

1 Einleitung und Zielstellung

1.1 Einleitung

Seit Mitte der sechziger Jahre werden Stahlbrammen im Stranggussverfahren hergestellt. Die Stahlschmelze wird in einem Pfannengefäß aus dem Stahlwerk kommend in den Pfannendrehturm der Stranggießanlage eingesetzt. Dieser kann in der Regel zwei Gefäße aufnehmen (Abbildung 1-1). Während aus der in Gießposition befindlichen Pfanne in einen darunter angeordneten Zwischenbehälter gegossen wird, kann bereits eine weitere gefüllte Pfanne auf der gegenüberliegenden Seite eingesetzt werden. Das Stahlvolumen im Zwischenbehälter ist so bemessen, dass das Heben, Drehen und Absenken ohne Unterbrechung des Gießprozesses erfolgt. Somit sind längere Gießsequenzen heute Stand der Technik.

Der Zwischenbehälter hat die Funktion eines Ausgleichsgefäßes. Der Zufluss an Flüssigstahl in die darunterliegende Kokille wird mit Hilfe eines Stopfenstangenmechanismus geregelt. Da häufig mehrere Gießstränge gleichzeitig versorgt werden, nennt man ihn auch Verteilerrinne. Die Stahlschmelze strömt durch ein aus feuerfestem Material bestehenden Tauchrohr in die Kokillen.

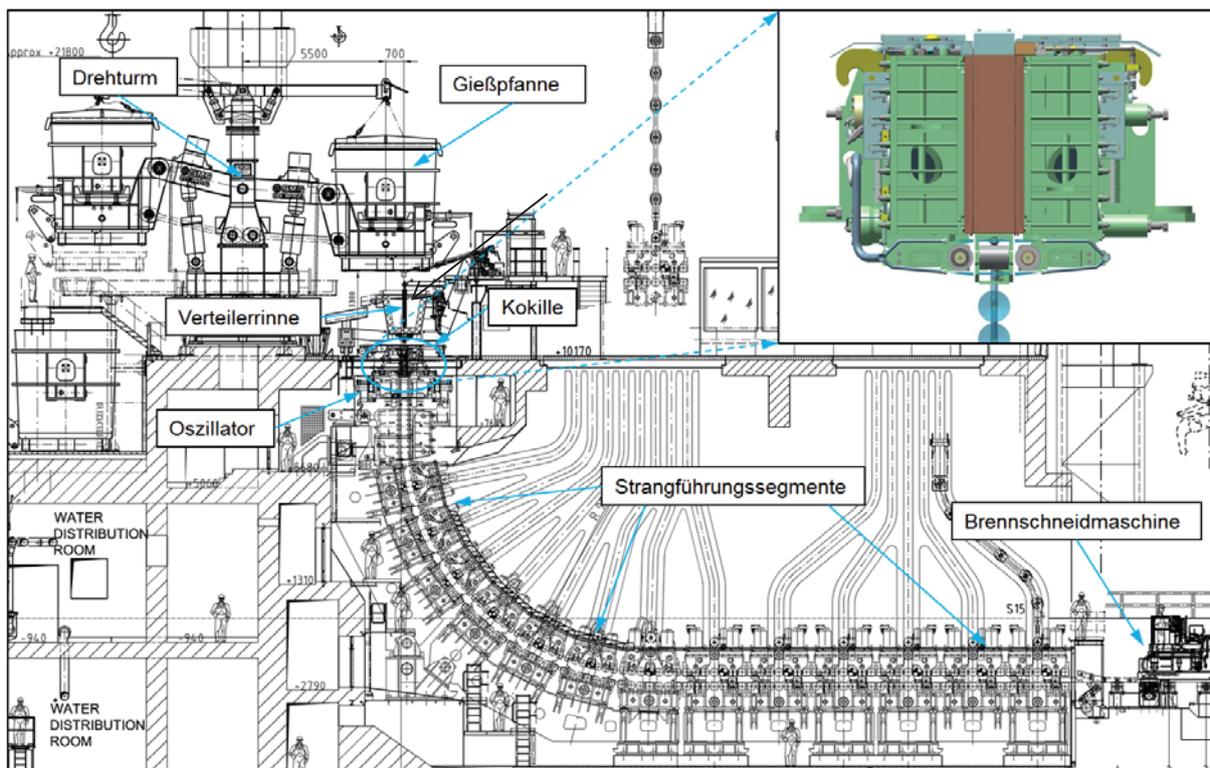


Abbildung 1-1: Konventionelle Brammenstranggießanlage - Längsschnitt [1]



Die Kokille ist die Kernkomponente der Stranggießanlage, in der dem Flüssigstahl die Überhitzungswärme entzogen wird, so dass sich ein erster, kontinuierlich anwachsender, Strangschalenkasten bildet. In dieser Zone der Primärerstarrung wird die Form und Qualität der produzierten Bramme maßgeblich beeinflusst. Damit die Strangschale nicht an den Kupferplatten anhaftet, wird die Kokille durch eine Oszillationsvorrichtung in vertikale oder kreisbogenförmige periodische Hubbewegungen versetzt. Durch kontinuierliches Zugeben von Gießpulver auf den Badspiegel des Flüssigstahls in der Kokille, schmilzt dieses auf und bildet einen flüssigen Schmierfilm, der in den Spalt zwischen Kupferplatte und der frischen Strangschale fließt. Die Oszillationsbewegung stellt in der Regel eine sinusförmige Hubbewegung dar, durch die immer wieder frische Gießschlacke in den Schmierpalt eingezogen wird.

Die Strangschale wächst durch den kontinuierlichen Wärmeabzug über die wasserdurchströmten, sehr gut die Wärme leitenden, Kokillenkupferplatten stetig an. Zu Beginn des Gießprozesses wird die flüssige Schmelze auf einen Kaltstrangkopf gegossen und verbindet sich formschlüssig mit seiner hakenförmig ausgebildeten Kontur. Der Kaltstrangkopf ist Bestandteil einer langen Anfahrkette, die über die nachfolgenden Strangantriebe kontinuierlich ausgezogen wird. Der sich zunehmend stabilisierende Strangschalenkasten wird so kontinuierlich aus der Kokille befördert.

Strangführungssegmente mit vielen Stützrollen verhindern, dass der nach dem Verlassen der Kokille noch flüssige Kern den Strangschalenkasten durch den hydro-statischen Druck zu stark ausbauchen lässt. Eine intensive Spritzkühlung mit Wasser oder Wasser-Luft Gemischen kühlt die erstarrende Bramme kontinuierlich weiter herunter. Im Bogenbereich der Anlage wird der im Inneren immer noch flüssige Brammenstrang von der Vertikalen in die Horizontale gebogen. Die letzten Segmente des Bogenbereiches richten den Strang, so dass er durch die nachfolgenden Segmente des Geradteils ausgefördert wird. In diesem Bereich endet der noch flüssige Kern und der Brammenstrang ist durcherstarrt. Die genaue Lage der sogenannten Sumpfspitze variiert in Abhängigkeit der Auszugsgeschwindigkeit und Kühlintensität. Nach dem Verlassen des letzten Horizontalsegmentes wird der Strang in eine Brennschneidmaschine gefördert und von dieser in definierte Brammenlängen geschnitten.

Der Kokille kommt innerhalb der Stranggießanlage eine besondere Bedeutung zu, da die Kühlung mit einer hohen Gleichmäßigkeit und Intensität erfolgen muss, damit sich die Strangschale homogen und spannungsarm bilden kann und somit möglichst fehlerfreie Brammen produziert werden. Wasserdurchströmte Kupferplatten sind das wesentliche Bauteil der Kokille, mit dem die Kühlintensität maßgeblich bestimmt wird.

Die Stahlsorten verhalten sich unterschiedlich im Hinblick auf ihr Erstarrungsverhalten und der damit verbundenen Schrumpfung ihres Volumens. Eine angepasste Formgebung der Kokillenkupferplatten ist ebenfalls von großer Relevanz für das Funktionieren des Stranggießprozesses. Die Kokille steht im Zentrum der Untersuchungen und Betrachtungen im Rahmen dieser Arbeit. Im Folgenden wird intensiv auf die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen der Strangschale und der Kokillengestalt eingegangen.



1.2 Zielstellung

Im Rahmen dieser Arbeit soll am Beispiel von Stranggießkokillen gezeigt werden, wie eine Wissensintegration von Daten und analytischen Beschreibungen aus der Prozesstechnik, Fluidtechnik und Metallurgie in die Konstruktionssysteme erfolgen kann. Eine Anreicherung der Informationsbasis im Sinne des Smart-Engineering wird angestrebt, um somit eine Basis für den zukünftig verstärkten vernetzten Datenaustausch im Umfeld von Industrie 4.0 zu ermöglichen. Die Absicherung der konstruktiven Entwürfe und Berechnungen mit Hilfe digitaler Prototyping-Systeme zum parametrischen Konstruieren ist dafür die Voraussetzung.

Ziel der Arbeit ist die analytische Erfassung und Implementierung verschiedenster Einflussparameter für eine optimale Erstarrung des Strangschalenkastens innerhalb der Brammenstranggießkokille und die Entwicklung konstruktiver und analytischer Vorschläge zur Verbesserung der Produktqualität spezieller Stahlsorten und für besondere Gießanforderungen. Besondere Beachtung soll den schmalen Seiten der Kokillengussform gewidmet werden, da in diesem Strangschalenbereich besonders viele Fehler entstehen können und hier ein großes Potential zur Verbesserung der Produktqualität besteht. Eine optimierte Gießformgestaltung und Anpassung der Formoberfläche sowie der Kühlgeometrie an das Schrumpfverhalten bieten hier Möglichkeiten zu Verbesserungen der gängigen Ausführungen.

Die Wechselwirkungen aus thermischer und statischer Belastung der Kokille führen zu verschiedenen Deformationszuständen der Stützrahmenkonstruktion. Diese gilt es für den Konstrukteur transparenter zu erfassen und ihm mit Hilfe des eigenen Rechneinsatzes die Möglichkeit zu geben, diese ungewünschten Zustände zu vermeiden oder zu minimieren. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die besonderen Wechselwirkungen, die sich aus der Kokillengestaltung ergeben, näher betrachtet werden und an das CAD-Produktmodell angebunden werden.

Die Erweiterung der Kenntnisse des Biegeverhaltens der Kokillenstützrahmensysteme wird angestrebt. Dadurch soll eine verbesserte Anstellung von Schmalseitenkupferplatten auf ihren jeweiligen Trägersystemen entwickelt werden. Spezielle Anforderungen bestehen dabei an eine kompakte Bauform und größtmögliche Flexibilität der Gießformate in Breitenrichtung und Dickenrichtung des Stranges mit möglichst ein und derselben Kokille. Die Temperaturen der Heißeiten der Kupferplatten müssen sich in einem bestimmten Zielkorridor befinden, um mit möglichst vielen Gießpulvern eine einwandfreie Schmierwirkung sicherzustellen. Gerade dem Bereich unterhalb des Gießspiegels innerhalb der Kokille kommt hierbei eine hohe Bedeutung zu, da in diesem Bereich die Strangschalenbildung empfindlich gegen Störeinflüsse ist.

Durch den Einsatz von KBE-Methoden sollen verfahrenstechnische Abhängigkeiten und bedeutsame prozesstechnische Kenngrößen enger an die Entwurfskonstruktion angekoppelt werden und dem Konstrukteur die Vor-Auslegung von zugeschnittenen Formsätzen erleichtern, ohne im ersten Ansatz weitere Fachexperten hinzuziehen zu müssen. Aus der metallurgischen Fachliteratur bekannte Beschreibungsansätze sollen erfasst und dem Konstruktionsingenieur zum Vergleich zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin soll den Entwurfskonstruktoren, mit Hilfe verschiedener Konfigurator-Analyse-Masken, ein systematisches Hilfsmittel zur Bewertung vorhandener Gießformen an die Hand gegeben werden. Die analytische Erstprüfung erlaubt bereits Rückschlüsse auf mögliche



Optimierungspotentiale und kann somit auch zu Diagnosezwecken herangezogen bzw. in die Anwendungslösung eingebunden werden.

Die Verknüpfung optimierter Oberflächendatensätze soll erarbeitet werden und hier beispielhaft in den CAD-Prozess mit Creo Parametric eingebunden werden. Hierbei sollen wegen der komplexeren angepassten Geometrie neue funktionale Beschreibungen oder Korrekturmatrizen zum Einsatz kommen und die Geometriefestlegung der Gießform mit Hilfe externer und interner mathematischer Berechnungen abgesichert werden. Der Informationsgehalt der Produktmodelle soll deutlich gesteigert werden und somit auch die Wertigkeit der Modelle. Durch diese Berechnungseinbindung und die Verknüpfung von Modellen, Baugruppen, Zeichnungen und Layouts kann ein ganzheitliches Produktmodellsystem aufgebaut werden, das letztlich disziplin-übergreifende Informationen beinhaltet und somit einen ganzheitlichen Ansatz unterstützt.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Koordinatendefinition

Zur theoretischen Beschreibung der in dieser Arbeit vorgestellten Prozesse des Stranggießens und der damit verbundenen verfahrenstechnischen Vorgänge innerhalb der Kokille, soll im Folgenden eine Koordinatendefinition (Abbildung 2-1) in kartesischen Koordinaten vorgenommen werden:

- x: Horizontale Richtung → in Ausförderrichtung der fertigen Brammen
- y: Vertikale Richtung → aus der Kokille hinaus nach unten
- z: Quer zur Gießrichtung → in Gießbreitenrichtung nach links

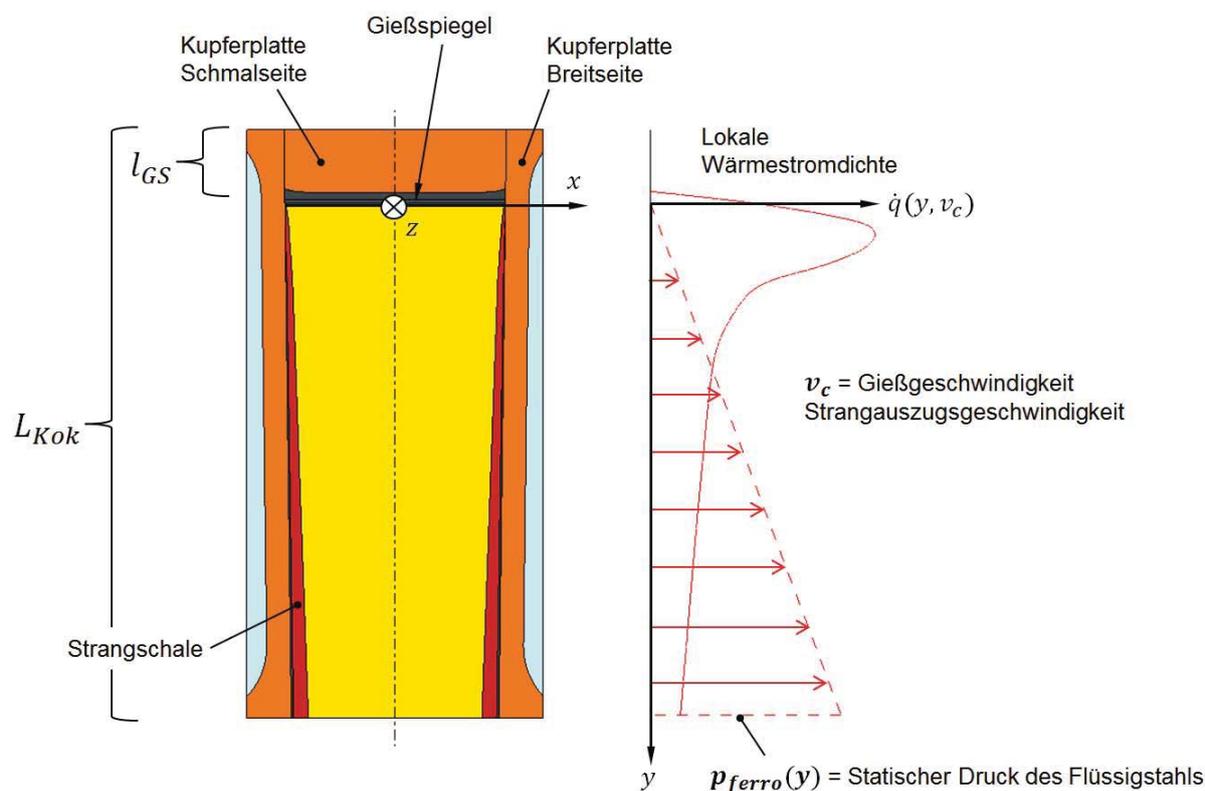


Abbildung 2-1: Koordinatendefinition Kokille

Aus dieser Festlegung lässt sich die aktive Kokilllänge $L_{akt} = L_{Kok} - l_{GS}$ als die Differenz aus der physikalischen Länge der Kokillenkupferplatten in y-Richtung und der eingestellten Lage $y_{ML} = l_{GS}$ der Flüssigstahloberfläche, auch Gießspiegel oder Meniskus genannt, beschreiben. Übliche Werte für die Lage des Meniskus von der Oberkante der Kupferplatten liegen zwischen 75 und 100 mm. Als nomineller Standardwert für weitere Berechnungen wird hier ein Wert von 100 mm festgelegt.



2.2 Vorgänge bei der Kokillenzillation

Damit der Stranggießprozess funktioniert, bedarf es, neben dem Einsatz von Gießpulver, das auf die flüssige Stahlschmelze in der Kokille aufgegeben wird, auch einer Auf- und Abwärtsbewegung der Kokille. Während der Abwärtsbewegung der Kokille überholt diese für eine kurze Zeit – der sogenannten Negativ-Strip-Zeit T_N – den kontinuierlich abgezogenen Strang und aufgeschmolzenes Gießpulver wird in den Spalt zwischen Strangschale und Kokillenwand hereingezogen (siehe Abbildung 2-2). Durch seine nun flüssige Konsistenz wirkt es als Schmiermittel und verhindert das Anhaften der Strangschale an der Kokillenwand und ermöglicht somit das Funktionieren des Stranggießprozesses.

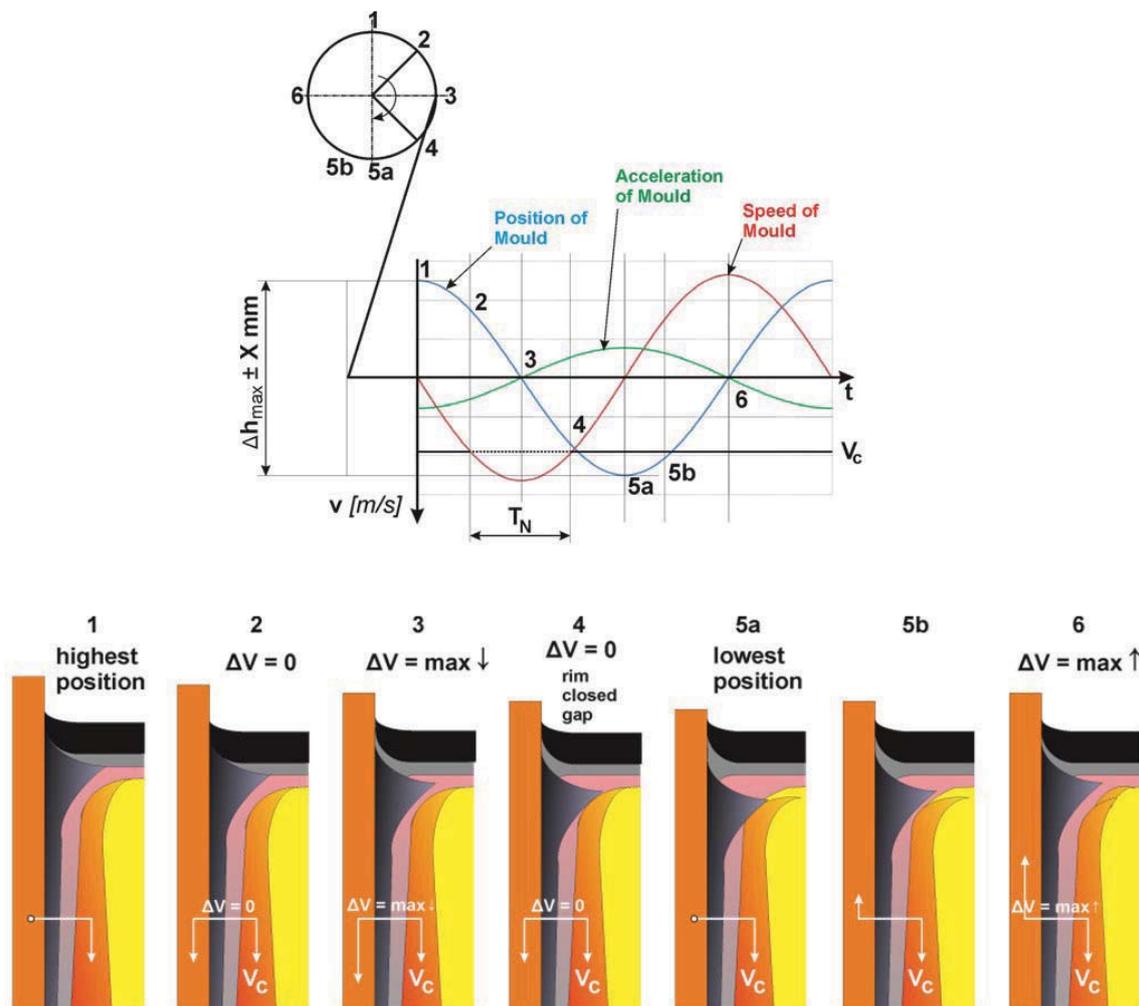


Abbildung 2-2: Negativ Strip Zeit [2]

$$T_N = \frac{1}{\pi f} \cos^{-1} \left(\frac{v_c}{\pi f H} \right)$$

Moderne Oszillationsvorrichtungen arbeiten heute mit hydraulischen Antrieben, wodurch die Oszillationsfrequenz f , die Hubhöhe H und Kurvenformen in gewissen Grenzen flexibel variiert werden und auf die besonderen Anforderungen von Stahlsorte und Gießpulver



optimiert angepasst werden können. Zur Erzeugung der gewünschten einwandfreien Produktqualität kommt es auf eine gute Abstimmung von Prozessparametern, Stahlsorte und Gießpulver an. Da der begrenzende Faktor häufig die Beschleunigung der Oszillationssysteme ist, stellt sich an die Kokillenkonstruktion einerseits die Anforderung einer hohen Formstabilität und auf der anderen Seite einer möglichst geringen oszillierenden Masse.

2.3 Stranggießkokille

2.3.1 Aufbau und Funktionen einer Stranggießkokille

Wie eingangs erwähnt ist die Stranggießkokille ein wesentliches Bauteil der Stranggießanlage, weil hier die Primärerstarrung des flüssigen Stahles stattfindet. Je nach Stahlsorte können Fehler bereits während der frühen Wachstumsphase der Kristalle an der Erstarrungsfront der Strangschale auftauchen, die die Qualität der erzeugten Brammen an deren Außenhaut oder im Inneren herabsetzen. Der Kokille kommt dabei die entscheidende Aufgabe zu, eine möglichst gleichmäßige Kühlung der sich bildenden Strangschale zu erzielen und dabei die gewünschte Form und Abmessung am Kokillenaustritt in engen Toleranzen zu ermöglichen. Die Primärkühlung wird durch wasserdurchströmte Platten aus Kupferlegierungen realisiert, da sie die Wärme hervorragend leiten. Diese Kupferplatten werden mit Hilfe einer Vielzahl von Schraubverbindungen auf Stützrahmensystemen wasserdicht befestigt und bilden damit die Gießform (siehe Abbildung 2-3).

Im Anschluss an die Kupferplatten sind Brammenkokillen an ihrem Austritt in der Regel mit einem stützenden Gerüst von sogenannten Fußrollen umgeben. Die bis hierhin vollflächige Stützung des Strangschalenkastens geht dort in eine linienförmige Stützung über. Gleichzeitig wird die Zone der Primärkühlung verlassen und ein Ring von Spritzwasserdüsen bildet die erste Zone der Sekundärkühlung. Häufig wird auch ein Gemisch aus Luft und Wasser auf die Strangaußenhaut gespritzt.

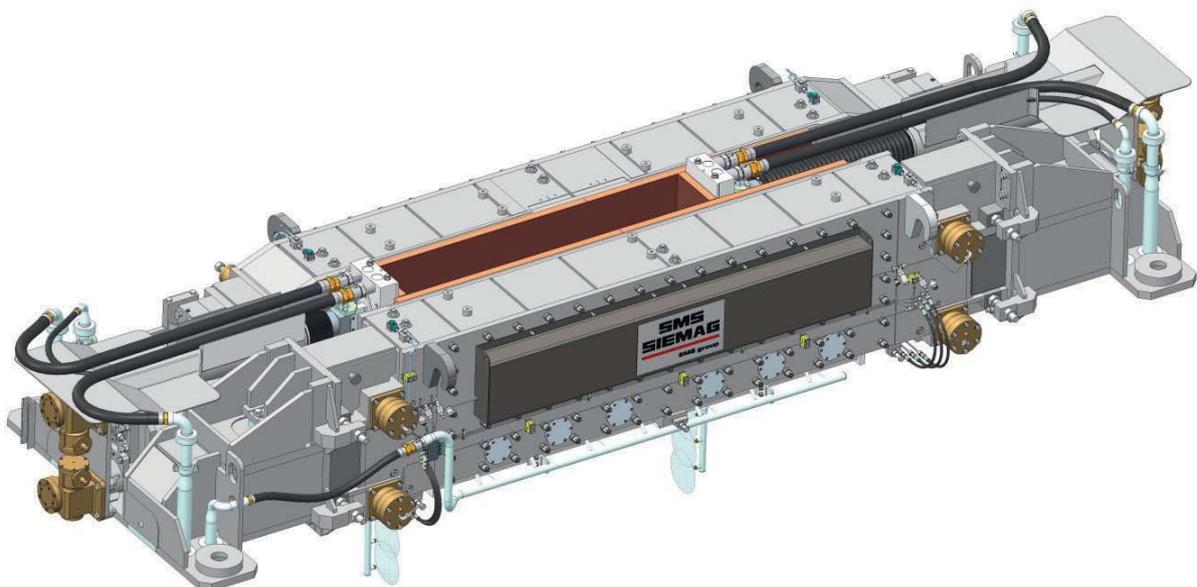


Abbildung 2-3: Konventionelle Brammenstranggießkokille [1]