

GIESSSPIEGEL- MESSUNG

Messung des Stahlspiegels
beim Stranggießen

Einleitung

Die radiometrische Gießspiegelmessung ist die dominierende Technologie zur Messung des Stahlfüllstands beim Stranggießen. Diese Technologie ist bereits seit mehr als 50 Jahren und mit mittlerweile mehr als sechstausend erfolgreich installierten Systemen im Einsatz. In diesem Artikel wird über Leistung, statistische Schwankungen, Einflussfaktoren und korrekte Strahlerauswahl diskutiert. Außerdem wird die neu entwickelte Möglichkeit der kontinuierlichen Messung der Dicke der Gießpulverschicht thematisiert.

Prozessbeschreibung

Stranggießanlagen ermöglichen die Verbesserung der produzierten Stahlqualitäten und senken die Produktionskosten ganz erheblich, indem sie Investitionen und Personal einsparen sowie eine bessere Ausnutzung des Materials und damit eine erhebliche Reduzierung der Betriebskosten gewährleisten. Diese Vorteile haben dazu geführt, dass heute fast alle Stahlqualitäten gegossen werden können und daher ca. 99 % der gesamten Stahlproduktion durch Stranggießen erfolgt. Im Prinzip besteht eine Stranggießmaschine aus einer oder mehreren Kokillen, die als Form- und Kühlelemente dienen. Eine Kokille besteht aus einem Kupferrohr oder Kupferblock mit einem offenen Querschnitt, angepasst an die Abmessungen des herzu-

stellenden Stahlformats. Die Kupferform befindet sich in einem Wassermantel, durch den Kühlwasser fließt. Vor Beginn des Gießens wird die Kokille unten durch einen kalten Strang geschlossen.

Der Stahl wird in einer Pfanne angeliefert und in einen Verteiler oberhalb der Kokille abgelassen. Dieser Strahlverteiler ist oft mit einer Stopferstange oder einem Schieber ausgestattet, um den Stahlfluss in die Form zu steuern.

Der geschmolzene Stahl verteilt sich dann in bis zu etwa acht nebeneinander angeordnete Kokillen. Innerhalb der 70 bis 90 cm langen Kokille kühlt der Stahl so stark ab, dass sich eine äußere feste Hülle bildet. Der noch glühendheiße Stahlstrang verlässt die Kokille am Boden und wird in der anschließenden Sekundärkühlstrecke mit Druckwasser besprüht. Dadurch erstarren nach kurzer Zeit auch die inneren Zonen.

Um Reibung zwischen der Kokille und dem Stahlmantel zu verringern, oszilliert die Kokille mit einer Frequenz von 60 bis 360 Hüben pro Minute und einer Amplitude von etwa 3 bis 10 mm. Außerdem wird die Reibung durch den induzierten Fluss des Gießpulvers zwischen Strangschale und Formwand reduziert.

In der kritischen Anlaufphase des Gießprozesses steigt der Füllstand in der Kokille über dem kalten Strang schnell an, sodass die Antriebe im richtigen Moment eingeschaltet werden müssen. Dadurch wird zuerst der Kaltstrang und anschließend der glühende Stahl über ein Rollensystem nach unten gezogen. Gleichzeitig

muss die Menge an hineinfließenden Stahl so gesteuert werden, dass ein Überlaufen verhindert wird. Die Gießgeschwindigkeit hängt dabei vom Gießquerschnitt ab und variiert zwischen 0,5 und bis zu mehr als 6 Metern pro Minute.

Abbildung 2 zeigt das Prinzip der Gießspiegelmessung und alle Komponenten der Stranggießmaschine, die durch das Steuersystem beeinflusst werden können.

Abhängig von der Gießgeschwindigkeit muss die Kokille kontinuierlich mit ausreichend flüssigem Stahl versorgt werden, um das Stahlniveau in der Kokille konstant zu halten. Es gibt ein metallurgisches Optimum für das richtige Kokillenniveau. Wenn der Füllstand zu hoch wird, besteht die Gefahr, dass die Kokille überläuft oder Dichtungselemente am Kokillenkopf verbrennen. Bei einem zu geringen Stahlfüllstand ist die Kühlwirkung unzureichend und die erstarrte Außenhülle des Stranges wird so dünn, dass diese unter der Gießform durchbrechen kann und der noch flüssige Kern ausläuft. Sowohl ein Überlauf als auch ein Durchbruch führen zu einer Betriebsunterbrechung, die mit sehr hohen Kosten verbunden ist, da Reparaturen und Reinigungen mehrere Stunden in Anspruch nehmen. Insbesondere bei hochwertigen Stählen besteht ein metallurgischer Zusammenhang zwischen der gleichmäßigen Abkühlung und der Qualität der Kristallisation bzw. der beim Erstarren des Stahls entstehenden Mikrostruktur.

Die Menge an flüssigem Stahl, die den Stahlverteiler in den einer bestimmten Zeitspanne verlässt, ist nicht konstant, da sich der Querschnitt des Keramikauslasses durch Verschleiß oder Ansammlung von Schlacke bzw. Aluminiumoxid verändern kann. Zusätzlich wird der Stahlfluss durch den schwankenden, ferrostatischen Druck aufgrund von Änderungen des Stahlfüllstands im Verteiler beeinflusst. Infolgedessen würde sich der Füllstand in der Gießform ändern, wenn die Stahlzufuhr nicht entweder durch einen einstellbaren Durchfluss oder die Strangauslaufgeschwindigkeit gesteuert würde. Die Online-Messung des Stahls in der Kokille ist daher eine Voraussetzung für die Steuerung des Stellglieds, um einen zuverlässigen Betrieb der Füllstandsregelung zu erreichen. Besonders hohe Anforderungen werden an das Steuerungssystem gestellt, vor allem, wenn dieses auch den Gießbeginn automatisch verwalten soll.

Bevor die Automatisierung des kritischen Stahlniveaus möglich war, wurden die notwendigen Arbeitsschritte manuell von einem Arbeiter durchgeführt, der dafür ständig in die Kokille schauen und das Stahlniveau beobachten musste. Über ein Potentiometer wurde

dann die Entnahmegeschwindigkeit beeinflusst oder die Durchflussmenge aus dem Verteiler wurde mittels einem langen Hebel mit einem Stopfen gesteuert. Diese Arbeit erforderte höchste Konzentration, was einen häufigen Personalwechsel mit sich zog.

Das Zusammenstellen einer einzelnen Pfanne dauert je nach Größe der Pfanne etwa 40 bis 60 Minuten. Es ist üblich, eine sequentielle Gießen durchzuführen, bei dem mehrere Pfannen unmittelbar hintereinander gegossen werden, ohne den Stahlverteiler zu wechseln. Auf diese Weise kann der Gießprozess auf viele Stunden ausgedehnt werden und Verluste am Anfang und Ende des Strangs werden vermieden. Außerdem werden die Kosten für die Erneuerung der Auskleidung im Verteiler durch den Wegfall von Rüstzeiten reduziert. Von den vielen empfohlenen und erprobten Gießspiegelmessverfahren dominieren heute zwei Technologien: die radiometrische und elektromagnetische Technologie. Weltweit sind mehr als sechstausend Stränge mit radiometrischen Messsystemen ausgerüstet, die sich bei der Gießspiegelmessung auf diese Technologie verlassen. Radiometrie ist die am häufigsten verwendete Technologie für diese Anwendung.

Abb.2 Prinzip der Gießspiegelmessung und -regelung

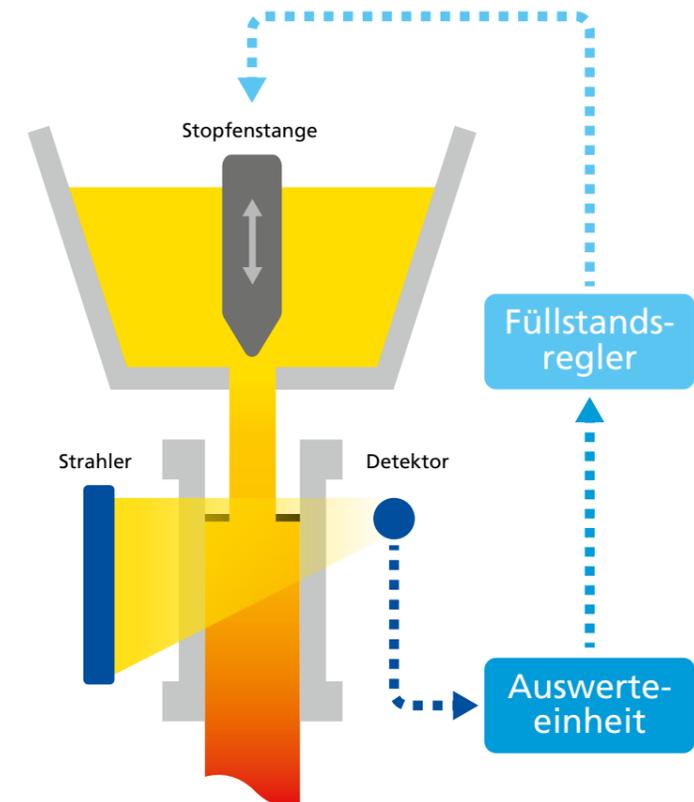
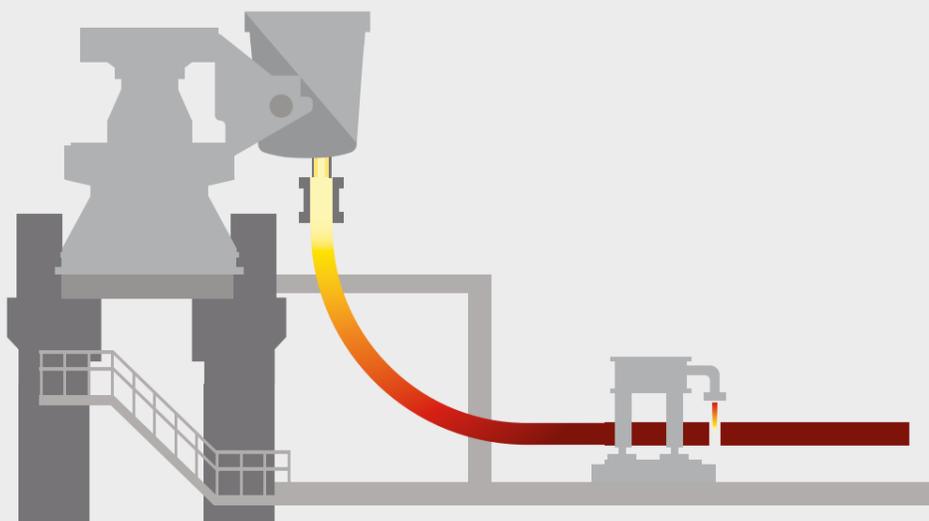


Abb.1 Schematische Darstellung einer Stranggießanlage



Radiometrische Gießspiegelmessung

Ein radiometrisches Gießspiegelmesssystem besteht aus drei Hauptkomponenten:

- radioaktive Quelle
- Szintillationszähler (Detektor)
- Auswerteeinheit

Die Quelle sendet Gammastrahlung aus, die auf den Detektor trifft, welcher diese wiederum zuerst in Licht und dann in elektrische Impulse umwandelt. Der Detektor übergibt die Impulse an die Auswerteeinheit, welche dann die Informationen anhand der aufgezeichneten, gespeicherten und aktiven Kalibrierkurve in einen Gießspiegelfüllstandswert umwandelt. Die Standardkalibrierkurve für ein radiometrisches Gießspiegelmesssystem ist dann in der Regel eine Kurve, die durch eine gerade Interpolation durch die Werte 0 % (leere Form) und 100 % (die Form wird mit einem passenden Stahlblock gefüllt) ermittelt wird (vgl. Abbildung 4). Für eine noch höhere Präzision erlauben moderne Systeme auch nichtlineare Kalibrierkurven mit bis zu 21 verschiedenen Punkten, die mit Hilfe einer Kalibriervorrichtung automatisch aufgezeichnet werden können.

Radiometrische Gießspiegelmesssysteme sind äußerst robust und halten den rauen Mess- und Umgebungsbedingungen der Metallindustrie Stand. Sowohl Strahler als auch Detektor befinden sich normalerweise innerhalb der Kokille und sind somit gut gegen die Überfüllung der Form geschützt. Moderne Detektoren können bei einer Dauerbetriebstemperatur von bis zu 70 °C eingesetzt werden und können bei Bedarf mit Wasserkühlung geliefert werden.

Jeder einzelne elektrische Impuls wird als EMV-beständiger, verstärkter Spannungsimpuls vom Detektor an die Auswerteeinheit gesendet. Moderne Systeme verwenden auch eine Duplex-Kommunikation zwischen Detektor und Auswerteeinheit über eine standardisierte industrielle Kommunikationsschnittstelle, die die Robustheit und Redundanz des Systems noch weiter verbessert.

Der Gammastrahler und der Detektor sind auf der Kokillenkonstruktion so angeordnet, dass der

gewünschte Messbereich abgedeckt wird. Basierend auf theoretischen Überlegungen und praktischen Erfahrungen reichen Messbereiche zwischen 100 und 200 mm aus, um mögliche Störgrößen zu kompensieren und einen automatischen Gießstart zu ermöglichen. Die Länge des verwendeten Stabstrahlers kann an die Formgeometrie angepasst werden, um den erforderlichen Messbereich zu erreichen. Indem die Dicke der Kupfer-, Wasser- und Stahlschichten im Strahlungsweg so weit wie möglich verringert wird, ist es möglich, die notwendige Strahleraktivität gering zu halten und somit den Aufwand für den Strahlenschutz zu minimieren.

Abb.3 Hauptbestandteile eines radiometrischen Messsystems

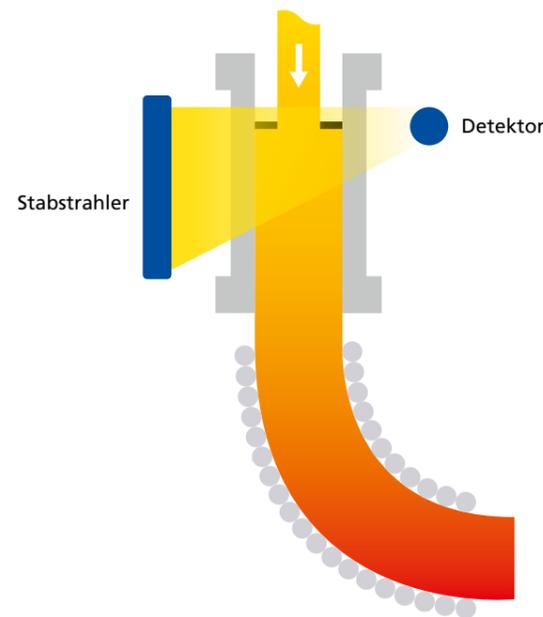


Abb.4 Kalibrierkurve für ein radiometrisches Messsystems

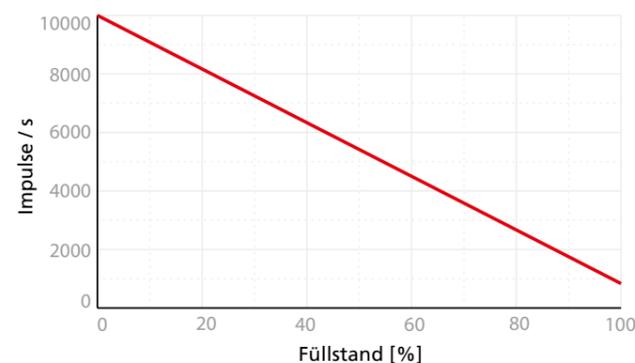


Abb.5 Anordnung mit reduziertem Wassermantel

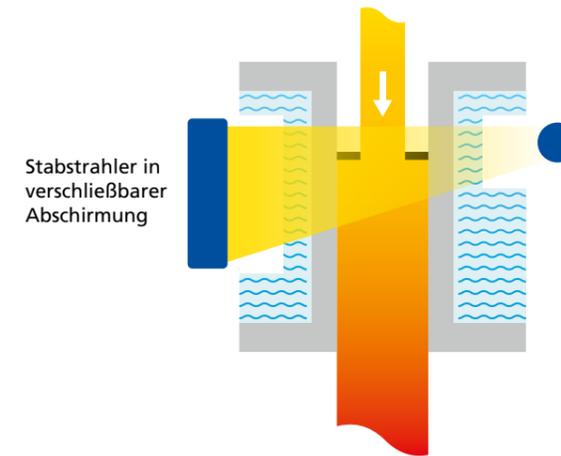


Abb.6 Interne Anordnung

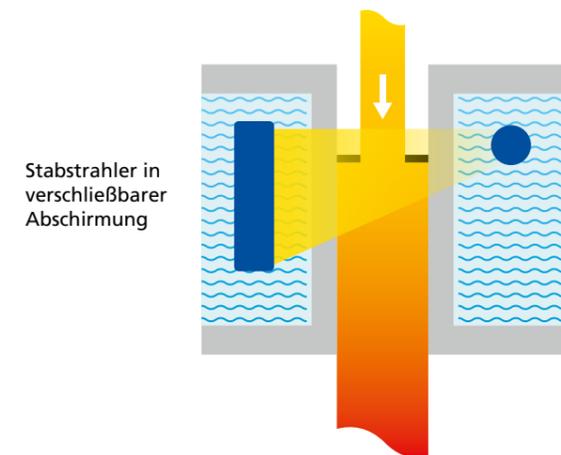
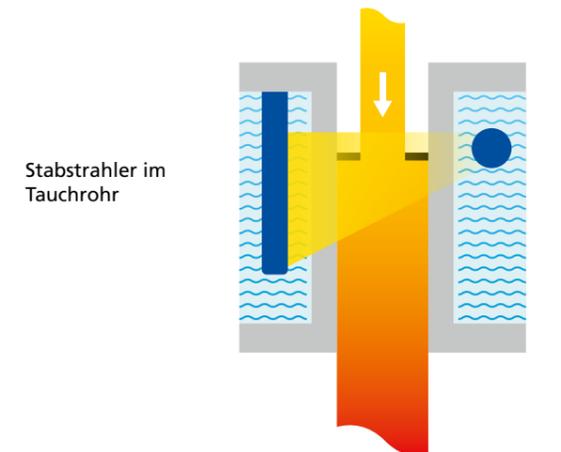


Abb.7 Innere Anordnung mit Tauchrohrtube



Bei der äußeren Anordnung ist der Strahler in einer Abschirmung installiert, die außerhalb des Wassermantels an der Form befestigt ist. Um hier die Abschwächung der Strahlung zu verringern, werden der Wassermantel und die Wasserschicht weitgehend reduziert.

Je nach Platzverhältnissen kann der Detektor entweder außerhalb der Form oder innerhalb des Wassermantels angebracht werden.

Diese Anordnung wird bei Rohrkokillen für Knüppelgießformate bevorzugt.

Die interne Anordnung erfordert die Installation von Abschirmung inkl. Strahler in den Wassermantel oder den Tragrahmen der Form. Der Detektor wird mit Hilfe eines Tauchrohrs horizontal innerhalb des Wassermantels angebracht.

Durch eine solche Anordnung wird eine ausreichende Reduzierung der Wanddicke der Kupferplatten sowie der Stahlplatten des Tragrahmens erreicht. Außerdem kann so auch der Abstand zwischen Strahler und Detektor verringert werden, was für Vorblock- und Brammenformate erforderlich ist.

Die Installation von Abschirmmaterial ist notwendig, wenn der Strahler im Wassermantel oder im Tragrahmen der Kokille ohne eigene Abschirmung installiert werden soll.

Diese Anordnung ist möglich, wenn der Platz begrenzt ist.

Der Ein- und Ausbau des Strahlers erfolgt mit Hilfe einer speziellen Abschirmung, die mit Hilfsgeräten ausgestattet ist und auf der Kokille oberhalb des Tauchrohrs platziert wird. Der Strahler kann dann mittels einer Verlängerungsstange in das sich in der Kokille befindliche Tauchrohr eingeführt werden, ein direkter Kontakt mit dem Strahler wird somit vermieden. Diese Anordnung erfordert eine besonders geringe Aktivität des Strahlers und hat den Vorteil, dass auch bei Nachrüstungen keine größeren Umbaumaßnahmen erforderlich sind.

Statistische Streuung

Ionisierende Strahlung wird beim Zerfall radioaktiver Stoffe freigesetzt. Radioaktive Zerfälle folgen einer statistisch verteilten Regelmässigkeit, was bedeutet, dass selbst bei konstantem Gießfüllstands das Ausgangssignal statistischen Schwankungen unterliegt. Diese Schwankungen sind physikalischer Art und keine realen Niveauschwankungen. Die statistische Standardabweichung (σ) hängt dabei von der registrierten Impulsrate (N) des Detektors und der Zeitkonstante (τ) der Auswerteeinheit für die Signalverarbeitung ab. Die relative Standardabweichung kann mit der folgenden Formel ausgedrückt werden:

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{1}{\sqrt{2 * N * \tau}}$$

Für eine Standardabweichung von 1σ gilt, dass ca. 68% aller Messwerte innerhalb des Bereichs der Abweichung $\pm \sigma$ um den Erwartungswert herum liegen. Als typischer statistischer Fehler wird der 2σ -Wert angenommen, womit ca. 95,5 % aller Messwerte abgedeckt sind. Von einer maximalen statistischen Schwankung spricht man beim 3σ -Wert (99,7% aller Messwerte sind abgedeckt). Für eine Messung ist es durchaus üblich, mit dem 3σ -Wert für statistische Fehler zu rechnen. Aus der Formel für den statistischen Fehler geht hervor, dass die Beeinflussung der Schwan-

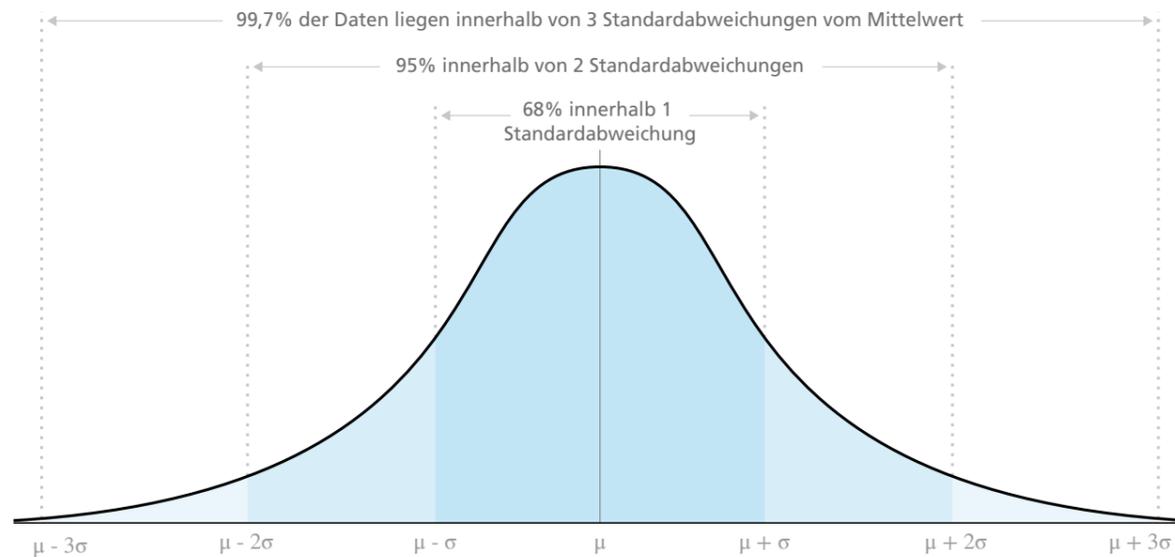
kungsbreite nur durch Änderung der Impulsrate oder der Zeitkonstante möglich ist.

Eine Erhöhung der Impulsrate kann bei der gegebenen Messgeometrie durch Erhöhung der Strahleraktivität oder der Detektorempfindlichkeit erreicht werden. Die Strahleraktivität ist jedoch durch die maximal zulässige Dosisleistung außerhalb der Kokillenabdeckung und dem zur Verfügung stehenden Platz für die Blei- oder Wolframabschirmung begrenzt.

Auch eine Erhöhung der Zeitkonstante ist aus regelungstechnischen Gründen nur begrenzt möglich. Typische Messbereiche reichen von 100 mm bis etwa 200 mm und da die Gießgeschwindigkeit bei kleinen Gussquerschnitten etwa 100 mm pro Sekunde beträgt, wird der volle Messbereich beim Anfahren bereits in 1 bis 2 Sekunden abgedeckt. Unter diesen Umständen muss die Zeitkonstante beim Gießstart für schnelle Gießer zwischen 0,2 und 0,5 Sekunden liegen.

Modernste Elektronik ermöglicht es, den statistischen Fehler des Gießspiegelsignals durch den Einsatz dynamischer Filter erheblich zu verringern. Bei der Realisierung geht man davon aus, dass im normalen ungestörten Gießprozess die möglichen Gießspiegelschwankungen viel geringer sind als beim Gießen und andere unregelmäßige Änderungen nicht zu erwarten sind. Unter diesen Umständen kann der Betrieb mit einer wesentlich kürzeren Zeitkonstante fortgesetzt werden.

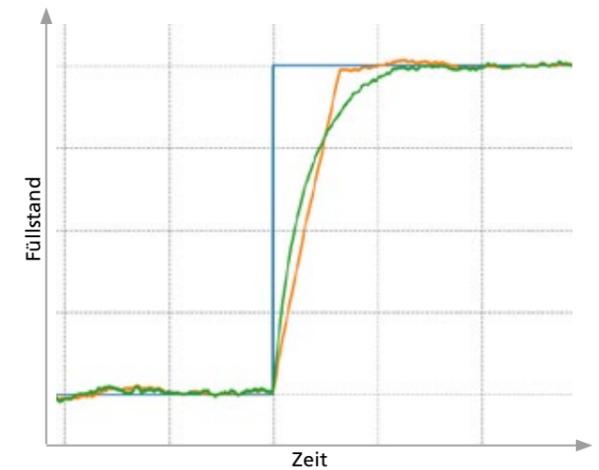
Abb.8 Dichtefunktion der Normalverteilung



Zeitkonstante und Systemreaktionszeit

Für den Umgang mit statistischen Schwankungen verwenden moderne radiometrische Systeme ausgeklügelte Algorithmen zur Glättung des Rohsignals unter Beibehaltung einer angemessenen Systemreaktionszeit. Die Implementierung eines RC-Filters mit einstellbarer Zeitkonstante bringt mehrere Vorteile gegenüber z. B. der Verwendung eines Filters mit gleitendem Mittelwert. Der Hauptvorteil des RC-Filters im Vergleich zu einem Filter mit gleitendem Mittelwert und gleicher Standardabweichung besteht darin, dass der RC-Filter schneller reagiert. Abbildung 9 zeigt, wie ein RC-Filter (grüne Linie) und ein Filter mit gleitendem Mittelwert (orange Linie), die die gleichen Standardabweichungen aufweisen, auf eine Sprungänderung des idealen Signals (blaue Linie) reagieren.

Abb.9 Vergleich zwischen RC-Filter (grün) und gleitender Mittelwert-Filterantwort (orange) auf eine Sprungänderung (blau)

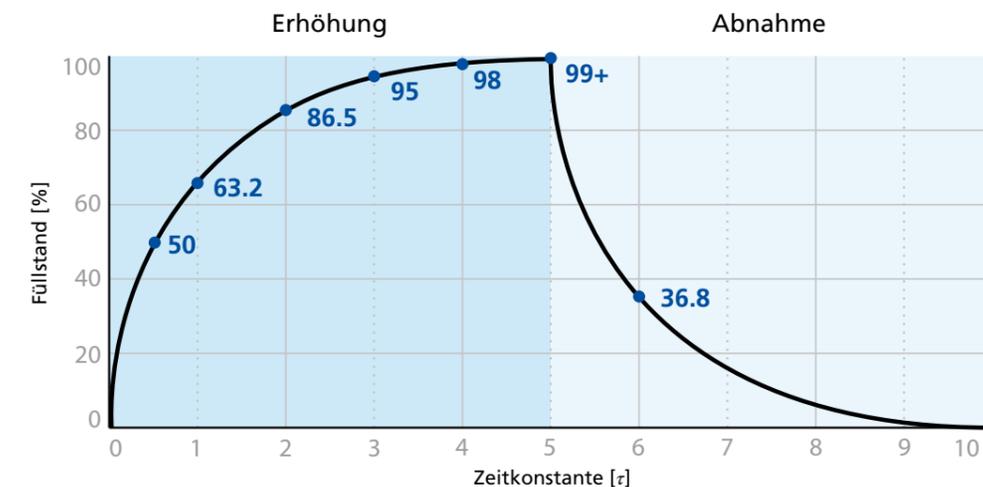


Unter normalen Gießbedingungen liegen die tatsächlichen Füllstandsänderungen in einem Bereich von $\pm 1\%$ und die RC-Filter-Implementierung bietet ein schnell reagierendes Messsystem. Abbildung 10 zeigt die Zeitverzögerung eines RC-Filter. Bei einem RC-Filter wird eine Füllstandsänderung von 63 % innerhalb einer Zeitkonstante bzw. knapp 50 % Änderung in einer halben Zeitkonstante auf das Ausgangssignal übertragen. Bei Verwendung einer Zeitkonstante von 1 s würde sich bei einer sofortigen Befüllung der Kokille von 0 % bis 100 % bei 100 %ig halten. Folgende Ausgabeantworten würden sich anschließend ergeben:

- 50 % nach 0,5 s
- 63 % nach 1 s
- 86.5 % nach 2 s
- 95 % nach 3 s
- 100% nach 5 s

Wie in Abbildung 10 zu sehen, reagiert ein RC-Filer schnell auf Änderungen, benötigt dennoch etwa 5 Zeitkonstanten, um die volle Wirkung einer Änderung zu erzielen. Das bedeutet, dass ein RC-Filter sehr gut für kleine schnelle Änderungen geeignet ist, wie es z. B. bei einer Gießspiegelmessung der Fall ist. Moderne Systeme erlauben die Verwendung kürzerer Zeitkonstanten in der Anfahrphase eines Stranggußprozesses, da hier die Reaktionszeit des Systems wichtiger als die Präzision ist. Die Systemaktualisierungszeit ist natürlich auch ein wichtiger Parameter, wobei ein modernes Gießspieglmesssystem etwa alle 5 ms einen neu berechneten Ausgabewert liefert, so dass der RC-Filter optimal arbeiten kann.

Abb.10 RC-Filter Zeitverzögerung



Optimierung der Leistung

Wie bereits beschrieben, kann die relative statistische Standardabweichung theoretisch wie folgt beschrieben werden:

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{1}{\sqrt{2 * N * \tau}}$$

Daraus ergibt sich, dass sowohl eine verlängerte Zeitkonstante (τ) als auch eine erhöhte Strahleraktivität bzw. Impulsrate (N) die Genauigkeit der Messung verbessern.

Unter Einbeziehung des Gesamtmessbereichs (L_t), des Gießsollwerts (L_{sp}) und unter Verwendung der Zählrate der leeren Form (N_{empty}) ergibt sich folgende Formel für die Systemstandardabweichung (σ_L) beim Gießsollwert in Millimetern.

$$\sigma_L = L_t \sqrt{\frac{1 - \frac{L_{sp}}{L_t}}{N_{empty} * 2 * \tau}}$$

Beispiel für eine Gießmaschine mit kleinem Querschnitt unter normalen Bedingungen:

$N_{empty} = 10\,000$ Impulse pro Sekunde

$\tau = 0,8$ s

$L_{sp} = 112,5$ mm (75 % des gesamten Messbereichs, L_t)

$L_t = 150$ mm

Daraus ergeben sich die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten statistischen Abweichungen.

Standardabweichung	Abweichung in mm
1 σ	0,6
2 σ	1,2
3 σ	1,8

Unter den gegebenen Bedingungen ist in 95% der Fälle mit einer Genauigkeit von +/- 1,2 mm oder besser und in 99,7 % der Fälle mit einer Genauigkeit von +/- 1,8 mm zu rechnen.

Für dieses Beispiel mit der doppelten Strahleraktivität ($N_{empty} = 20\,000$), ergibt sich folgendes Ergebnis.

Standardabweichung	Abweichung in mm
1 σ	0,4
2 σ	0,8
3 σ	1,3

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass die Strahleraktivität bzw. Detektorempfindlichkeit eine wesentliche Rolle für die erreichbare Messgenauigkeit spielen. Durch Umstellen der Formel kann die minimal akzeptable Leerzählrate N_{empty} für die Bedingungen und eine erforderliche statistische Abweichung (σ_L) ermittelt werden.

Die goldenen Regeln, für die Präzision einer radiometrischen Gießspiegelmessung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Eine höhere Leerzählrate (N_{empty}) verbessert die Genauigkeit im gesamten Messbereich.
- Eine erweiterte Zeitkonstante (τ) ergibt ein glatteres Füllstandsignal, aber eine langsamere Reaktionszeit
- Ein höherer Sollwert (L_{sp}) für den Gießspiegel verbessert die Genauigkeit der Messung.

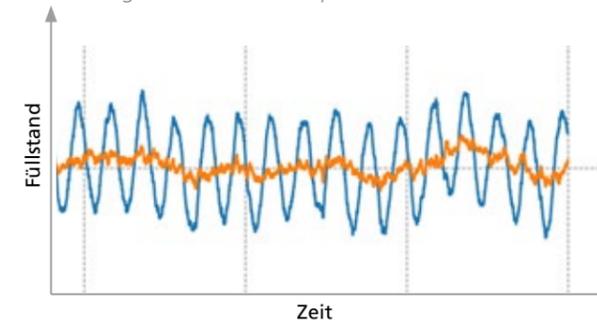
Einflussfaktoren

Oszillation der Kokille

Wie bereits beschrieben, oszilliert die Kokille während des Gießens. Da Strahler und Detektor oft direkt in der Kokille montiert sind, folgen diese der Bewegung, was eine relative Änderung in Bezug auf das Gießniveau bedeutet. Im Prinzip wird diese Oszillation also auf das Ausgangssignal des Füllstandmesssystems übertragen. Für die meisten Gussformate wird dieser Einfluss so weit gemittelt, dass die Störung praktisch vernachlässigbar wird.

Bei Formaten mit einer Hubfrequenz unter ca. 180 Hüben pro Minute kann das Kokillenoszillationssignal das Kokillenniveausignal negativ beeinflussen. In modernen Systemen kann dieser Einfluss jedoch mit Hilfe der digitalen IIR-Filterung (Infinite Impulse Response) dynamisch herausgefiltert werden, ohne dass die Signalqualität oder die Reaktionszeit nennenswert beeinflusst werden (vgl. Abb. 11).

Abb. 11 Signal ohne (blau) und mit Formoszillationskompensation (rot) für eine Gießmaschine mit niedriger Formoszillationsfrequenz



Gießpulver

Als die Radiometrie anfänglich zur Messung des Gießspiegels eingesetzt wurde, war der offene Guss mit Öl als Schmiermittel das Standardverfahren. Die dünne Ölschicht auf dem geschmolzenen Stahl in der Kokille, hatte keinerlei Einfluss auf das Gießspiegelsignal. Mit Einführung des geschlossenen Gießverfahrens, bei dem Gießpulverschichten von mehreren Zentimetern verwendet werden, wurde die Pulverschicht zu einem Einflussfaktor auf die Messung. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung von Cs-137 als Strahlenquelle und beruht auf dessen geringerer spezifischer Energie, siehe auch Abschnitt Strahler.

Neben dem eingesetzten Nuklid wird auch die Querschnittsform durch das Gießpulver beeinflusst. Große Querschnittsformate werden aufgrund des längeren Strahlenweges im Pulver und einer damit größeren Abschwächung der Strahlung als bei kleineren Kokillen mehr beeinflusst. Bei größeren Kokillen wird bereits in der Konstruktionsphase versucht, die Länge des Strahlenganges zu reduzieren, was häufig zur Verwendung der Kokillenecken anstelle des Querschnitts führt. Neueste Entwicklungen berücksichtigen den Einfluss des Gießpulvers und haben damit für die Radiometrie einen weiteren Vorteil geschaffen, indem eine kontinuierliche Messung des Stahl- und der Pulverstandes gleichzeitig möglich ist. Bisher eingesetzte Kombinationen verschiedener anderer Technologien, um die Pulverschichtinformation zu liefern, führten zu nicht zufriedenstellenden Ergebnissen. Hier bietet die Radiometrie einen großen Vorteil, da sie zwei Füllstandsmessungen mit einer einzigen, bewährten und robusten Technologie ermöglicht.

Elektromagnetische Felder

Seit der Einführung des radiometrischen Gießspiegelmessung werden nahezu ausschließlich Photomultiplerröhren (PMT) in Detektoren eingesetzt. Da die PMT-Technologie auf frei fliegenden Elektronen basiert, reagieren PMTs empfindlich auf Störungen durch starke elektromagnetische Felder. Solche Felder lenken die Flugbahn der Elektronen ab und verursachen dadurch eine falsche Verstärkung. Diese Empfindlichkeit war lange Zeit kein Thema, da starke elektromagnetische Felder im Gießspiegel nicht vorhanden waren. Mit der Einführung von elektromagnetischen Rührwerken (EMS) und elektromagnetischen Unterbrechungen (EMBr) zur Verbesserung der Qualität des produzierten Stahls mussten radiometrische Gießspiegeldetektoren daraufhin mit speziell konstruierten Detektorgehäusen abgeschirmt werden.

Neuere Entwicklungen im Bereich der Halbleitertechnik haben siliziumbasierte Photomultiplier (SiPM) hervorgebracht, die praktisch immun gegen Einflüsse durch Elektromagnetismus sind. Die Verwendung von EMBr oder EMS erfordert die Verwendung von SiPM-basierten Detektoren, um Störungen zu vermeiden. Zur Zeit ist nur ein Anbieter für radiometrische Gießspiegelmessungen mit SiPM-basierten Detektoren auf dem Markt.

Strahlenquellen

Relevante Nuklide

Es gibt praktisch nur zwei verschiedene Nuklide, die für die radiometrische Gießspiegelmessung verwendet werden können: Cs-137 und Co-60. Aus mehreren Gründen ist Co-60 das geeignetere Nuklid für eine Gießspiegelanwendung. In der nachstehenden Tabelle sind mehrere relevante Parameter der beiden Nuklide aufgeführt.

Die spezifische Gammaenergie von Cs-137 ist nur ungefähr halb so groß wie die von Co-60, was bedeutet, dass die niederenergetische Strahlung schneller abgeschwächt wird und damit die Intensität beim Erreichen des Detektors stark abgenommen hat. Um die geringere Gammaenergie des Cs-137 zu kompensieren, muss die tatsächliche Menge des radioaktiven Materials, also die Aktivität, deutlich erhöht werden (bis zum Fünffachen), um dennoch die gewünschte Messgenauigkeit zu erreichen. Der Einsatz von Co-60 ermöglicht die Verwendung einer geringeren Strahleraktivität.

Auch aufgrund der spezifischen Energie hat das Gießpulver bei Verwendung von Cäsium-Quelle einen wesentlich größeren Einfluss auf das Gießspiegelsignal als bei Co-60.

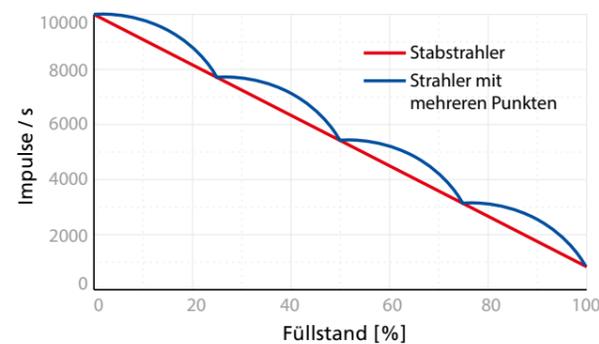
Bei einer Cs-137-Quelle ist das radioaktive Material in eine Kapsel eingebettet, somit besteht eine typische Cs-137-Stabquelle eigentlich aus mehreren solchen Punktquellen. Bei einer Kobalt-Stabquelle ist aktivierter Kobaltdraht (Co-60) auf einen Träger aufgewickelt. Durch diese Wicklung wird eine lineare Kalibrierkurve erreicht, was wiederum ein einfaches Zwei-Punkt-Kalibrierverfahren ermöglicht.



Abb.12 Stabstrahler mit Wendelstruktur

Betrachtet man die Halbwertszeiten der beiden Nuklide, so mag Cs-137 auf den ersten Blick als wirtschaftlich vorteilhafter erscheinen, aufgrund seiner wesentlich höheren Kosten ist dies jedoch selten der Fall. Darüber hinaus liegen die nationalen gesetzliche empfohlenen Lebensdauern für radioaktive Quellen, unabhängig vom Nuklid, normalerweise im Bereich von 10–15 Jahren.

Abb.13 Kontinuierlicher Stabstrahler vs. Strahler mit mehreren Punkten



Aktivitätsoptimierte Strahler

Früher war eine lineare Ansprechkurve fast eine Voraussetzung für ein gut funktionierendes Messsystem. Mit moderner Elektronik lässt sich nahezu jede Kokille mit einer monotonen Kennlinie bedienen. Die Auslegung des Strahlers, der als Activity Optimized Source (AOS) bezeichnet wird, ermöglicht eine der beiden folgenden Eigenschaften:

- Verbesserte Präzision bei unveränderter Strahleraktivität
- Kleinere Strahleraktivität bei unveränderter Genauigkeit

Diese beiden Funktionen basieren auf einer Auswertelektronik, die mindestens eine Dreipunkt-Kalibrierkurve verarbeitet, und das 50 %-Niveau als Mittelwert auslegt.

Verbesserte Präzision bei unveränderter Strahleraktivität:

Dies wird erreicht, indem die Aktivitätsverteilung durch unterschiedliche Wicklung entlang des Stabes

geändert wird. Der untere Teil des Strahlers ist nur zu Beginn des Gießens nutzbar und zudem sind die Genauigkeitsanforderung hier nicht so hoch, wodurch geringere Aktivitäten ausreichend sind. Der obere Teil des Strahlers ist während des normalen Gießens von Bedeutung, sodass die Erhöhung der Aktivität in diesem Bereich die Gießpräzision verbessert. Die Gesamtaktivität des Strahlers bleibt dennoch konstant.

Geringere Strahleraktivität bei unveränderter Präzision:

Durch eine einfache Reduzierung der Präzision im unteren Teil der Form (unter 50 %) kann die Präzision im wichtigen Kontrollbereich der Kokille konstant gehalten werden, während die Strahleraktivität im Gesamten reduziert wird. Besonders bei der Verwendung kleiner Abschirmungen ist eine Reduzierung der Aktivität hilfreich.

Abb.14 Verbesserte Präzision bei unveränderter Strahleraktivität

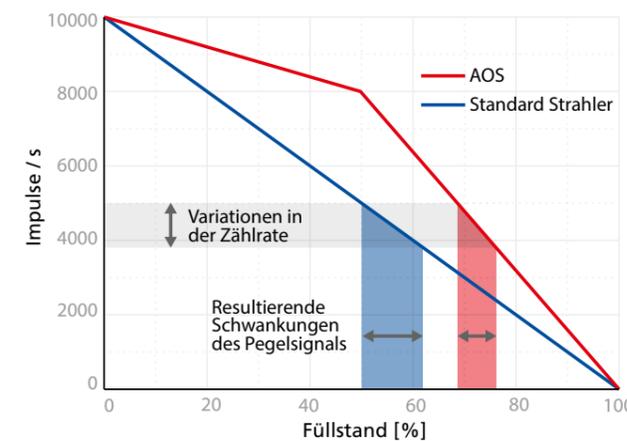


Abb.15 Kleinere Strahleraktivität bei unveränderter Präzision

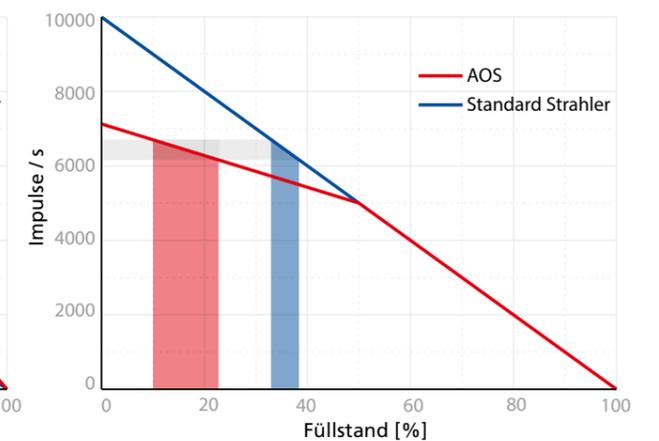


Abb.14 Relevante Cs-137- und Co-60-Parameter

	Cs-137	Co-60
Spezifische Gammaenergie	660 keV	1173/1332 keV
Strahleraktivität	Höher (bis zu 5-mal)	Niedriger
Gießpulvereinfluss	Hoch	Niedrig
Gammaenergie	Keramik Punktstrahler	Metalldraht
Stabform	Mehrere Punktstrahler	Kontinuierlich
Preisgestaltung	Hoch	Wirtschaftlichste
Kalibrierung	Nichtlinear	Linear
Halbwertszeit	30,18 Jahre	5,27 Jahre
Lebensdauer Gesetzgebung	Nationale Gesetzgebung	Nationale Gesetzgebung
Geplante Lebensdauer	10 (-15) Jahre	10 (-15) Jahre

Zusammenfassung

Die Radiometrie ist aus guten Gründen die am häufigsten verwendete Technologie zur Messung des Gießspiegels beim Stranggießen von Stahl. Sie ist seit mehr als 50 Jahren im Einsatz und kann für nahezu alle Kokillenformate und Umgebungsbedingungen eingesetzt werden. Diese Technologie bietet eine beispiellose Robustheit. Moderne Systeme beinhalten eine ausgeklügelte Filterung zur Unterdrückung der Kokillen-Oszillation sowie den statistischen Schwankungen und liefern eine echte Reaktionszeit von 5 ms. Führende Anbieter bieten radiometrische Detektoren auf Basis der SiPM-Technologie an, die vollständig EMV-unempfindlich

sind und ohne besondere Vorkehrungen parallel zu EMB oder EMS betrieben werden können.

Co-60 ist das bevorzugte Nuklid für radiometrische Gießspiegelmessungen und bietet im Vergleich zum teureren und niederenergetischeren Cs-137 nur Vorteile. Neuere Entwicklungen haben radiometrische Detektoren hervorgebracht, die während des Stranggießens gleichzeitig den Stahl- und den Pulverstand messen können. Mit dieser Funktionalität wird die Radiometrie bis auf Weiteres die erste Wahl für Gießspiegelmessungen beim Stranggießen bleiben und stellt damit eine zukunftssichere Investition dar.



DIE EXPERTEN FÜR PROZESSMESSTECHNIK

Berthold Technologies steht für exzellentes Know-how, hohe Qualität und Zuverlässigkeit. Der Kunde steht bei unserer Lösung immer im Mittelpunkt. Wir kennen unser Geschäft!

Mit unserem vielfältigen Produktportfolio, unserem enormen Fachwissen und unserer langjährigen Erfahrung entwickeln wir gemeinsam mit unseren Kunden passende Lösungen für neue, individuelle Messaufgaben in den unterschiedlichsten Branchen und Anwendungen. Berthold Technologies ist seit 70 Jahren auf radiometrische Prozessmessungen spezialisiert. Dies ist unsere Kernkompetenz mit hochmodernen und innovativen Produkten und Lösungen für eine Vielzahl von Branchen und Anwendungen.

Wir sind für Sie da – weltweit!

Die Ingenieure und Servicetechniker von Berthold Technologies sind immer vor Ort, wenn sie gebraucht werden. Unser globales Netzwerk sichert Ihnen im Bedarfsfall eine schnelle und vor allem sehr kompetente Unterstützung. Wo auch immer Sie sich befinden, unsere hoch qualifizierten Experten und Spezialisten stehen bereit und sind in kürzester Zeit bei Ihnen, um mit der idealen Lösung selbst die schwierigsten Messaufgaben zu meistern.

Berthold Technologies GmbH & Co. KG

Calmbacher Straße 22 · 75323 Bad Wildbad · Germany
+49 7081 1770 · industry@berthold.com · www.berthold.com

