

# Vorteile der induktiven Wiedererwärmung in integrierten Minimills

von **Klaus von Eynatten, Markus Langejürgen, Dirk M. Schibisch**

Die Grundidee einer Minimill ist, Stahl für Langprodukte in einer integrierten Fabrik zu produzieren und direkt weiterzuverarbeiten. Dabei werden die heißen Knüppel von der Stranggießanlage durch eine induktive Erwärmungsanlage durch- und dem Walzwerk zugeführt. Die Induktionsanlage erfasst die Einlauftemperatur am Knüppel und gleicht Oberflächen- und Kerntemperatur bei Bedarf aus, um eine optimale Temperatur für den Walzprozess zu gewährleisten. Wichtig im Sinne der Nachhaltigkeit ist dabei der vollständige Verzicht auf fossile Verbrennungsofentechnik. Das ermöglicht erhebliche Energie- und Kosteneinsparungen und produziert weniger Emissionen. Dieser Beitrag stellt die energetischen und ökonomischen Vorteile der Minimills mit integrierter Induktion dar und zeigt beispielhaft eine praxisbewährte Lösung bei Tung Ho Steel in Taiwan.

## Advantages of induction reheating in integrated minimills

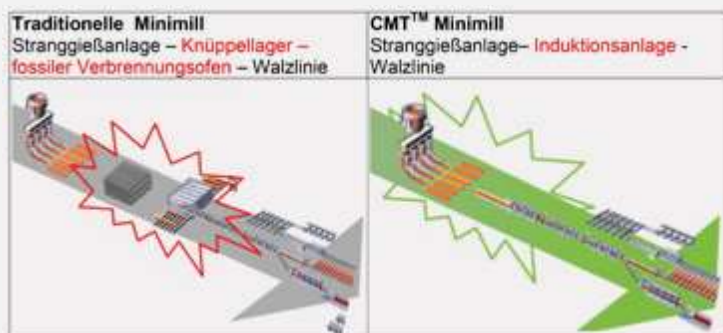
The basic idea of a minimill is the production and processing of steel for long products in an integrated factory. The hot billets from the caster are fed through an induction heating system directly into the rolling mill. The induction system detects the billet's incoming temperature and equalizes the surface and core temperatures on demand, in order to provide an optimum rolling temperature. Important to notice with regard to the sustainability is the fact, that no fossil fuel combustion furnace is needed. This setup allows for significant energy and cost savings and causes less emission. The article describes the energetic and economic advantages of induction systems integrated in minimills and, as an example, refers to a proven solution at Tung Ho Steel in Taiwan.

In herkömmlichen Minimills werden die gegossenen Knüppel aus der Stranggießanlage einem Verbrennungsofen entweder kalt oder heiß zugeführt und auf Walztemperatur gebracht, bevor sie der Walzstraße zugeführt werden. Diese Vorgehensweise war über viele Jahre der weltweite Standard, ist aber mit einigen Nachteilen verbunden. Zum einen wird durch das Erkalten nach dem Gießprozess die im Knüppel enthaltene Wärmeenergie vernichtet und anschließend im Verbrennungsofen zeit- und kostenintensiv wieder eingebracht. Zum anderen entstehen durch die Zunderbildung auf der Knüppeloberfläche während des konventionellen Erwärmungsprozesses Ausbringungsverluste. Weiterhin führt die Beschaffenheit dieser Zunderschicht zu geringeren Standzeiten der Walzen in der Walzlinie und durch den Verbrennungsofen werden nennenswerte Abgasmengen in die Umwelt emittiert.

Getrieben durch einen starken Verdrängungswettbewerb der Stahlhersteller untereinander, aber auch durch

neue Vorgaben für die Industrie und Umweltschutzgesetze mit Emissionsgrenzwerten, haben drei Unternehmen der SMS group, nämlich SMS Concast, SMS Elotherm und SMS Meer, gemeinsam die neuartige CMT™ Technologie entwickelt, welche die beschriebenen Nachteile ausgleicht und den Stahlherstellern ein Verfahren an die Hand gibt, sich Wettbewerbsvorteile zu verschaffen.

Ein Hauptmerkmal der CMT™ Technologie (Continuous Mill Technology) ist der Ersatz des klassischen gas- oder ölbefeuerten Ofens durch eine Induktionsanlage, die direkt in Linie zwischen der Stranggießanlage und der Walzlinie positioniert ist. Dabei wird für den Direktwalzprozess die aus dem Gießprozess im Knüppel gespeicherte Wärme genutzt und lediglich ein Temperatenausgleich über die Länge und den Querschnitt als auch eine Anpassung an die optimale Walztemperatur erzeugt. Dadurch wird in Summe deutlich weniger Energie verbraucht, als wenn, verglichen mit der traditionellen Methode, der gesamte Knüppel erneut von



**Bild 1:** Aufbau einer CMT™ Minimill im Vergleich zum traditionellen Layout (Quelle: SMS Concast)

Raumtemperatur oder einer beliebigen Zwischentemperatur auf die optimale Walztemperatur am Eingang des ersten Walzgerüsts erwärmt werden müsste (**Bild 1**).

In Abhängigkeit der geplanten Jahresproduktion werden die CMT™ Minimills mit unterschiedlichen Kapazitäten hinsichtlich der Gieß-, Erwärmungs- und Walzleistung eingesetzt (**Tabelle 1**).

### HOHE WIRTSCHAFTLICHKEIT

Die Hauptvorteile dieser innovativen Konfiguration einer Minimill mit integrierter Induktionstechnik sind vor allem:

- geringere Investitionskosten
- geringere Betriebskosten

Die geringeren Investitionskosten ergeben sich hauptsächlich durch den Verzicht auf einen konventionellen Verbrennungssofen und weniger Knüppellogistik, z. B. Lagereinrichtungen oder Kranbahnen, sowie dem daraus resultierenden kleineren Platzbedarf mit entsprechend weniger Lagerbestand.

Die Reduzierung der Betriebskosten kann im Wesentlichen den Energieeinsparungen durch geringere Primärenergiekosten und einer höheren Ausbringung zugeschrieben werden, auf die im Weiteren ausführlich eingegangen wird. Des Weiteren wird aufgrund der Eliminierung des Knüppellagers das Betriebskapital reduziert. Zusätzliche Einsparungen entstehen aufgrund einer Reduzierung der Instandhaltungsarbeiten, die an einem klassischen Erwärmungssofen notwendig wären, und einer Reduzierung des Bedienpersonals.

### ENERGIEEINSPARUNGEN DURCH NUTZUNG DER RESTWÄRME

Traditionelle Minimills arbeiten meist mit folgender Aufteilung: 30% der Knüppel werden vor dem Walzprozess einem konventionellen Verbrennungssofen in kaltem Zustand aus dem Knüppellager zugeführt, 70% werden mit Restwärme direkt aus der Stranggussanlage durch diesen Ofen geschleust. Der spezifische Energieverbrauch hängt von der erforderlichen Walztemperatur und des Ofentyps (Durchstoß-, Rollenherd-, Hubbalkenofen) ab, der von der Produktivität der Walzeinrichtung abhängt. Als allgemeinen Richtwert können bei diesem Produktionsregime (30/70) und einer Eingangstemperatur von 1.000°C am Walzgerüst 1 rund 155 – 160 kWh/t spezifischer Energieverbrauch angenommen werden.

Anders in CMT™ Minimills: hier werden 100% der gegossenen Knüppel direkt und ohne Umwege durch den Induktionssofen der Walzlinie zugeführt. Die Ausführung der Induktionsanlage hängt maßgeblich vom Hallenlayout, also der Distanz von der Stranggießanlage bis zum 1. Walzgerüst, der erforderlichen Walztemperatur sowie den jeweiligen Produktionsraten der Stranggießanlage und der Walzlinie ab.

In optimal ausgelegten CMT™ Minimills mit entsprechender Isolierung des Gießstranges zur Vermeidung von Wärmeverlusten und einer kompakten Aufstellung von Stranggießanlage und Walzlinie liegt der spezifische Energieverbrauch, um den Knüppel auf 1.000°C zu erwärmen, bei 20 – 25 kWh pro Tonne. Das entspricht einer Reduzierung um Faktor 7 (**Tabelle 2**).

Im Wesentlichen wird die Entscheidung für die innovative CMT™ Minimill-Technologie mit integrierter Induktionserwärmung durch die Primärenergiekosten für fossile Brennstoffe (Gas, Schweröl) oder elektrischen Strom sowie deren jeweilige regionale Verfügbarkeit bestimmt.

**Tabelle 1:** Übersicht unterschiedlicher Minimill-Layouts in Abhängigkeit der Jahresproduktion

CMT™ Grunddaten	CMT™ 1	CMT™ 2	CMT™ 3+
Jahreskapazität (1.000 t/y)	100 - 350	350 - 700	500 - 1.000+
Linien-Produktivität (t/h)	15 - 50	50 - 100	85 - 140+
Stahlgüten	Konstruktionsstahl und Qualitätsstahl (Kohlenstoffstahl)		
Stranggieß-Radius (m)	7.0 - 10.25		
Gegossener Querschnitt (mm)	100 - 150		
Knüppellänge	endlos	12 - 16	
Temperaturausgleich	Induktive Heizung mit unterschiedlichen Leistungen		
	1 - 2 Einheiten	2 - 4 Einheiten	variabel
Anzahl der Walzstände	variabel		
Anzahl der Gießstränge	1	2	variabel

Dort, wo die Kosten für fossile Brennstoffe deutlich höher sind als elektrischer Strom, überwiegen die Vorteile moderner CMT™ Minimills mit integrierter induktiver Wiedererwärmung signifikant. Als Daumenregel kann man annehmen: Wenn das Kosten-Verhältnis von elektrischem Strom zu Erdgas kleiner als 0,75 ist, dann kann das CMT™ Minimill-Konzept mit Induktionsofen seine Vorteile voll zur Geltung bringen. Dabei sind ausschließlich die Energiekosten betrachtet worden. Unter Berücksichtigung der weiteren Vorteile wie Ausbringung, geringerer Investitions- und Platzbedarf oder weniger Bedienpersonal - um nur einige zu nennen - erhöht sich dieses Verhältnis weiter, so dass der Kreis derer, die nachhaltig Nutzen aus der induktiv unterstützten CMT™-Technologie ziehen können, weiter steigt.

In **Bild 2** sind mit den Industriepreisen für Strom und Erdgas in Deutschland (Stand 2013) die Einsparungen ermittelt worden, die die Betreiber erzielen, wenn statt in einer konventionellen Minimill mit Verbrennungstechnik in der induktiv unterstützten CMT™ Minimill und Direktwalzen produziert wird. Es wird deutlich, dass selbst bei existierenden Minimills alleine über die Einsparungen von Primärenergie sehr schnell der Break-Even-Punkt für ein Umrüsten auf induktive Erwärmung erreicht wird. Werden weitere Faktoren, wie oben beschrieben, mit in die Wirtschaftlichkeitsanalyse aufgenommen, fällt die Entscheidung für eine induktiv unterstützte CMT™ Minimill noch deutlicher aus.

## HÖHERE AUSBRINGUNG DURCH VERNACHLÄSSIGBAREN ZUNDERANFALL

Der klassische Wiedererwärmungsprozess führt den gegossenen Knüppel entweder kalt oder mit einer gewissen Restwärme in den fossil befeuerten Ofen. Ab ca. 900 °C setzt verstärkte Zunderbildung ein, die neben einigen materialabhängigen Variablen vor allem von der Zeit abhängt. Mit anderen Worten: Je länger ein Knüppel oberhalb von 900 °C im Wiedererwärmungssofen zur Durcherwärmung verbleibt und je höher die Ofen-Austrittstemperatur ist,

**Tabelle 2:** Spezifischer Energieverbrauch unterschiedlicher Produktionslayout

Produktionskapazität	CMT™ Minimill mit Induktion 100 % Direktwalzen	Konventionelle Minimill mit Verbrennungsofen (30 % kalt + 70 % warm)
	Spezifischer Energieverbrauch	
	20 – 25 kWh/t	~155 – 160 kWh/t
300.000 t/a	6.750 MW/a	47.250 MW/a
500.000 t/a	11.250 MW/a	78.750 MW/a
800.000 t/a	18.000 MW/a	126.000 MW/a

desto mehr Primär-Zunder bildet sich. Moderne Verbrennungsofen mit optimaler Temperatureinstellung und Verbrennungsluftbegrenzung in der Haltezone erreichen heute Werte von rund 0,6 % Zunderverlust.

In CMT™ Minimills werden die Knüppel in der induktiven Erwärmung mit sehr hohen Erwärmungsraten direkt auf Walztemperatur gebracht. Die Verweilzeit im kritischen Temperaturbereich oberhalb von 900 °C ist mit weniger als 60 Sekunden sehr kurz, so dass sich nahezu kein Zunder bilden kann. Im Vergleich zu einem Atmosphärenofen ist die Zunderentwicklung in der Induktionserwärmung mit rund 0,02 % um den Faktor 30 geringer und vernachlässigbar. Das resultiert in einer höheren metallischen Ausbeute von ca. 0,6 %, was sich bei den hohen Produktionsvolumina sehr schnell zu wirtschaftlich relevanten Größen summiert (**Bild 3**). Im Vergleich zu konventionellen Minimills kann diese Mehrproduktion als „kostenlose“ Produktion betrachtet werden. In Minimills mit einer jährlichen Produktionsmenge von 800.000 t ergibt sich allein aus der erhöhten Materialausbeute ein wirtschaftlicher Effekt von knapp 2,2 Millionen Euro pro Jahr.

Darüber hinaus ergeben sich durch die zunderarmen Oberflächen der Knüppel weitere Vorteile im anschließenden Walzprozess. Der sprödharte Zunder hat eine abrasive Wirkung und führt zu einem entsprechenden Verschleiß der Walzen. Durch die zunderarme Oberfläche nach der induktiven Erwärmung verlängert sich die Lebensdauer der Walzen erheblich.



**Bild 2:** Energieeinsparungen für unterschiedliche Produktionszahlen in Deutschland (Quelle: SMS Concast)



**Bild 3:** Jährliche Produktionssteigerung durch zunderarme Induktionstechnik in einer CMT™ Minimill (Quelle: SMS Concast)

**Tabelle 3:** Nachhaltiger finanzieller Vorteil einer CMT™ Minimill mit integrierter Induktionsheizung gegenüber konventionellen Anlagen mit Gasofen (Platts, SBB Steel Prices, Dec. 2011 / 1 € = 1,3 \$)

Land	Energieeinsatz (Kosten/ Einheit)		Verkaufspreis Baustahl	Δ Energie	Δ Ausbringung (nur Primärzunder)	Gesamtkosten-einsparungen
	Elektrischer Strom	Erdgas				
	€/kWh	€/Nm <sup>3</sup>	€/t	€/t	€/t	€/t
Brasilien	0,11	0,40	845	-4,4	-5,1	-9,5
China	0,04	0,22	400	-2,9	-2,4	-5,3
Deutschland	0,06	0,28	515	-3,5	-3,1	-6,6
Indien	0,08	0,37	510	-4,4	-3,1	-7,5
Russland	0,04	0,05	400	+0,2	-2,3	-2,1
Mittlerer Osten	0,03	0,05	510	-0,2	-3,1	-3,3
Ostasien	0,07	0,30	430	-4,8	-2,6	-7,4
USA	0,05	0,10	545	-0,6	-3,3	-3,9

### NACHHALTIGE GESAMTEINSPARUNGEN

Die Gesamtkostenreduzierungen sind somit Ergebnis verschiedener Einzelkostenreduzierungen wie den Energiekosten, der Mehrproduktion durch eine höhere metallische Ausbeute und anderer Faktoren. Im obigen Beispiel für Deutschland ergibt sich alleine aus der Betrachtung der Energiekosten und der Materialausbringung für ein Stahlwerk mit 800.000 t jährlicher Ausbringung eine Einsparung von rund 5 Millionen Euro/Jahr oder 6,25 Euro/ t produziertem Baustahl. Es wird deutlich, dass sich die Investition in moderne CMT™ Minimill-Technologie sehr schnell amortisiert.

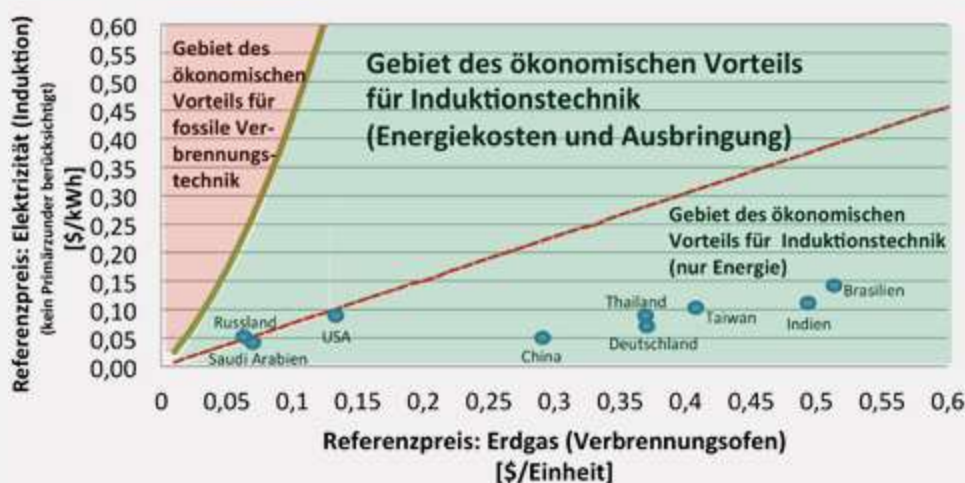
Die **Tabelle 3** zeigt die nachhaltigen Einsparungen einer CMT™ Minimill mit integrierter Induktionstechno-

logie im Vergleich mit einer konventionell mit einem Gasofen ausgestatteten Linie im internationalen Vergleich. Zu beachten ist dabei, dass der Gaspreis und dessen Verfügbarkeit stark von der regionalen Lage der Produktion abhängen. Für den Fall, dass kein Gas verfügbar ist, wird meistens teures Schweröl als Brennstoff eingesetzt, der mit Tankwagen angeliefert wird. Das bedeutet zusätzliche Kosten, die den Einsatz der Induktionstechnik weiter begünstigen.

Trägt man nun die verschiedenen individuellen Vorteile aus Energiekosten und Materialausbeute zusammen, so ergibt sich ein recht eindeutiges Bild: In allen wesentlichen Industrienationen, in denen es eine nennenswerte Stahlproduktion- und

-verarbeitung gibt, zeigt sich die Überlegenheit des CMT™ Minimill-Konzeptes mit integrierter Induktionstechnik. Selbst in Ländern mit einer hohen Verfügbarkeit von eigenem Erdgas und dementsprechend niedrigen Gaspreisen rechnet sich die mit Induktion ausgestattete Minimill über die erhöhte Materialausbringung (**Bild 4**).

Bisher wurden nur rein monetäre Aspekte bewertet, die sich aus dem Einsatz der Induktionstechnik in Minimills ergeben. Darüber hinaus gibt es aber noch nachhaltige ökologische Aspekte zu berücksichtigen, die möglicherweise in Zukunft sogar noch wichtiger werden.



**Bild 4:** Vorzugskonzepte für die Wiedererwärmung in Minimills abhängig von Energiekosten und Primärausbringung im internationalen Vergleich. (Quelle: SMS Concast)

## UMWELTFREUNDLICHE PRODUKTION

Traditionelle Minimills mit konventioneller Ofentechnik zur Wiedererwärmung der Knüppel verwenden Erdgas oder Schweröl als Brennstoff. Bei der Betrachtung der Ökobilanz ist nicht nur der reine Verbrennungsvorgang zu betrachten, sondern letztlich auch der vorgelagerte Herstell-, Transport- und Lagerprozess.

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugt Treibhausgase wie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  und  $\text{SO}_x$ . Diese gasförmigen Stoffe gelangen bei der Verbrennung in die Atmosphäre, wo sie zum Treibhauseffekt beitragen, indem sie einen Teil der vom Boden abgegebenen Infrarotstrahlung absorbieren, die sonst ins Weltall entweichen würde. Die Störung des natürlichen Gleichgewichts, welches ein Leben auf der Erde überhaupt erst möglich macht, durch anthropogene Ursachen, z. B. der Verbrennung von Gas und Schweröl zur Wiedererwärmung der Knüppel, führt letztlich zur globalen Erwärmung mit allen bekannten Konsequenzen. Darüber hinaus zählen Kohlendioxid sowie Schwefel- und Stickoxide zu den Hauptursachen für den sogenannten sauren Regen, dessen Auswirkungen auf das Ökosystem hinreichend bekannt sind. Eine Erwärmungstechnologie, welche die negativen Auswirkungen auf die Umwelt minimiert, trägt zur Verbesserung der Situation bei. Bei Einsatz der Induktionstechnik anstelle der konventionellen Verbrennungsöfen werden die direkten Emissionen von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  und  $\text{SO}_x$  bei der Erwärmung der Knüppel vor dem Walzprozess innerhalb einer CMT™ Minimill komplett eliminiert. Bild 4 zeigt, dass bei einer konventionellen Minimill mit Verbrennungstechnik und einer Jahresproduktion von 800.000 t beispielsweise 53.000 t  $\text{CO}_2$  und 73 t  $\text{NO}_x$  anfallen würden, die beim Einsatz der Induktion nicht anfallen (Bild 5).

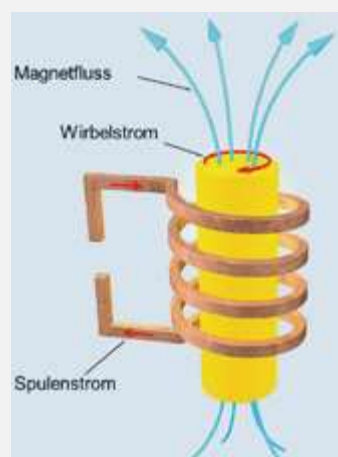
Zusammenfassend kann die CMT™ Minimill durch die integrierte Induktionstechnik als klassisches „ecoplant“ bezeichnet werden. „Ecoplants“ ist das Kennzeichen für nachhaltige Lösungen von SMS Meer, die Betreibern gleichzeitig wirtschaftliche Vorteile bieten. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Nachhaltigkeit sich zu einem wichtigen Faktor für das Wachstum der Betreiber entwickelt hat – aus ökonomischen wie ökologischen Gründen. Ökonomisch, weil Energie- und Rohstoffeinsparung Kosten reduziert; ökologisch, weil der Schutz von Ressourcen immer wichtiger wird. Beiden Aspekten werden Ecoplants-Lösungen gerecht.

## WIEDERERWÄRMUNG MIT DEM INDUKTIONSVERFAHREN

Bevor im Folgenden auf die Ausführung der Induktionstechnik, die in eine CMT™ Minimill integriert wird, eingegangen wird, soll die Technologie kurz erklärt werden. Wie in den vorangegangenen Abschnitten erklärt, zeichnet sich die Induktionstechnik in einer CMT™ Minimill vor allem durch



**Bild 5:** Die CMT™ Technologie mit integrierter induktiver Erwärmung reduziert die Emission von Treibhausgasen (Quelle: SMS Concast)

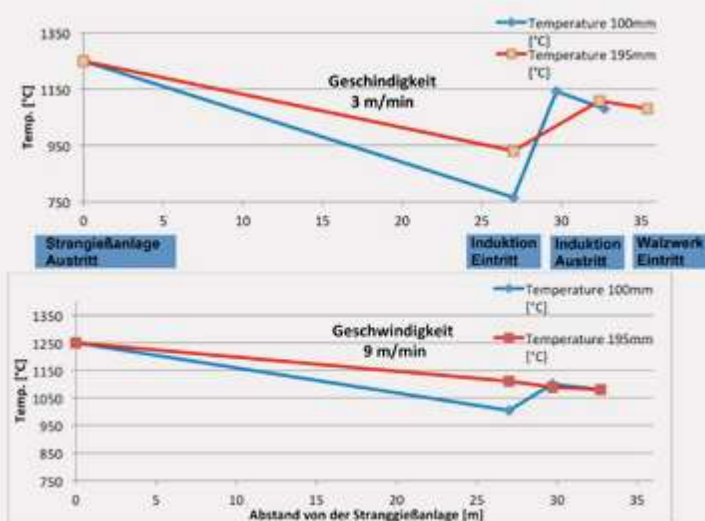


**Bild 6:** Das Prinzip der Induktionserwärmung (Quelle: SMS Elotherm)

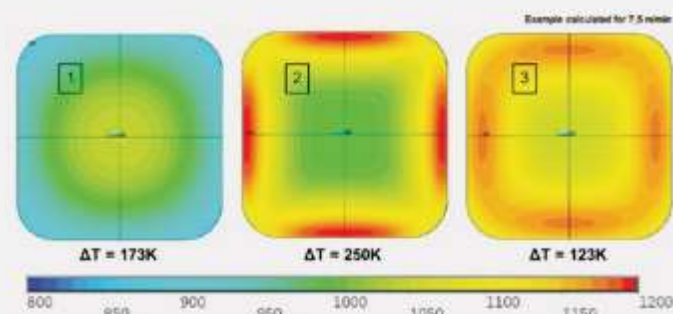
die sehr schnelle, und damit zunderarme Erwärmung sowie den vollständigen Verzicht auf fossile Brennstoffe und daraus resultierender Emissionen aus. Bei der induktiven Erwärmung handelt es sich um eine berührungslose Erwärmungsart, bei der die Wärme direkt im Werkstück erzeugt wird. Der zu erwärmende Knüppel wird von einer stromdurchflossenen Spule umschlossen und es entsteht ein Magnetfluss im Werkstück. Dieser Magnetfluss erzeugt seinerseits einen Wirbelstrom in der Knüppeloberfläche, der aufgrund des spezifischen Widerstands des Materials Wärme erzeugt.

So kommt es, dass durch einen Stromfluss berührungslos eine Temperaturerhöhung im Knüppel erzielt werden kann. In Abhängigkeit der Leistung und der Frequenz des Stromes kann nun sehr präzise die Temperatur im Werkstück beeinflusst werden (Bild 6).

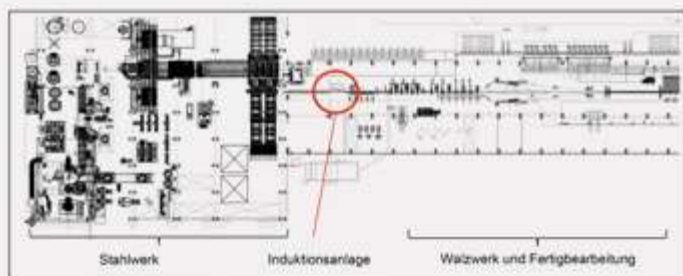
In CMT™ Minimills kommt aufgrund der Geometrie des Knüppels die Längsfelderwärmung zum Einsatz. Dabei wird das Werkstück vollkommen von der Spule umschlossen. Die dabei entstehenden Wirbelströme verlaufen in der Stromeindringtiefe entlang der Knüppeloberfläche. Die Längsfeldinduktoren sind durch ihre einfache Bauweise



**Bild 7:** Typische Temperaturverläufe beim induktiven Erwärmen von Vierkant-Material (Quelle: SMS Elotherm)



**Bild 8:** Beispiel eines typischen Temperaturprofils eines 160mm Vierkants in verschiedenen Phasen (Quelle: SMS Elotherm)



**Bild 9:** Integration einer EloHeat™ Induktionserwärmung zwischen einer Stranggießanlage von SMS Concast und ein Walzwerk von SMS Meer (Quelle: SMS Concast)

sehr robust und walzwerkstauglich in den Prozess integrierbar. Die hohen erzielbaren Leistungsdichten lassen sich vorteilhaft beim Einsatz in Minimills nutzen und so ist es möglich, kompakte Erwärmungsanlagen mit hohen thermischen Wirkungsgraden in die Linien zu integrieren. Wie im folgenden Beispiel von Tung Ho Steel in Taiwan dargestellt, sind auf einer Länge von ca. 8 Metern eine Gesamtleistung von 8.700 kW installiert worden. Diese Leistung reicht beispielsweise bei einer Produktion mit 100 t/h für einen Temperaturhub von mehr als 200 K. Somit können Schwankungen in den vorgelagerten Prozessen im Temperaturniveau effektiv kompensiert werden und konstante Bedingungen am Einlauf des Walzwerkes sichergestellt werden. Ein Ausgleich durch die Walzstraße und somit eventuelle Reserven in der Auslegung bzw. erhöhter Verschleiß können vermieden werden.

**Bild 7** zeigt die Möglichkeiten an zwei frei gewählten, aber typischen Beispielen. Für beide Abmessungen, 100mm- als auch 195 mm-Vierkant, kann die Temperatur am Einlauf der Walzstraße bei konstanter Temperatur gehalten werden. Hierfür ist eine Änderung der Produktionsgeschwindigkeit zwischen 3m/min und 9m/min berücksichtigt worden.

Neben einer Stabilisierung der thermischen Bedingungen am Einlauf der Walzlinie erfolgt eine Homogenisierung über die Querschnittsfläche des Materials. Wie im Beispiel in **Bild 8** dargestellt, ergibt sich während des Transports von der Gießmaschine zur Walzstraße ein Temperaturprofil bei dem die Oberfläche 173 K kälter als das Zentrum ist. Diese Situation wird häufig auch als natürliches Temperaturprofil bezeichnet. Durch die schnelle Erwärmung in der induktiven Heizung verändert sich das Temperaturprofil, so dass an der Oberfläche die höchsten Temperaturen auftreten. Dies ist durch die typische Leistungsdichteverteilung der Induktionserwärmung bedingt. Entscheidend ist aber, dass bei Einlauf in die Walzstraße die Temperaturdifferenzen über den Querschnitt ca. 30% gegenüber der natürlichen Abkühlung reduziert werden können. Diese Knüppel mit homogenerer Temperaturverteilung lassen sich leichter umformen und gewährleisten deshalb einen stabilen Walzprozess. Da für die Umformung der absolut und relativ wärmeren Knüppel weniger Walzkraft notwendig ist, verschleifen auch die Walzen weniger und haben eine längere Lebensdauer.

### ANWENDUNGSBEISPIEL: TUNG HO STEEL, TAIWAN

Als aufstrebende Wirtschaftsnation steht Taiwan vor gewaltigen Herausforderungen. Öl und Gas müssen importiert werden. Entsprechend hoch sind die Energiekosten. Tung Ho Steel in der Nähe von Taipeh installierte deshalb in seinem Werk eine CMT™ Minimill mit hoher Produktionsleistung bei geringem Energieverbrauch und reduzierten Emis-



**Bild 10:** Induktive Erwärmungsanlage mit 6 Induktionsspulen bei Tung Ho Steel in Taiwan (Werksbild SMS Elotherm)



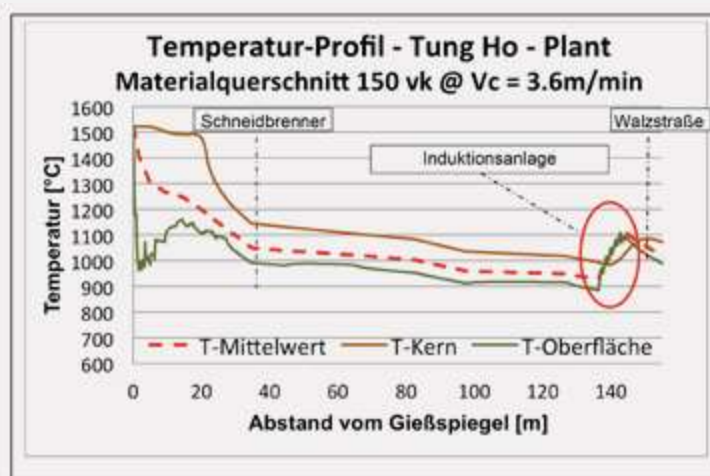
**Bild 11:** Knüppel vor der Wiedererwärmung am Einlauf der Elotherm EloHeat™ bei Tung Ho Steel in Taiwan (Werksbild SMS Elotherm)

sionswerten durch integrierte Induktionstechnik. Darüber hinaus ist diese Minimill ein erfolgreiches Beispiel, in dem ein Schweröl-befuehrter Verbrennungs-ofen durch eine kompakte und trotzdem sehr leistungsstarke Induktionserwärmung ersetzt wurde, was insgesamt zu nachhaltigen und messbaren ökologischen und ökonomischen Erfolgen führte. Da am Standort kein Erdgas zur Verfügung stand, hätte alternativ Schweröl eingesetzt werden müssen. Durch den Einsatz der induktiven Erwärmungstechnik konnte Tung Ho Steel nicht nur knapp 20 €/t gewalzten Stahls einsparen, sondern vor allem auch Emissionen senken. In dieser Produktionshalle von Tung Ho entstehen deshalb rund 72.000 t/a CO<sub>2</sub>, 410 t/a SO<sub>2</sub> und 225 t/a NO<sub>x</sub> weniger – Jahr für Jahr.

Das Stahlwerk ist mit einem 120 t Elektrolichtbogenofen (EAF), einem Pflannenofen und einer Gießanlage mit 5 Strängen ausgestattet. Mit einer Produktion von 40–45 t/h pro Gießstrang ergibt das eine Jahreskapazität von rund 1,2 Millionen t gegossener Knüppel. Das angeschlossene Walzwerk produziert jährlich rund 800.000 t gewalzten Konstruktionsstahls. Zwischen Gießanlage und Walzwerk wurde in Linie die induktive Erwärmung integriert (**Bild 9, Bild 10**).

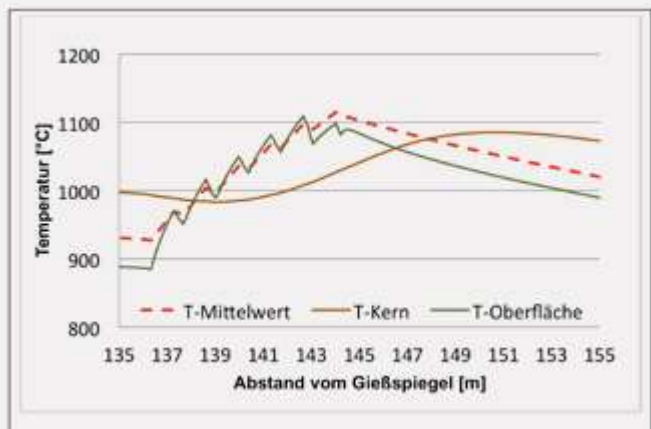
Die Induktionsanlage besteht aus 3 individuell steuerbaren Modulen mit je zwei Induktionsspulen (**Bild 11**). Insgesamt ist auf rund 8 Metern Baulänge eine Leistung von 8,7 Megawatt installiert. Diese sorgt sowohl für eine Temperaturerhöhung von bis zu 150K als auch für die gleichmäßige Temperaturverteilung der Knüppel zwischen Stranggießanlage und Walzwerk. So können im Walzwerk zum einen hohe Prozessgeschwindigkeiten von 140 t/h gefahren werden, zum anderen optimale Umformprozesse bei minimalem Verschleiß erfolgen.

Dazu ist die Induktionserwärmungsanlage mit modernsten IGBT-Umrichtern ausgerüstet, die sich durch die Ausführung mit Transistoren flexibel an den jeweiligen Erwärmungsprozess anpassen und somit eine hohe Gesamtanlagenverfügbarkeit unterstützen. **Bild 12** zeigt das berechnete Temperaturprofil zwischen der Gießmaschine und dem Eingang der Walzstraße bei Tung Ho Steel. Der grüne Verlauf zeigt die Temperatur der Oberfläche, die im ersten Drittel durch die Sekundärkühlung und den Kontakt mit den Stützrollen beeinflusst wird. Nach der kompletten Erstarrung vor der Position des Schneidbrenners befindet sich das Material in einer gleichmäßigen Abkühlphase,



**Bild 12:** Temperaturprofil des Knüppels mit einem Querschnitt von 150 mm bei Tung Ho Steel in Taiwan (Quelle: SMS Concast)

## FACHBERICHTE



**Bild 13:** Darstellung der Temperaturerhöhung durch die sechs Induktionsspulen und Ausgleich der Kerntemperatur durch Wärmeleitung (Quelle: SMS Concast)

wobei die Verluste über Strahlungsschutzmaßnahmen reduziert werden. Der Bereich der induktiven Erwärmung ist in Bild 12 mit einem roten Kreis gekennzeichnet und in **Bild 13** detailliert aufgezeigt. Innerhalb dieses Bereichs erfolgt die Anpassung und Stabilisierung der thermischen Verhältnisse zur Vorbereitung auf einen optimalen Walzprozess. Bei einer Frequenz von 300 Hz beträgt die Eindringtiefe ~30mm, wodurch eine oberflächennahe Erwärmung erzielt wird. Die kältere Temperatur des Kerns wird über Wärmeleitung rund fünf Meter nach Austritt aus der letzten Induktionsspule ausgeglichen, um für den Walzprozess eine homogene Temperatur über den Knüppelquerschnitt zu gewährleisten.

### FAZIT

Forderungen der Betreiber nach flexibler Stahlproduktion hinsichtlich der Produktionsmengen, aktuelle Diskussionen um emissionsarme Produktionsmethoden sowie die regionale und begrenzte Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe haben die Hersteller von Anlagen der Stahl- und Walzwerkstechnik wie die SMS group in innovative Produktionskonzepte umgesetzt.

Ein Ergebnis ist die CMT™ Minimill-Technologie mit integrierter Induktionstechnik zur energieeffizienten Wiedererwärmung. Neben einer Vielzahl von innovativen

Lösungen im Stahl- und Walzwerksbereich dieser Minimills sind an dieser Stelle vor allem die Vorteile der integrierten Induktionstechnik zu erwähnen: individuelle und schnelle Erreichung der optimalen Walztemperatur trotz variabler Eingangstemperaturen, kein Energieverbrauch in Neben- und Anlagenstillstandzeiten, erhöhte metallische Ausbringung durch zunderarme Erwärmung und vor allem keine direkten Emissionen – das sind die Garantien für die Betreiber, auch im internationalen Umfeld wettbewerbsfähig zu bleiben.

In Zukunft werden höhere Kosten für CO<sub>2</sub>-Zertifikate den Druck auf die Produktionskosten von Stahlprodukten weiter erhöhen. Die Anlagenbetreiber sind gut beraten, die erreichbaren ökonomischen Vorteile, die eine energieeffiziente Induktionstechnik bieten, individuell und im Sinne der Gesamtkosten einer Minimill über die Lebenszeit zu betrachten. Das CMT™ Minimill-Konzept bietet den Herstellern von Walzprodukten hier eine Vielzahl von Ansätzen, zumal sich selbst bei Umrüstungen existenter Linien die Investition meist sehr schnell amortisiert.

### AUTOREN



**Dr.-Ing. Klaus von Eynatten**  
SMS Concast Italia S.p.A.  
Udine, Italien  
Tel.: +39 (0) 432 / 654600  
klaus.eynatten@sms-concast.ch



**Dr.-Ing. Markus Langejürgen**  
SMS Elotherm GmbH  
Remscheid  
Tel.: +49 (0) 2191 / 891-218  
m.langejuergen@sms-elotherm.com



**Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dirk M. Schibisch**  
SMS Elotherm GmbH  
Remscheid  
Tel.: +49 (0) 2191 / 891-300  
d.schibisch@sms-elotherm.com