

Einsatz flexibler Induktionseinheiten zur Produktions- und Qualitätserhöhung in Warmwalzwerken

von **Anis Abdurahman, Dirk M. Schibisch**

Seit vielen Jahren ist das integrierte Minimill-Konzept zur Herstellung von Warmband bereits erfolgreich im Einsatz. Dabei werden alle Anlagenkomponenten von der Vertikal-Gießmaschine über den Rollenherdofen bis zur kompakten Walzstraße in Linie aufgestellt, um in einem kontinuierlichen Verfahren vom flüssigen Stahl bis zum fertigen Coil einen integrierten Prozess darzustellen. Erweiterte Anforderungen an die Produktivität und Qualität der Walzprodukte werden heute durch Einsatz von flexiblen Induktionseinheiten ermöglicht.

Implementation of flexible induction units to raise productivity and quality in hot rolling mills

For many years, integrated Minimill-concepts for the production of hot strip are successfully operating. All individual systems, such as vertical casting machine, roller hearth furnace and the compact rolling are positioned in line, for enabling continuous processing from the liquid steel phase to the coiled hot strip. Extended requirements to the productivity and quality of rolled goods can be answered with the implementation of flexible induction units into these lines.

Neue Anforderungen führen aktuell zur Weiterentwicklung des traditionellen Minimill-Konzeptes mit folgenden Vorteilen: [1]

- höhere Produktion bis 4 Mio. t/ Jahr
- Stabilere Dünnbandwalzung bis kleiner 1 mm als Substitution des Kaltwalzens (Endlosprozess)
- Fertigung hochfester, kaltzäher Bänder zur Rohrfertigung im Dickenbereich 0,5 bis 1 Zoll.

In diesen innovativen Minimills besteht an verschiedenen Positionen der Bedarf an intelligenter Temperaturerhöhung. Dazu bedient man sich der induktiven Erwärmung und schafft so für den Endkunden einen Mehrwert, der sich direkt in verbesserter Produktqualität bei geringeren Fertigungskosten ausdrückt – das

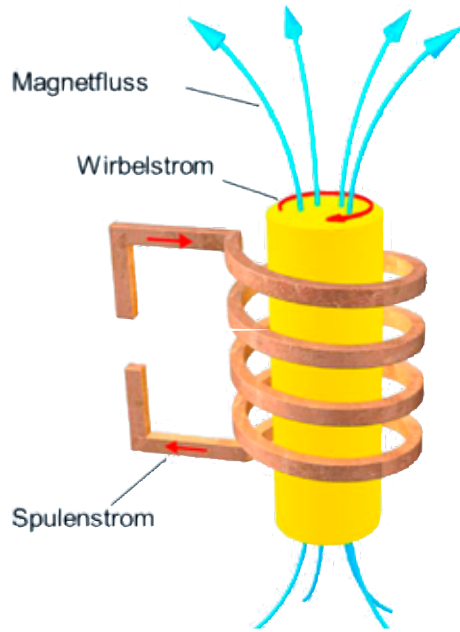
alles bei nachhaltig umweltfreundlicher, weil CO₂-freier Arbeitsweise.

Ein Vorteil der induktiven Erwärmung liegt darin, dass in einer sehr kurzen Zeit viel Energie in das zu erwärmende Material eingebracht werden kann. Durch dieses physikalische Phänomen kann die Anlage kompakt und platzsparend gebaut werden. Der Induktor kann gezielt dort eingesetzt werden, wo eine Temperaturerhöhung oder ein Temperatenausgleich benötigt wird.

INDUKTIVE ERWÄRMUNGSMETHODEN

Bei der Induktionstechnologie wird das metallene Werkstück in der Regel von einer stromdurchflossenen Spule umschlossen und es entsteht ein Magnetfluss im Werk-

Bild 1:
Das Prinzip der Induktionserwärmung



stück. Dieser Magnetfluss erzeugt seinerseits einen Wirbelstrom im Werkstück, der aufgrund des spezifischen Widerstands des Materials im Werkstück Wärme erzeugt.

So kommt es, dass durch einen Stromfluss berührungslos eine Temperaturerhöhung im Werkstück erzielt werden kann. In Abhängigkeit der Leistung und der Frequenz des Stromes kann nun sehr präzise die Temperatur im Werkstück beeinflusst werden (**Bild 1**).

In Warmwalzlinien kommen je nach Brammen- oder Banddicke unterschiedliche Spulenformen zum Einsatz (**Bild 2**). Bei der Längsfelderwärmung wird das Werkstück vollkommen von der Spule umschlossen. Die dabei entstehenden Wirbelströme verlaufen in der Stromeindringtiefe entlang der Brammenoberfläche. Es bietet sich vor oder hinter dem Rollenherdofen oder nach dem Vorwalzgerüst an, wo noch eine ausreichende Banddicke vorhanden ist.

Diese Längsfeldinduktoren sind durch ihre einfache

Bauweise sehr robust und walzwerkstauglich in den Prozess integrierbar.

Die Quersfelderwärmung hingegen wird für dünne Bänder eingesetzt. Eine spezielle Spulenkonstruktion sorgt dafür, dass es zu keiner gegenseitigen Aufhebung des induzierten Stromes auf Ober- und Unterseite des dünnen Bandes kommt. Da so auch sehr dünne Bänder erwärmt werden können, kommt dieses Verfahren zwischen den hinteren Fertigwalzgerüsten zum Einsatz. Dort können sie sehr flexibel im Prozess zum Einsatz kommen oder aus dem Prozess herausgefahren werden.

Im Folgenden werden die Vorteile der Induktion zusammengefasst:

- Energieverbrauch nur bei effektiver Produktion
- Hohe Leistungsdichte auf geringer Prozesslänge
- Konkurrenzfähiger Preis (Investition und Folgekosten)
- Unabhängig von Gas und Öl als Brennstoff
- Gleichmäßige Erwärmung der Bramme bei kurzer Erwärmungszeit und Reduzierung von Zunder.

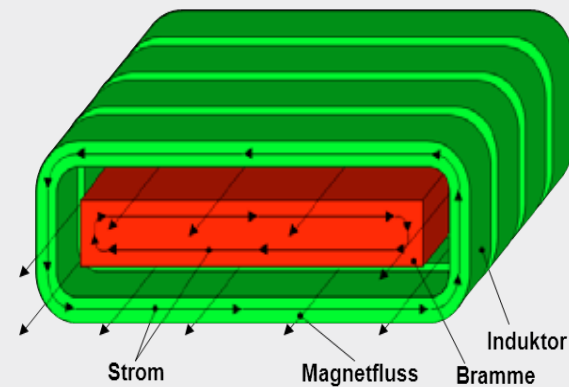
AUFBAU EINER INDUKTIONSANLAGE IM WALZWERK

Die Erwärmungsanlage besteht aus folgenden Modulen (**Bild 3**):

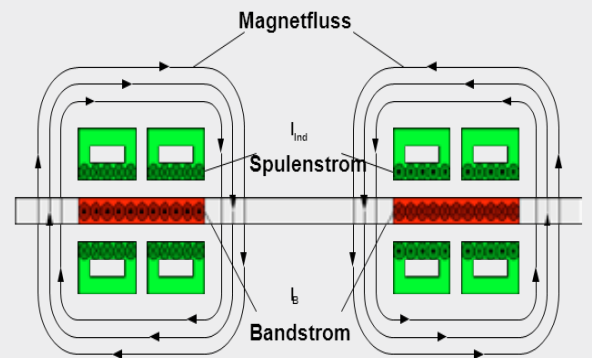
- Netztransformator
- Frequenz-Umrichter
- Kondensatorbatterie
- Induktor
- Rückkühlanlage
- Steuerungs- und Regelungseinheit.

Die Aufgabe des Netztransformators ist die Umwandlung der Netzspannung in die Betriebsspannung des Frequenz-Umrichters. Der Netztransformator dient als Bindeglied zwischen dem betreiberseitigen Stromnetz und der Induktionsanlage. Die Spannung, die vom

Bild 2:
Wirkungsweise Längsfeld- und Quersfelderwärmung



Langsfelderwärmung für Brammen > 5 mm



Quersfelderwärmung für Bänder < 5 mm

Netztransformator geliefert wird, ist eine Dreiphasen-Wechselspannung. Diese Wechselspannung wird vom Frequenzumrichter zunächst in Gleichstrom umgewandelt, danach wieder in einphasigen Wechselstrom mit der benötigten Betriebsfrequenz zurückgewandelt.

Die Kondensatorbatterie dient als kapazitiver Energiespeicher und bildet mit dem Induktor, also der induktiven Last, den Schwingkreis. Der Induktor ist eine Spule, welche das Magnetfeld erzeugt und so den Wechselstrom aus dem Schwingkreis in das Werkstück transportiert. Der Induktor selbst ist wassergekühlt, da er nicht nur durch die hohen Ströme erwärmt, sondern zusätzlich auch noch der vom Werkstück ausgehenden Strahlungswärme ausgesetzt wird.

Die Stromschienen und Stromkabel müssen Ströme bis 10.000 A und höher transportieren. Durch die hohen Ströme entwickelt sich auch in allen stromführenden Bauteilen Wärme. Zur Kompensation dieser entstehenden Wärme dient die Rückkühlanlage. Die Rückkühlanlage wird abhängig von Prozess, Wassertemperatur und Umgebungsbedingungen ausgelegt. Sie koordiniert die benötigte Kühlwassermenge während des Betriebs. Hauptkomponenten der Rückkühlanlage sind die Wärmetauscher, welche die Verlustleistung an das Werkwasser abführen [2].

Die Steuerungs- und Regelungseinheit übernimmt die Online-Berechnung der erforderlichen Leistung, abhängig von der Bandgeschwindigkeit, Bandedlauf-temperatur und der geforderten Bandauslauf-temperatur. Darüber hinaus erfasst diese Einheit die Temperatur-Ist-Werte, sämtliche Ansteuerungs- und Überwachungsfunktionen der Mittelfrequenz-Umrichter und der gesamten Peripherie einschließlich der Rückkühlanlage.

EINSATZ DER INDUKTION IN WARMWALZWERKEN

Aus der Dünnbrammengießanlage läuft die erstarrte Bramme mit einer Einlauf-temperatur von rund 1.000 °C in den Rollenherdofen, den sie mit rund 1.150 °C wieder verlässt. Für einige Spezialanwendungen, z.B. das Dünnbandwalzen oder für bestimmte Materialien wie Siliziumstahl, sind aber höhere Brammentemperaturen von Vorteil. Im nachfolgenden Warmwalzwerk findet die Reduzierung der Brammendicke statt. In **Bild 4** wird ein CSP®-Warmwalzwerk dargestellt.

Durch die kompakte Bauweise kann die Erwärmungsanlage in der Walzlinie dort eingesetzt werden, wo ein Temperaturhub benötigt wird: zum Beispiel am Einlauf als auch am Auslauf des Rollenherdofens, zwischen dem Walz-Vorgerüst und erstem Fertigerüst oder zwischen den letzten Fertigerüsten.

EINSATZ VOR ODER HINTER DEM ROLLENHERDOFEN

In modernen Minimills kann der Rollenherdofen nur noch zum Halten und Puffern der Temperatur eingesetzt werden. Eine davor angeordnete induktive Erwärmung erlaubt den Entfall der aktiven Aufheizzone des Rollenherdofens. Dieser wird dadurch kürzer, was direkt den Gasverbrauch reduziert und damit die CO₂-Emission verringert.

Hinter dem Rollenherdofen kann eine Induktionserwärmung die Brammentemperatur anheben und flexibel die Eingangstemperatur in den Walzprozess auf ein optimales Niveau steigern, so dass auch spezielle Prozesse wie das Dünnbandwalzen möglich sind.

Der Temperaturkeil, der durch die ungleichmäßige Abkühlung der Bramme entsteht, wenn der vordere Teil bereits im Walzwerk, der hintere Teil sich aber noch im Rollenherdofen befindet, wird durch eine zwischengeschaltete Induktionserwärmung ebenfalls ausgeglichen.

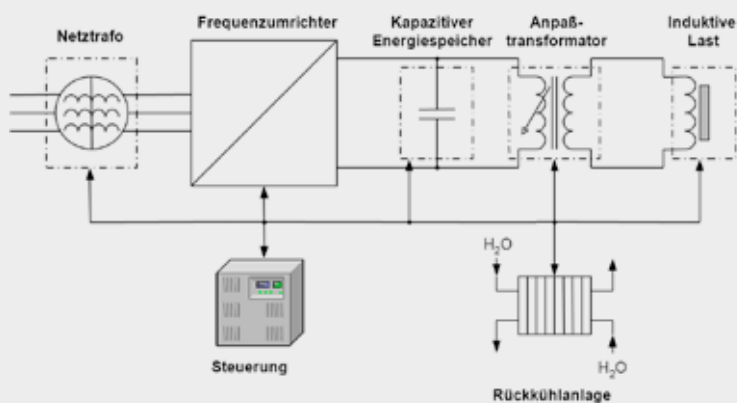


Bild 3: Prinzipschaltplan einer induktiven Erwärmungsanlage

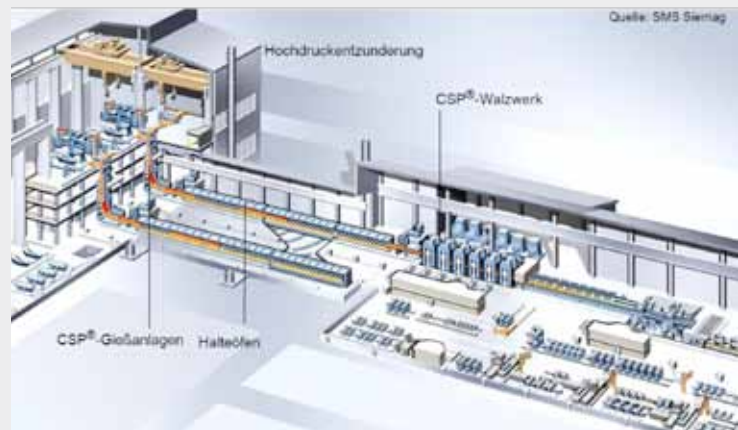
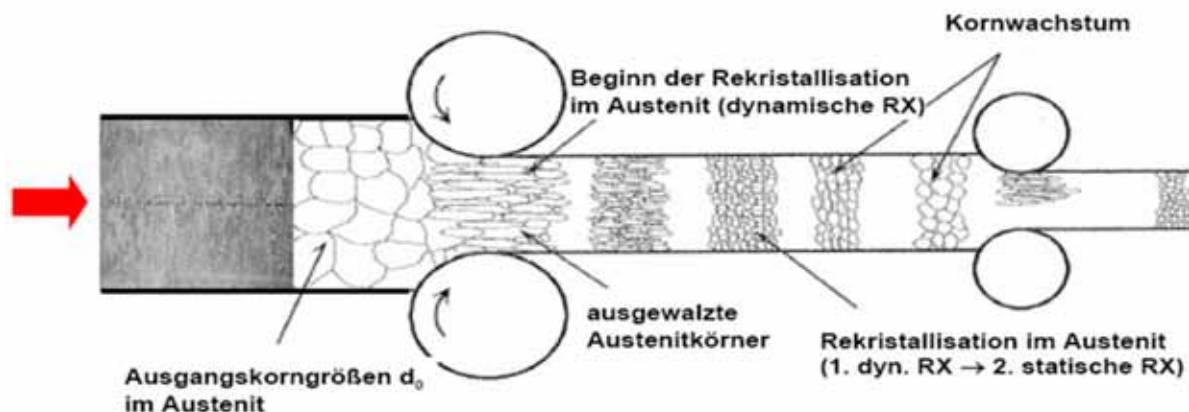


Bild 4: CSP®-Warmwalzwerk (Quelle: SMS Siemag)

Bild 5:
Metallurgischer
Effekt durch
Rekristallisation



Ein zusätzlicher Vorteil der induktiven Erwärmung hinter dem Rollenherdofen: dieser kann mit einer geringeren Temperatur gefahren werden. Neben der nachhaltigen Reduzierung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe führt das vor allem zu einer Verlängerung der Lebensdauer des Feuerfestmaterials und der Transportrollen des Rollenherdofens. Die Wartungskosten und -zeiten für den konventionellen Rollenherdofen werden nachhaltig reduziert.

Die Tatsache, dass in der Induktion die Erwärmung direkt in der Bramme und zudem sehr schnell erzeugt wird, führt zu einer erheblichen Reduzierung des Zunderanfalls. Dieser kann sich aufgrund der geringen Verweilzeit in der dafür erforderlichen Temperatur weniger ausbilden, was nicht nur zu einer höheren metallischen Ausbringung, sondern vor allem auch zu geringerem Verschleiß der Rollen führt, denn Zunder wirkt stark abrasiv.

Die optimale Energieeffizienz des Gesamtprozesses wird somit durch die intelligente Kombination aus Rollenherdofen und induktiver Erwärmung erreicht. Dabei wird der Rollenherdofen, wie oben bereits erwähnt, mit niedrigeren Temperaturen gefahren und die material- und anwendungsabhängig optimale Walztemperatur flexibel mit der Induktion eingebracht.

Zudem können bei Temperaturen um 1.120 °C im Rollenherdofen sogenannte Trockenrollen zur Führung der Bramme durch den Ofen verwendet werden. Bei diesen Temperaturen ist deren Lebensdauer nicht eingeschränkt und es entsteht kein punktueller Wärmeverlust, wie er bei wassergekühlten Rollen entstehen würde, die in Ofenatmosphären größer 1.200 °C zwingend notwendig wären. Der reine Gasverbrauch wird deutlich reduziert.

Durch diese Kombination, Rollenherdofen mit Trockenrollen und induktiver Erwärmung, kann so in Abhängigkeit des Produktionsmix bis zu 10 % Energie eingespart werden.

EINSATZ IN VARIO-WALZWERKEN

In Vario-Walzwerken kommt die induktive Erwärmung zwischen dem Walz-Vorgerüst und dem ersten Fertigerüst zum Einsatz. Es handelt sich dabei um eine innovative Technologie zur Herstellung von mikrolegierten Stahlgütern in API-

Qualität, das heißt für qualitativ hochwertige Röhrenstähle.

Die induktive Erwärmung sorgt für ein gleiches Temperaturniveau zwischen diesen beiden Walzgerüsten, so dass eine höhere relative Dickenabnahme erreicht wird. Durch das hohe Temperaturniveau können entsprechend höhere Umformgrade erzielt werden.

Außerdem wird so das Gussgefüge vollständig entfernt und es entsteht durch Rekristallisation ein sehr homogenes Gefüge – selbst bei Brammen bis 20 mm Dicke. In **Bild 5** wird der metallurgische Effekt gezeigt [3].

Ein Beispiel zeigt die beiden zurückfahrbaren Induktionseinheiten zwischen dem Vorgerüst und dem Fertigerüst für eine hohe Produktionsleistung von bis zu 4 Mio. t API-Stahlgütern, z.B. API X70 (**Bild 6**).

EINSATZ FÜR DEN ENDLOSVALZ-PROZESS

Der Endloswalzprozess eignet sich hervorragend zur stabilen Produktion von dünnen Bändern bis unter 1 mm und ersetzt damit teilweise das Kaltwalzen. Allerdings ist die maximale Walzgeschwindigkeit auf 8 m/s begrenzt. Während des Walzprozesses verliert das Band kontinuierlich an Temperatur. Wenn nun aus metallurgischen oder Prozessgründen am letzten Walzgerüst eine bestimmte Temperatur erreicht werden muss, so kann dies durch gezielte induktive Zwischenerwärmung zwischen den letzten zwei oder drei Zwischengerüsten erfolgen (**Bild 7**).

Im Beispiel ist am Fertigwalzgerüst 6 eine Temperatur von rund 950 °C erforderlich. Da aufgrund der relativ langsamen Walzgeschwindigkeit diese Temperatur schon nach Fertigwalzgerüst 3 erreicht wird, können drei integrierte Induktionserwärmungen zwischen den letzten drei Fertigerüsten die erforderliche Temperatur von 950 °C am Ende des Walzprozesses sicherstellen (**Bild 8**).

FAZIT

Die induktive Erwärmung ist ein energieeffizienter Prozess mit einer hohen spezifischen Leistungsdichte bei geringer Prozesslänge und lässt sich somit hervorragend in inno-

vativen Minimill-Produktionslinien integrieren oder sogar nachrüsten. Mit einem nachgeschalteten induktiven Temperaturbooster kann der konventionelle Ofen verkürzt und bei niedrigeren Temperaturen gefahren werden. Somit wird die Lebensdauer des Feuerfestmaterials und der Ofenrollen maximiert. Darüber hinaus wird der Einsatz von ungekühlten Trockenrollen möglich, was bei einem bestimmten Produktionsmix zu einer Energieeinsparung von rund 10 % gegenüber der Fahrweise mit gekühlten Transportrollen führt.

Die Verwendung von Induktion senkt gleichzeitig den Gasverbrauch des Rollenherdofens und somit den CO₂-Ausstoß nachhaltig. Die flexible Temperatursteuerung der Induktion erlaubt optimale Einlauftemperaturen in das Warmwalzwerk. Das höhere Temperaturniveau zwischen den ersten beiden Walzgerüsten erlaubt eine größere Dickenabnahme, die vollständige Beseitigung der Gießstruktur und die Rekristallisation des Gefüges.

Im Endloswalzprozess für sehr dünne Bandgüten oder Siliziumstähle gleichen kompakte, integrierte Induktionseinheiten zwischen den Fertigerüsten den Temperaturverlust aus und gewährleisten das richtige Temperaturniveau am Ende des Fertigwalzwerks.

Insgesamt betrachtet bietet die Induktionserwärmung in Minimills den Betreibern eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, die die Wettbewerbsfähigkeit weiter erhöhen und die Produktion besonders lukrativer Stahlgüten erlauben.

LITERATUR

- [1] Newsletter Sonderausgabe Metec Juni 2011
- [2] Entwicklung und Bewertung induktiver Nachwärmkonzepte im Warmwalzwerk (Vogt: Elotherm; Masterarbeit 2011)
- [3] Newsletter der SMS group (Newsletter SMS group 3/2011)

AUTOREN



Dipl.-Ing. **Anis Abdurahman**
 SMS Elotherm GmbH, Remscheid
 Tel.: 02191/891-319
 a.abdurahman@sms-elotherm.de



Dipl.-Wirt.-Ing. **Dirk M. Schibisch**
 SMS Elotherm GmbH, Remscheid
 Tel.: 02191/891-300
 d.schibisch@sms-elotherm.de

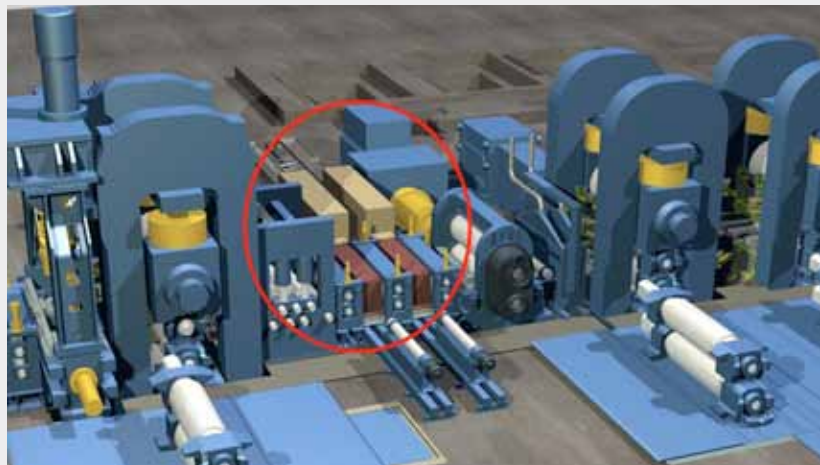


Bild 6: Zurückfahrbare Induktionseinheiten zwischen Vorgerüst und Fertigerüst. Jede Einheit hat eine max. Leistung von 4,5 MW bei 600 mm Einbauraum (Quelle: SMS Siemag)

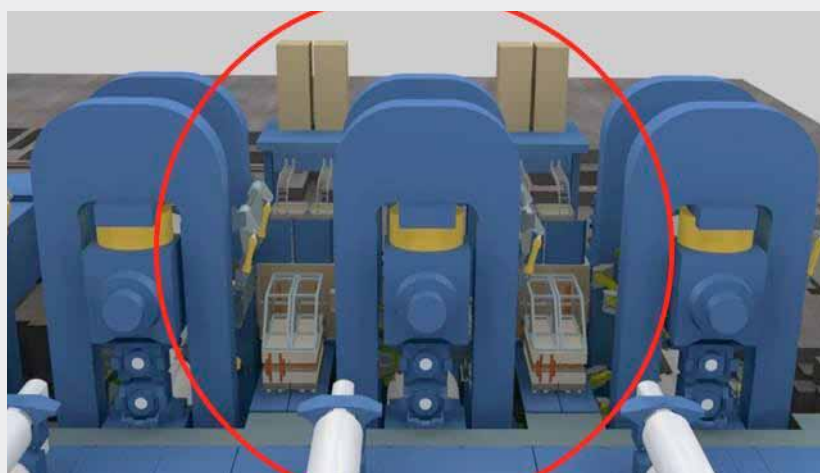


Bild 7: Induktive Zwischenerwärmung innerhalb der Fertigerüste zur gezielten Temperaturerhöhung beim Walzen dünner Bandgüten (Quelle: SMS Siemag)

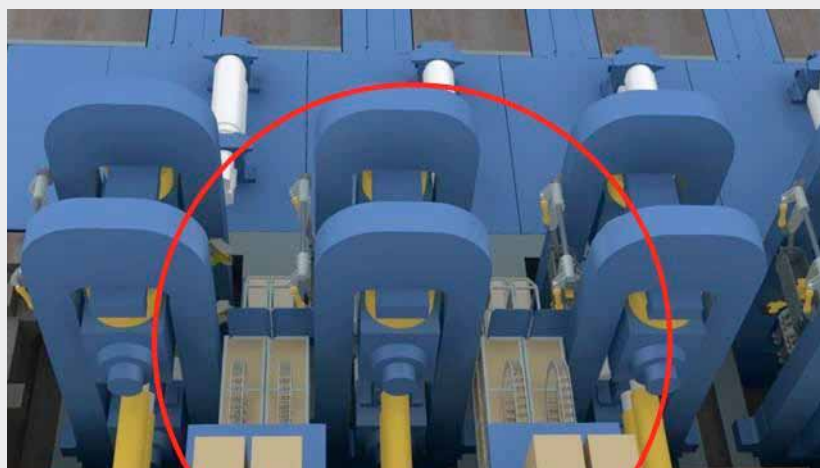


Bild 8: Flexible Querfeldmodule mit einer maximalen Leistung von 3,2 MW bei 550 mm Einbauraum (Quelle: SMS Siemag)