgebenden Schiebern zur Darstellung eines Fluidmanagementmoduls [1].

schnitte in Form von Hohlräumen gefordert, um durch Materialeinsparung neue Leichtbaukonzepte umzusetzen.

Ein nicht weniger bedeutendes Potenzial, welches durch Hohlräume in Druckgussbauteilen erschlossen werden kann, ist die Funktionsintegration der Medienführung. Im Automobilbereich können dies die Medien Luft, Wasser, Öle oder Kraftstoffe sein, die durch ein Gussbauteil geleitet werden. So könnten Ansaug- und Einspritzkomponenten, Bremskraftverstärker, Filter, Motorblöcke und Zylinderköpfe im Druckgießverfahren gefertigt werden. Neben diesen Anwendungsfeldern ist der Medienleitung im Bereich der Elektromobilität steigende Bedeutung beizumessen, da die erforderliche Leistungselektronik eine sehr hohe Wärmemenge freisetzt und von den Elektronikgehäusen abgeführt werden muss.

Hohle Strukturen erhöhen die Steifigkeit von Bauteilen. Durch die Herstellung hohler Strukturussteile erschließt sich ein neuer Anwendungsbereich im Karosseriebau.

Mit der Herstellung hohler Salzkerne wird eine enorme Erweiterung der Druckgießpalette ermöglicht, die zu einer erheblichen Kosten-, Gewichts- und Energiereduzierung führt. Von besonderer Bedeutung für die Zukunft erscheint hier die Fertigung dünnwandiger großflächiger Strukturbauteile, komplexer Funktionsgehäuse mit Dichtigkeitsanforderungen und dynamisch hoch belasteter Sicherheitsbauteile aus Leichtmetalllegierungen.

2 Verlorene Kerne und Hinterschnitte im Druckgießverfahren

Zur Abbildung von Hohlgeometrien und Hinterschnitten in Gussteilen ist der Einsatz verloreener Kerne beim Sand- und Kollengießen Stand der Technik. Der Kernbinder zerfällt im Verlauf der Erstarrung durch die Gießhitze und der Kernsand kann aus dem Gussteil entfernt werden. Beim Druckgießverfahren wird die Schmelze mit 30 m/s bis 60 m/s in die Form geschossen. Danach wird das flüssige Metall mit einem Nachdruck von bis zu 1200 bar komprimiert, um die Nachspeisung während der Erstarrung zu gewährleisten. Die Anforderungen an verlorene Kerne, die im Druckgießprozess eingesetzt werden sollen, sind folglich extrem hoch. Konventionelle Sandkerne sind diesen praktisch nicht gewachsen.

2.1 Sandkerne im Druckgießverfahren

Sandkerne, die den hohen Kräften standhalten, sind aufgrund ihres hohen Binderanteils nur durch gesteigerten Aufwand aus dem Gussteil zu entfernen, was die Anwendung von Sandkernen beim Druckgießen unwirtschaftlich macht [2]. Die KS Aluminium-Technologie GmbH, Neckarsulm, entwickelte einen druckgießfesten Wassermantel-sandkern für ein Closed-Deck-Zylinderkurbelgehäuse. Die Kernherstellung erfolgte mit herkömmlichem Kernsand und einem Warm-Box-Binder. Die Zylinderkurbelgehäuse müssen jedoch nach dem Gießvorgang wärmebehandelt werden, um



Bild 2: Versteifter oberer Zylinderbereich durch Closed-Deck-Konstruktion mit Sandkern [3].

den Kernsand entfernen zu können, was den gesamten Prozess aufwändig und teuer macht (Bild 2) [3].

2.2 Keramische Kerne

Die Verwendung eines Wassermantels aus einem wasserlöslichen keramischen Kernwerkstoff im Druckgießprozess wurde an einem Einzylinder-Kurbelgehäuse-Demonstrator untersucht [4]. Aufgrund der hohen Festigkeit der Keramikkerne mussten diese jedoch mit einem Hochdruckwasserstrahl mit 2000 bar aus den Gussteilen herausgelöst werden (Bild 3), was ebenfalls mit einem extrem großen Aufwand verbunden ist.

2.3 Einsatz metallischer Hohlkörperleinlagen

Das Eingießen metallischer Hohlkörper ist eine weitere bekannte Möglichkeit zur Darstellung funktionaler Hohlräume in Druckgussbauteilen. Das eingegossene Rohr verhindert das

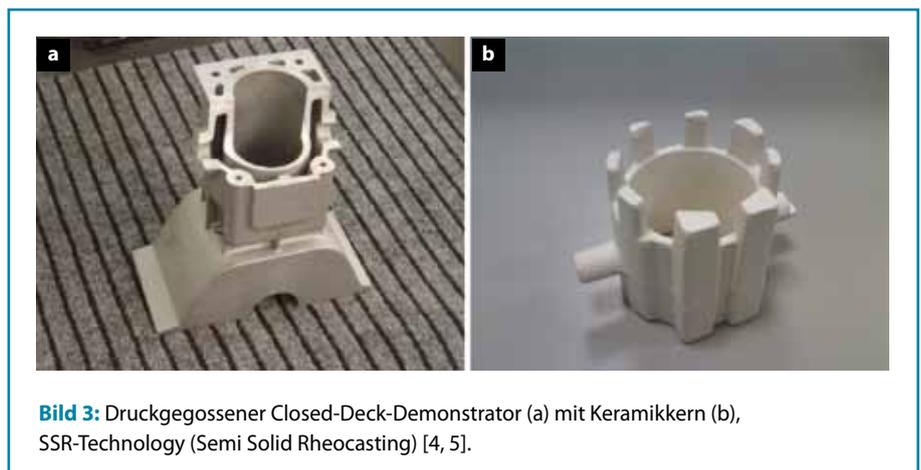


Bild 3: Druckgegossener Closed-Deck-Demonstrator (a) mit Keramikern (b), SSR-Technology (Semi Solid Rheocasting) [4, 5].

Austreten des zu leitenden Fluids. Hierbei bilden die Festigkeit des Hohlkörpers während des Umgießens und die Anbindung an das Umgussmaterial die limitierenden Faktoren im Druckgießprozess.

Die Technologie der eingegossenen Stahlrohre hielt bei der Herstellung eines 8-Gang-Automatikgetriebegehäuses Einzug in die Serienproduktion. Dadurch konnte die bisher sehr aufwändige spanende Bearbeitung zur Darstellung von Ölversorgungskanälen ersetzt werden [6].

Ein Herstellungsverfahren mit einem pulverförmigen Füllstoff erlaubt den Einsatz von Aluminiumrohren mit Wanddicken zwischen 0,5 mm und 2 mm [7]. Die Verwendung dünner Rohre aus Aluminium statt Stahl bietet neben einem Gewichtsvorteil eine leichtere Bearbeitung und eine einfachere Rückführung von Ausschussteilen, da keine Materialtrennung erforderlich ist.

Zur Verbesserung der Anbindung zwischen metallischem Hohlkörper und Umguss sind verschiedene Beschichtungsvarianten mit unterschiedlichen metallischen Werkstoffen bekannt [8-10]. Durch die Beschichtung eines Stahlrohres mit Zink konnte im Rahmen der im eigenen Forschungsvorhaben „3D-Freiform“ durchgeführten Untersuchungen eine form- und stoffschlüssige Anbindung an das Gussteil erreicht werden.

3 Übersicht über Salzkerntechnologien

Der Einsatz von Salzkerne eröffnet neue Anwendungsfelder durch eine Erweiterung des Produktspektrums für das Druckgießverfahren. Zu den Vorteilen von Salzkerne zählen deren sehr hohe Festigkeit und die einfache, rückstandsfreie Beseitigung mit Wasser. Bisherige Untersuchungen mit Salzkerne zur Herstellung von Hinterschnitten und Hohlräumen haben bestätigt, dass in dieser Technologie ein großes Potenzial zu sehen ist [11-13].

3.1 Gepresste und gesinterte Salzkerne

Der Einsatz gepresster Salzkerne zur Darstellung von Hohlräumen in metallischen Gussteilen, die ihre Endfestigkeit in einem thermischen Sintervorgang erhalten und mit Wasser ausgespült werden können, wurde bereits 1968 patentiert [14, 15].

Zur Herstellung der Kerne wird Kochsalz gepresst und im Anschluss gesintert [2]. Diese hochfesten Kerne erhalten während des Herstellungsprozesses keramische Eigenschaften. Somit lassen sich glatte Gussflächen erreichen. Der wesentliche Vorteil dieser Kerne ist der Verzicht auf Härter und Bindemittel, sodass die Kerne während des Umgießens keine Schadstoffe freisetzen, wie sie beim Zerfall von Sandkernen auftreten. Nachteilig sind die durch den Pressvorgang begrenzte Flexibilität hinsichtlich der Salzkernegeometrie und die begrenzte Einsetzbarkeit im Druckgießverfahren [16].

Ein neues Verfahren zur Herstellung nassgepresster Salzkerne wurde von AUDI 2014 vorgestellt [17, 18].

Durch das Nasspressen ohne Sintern konnten eine höhere Verdichtung, höhere Festigkeiten, eine geringere Oberflächenrauheit und eine höhere Gestaltungsfreiheit durch die geringere Reibung beim Verpressen nachgewiesen werden. Bei dem Ölwanneoberteil eines Audi V8 TFSI-Motors konnte durch die Verwendung eines gepressten Salzkerne ein langer, dünner und damit thermisch hochbelasteter Schrägschieber entfallen (**Bild 4**). In seiner Dissertation beschreibt Fuchs auch die Simulation des Kernversagens [18].

3.2 Kerngeschossene Salzkerne

Zur Aufhebung der mit dem uniaxialen Pressverfahren verbundenen Geometrieinschränkungen wurde im Rahmen des eigenen Forschungsvorhabens „3D-Freiform“ der bisher im Kernschießverfahren eingesetzte Werkstoff Sand durch Salz substituiert. Das Erreichen der Endfestigkeit der Salzkerne erfolgt analog dem Kernschießverfahren mit Sand durch die Aushärtung eines geeigneten Bindersystems [19-22]. Eigene Untersuchungen mit einer Prinzipgeometrie im Gießereilabor der Hochschule Aalen haben gezeigt, dass diese Kerne selbst bei niedrigen Kolbengeschwindigkeiten und Gießdrücken versagen.

3.3 Druckgegossene Salzkerne

Seit 1990 setzt die Mercury Marine, Fond du Lac, Wisconsin, USA, verlorene Kerne aus Salz ein. Der Kern wurde im Druckgießverfahren hergestellt und diente als Zylinderkern in einem 2-Takt-V6-Aluminiummotor (**Bild 5**) [23]. Die Geometrie des Salzkerne ist jedoch relativ einfach. Er wird darüber hinaus mit einem Stahleinlegelosteil im Werkzeug fixiert, was zu hohen Kosten etc. führt und bei Großserien nicht infrage kommt. Ein weiteres Beispiel für die Anwendung von Salzkerne ist der Wasserauslassstutzen, der von der Bühler AG, Uzwil, Schweiz, in Kooperation mit der Bocar GmbH, Bochum, realisiert wurde (**Bild 6**) [24].

Zu den wichtigsten Vorteilen der Erzeugung von Salzkerne aus der flüssigen Phase zählen hohe Stabilität gegenüber mechanischen und thermischen Beanspruchungen sowie die ausgezeichnete Oberflächenqualität. Als besondere Herausforderung

Bild 4: Ölwanneoberteil mit nassgepresstem Salzkerne [18].



erwies sich hierbei die Beherrschung der hohen Material-schwindigkeit bei der Erstarrung des Salzes mit entsprechend starker Rissneigung und Lunkerbildung im Kerninneren.

Die Bühler AG [13] beschreibt den Druckgießprozess mit Salzkernen an einer automatisierten Kaltkammerdruckgießmaschine im Technologiezentrum in Uzwil. **Bild 7a** zeigt den gegossenen Salzkern, **Bild 7b** das Druckgussteil. Bei dieser für das Druckgießen entwickelten Prozesskette wird zunächst das Salzgemisch in einem Ofen dosiert, gemischt und aufgeschmolzen. Anschließend wird die Salzschnmelze bis zur Dosierung in die Druckgießanlage im Ofen temperiert. Die Dosierung der Schmelze erfolgt wie bei normalen Druckgießprozessen bei geschlossener Form der Druckgießmaschine. Nach Erstarrung des gegossenen Salzkerns innerhalb weniger Sekunden kann dieser mit Hilfe eines Roboters entnommen werden. Aufbauend auf diesem vorgelagerten Gießprozess wird der Kern erneut in eine andere Druckgießform eingelegt und mit einer Aluminiumlegierung umgossen. Nach abgeschlossenem Gießprozess erfolgt das Herauslösen des Salzkerns mittels einer Wasser-Hochdruck-Entkernungsanlage.



Bild 5: Salzkern und Gussteil, Mercury Marine

Im Gießereilabor der Hochschule Aalen wird seit 2008 am Einsatz von Salzkernen im Druckgießverfahren gearbeitet. Um der hohen Schwindigkeit und Rissbildung entgegenzuwirken, wurde das Salz unter anderem in einem semi-soliden Zustand abgegossen und unter Variation der Gießparameter in einer weiteren Versuchsreihe mit Aluminium wiederum im Druckgießverfahren umgossen. Die glatte Oberfläche durch den Salzkern und die gleichbleibende Wanddicke, welche sich über das gesamte Bauteil erstreckt, zeigen das Potenzial der Salzkerne.



Bild 6: Wasserauslassstutzen aus Aluminium-Druckguss, hergestellt unter Verwendung eines Salzkerns [24].



Bild 7: a) Salzkern und b) Demonstratorbauteil der Bühler AG [13].

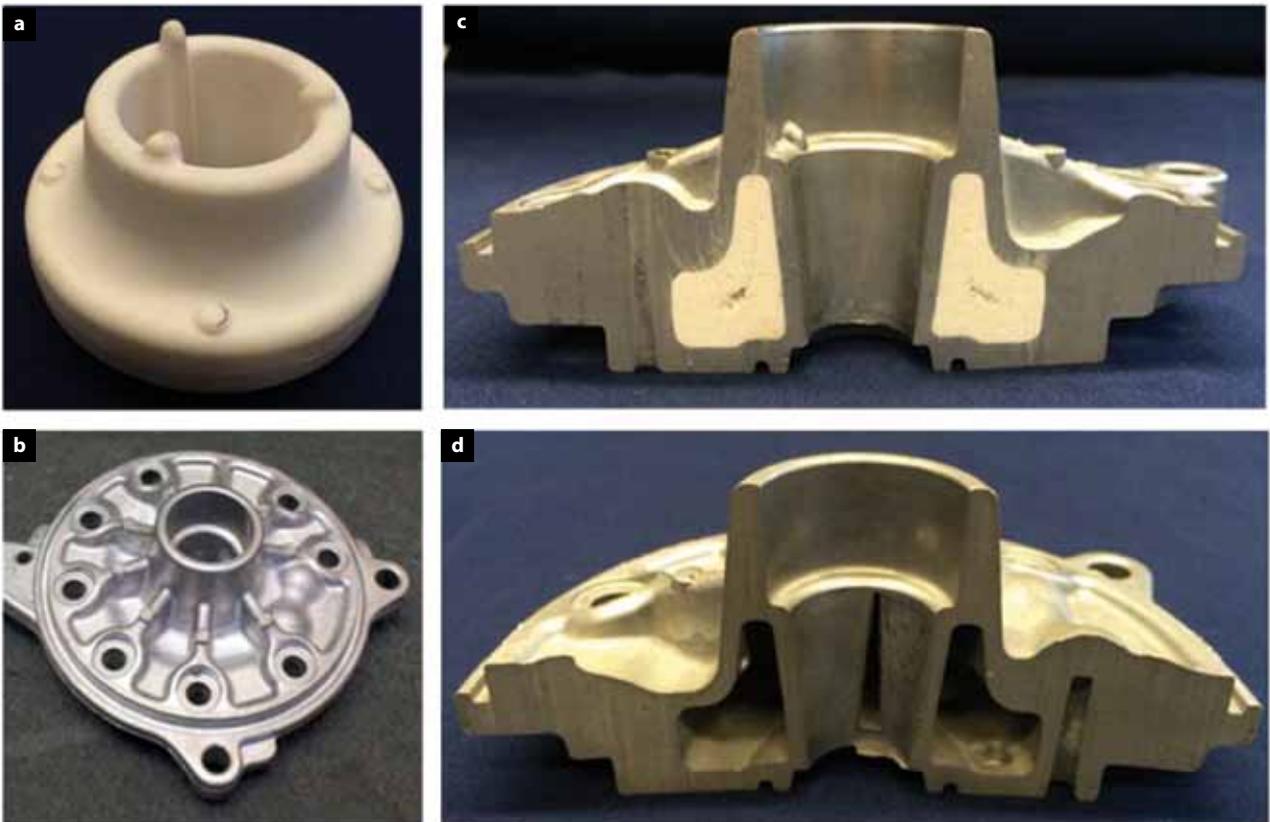
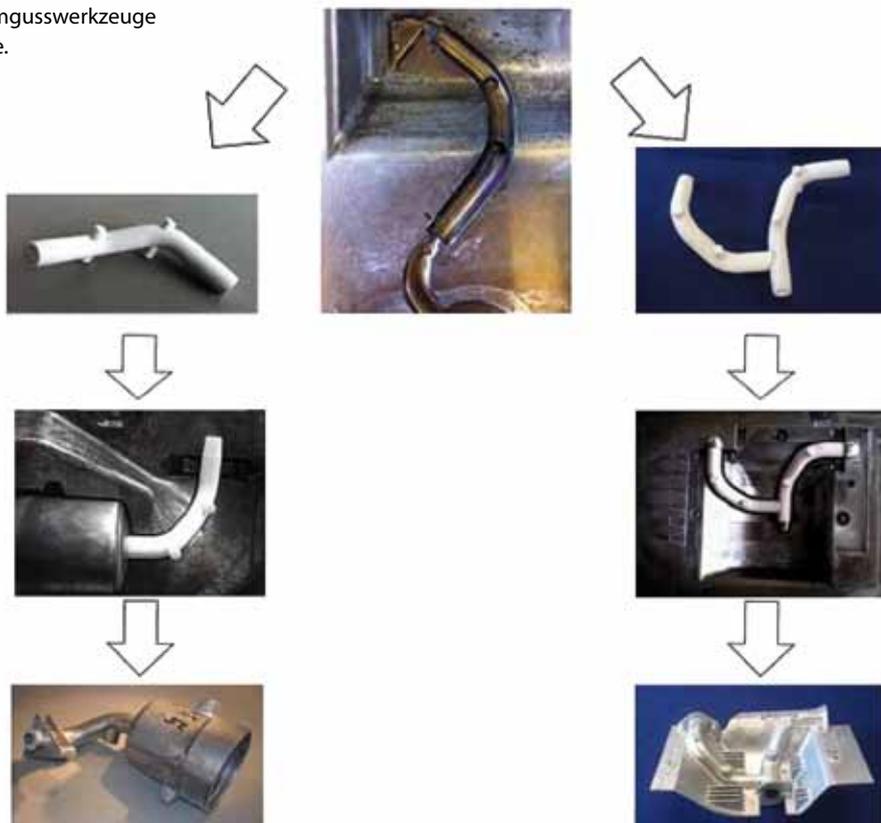


Bild 8: a) Salzkern, b) Druckgussteil, c) Druckgussteil im Schnitt mit Salzkern, d) Druckgussteil im Schnitt ohne Salzkern.

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN

Bild 9: Salzkern-Umgusswerkzeuge und Druckgussteile.



GRAFIK: HOCHSCHULE AALEN

Ein Demonstrator wurde in Zusammenarbeit mit den Firmen Alupress und Schüle auf der Euroguss 2014 präsentiert. Es handelt sich hier um ein Druckgussteil mit massiver Nabe, die durch einen neu entwickelten Salzkern hohl dargestellt werden konnte (**Bild 8**).

Um Bauteile mit integrierten Hohlstrukturen höherer Geometriefreiheitsgrade im Druckgießverfahren herstellen zu können, wurden im Verbundforschungsprojekt „3D-Freiform – medienführende Kanäle im Druckguss“ Salzkerntechnologien untersucht [20]. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zwei anwendungsnahe Demonstratorbauteile entwickelt und konstruiert. **Bild 9** zeigt die in Aalen hergestellten Salzkern

damit gefertigten Demonstratordruckgussteile. Hervorzuheben ist die glatte Oberfläche des Gussteils, was hinsichtlich einer Medienleitung von Interesse ist (**Bild 10**).

Hohle Salzkern

haben im Vergleich zu massiven Kernen den Vorteil, energie- und materialeffizienter zu sein. Der hohle Kern wiegt 50 % des massiven Kerns. Darüber hinaus können hohle Salzkern

wesentlich schneller und ressourcenschonender ausgespült werden. Gleichzeitig wird durch die Hohlstruktur die Erstarrungszeit des Salzkerns reduziert, was unmittelbar zu einer starken Verkürzung der Zykluszeiten bei der Herstellung führt. In Aalen wurden bereits Salzkern

aus der flüssigen Phase hohl hergestellt (**Bild 11**). Das Verfahren der Herstellung von hohlen Salzkernen ist patentiert [11, 12].

In Zukunft sind auch großvolumige Hohlkerne zur Herstellung von Strukturbauteilen denkbar. Im Mercedes SL der neuesten Generation wird ein hohles Struktur-gussbauteil eingesetzt, das 22 Blechteile ersetzt, die vorher aufwändig gefügt werden mussten (**Bild 12**). Dieses Gussteil wird jedoch im Niederdruckkokillengießverfahren hergestellt [25]. Der Sandkern, der zur Herstellung der Hohlstruktur eingesetzt wird, hat ein Gewicht von ca. 24 kg. Durch den Einsatz eines hohlen Salzkerns könnte das Teil im Druckgießverfahren hergestellt werden.

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN



Bild 10: Oberflächenbeschaffenheit der Hohlstruktur im Druckgussteil im Bereich des Salzkerns.



Bild 11: Hohler Salzkern [11, 12].



Bild 12: Karosserie, Struktur-gussteil und Sandkern des neuen Mercedes SL [25].

Bild 13 zeigt einen solchen hohlen Großkern aus Salz aus einer Vorstudie, der jedoch mangels Werkzeug nicht umgossen werden konnte. Dieser Ansatz wird in einem laufenden AMAP-Verbundprojekt derzeit weiter verfolgt [26].

Für die Herstellung von Closed-Deck-Zylinderkurbelgehäusen wurden in Aalen Wassermantelkerne für einen 4-Zylinder-Motor für das Mercedes Werk Untertürkheim im Kaltkammerdruckgießverfahren hergestellt (**Bild 14**), die erfolgreich umgossen wurden [16]. Ein ähnliches Vorhaben wird bei Volkswagen in Zusammenarbeit mit der Bühler AG durchgeführt.

3.4 Salzkerne im Warmkammerverfahren

Da Salze in Stahliegeln geschmolzen werden können, liegt es auf der Hand, die Salzkerne im Warmkammerverfahren herzustellen. Alle Vorteile, die für Gussteile gelten, würden auch für die Herstellung von Salzkerne gelten: Wirtschaftlichkeit, Kreislaufanteil, Lufteinschlüsse etc. Hierzu wurden von N. Erhard [27] bereits erste Ergebnisse dargestellt (**Bild 15**). Hergestellt wurden ein Hebel als Demonstrator und Einlegeplättchen für einen 3-D-Kühlkanal in thermisch hochbelasteten Bereichen eines dünnwandigen Al-Druckgussbauteils von Mercedes, Werk Untertürkheim, das in einer Achtfachform dargestellt werden konnte.

3.5 Vergleich unterschiedlicher Salzkerne

Einen Machbarkeitsvergleich zur Verwendung unterschiedlicher Kernherstellungsverfahren zeigte H. Eibisch (**Bild 16**) [17]. Der Dachknoten des Lamborghini Huracan wird in der Serie im Kokillengießverfahren gefertigt. Durch den Einsatz eines Druckgussteils würden mechanische Bearbeitung, Fertigungskosten und Gewicht eingespart. Verglichen wurden gepresste Salzkerne der Emil Müller GmbH, Köln, gegossene Salzkerne der Bühler AG und Keramikkerne der Lomopress S.r.l., Monticelli Brusati, Italien. Es zeigte sich, dass die keramischen Kerne zwar den geringsten Kernbruch und höchste Kernstabilität zeigten, aber einen hohen Entformungsaufwand benötigen. Die gepressten und gegossenen Salzkerne zeichneten sich dagegen durch einen geringen Entformungsaufwand aus. Die Kernstabilität war bei den gegossenen Kernen höher. Die gepressten Kerne benötigen einen Schlichteauftrag, um die herstellungsbedingte, poröse Oberfläche der Salzkerne zu kompensieren.

4 Herstellung von Salzkerne aus der schmelzflüssigen Phase

Für die Herstellung von Salzkerne werden unterschiedlichste Salze und Additive verwendet. Die in der Literatur und in Patenten am häufigsten aufgeführten Salze sind Alkalichloride und Alkalicarbonate wie Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Natriumcarbonat und Kaliumcarbonat. Darüber hinaus können verschiedenste Alkali- und Erdalkalihalogenide, aber auch Sulfate und Nitrate genutzt werden.

4.1 Salzsysteme

Vorteilhaft sind Salze, die ein geringes Gefahrenpotential aufweisen, wie NaCl und Na_2CO_3 . Die Substitution von NaCl durch KCl führt zu höheren Festigkeiten, jedoch bei höherer Hygroskopie [28].

Die Festigkeiten unterschiedlicher gegossener Salzsysteme sind von der Universität Tōhoku, Sendai, Japan, in Zusammenarbeit mit Yamaha Motors untersucht und als Patent veröffentlicht worden [29]. Die Festigkeiten der im Druckgießverfahren hergestellten Proben sind als Funktion der Prozessparameter wie Formtemperatur, Schmelztemperatur u. a. detailliert beschrieben. Weitere untersuchte Zusätze sind Nitride, Carbide,



Bild 13: Hohler Demonstrator-Großkern für mögliches Strukturbauteil [11, 12].

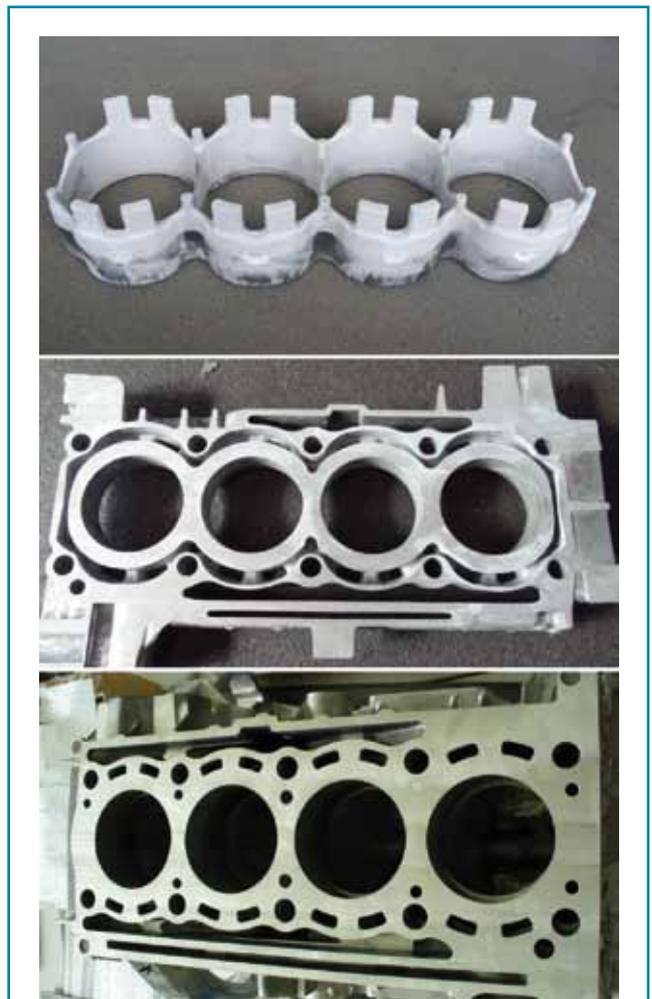


Figure 14: Wassermantelkern und Zylinderkurbelgehäuse von Mercedes, Werk Untertürkheim [16].

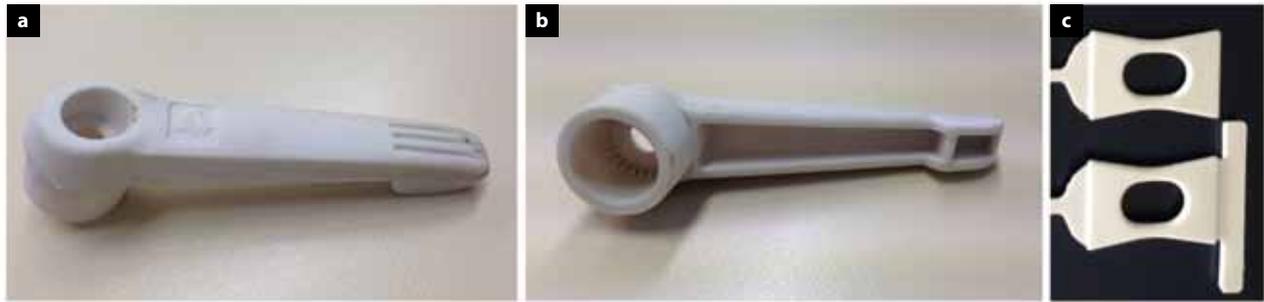


Bild 15: a, b) Salzdemokrator und c) Einlegeplättchen für Mercedes, Werk Untertürkheim, hergestellt im wirtschaftlichen Warmkammerverfahren [27].

Titanate und Oxide [30, 31]. Mehrphasige Systeme aus $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{K}_2\text{CO}_3 - \text{KCl}$ wurden von Yaokawa et. al. [32] ausführlich getestet.

In Aalen wurden verschiedene Mischungen von Salzen untersucht, um Rückschlüsse auf ihre Anwendbarkeit für druckgeossene Salzkerne zu ziehen. Zur Energieeinsparung wurden unter anderem niedrig schmelzende Salzsysteme untersucht, welche im Temperaturbereich zwischen 400°C bis 600°C liegen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass viele der verwendeten Systeme über schlechte Gießeigenschaften verfügen.

Je nach Mischungsverhältnis bildet sich im System $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{CO}_3$, links und rechts vom Eutektikum unterhalb der Liquidustemperatur, eine Primärphase aus, welche die Hauptfestigkeit im System $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{CO}_3$ erzeugt (Bild 17) [33]. Danach bildet sich um die häufig dendritisch erstarrte Primärphase ein Eutektikum aus (Bild 18). Bild 19 zeigt die dendritische Struktur einer Probe im System $\text{KCl} - \text{Na}_2\text{CO}_3$.

In Bild 20 ist ein Festigkeitsvergleich zwischen in Aalen hergestellten Kernen und Literaturwerten [34] aufgeführt. Für Salzsysteme aus $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{CO}_3$ mit einem Carbonatanteil zwischen 40 mol % bis 80 mol % bilden sich hierbei die besten Festigkeiten aus. Die Proben wurden jeweils in einer Kokille mit vergleichbarer Geometrie hergestellt. Bei den eigenen Versuchen zur Herstellung der Biegeproben wurde die Schmelze bis maximal 20°C über der Liquidustemperatur erhitzt, die Formtemperatur der

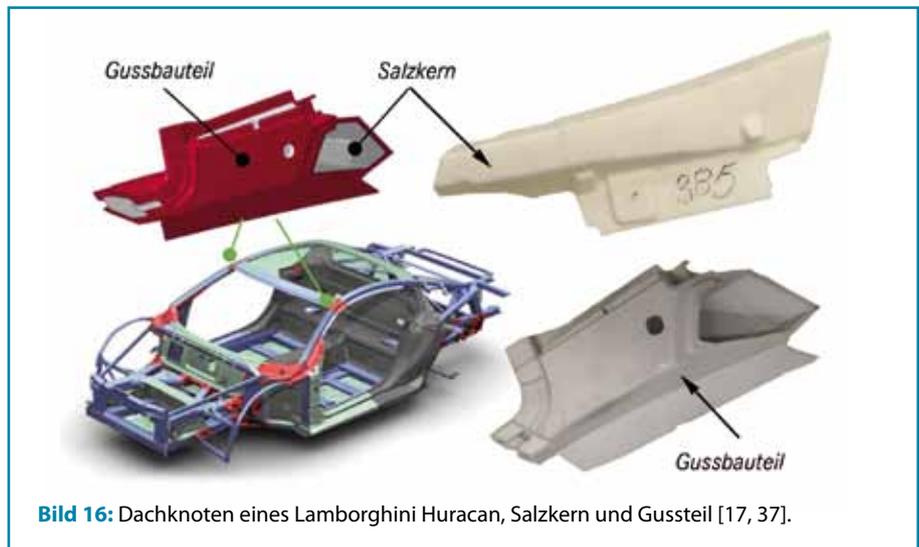


Bild 16: Dachknoten eines Lamborghini Huracan, Salzkerne und Gussteil [17, 37].

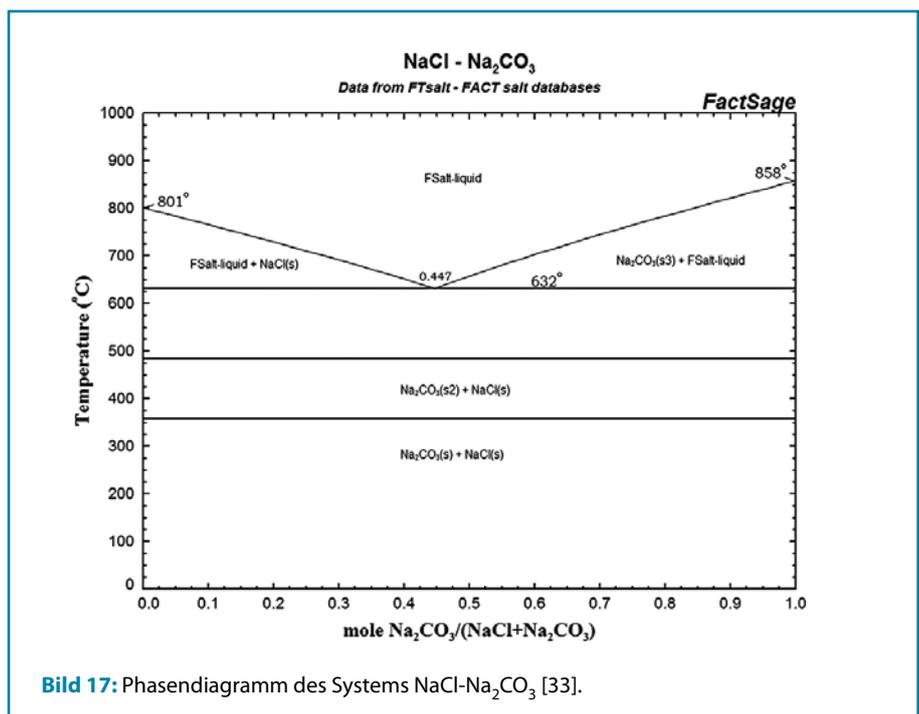


Bild 17: Phasendiagramm des Systems $\text{NaCl} - \text{Na}_2\text{CO}_3$ [33].

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN

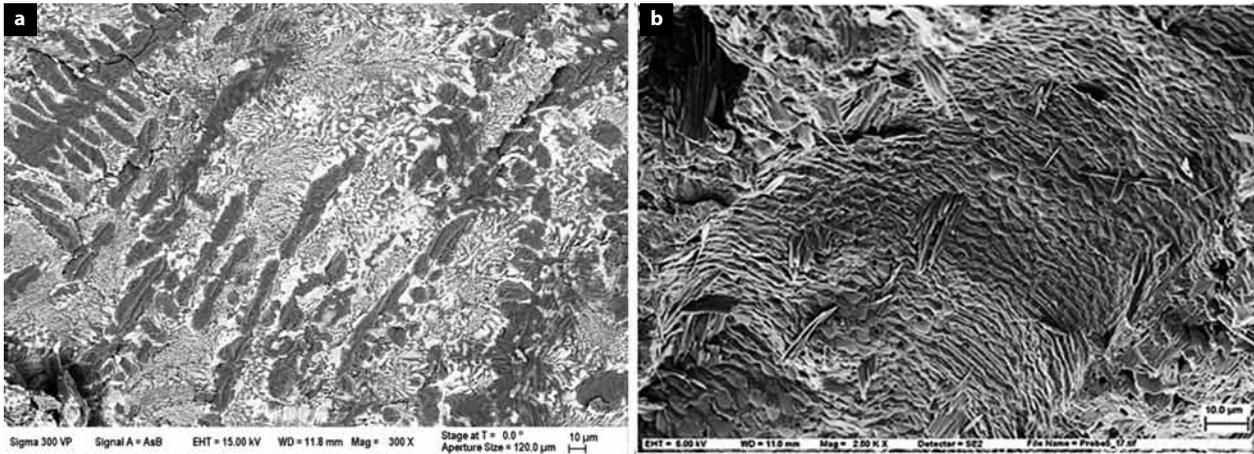


Bild 18: REM-Aufnahme: a) einer untereutektischen, dendritisch gewachsenen Salzlegierung, bestehend aus NaCl – Na₂CO₃, b) einer eutektischen Zusammensetzung.

FOTO: HOCHSCHULE AALEN

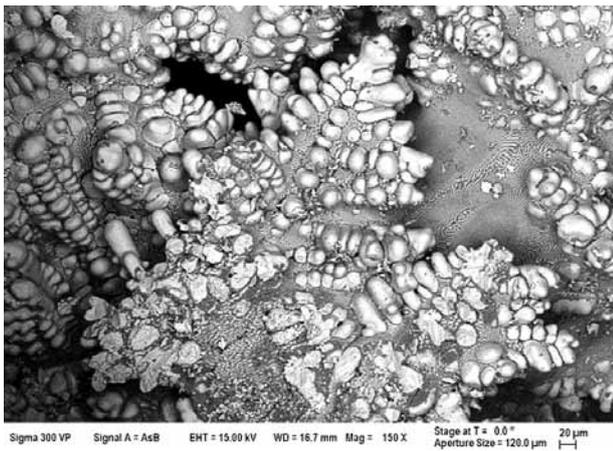


Bild 19: REM-Aufnahme einer übereutektischen Probe aus KCl – Na₂CO₃. Die Dendriten im Bereich einer Schwindungsporiösität sind deutlich zu erkennen.

GRAFIK: HOCHSCHULE AALEN

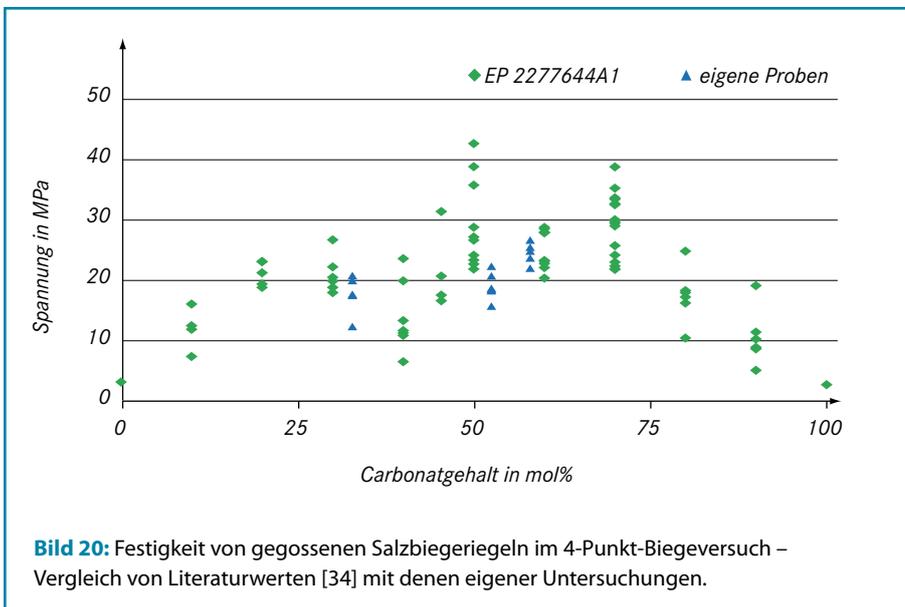


Bild 20: Festigkeit von gegossenen Salzbiegeriegeln im 4-Punkt-Biegeversuch – Vergleich von Literaturwerten [34] mit denen eigener Untersuchungen.

Kokille lag durchgehend zwischen 250 und 350 °C.

Bei den Literaturwerten wurde die Schmelze ähnlich niedrig überhitzt, nur vereinzelt wurde die Überhitzung erhöht, was auch in eigenen Untersuchungen zu deutlich schlechteren Festigkeitswerten führte. Die Formtemperatur wurde in den in der Literatur aufgeführten Versuchen bei 100 °C gehalten. Vereinzelt wurde diese auf 200 °C oder 300 °C erhöht, was sich positiv auf die Biegefestigkeit auswirkte.

Wie Bild 20 zeigt, konnten die deutlich höheren Messwerte aus der Literatur nicht erreicht werden. Ursache könnten eventuell unveröffentlichte Zusätze in den Salzlegierungen sein, zudem ist die Streuung der einzelnen Messwerte in der Textstelle relativ groß. Die Streuung der eigenen Proben ist deutlich geringer, was auf eine gleichmäßigere Prozessführung hindeuten könnte.

In weiteren Untersuchungen konnte in Aalen die Festigkeit der Salz Mischung aus NaCl – Na₂CO₃ durch Zugabe von geringen Mengen an KCl erhöht werden (Bild 21).

4.2 Schwindung der Salzkerne

Allgemein wird über die hohe Schwindung der Salze berichtet, [35].

Bei Zusammensetzungen mit steigendem Na₂CO₃-Gehalt steigt auch die Flüssigwindung. Bild 22 zeigt den Vergleich der Tarrturproben von zwei Salzlegierun-

gen im Vergleich mit einer Aluminiumlegierung.

Zur Darstellung der Festkörperschwindung zeigt **Bild 23** im Druckgießverfahren hergestellte Salzkerne, deren Endmaße mit den Ist-Werten der Druckgießform verglichen wurden.

Tabelle 1 verdeutlicht die Ergebnisse dieser Messungen an Proben aus **Bild 23**, welche an mehreren gegossenen Salzkerne durchgeführt wurden. Anhand dieser Werte wird deutlich, dass die Schwindung bei schwindungsbehinderten, kleineren Geometrien bei der Abkühlung gering ist. Vergleicht man dazu großvolumige Salzkerne, die ebenfalls im Druckgießverfahren mit der gleichen Salzmischung hergestellt wurden, ergeben sich höhere Werte.

Das Diagramm **Bild 24** zeigt eine Messkurve der thermischen Längenausdehnung einer untereutektischen Salzlegierung. Die Salzprobe wurde in ein Schubstangendilatometer eingelegt und mit einer Aufheizrate von

3 K/min aufgeheizt. Die braune Kurve zeigt die Ausdehnung der Probe, die sich ca. 600 µm längte. Um Fehler auszuschließen, wurde die Messung für jede Probe wiederholt. Die Ergeb-

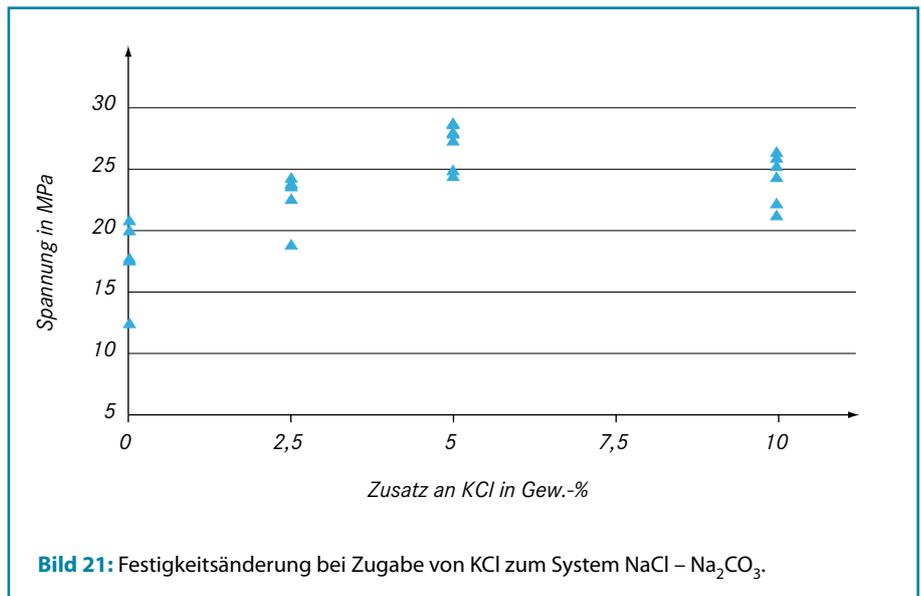


Bild 21: Festigkeitsänderung bei Zugabe von KCl zum System NaCl – Na₂CO₃.

GRAFIK: HOCHSCHULE AALEN

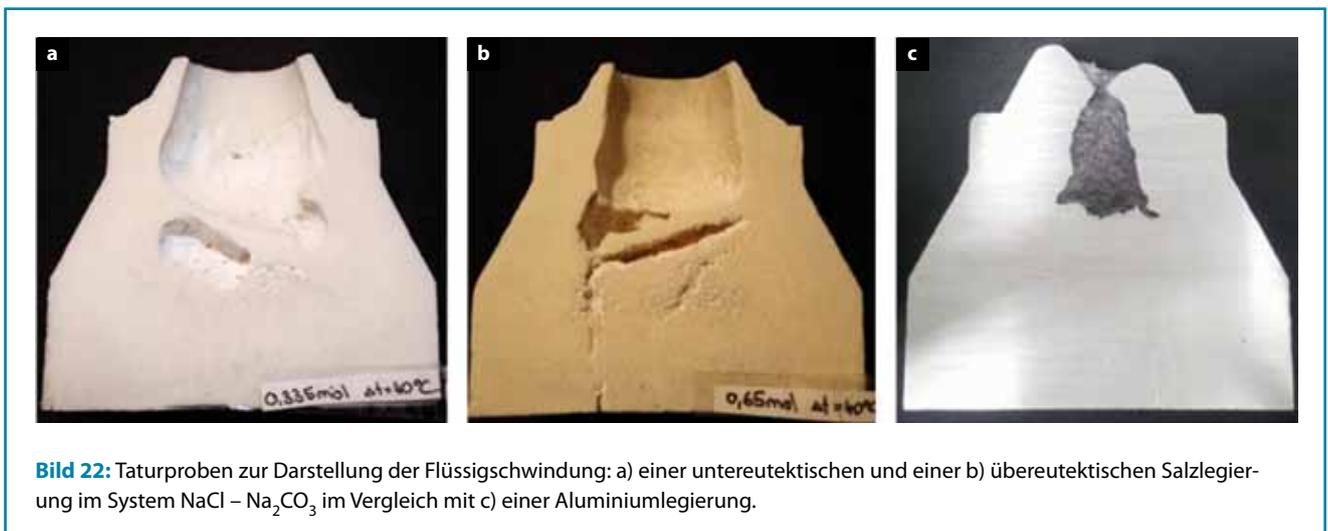


Bild 22: Taturproben zur Darstellung der Flüssigschwindung: a) einer untereutektischen und einer b) übereutektischen Salzlegierung im System NaCl – Na₂CO₃ im Vergleich mit c) einer Aluminiumlegierung.

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN

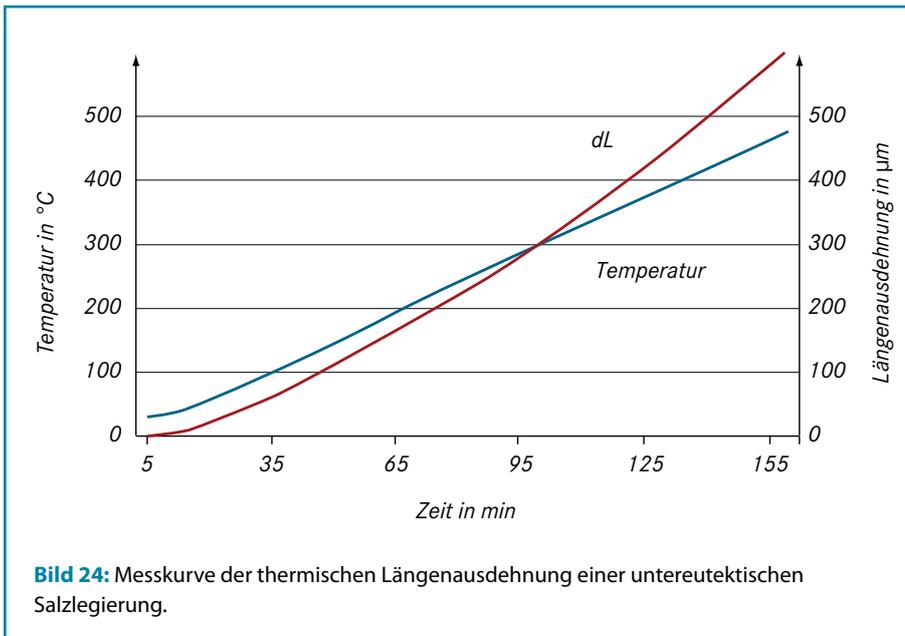


Bild 23: Messpunkte der beiden Salzkerne (M1-M5) zur Auswertung der Festkörperschwindung.

FOTOS: HOCHSCHULE AALEN

Tabelle 1: Schwindungsergebnisse Salzkerne

Messpunkt	Salzkernring			Großkern		
	Form (Soll-Wert) in mm	Salzkern (Ø-Ist-Wert) in mm	Ø Schwindung in %	Form (Soll-Wert) in mm	Salzkern (Ø-Ist-Wert) in mm	Ø Schwindung in %
M1	69,8	69,40	0,6	495,5	491,32	0,8
M2	69,8	69,38	0,6	136,3	133,46	2,1
M3	31,8	31,77	0,1	79,8	78,86	1,2
M4	24,8	24,53	1,1	79,9	78,68	1,5
M5	-	-		406,0	399,04	1,7
Ø Gesamtschwindung			0,6 %	1,5 %		



GRAFIK: HOCHSCHULE AALEN

nisse ergaben einen Längenausdehnungskoeffizienten von $5,3 \cdot 10^{-5}/m$ für eine untereutektische und $3,8 \cdot 10^{-5}/m$ für eine eutektische Probe.

4.3 Prozessparameter

Die Anschnittgeschwindigkeiten bei der Herstellung der Salzkerne im Druckgießverfahren liegen deutlich unter den Werten für Aluminium, die Anschnittquerschnitte damit deutlich darüber. Diese eigenen Erfahrungen decken sich mit den Erfahrungen der Bühler AG [28, 36].

Die Überhitzung der Salzschnmelze sollte maximal 20 °C bis 30 °C über der Liquidustemperatur des verwendeten Systems liegen. Die Formtemperatur sollte dagegen relativ hohe Werte zwischen mindestens 200 °C bis 300 °C erreichen. Ziel ist die möglichst spannungsarme Abkühlung der Salzkerne, die aufgrund der Schwindung zur Rissbildung neigen.

Dazu sollte die Kühlzeit im Werkzeug gering sein, um die Salzkerne nicht der schwindungsbehinderten Kontraktion im Werkzeug auszusetzen. Die hohe Erstarrungszeit des Pressrests kann durch spezielle Kühlkonzepte im Werkzeug egalisiert werden. Darüber hinaus sollten Thermoschocks nach der Ausformung durch eine gezielte Abkühlung vermieden werden.

Wie aus Bild 23 zu erkennen ist, helfen große Ausformschrägen rissfreie Kerne herzustellen. Die Entkernung wurde von der



FOTO: HOCHSCHULE AALEN

Bühler AG systematisch in eine Zelle umgesetzt **Bild 25** [38]. Die Entkernungszeit kann bei einem Wasserdruck bis 500 bar ca. 90 s betragen. Die momentane Frage ist, inwieweit sich die stückigen Salzkernreste wieder recyceln lassen, denn es ist nicht das Ziel, die Salze als Lauge zu entsorgen.

5 Zusammenfassung

Die Salzkerntechnologie ist nicht neu und hat in der letzten Zeit keine große Verbreitung erfahren. Dies wird sich jedoch in den kommenden Jahren ändern. Die Motorenkonstrukteure werden immer höhere Literleistungen verlangen, die ein Closed-Deck-Zylinderkurbelgehäuse notwendig machen. Will man das Druckgießen als kostengünstiges und produktives Verfahren behalten, ist der Einsatz von Salzkernen unumgänglich. Darüber hinaus werden auch zukünftige Elektromobile extrem leichte Karosserie-Strukturbauteile aus Aluminiumdruckguss enthalten. Wie aufgezeigt, lässt sich die Steifigkeit der Konstruktion durch hohle Druckgussteile deutlich erhöhen und damit weiteres Gewicht sparen. Auch hier ist der zukünftige Einsatz von Salzkernen der momentan zielführendste Weg. Darüber hinaus gibt die Bühler AG alle Patente zu diesem Verfahren frei. Dies umfasst mehrere Patentfamilien mit Schutzrechten in Europa, Japan und den USA. Somit ist der Einstieg in diese neue Technologie auch für den Druckgießer und Anwender interessant, der nun selbstständig die Weiterentwicklung des Prozesses übernehmen kann.

Prof. Dr.-Ing. Lothar Kallien, Hochschule Aalen

Literature

- [1] Hengst Filterwerke GmbH & Co KG. 2010.
- [2] Schäfer, A.: *Maxicore – Hochfeste Spezialkerne für den Aluminium-Druckguss*. 3. Formstofftage, 22./23.2.2000, Duisburg.
- [3] Beer, S.: *Modulares Konzept für höchstbelastete Druckgussmotoren aus Aluminium*. Aalener Gießerei Kolloquium 2007, Hochschule Aalen, 2008.
- [4] Molina, R.; Moschini, R.: *Production of hollow components in high pressure die casting through the use of ceramic lost cores*. High Tech Die Casting. 9./10.2.2012, Vicenza, Italien.
- [5] Moschini, R, u. a.: *Closed-deck cylinder block with SSRTM technology and ceramic lost cores*. Aalener Giesserei Kolloquium, Hochschule Aalen, 2011.
- [6] Giesserei 96 (2009), [Nr. 12], S. 83-84.
- [7] Heppes, F.: *Gießkerne und Verfahren zur Erzeugung von Hohlräumen in Gussteilen*. DE 10 026 546 B4, 02. September 2004.
- [8] Nielsen, F.: *Verfahren zum Eingießen von Eisenteilen in Aluminium bzw. in Aluminium-Legierungen*. DE 1 031 937, 12. Juni 1958.
- [9] Speicher, M., u. a.: *Verfahren zum Herstellen von Gussteilen und Inserts für Gussteile*. DE 10 2004 047 841 A1, 20. April 2006.
- [10] Scherer, V.; Buchmann, M.; Gödel, P.: *Zylinderlaufbuchse und Verfahren zu ihrer Herstellung*. DE 10 2006 016 524 B3, 19. Juli 2007.
- [11] Kallien, L.: *Hohle Salzkern*. DE102012108079.8, 14. November 2013.
- [12] Kallien, L.: *Hohle Strukturen im Druckguss*. Lost Core-Symposium, Fa. Bühler, Uzwil, Schweiz, 2012.
- [13] *Giesserei Erfahrungsaustausch (2013)*, [Nr. 3/4], S. 10-12.
- [14] Anderko, K.; Henle, R.: *Forming hollow cast articles*. US 3 407 864, 29. Oktober 1968.
- [15] Anderko, K.; Stark, M.: *Core for use in foundries, and a method of forming cavi-ties in castings*. GB 1 274 966 A, 17. Mai 1972.
- [16] Scheydecker, M.: *Innovationspotenzial Salzkern – Herausforderungen für Serienanwendungen im Aluminium-Guss*, Mercedes, Werk Untertürkheim. Aalener Gießerei Kolloquium, Hochschule Aalen, 2013.
- [17] Eibisch, H.: *Studie zu Kerntechnologien hohlgegossener Druckgussbauteile*. Aalener Gießerei Kolloquium, Hochschule Aalen, 2014.
- [18] Fuchs, B.: *Salzkerntechnologie für Hohlglassteile im Druckguss*. Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg, 2014. ISBN 978-3-95404-758-1.
- [19] *Giesserei-Erfahrungsaustausch (2009)*, [Nr. 6], S. 3-9.
- [20] *Giesserei 100 (2013)*, [Nr. 12], S. 36-43.
- [21] Käfer, D., u. a.: *Kerne sowie ein Verfahren zur Herstellung von Kernen*. DE 10 2006 046 792 A1, 05. April 2007.
- [22] Thiemann, D., u. a.: *Kerne auf der Basis von Salz und Verfahren zu ihrer Herstellung*. WO 2010 007 180 A2, 21. Januar 2010.
- [23] Donahue, R.: *Persönliche Mitteilung*. Mercury Marine, 1992.
- [24] Habel, G.: *Wirtschaftlichkeit beim Salzkernverfahren im Aluminium-Druckguss*. Aalener Gießerei Kolloquium, Hochschule Aalen, 2013.
- [25] Storsberg, L.: *Einsatz von Gussbauteilen im Rohbau als Beitrag zu innovativem Leichtbau am Beispiel des neuen Mercedes SL*. Aalener Gießerei Kolloquium, Hochschule Aalen, 2012.
- [26] <http://www.amap.de/projekte/projekt-10>.
- [27] Erhard: *3D-Hohlstrukturen mittels Salzkernen, hergestellt im Warmkammerdruckgießverfahren*. Aalener Gießerei Kolloquium, Hochschule Aalen, 2016.
- [28] Aschmann, B.; Pierri, D.: *Persönliche Mitteilung*. Veröffentlichung in Vorbereitung, Bühler AG, 2016.
- [29] Koichi Anzai; Katsunari Oikawa; Youji Yamada: *Verfahren zur Herstellung eines Salzkerns für einen Gießkörper*. National University Corporation Tohoku, Yamaha Hatsudoki Kabushiki Kaisha, EP2425910 A1.
- [30] Jun Yaokawa; Koicho Anzai; Youji Yamada, u. a.: *Castability and strength of potassium chloride-ceramic composite salt cores*. JFS 76 (2004), [Nr. 10].
- [31] Jun Yaokawa; Tomoki Sawada; Koichi Anzai, u. a.: *Strength of aluminium boate whisker reinforced alkali halides salt core*. JFS 78 (2006), [Nr. 2].
- [32] Jun Yaokawa; Koichi Anzai; Youji Yamada: *Method of manufacturing expendable salt core for casting and expendable salt core for casting*. Yamaha Hatsudoki Kabushiki Kaisha, US 20090205801 A1, 2009.
- [33] Jun Yaokawa; Daisuke Miura; Koichi Anzai, u. a.: *Strength of salt core composed of alkali carbonate and alkali chloride mixtures made by casting technique*. Materials Transactions 48 (2007), [Nr. 5].
- [34] Youji Yamada: *Process for producing salt core for casting*. Yamaha Hatsudoki Kabushiki Kaisha, EP 2277644 A1, 2011.
- [35] Donahue, R. J.; Degler M.: *Congruent melting alloy salts for salt cores in high pressure die casting*. NADCA, 2014.
- [36] Pierri, D.; Roos, H.: *Verfahren zur Herstellung von Salzkernen*. EP 2647451 A1, 2013.
- [37] Pierri, D.: *Salzkern aus der schmelzflüssigen Phase*. Vortrag, 28. April 2014, Bühler.
- [38] *Bildmaterial der Bühler AG 2014*.