

## Einflüsse der Fertigungstoleranzen von Tauchrohren auf die Strömung in der CSP – Kokille im Stranggußprozess

### Influences of production tolerances in the SEN on the flow in a CSP - mold

**R. Bahrmann, H. Pfeifer**

RWTH Aachen University, Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik, IOB  
Mies-van-der-Rohe-Straße 10, 52074 Aachen

#### Zusammenfassung

Mittels physikalischer Simulation an einem Wassermodell (Maßstab 1:1) werden die Auswirkungen von Gießstörungen auf die grundlegenden Strömungsstrukturen in einer CSP-Kokille untersucht. In diesem Beitrag wird das Augenmerk auf den Einfluss des Tauchrohres gelegt. Es hat sich gezeigt, dass die Tauchrohre Fertigungstoleranzen aufweisen, welche zu Asymmetrien im Stranggußprozess führen können. Mittels PIV-Messungen werden diese Unzulänglichkeiten aufgezeigt und mögliche Folgen erörtert.

#### Einleitung

Der in Deutschland hergestellte Rohstahl wird zu ca. 97% auf modernen Stranggießanlagen vergossen. Der technologische Stand der konventionellen Stranggießtechnik ist weit vorangeschritten. Dennoch erfordern die Veränderungen auf den Weltmärkten neue technologische Wege. Vor allem der Energieverbrauch birgt großes Sparpotential. Zum Beispiel wird durch das Gießen nahe der Endabmessungen der Arbeitsschritt des Walzens bezüglich Zeit- und Energieaufwand reduziert. Die positiven Folgen für Umwelt und Wettbewerbsfähigkeit liegen auf der Hand.

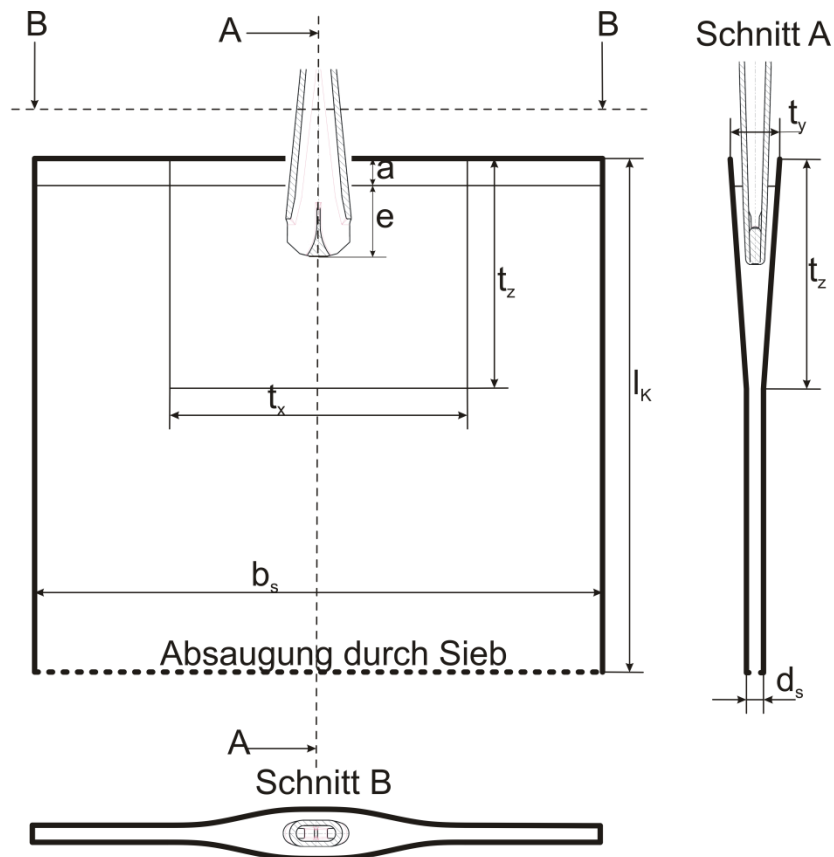
Der Dünnbrammenstrangguss birgt im Vergleich zum konventionellen Strangguss auch Nachteile. Beispielsweise erzeugt das Verfahren eine spezifisch größere Oberfläche beim Gießen bei gleichzeitig geringerem Strömungsvolumen in der Kokille, so dass an dieser Stelle große Anstrengungen unternommen werden müssen, damit Produkte aus einer weiten Palette von Stahlsorten mit guter Oberfläche und gutem Reinheitsgrad erzeugt werden können.

Strömungstechnische Untersuchungen in Schmelzen sind nur begrenzt möglich. Da Schmelzen und Wasser annähernd die selbe kinematische Viskosität ( $\nu_{Stahl\ 1510^\circ} = 0.872 * 10^{-6} m^2/s$ ,  $\nu_{Wasser\ 20^\circ} = 1.006 * 10^{-6} m^2/s$ ) und somit nahezu identische Fließeigenschaften aufweisen, können laseroptische Messungen an Wassermodellen durchgeführt werden.

Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Form des Tauchrohres von entscheidender Bedeutung für die Strömung in der Kokille ist (siehe Hülstrung et al. 2006 und Li-Wei et al. 2006). Diese Untersuchungen sollen, mittels Anwendung der „Particle Image Velocimetry“, nun zeigen, wie groß die Abweichung des Strömungsfeldes in der Kokille sein kann, wenn man ein Ensemble von Tauchrohren des gleichen Typs benutzt.

## Versuchsstand und Versuchsdurchführung

Bei dem am IOB verwendeten Wassermmodell einer Kokille (Abb. 1) im Maßstab 1:1 handelt es sich um eine sog. CSP-Kokille für den Dünnbrammenstranguß. Die Besonderheit dieser Kokille ist neben der Strangdicke von nur  $d_s = 63\text{mm}$  die trichterförmige Ausbuchtung an den Breitseiten im Bereich des Tauchrohres. Diese Aufweitung ist notwendig, um den Tauchausguss in die Kokillenschmelze eintauchen zu lassen. Des Weiteren hat man dadurch mehr Gestaltungsspielraum bezüglich der Form des Tauchausgusses. Die für die Versuche eingestellten Maße sind der Tabelle 1 zu entnehmen.



- a Entfernung des Wasserspiegels von der Oberkante der Kokille
- e Eintauchtiefe des Tauchrohres
- $b_s$  Strangbreite
- $d_s$  Strangdicke
- $l_k$  Länge der Plexiglaskokille
- $t_x$  Breite des Trichters
- $t_y$  Maximale Dicke des Trichters
- $t_z$  Länge des Trichters

Abb. 1: Wichtige Abmessungen der Kokille

Tabelle 1: Geometrische Daten der Kokille

$a[mm]$	$e[mm]$	$b_s[mm]$	$d_s[mm]$	$l_K[mm]$	$t_x[mm]$	$t_y[mm]$	$t_z[mm]$
100	305	2100	63	1900	1100	183	850

Für die Versuche wurden drei Standardtauchausgüsse verwendet. Die PIV-Messungen wurden auf nur einer Hälfte der Kokille durchgeführt. Durch Drehung der Tauchrohre um  $180^\circ$  können Unterschiede der beiden Öffnungen je eines Tauchrohres festgestellt werden. Damit kann ein Einfluss etwaiger Asymmetrien bezüglich der Kokille ausgeschlossen werden. Es ergibt sich die in Tabelle 2 dargestellte Versuchsmatrix.

Tabelle 2: Versuchsmatrix

	Gießgeschwindigkeit $v_G$ in $m/min$	
	Einbauwinkel: $0^\circ$	Einbauwinkel: $180^\circ$
Tauchrohr 1	3	3
	4	4
	5	5
Tauchrohr 2	3	3
	4	4
	5	5
Tauchrohr 3	3	3
	4	4
	5	5

### Ähnlichkeitsbetrachtung

Die Wiedergabe der Strömung im Modellversuch wird durch eine Wasserströmung in einem Plexiglasmodell der Originalkokille erreicht. Der Maßstab des Modells ist 1:1. Die dynamische Ähnlichkeit wird durch die gleichzeitige Einhaltung der Reynolds- ( $Re$ ) und Froude-Zahl ( $Fr$ ) erreicht. Die Reynoldszahl berechnet sich mit einer charakteristischen Länge  $d$  und der mittleren Durchströmgeschwindigkeit  $\bar{u}$ :

$$Re = \frac{d * \bar{u}}{\nu}$$

Die Froudezahl berechnet sich mit der mittleren Erdbeschleunigung  $g$  zu:

$$Fr = \frac{\bar{u}}{\sqrt{g * d}}$$

Anhand der Formeln kann man den Vorteil eines 1:1 Modells deutlich erkennen: Die beiden Ähnlichkeitskennzahlen können gleichzeitig eingehalten werden.

## Ergebnisse

Bei den PIV-Messungen im Mittelschnitt der Breitseite wurden für jede Konfiguration 100 Doppelbilder mit einer Frequenz von  $f = 1Hz$  gemacht. Über diese 100 Doppelbilder wurde anschließend gemittelt. Diese Auswertung bezieht sich ausschließlich auf die Mittelungen. In Abb. 2 sind die Geschwindigkeitsverteilungen in der Kokille für Tauchrohr 2 ( $v_G = 4m/min$ ) bei unterschiedlichen Einbauwinkeln dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die einzelnen Ausgüsse des Tauchrohres unterschiedlich beaufschlagt werden. Dies hat offensichtlich zur Folge, dass die Strömung in der Kokille einen stark asymmetrischen Charakter aufweist.

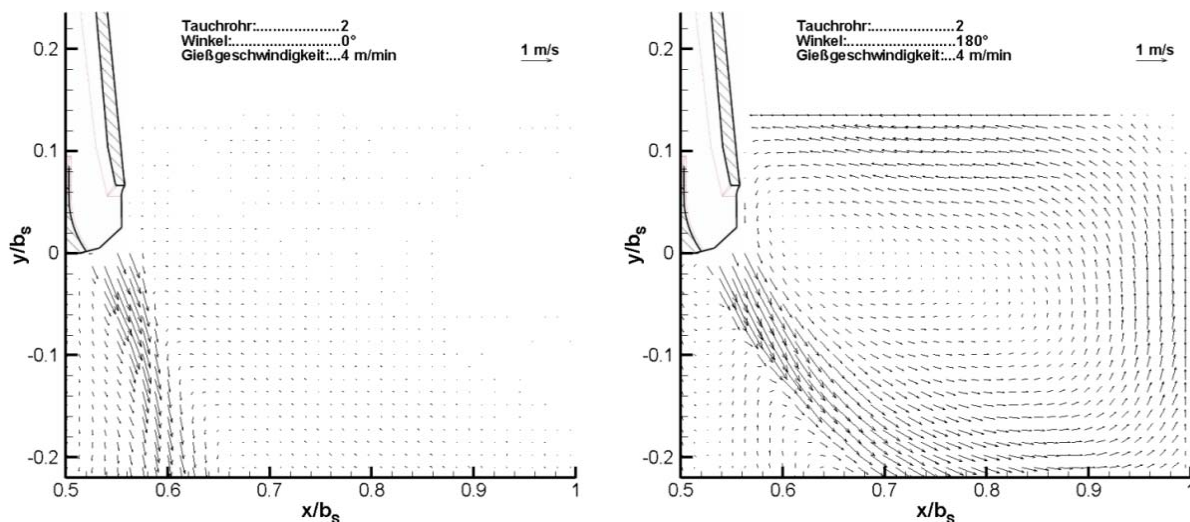


Abb. 2: Geschwindigkeitsverteilungen in der Kokille für das Tauchrohr 2 ( $v_G = 4m/min$ )

Wie in Abb. 3 zu erkennen ist, gilt dies nicht für jedes Tauchrohr. Wenn man sich die Geschwindigkeiten in y-Richtung ( $v$ ) auf der Linie  $y/b_s = -0.1$  für verschiedene Tauchrohre anschaut, so beobachtet man, dass die Strömung bei einigen Tauchrohren (Tauchrohr 3) im Mittel auch symmetrisch sein kann. Besonders deutlich wird hier jedoch die Verschiebung des Freistrahles für das Tauchrohr 2 sichtbar.

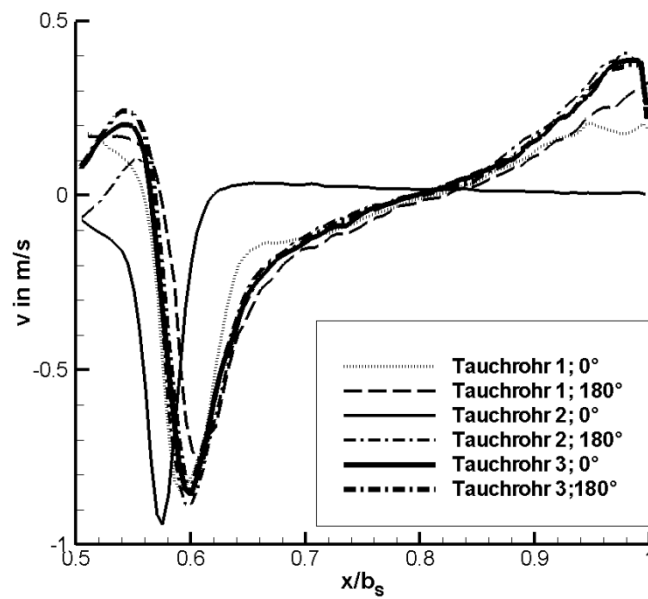


Abb. 3: Geschwindigkeitsverteilungen in y-Richtung auf der Geraden  $\frac{y}{b_s} = -0.1$  für verschiedene Tauchrohre bei der Gießgeschwindigkeit  $v_G = 4\text{ m/min}$ .

Wie man in Abb. 4 erkennen kann ist die Verschiebung des Freistrahles auch bei Variation der Gießgeschwindigkeit noch vorhanden. Eines der beiden großen Rezirkulationsgebiete im oberen Teil der Kokille (Abb. 2) ist aufgrund der Freistraherverschiebung nur wenig, bzw. nicht vorhanden, was z.B. zu einer ungleichmäßigen Ausbildung der Strangschale führen kann.

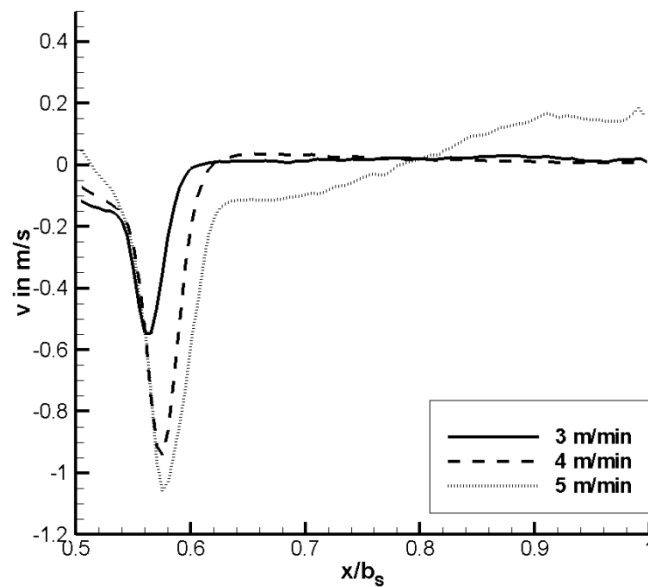


Abb. 4: Geschwindigkeitsverteilungen in y-Richtung auf der Geraden  $\frac{y}{b_s} = -0.1$  für das Tauchrohr 2 bei einem Einbauwinkel von 0°.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Es wurden drei Tauchausgüsse auf ihre Tauglichkeit bezüglich des Ausgussverhaltens in einer Dünnbrammkokille untersucht. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Qualitätsunterschiede zwischen Ausgüssen des gleichen Typs sehr groß sein können. Insgesamt kann man jedoch nicht genau voraussagen, wie das Strömungsfeld in einer Dünnbrammkokille nach Einbau eines Standardtauchausgusses aussehen wird.

Eine asymmetrische Beaufschlagung der Austrittsöffnungen des Ausgusses kann sich auch in einem asymmetrischen Cloggingverhalten niederschlagen, was das Problem zusätzlich verstärken kann. Unter diesen Gesichtspunkten leidet natürlich die Qualität des Produktes. Aufgrund der Unterschiede in den Strömungsstrukturen könnte es auch zu Inhomogenitäten bezüglich Partikeleinschlüssen kommen. Ziel muss es sein, ein Tauchrohr zu entwickeln, für das die Strömung in der Kokille hinreichend genau vorausgesagt werden kann.

## **Literatur**

Hülstrung, J.: "Entwicklung und Einsatz eines optimierten Tauchrohres für das Dünnbrammgießen unter Anwendung der numerischen Strömungsmechanik", Dissertation, Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik, RWTH Aachen, 2006

Li-Wei, Shen-Hou-fa, 2006: "Influences of nozzle configuration on fluid flow in CSP mold", Iron and Steel Vol. 41 (2006), p. 467/471