

# Hybride Erwärmungsstrategien in der Thermoprozesstechnik

von **Helmut Krammer, Markus Langejürgen, Christian Sprung**

Aufgrund der aktuellen Energiewende und der damit verbundenen Diskussion stellt sich die Frage wie der zukünftige Einsatz von Strom und Gas in industriellen Erwärmungsanlagen aussehen wird. Auch wenn beide Erwärmungsstrategien auf den ersten Blick wenig gemeinsam haben, ist das Ziel beider Erwärmungsstrategien stets das gleiche. Es soll eine vorgegebene Erwärmungstemperatur mit der einzuhaltenden Gleichmäßigkeit und Haltedauer unter möglichst geringem Energie- und Materialeinsatz erreicht werden. Da der Erwärmungsweg über einen gasbeheizten Ofen in vielen Betrieben stark verankert ist, werden alternative Erwärmungsstrategien zu selten betrachtet. Durch hybride Lösungen können nicht nur Kosten- und Qualitätsvorteile erzielt werden. Durch die gegenseitige Ergänzung werden neben neuen Erwärmungsstrategien auch neue Prozessrouten ermöglicht. Wie unterschiedlich hybride Lösungen und die Vorteile aussehen, kann am besten anhand von Beispielen aus den verschiedensten Fachbereichen vorgeführt werden.

## Advantages of hybride heating concepts

Because of the energy transition the use of electrical energy and fossile energy for industrial thermal processes is discussed intensively. Even if both heating concepts are looking completely different, they are usually pursuing identical objectives. A required temperature with a precise predictable uniformity has to be reached. For metallurgical reasons often a defined soaking time is required subsequently after heating as well. Traditionally gas fired furnaces are often used in industrial thermal treatment. Modern technologies with alternative heating concepts are rarely considered. Hybride heating concepts are not only superior in respect to quality and energy costs, by intelligent combination of these concepts, completely new process sequences are possible. Advantages of solutions with combined hybride heating concepts are shown.

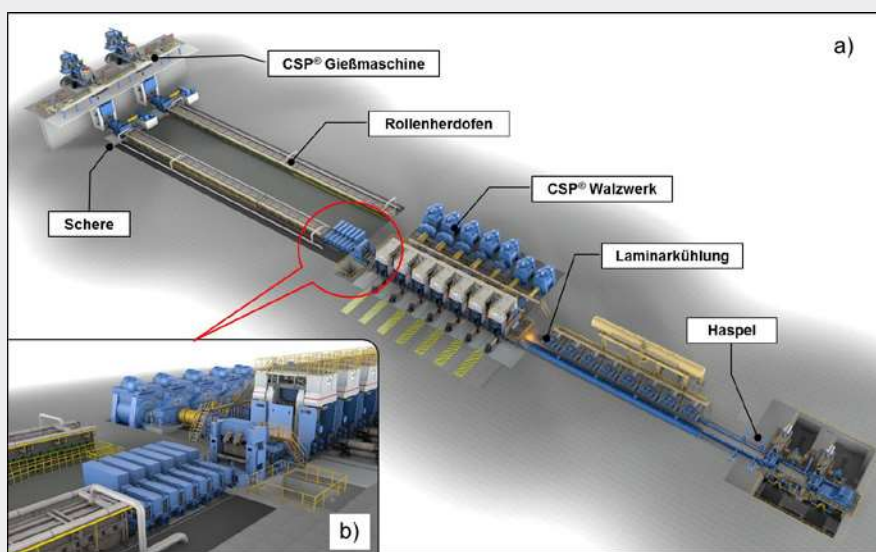
Jede Erwärmungsstrategie zeichnet sich durch klare Vor- und Nachteile aus. Bei induktiven Erwärmungsanlagen kann durch die sehr rasche und gezielte Erwärmung direkt im Material ein Vorteil bei der Randentkohlung und bei der Zunderbildung erzielt werden. Weiter sind einstellbare Temperaturgradienten bzw. eine Erwärmung von Teilbereichen durch speziell angepasste Induktoren möglich. Die Einhaltung einer hohen Temperaturgenauigkeit während der Haltezeit oder das Erwärmen großer Bauteile ist jedoch schwer umsetzbar und somit auch kostenintensiv.

Ein konventionell gasbeheizter Ofen kann hingegen problemlos eine hohe Temperaturgenauigkeit über eine lange Zeit sicherstellen. In Punkto diskontinuierliche Produktion, Energieeffizienz, Emissionen und dem Energieverbrauch in Nebenzeiten, weisen diese Erwärmungsaggregate jedoch deutliche Defizite auf. Auch wenn exemplarisch nur die

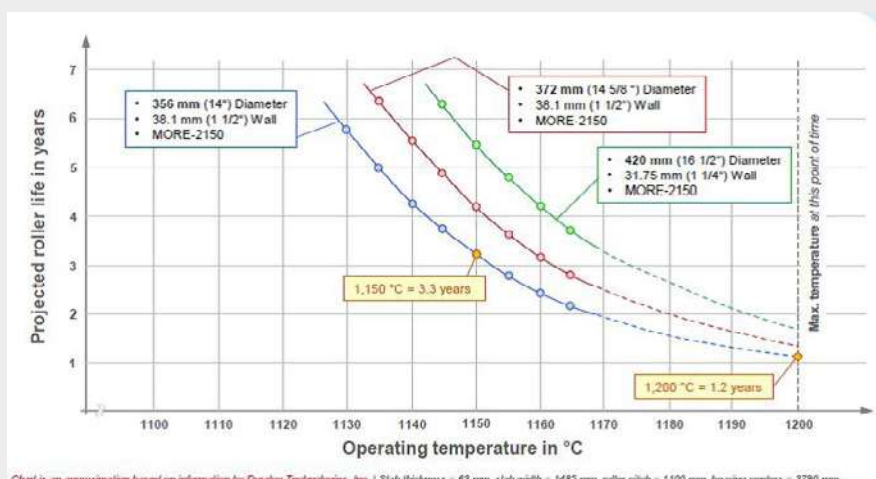
gravierendsten Stärken und Schwächen gegenübergestellt werden, kann klar erkannt werden, dass sich beide Anlagentypen je nach Anwendungsfall perfekt ergänzen.

### VORHANDENE ANWENDUNGSBEREICHE

Anwendungsbereiche für hybride Erwärmungsanlagen sind hinreichend bekannt und vielfach im Einsatz, beschränken sich jedoch meist auf eine reine Leistungssteigerung. Bei kontinuierlichen Ofenanlagen wie z.B. Hubbalkenofen bzw. Gleichschrittofen kann durch eine induktive Vor- bzw. Nacherwärmung eine Leistungssteigerung auf kleinsten Raum und mit höchster Effizienz realisiert werden. Bei einer induktiven Nacherwärmung kann ein Qualitäts- und Kostenvorteil durch geringere Ofenraumtemperaturen und den damit verbundenen Vorteilen bei der Zunderbildung und der Randschichtentkohlung erzielt werden.



**Bild 1:** Integrierte Gieß- und Walzanlage mit Induktionsbooster (Teilbild b)



**Bild 2:** Zusammenhang zwischen Ofenraumtemperatur und Lebensdauer von Rollen

Hauptgrund für eine Leistungssteigerung mittels Induktion sind meist beengte Platzverhältnisse in bestehenden Werken und geringere Investmentkosten, da die meisten konventionellen Ofentypen nur mit hohem baulichen Aufwand (Hubherd-, Hubbalken-, Gleichschritt-, Rollenherdofen) oder gar nicht (Drehherd- und Drehtellerofen) verlängert werden können. Eine Leistungssteigerung ohne Ofenverlängerung stellt meist einen Kompromiss dar, da ein höherer Wärmeübergang sich nur durch höhere Ofenraumtemperaturen realisieren lässt. Oftmals werden Regenerativbrenner in die Konvektionszonen gesetzt, wobei dies zusätzliche Änderungen wie z.B. in der Feuerfestauskleidung, bei der Rollenauslegung oder im Weg des Abgases nach sich zieht.

## NEUE ANWENDUNGSBEREICHE

Folgend sind wie eingangs erwähnt exemplarische Anwendungsbereiche für hybride Systeme aus den verschiedensten Gebieten aufgeführt:

### Integrierte Gieß- und Walzanlagen wie Continuous Strip Production CSP / Rollenherdofen

Rollenherdofen in CSP-Anlagen können durch einen nachfolgenden Induktionsbooster entweder Brammen mit höheren Ziehtemperaturen bereitstellen oder einen Betrieb des Ofens mit abgesenkten Temperaturen bei Beibehaltung der Ziehtemperatur darstellen.

Eine mögliche Anordnung zeigt **Bild 1**. Bei der letztgenannten Variante ergibt sich eine Ersparnis bei den Betriebskosten durch die Temperaturabsenkung an sich und die Möglichkeit trockene Ofenrollen einzusetzen. Diese Rollen vertragen in gewissem Maße die Innenraumtemperaturen eines Ofens. Eine Kühlung ist daher nicht erforderlich, was netto etwa 20 kW thermische Verluste pro Rolle einspart. Bei Tunnelöfen von mehreren hundert Meter Länge und einem Rollenabstand von ungefähr 1 m ergeben sich Einsparungen bei den Verlusten von 2 MW / 100 m Ofenlänge. Je nach feuerungstechnischem Wirkungsgrad können also insgesamt erhebliche Einsparungen beim Gasverbrauch erzielt werden.

Allerdings sinkt die zu erwartende Lebensdauer dieser Rollen mit zunehmender Temperatur (**Bild 2**). Sollen diese Rollen wirtschaftlich eingesetzt werden, dann ist eine hohe Standzeit notwendig. Hierzu muss allerdings die Ofenraumtemperatur begrenzt werden. Mit

dieser Beschränkung lässt sich häufig nicht das gesamte Produktspektrum produzieren.

Die Lösung liegt auch hier in einer nachgeschalteten Induktionserwärmung, die je nach Bedarf die Brammentemperatur von kleiner 1.150 °C auf das geforderte Niveau anhebt. Die durch Umbau der Rollen kontinuierlich eingesparte Energie, würde somit nur gezielt bei den Produkten zusätzlich eingebracht, die dies für die Produktion benötigen.

Werden die Maßnahmen Absenkung der Ofenraumtemperaturen um 50 °C und Substituieren der wassergekühlten Rollen durch trockene Rollen realisiert, lässt sich der spezifische Verbrauch des Ofens je nach konkretem Betriebspunkt um ca. 50-70 % reduzieren, wie **Bild 3** demonstriert.

Bei einer Kombination von Tunnelofen mit induktiver Erwärmungseinheit kann eine nachfolgende Induktionseinheit auch dazu genutzt werden, Temperaturunterschiede in der Dünnbramme (z. B. Temperaturkeil) auszugleichen, was ein weiteres wesentliches Qualitätsmerkmal darstellt.

In **Bild 4** ist die Integration einer Induktionserwärmung in eine CSP-Anlage bei Nucor am Standort Berkeley ersichtlich. Es sind insgesamt 4 Module mit jeweils 4,5 MW installiert. Innerhalb der induktiven Erwärmung wird vor dem Einlauf in das erste Walzgerüst die Temperatur von 1.150 °C auf max. 1.200 °C in einer Durchlaufzeit von 12 Sekunden angehoben.

Natürlich beschränkt sich ein Einsatz einer induktiven Nacherwärmung nicht auf CSP-Anlagen. Die Standzeit der Ofenrollen ist bedingt durch den hohen Preis bei jedem Rollenherdofen ein zentrales Thema.

### Platinenerwärmung

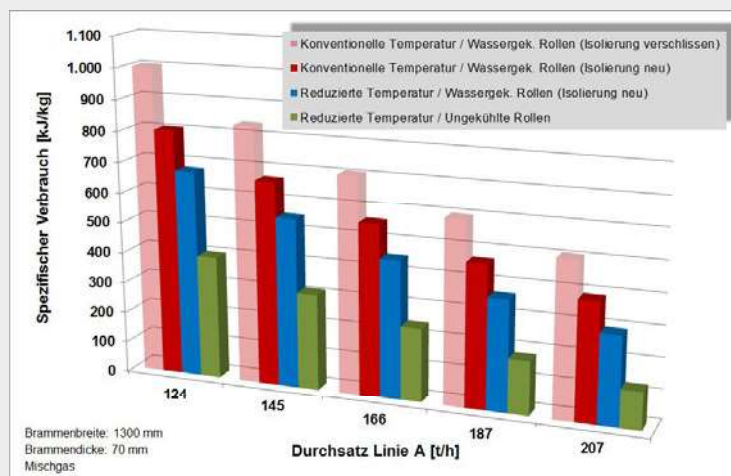
Bei der Platinenerwärmung vor dem Presshärten ist eine induktive Vorerwärmung von Formplatinen auf ca. 700 °C sinnvoll einsetzbar. Es wird gezielt nur auf eine induktive Vorerwärmung gesetzt, da bei den komplizierten geometrischen Formen mit Hinterschneidungen und der geringen Dicke von max. 2 mm die Temperaturgleichmäßigkeit bei knapp oberhalb von 900 °C Umformtemperatur nur mit hohem Aufwand erzielt werden kann. Durch die induktive Vorerwärmung verkürzt sich die gesamte Wärmzeit und somit auch der nachfolgende Rollenherdofen um ca. 2/3. Die Rollenanzahl verringert sich dementsprechend, weiter erhöht sich die Standzeit der Rollen, da der Temperaturschock durch die vorgewärmten Platinen geringer ausfällt. Neben der Energieeinsparung und den geringeren Wartungskosten für den Rollentausch sind vor allem die verkürzten Wärmzeiten für die Betreiber von Vorteil. Teurer Ausschuss bei Stillständen wird deutlich reduziert und ein schnelleres Anfahren der Gesamtanlage wird ermöglicht.

Ein großer Vorteil ist auch der Platzbedarf einer derartigen Anlage, während 12 m Tunnelofen eingespart werden, besitzt die 800 kW-Induktionseinheit zwischen Einlaufrolle und Auslaufrolle gerade einmal 950 mm Länge.

Durch den natürlichen Ausgleich in der Nähe zur Curie-Temperatur kommen auch sogenannte „taylored“ Platinen mit unterschiedlicher Blechdicke nahezu homogen erwärmt aus der induktiven Vorerwärmung in den Ofen. Typische Taktzeiten von 10 Sekunden können auch für große Formate realisiert werden.

### Zwischenerwärmung während des Walzens

Das Gut wird vor dem Walzprozess in konventionellen Öfen entweder im Durchlauf- oder im Satzbetrieb erwärmt. Um ein Nachsetzen in Öfen zu vermeiden bzw. zu verringern, kann während des Umformprozesses nachgewärmt werden. Die Induktionsheizung wird dabei vor, nach oder



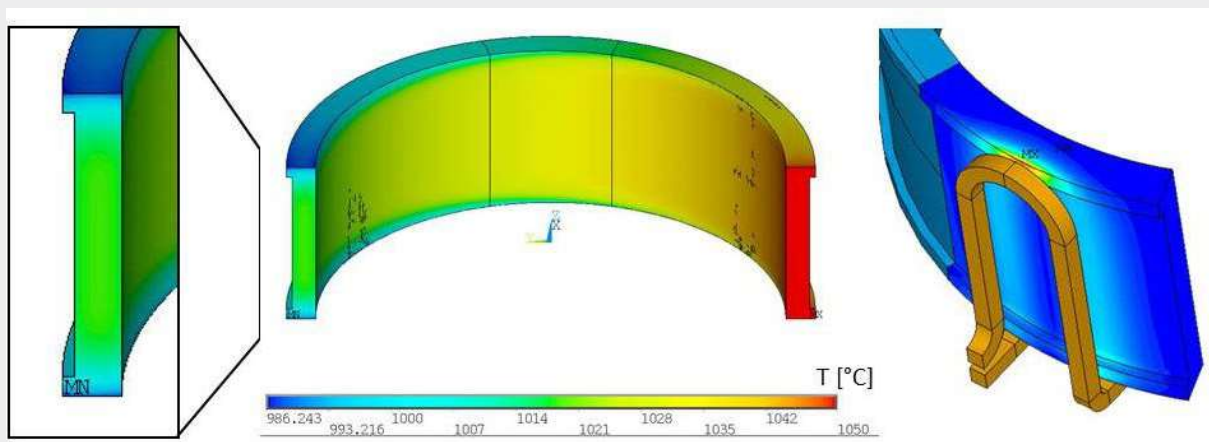
**Bild 3:** Der spezifische Verbrauch des Ofens lässt sich reduzieren



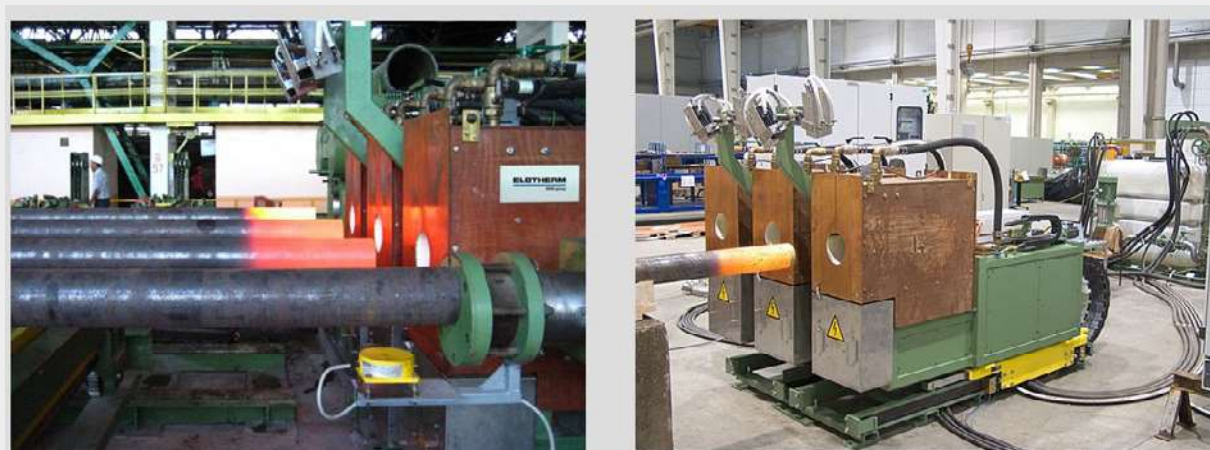
**Bild 4:** Integration einer Induktionserwärmung in eine CSP-Anlage

zwischen den Walzgerüsten platziert. Gerade bei Geometrien mit großen Oberflächen und geringer Masse, wo zum Teil mehrfach nachgesetzt werden muss, bringt eine Umformung aus einer Hitze erhebliche Vorteile. Neben der Energieeinsparung wird die Produktionslogistik vereinfacht und die Zykluszeit stark verringert. Das konventionelle Aggregat muss nicht für etwaiges Nachsetzen freigehalten werden, sodass bei ansonsten gleicher Ausrüstung eine Produktionssteigerung möglich ist. Ein schlechtes Verhältnis von Oberfläche zu Masse findet sich exemplarisch bei Ringen. **Bild 5** zeigt eine induktive inline-Erwärmung für eine Ringwalzmaschine.

Hier kühlen die Randbereiche vorzeitig aus, was ein mehrfaches Nacherwärmen im Ofen erforderlich macht. Falls induktiv während des Walzens nachgewärmt wird, entfallen je nach Komplexität des Profils und Eigenschaften



**Bild 5:** Induktive In-line-Erwärmung für Ringwalzmaschine



**Bild 6:** Vorerwärmung für Upsets

des Werkstücks mehrere der Nachwärmungen. Bestenfalls kann das Produkt mit einer Vorerwärmung produziert werden, was die Produktion erheblich steigert.

Hierbei liegt der Fokus auf dem Halten der Temperatur. Es werden lediglich die Verluste an die Umgebung und die Walzen nachgewärmt. Ein vorangegangenes Aufwärmen erfolgt mit konventioneller Ofentechnik.

#### Gezieltes Vorwärmen

Werden Bauteile mit stark unterschiedlichen Massen in einem konventionellen Ofen erwärmt, kann nicht gezielt auf die verschiedenen Massen eingewirkt werden. Die Erwärmungszeit ergibt sich aus der größten Masseansammlung. Dünnere Bereiche liegen zu lange im Ofen und verzundern dementsprechend. Rohre mit heavy upset liegen häufig viel zu lange in einem zu großen Ofen, da ein kleiner Teilbereich eine größere Masse aufweist. Diese Masseansammlung kann vor einem konven-

tionellen Ofen in sehr kurzer Zeit induktiv vorerwärmt werden. In **Bild 6** ist eine Vorerwärmung für upsets zu sehen, sodass sich die Ofenzeit stark verkürzt, woraus eine ideale Erwärmungsstrategie mit geringstem Energieeinsatz und Zunderanfall resultiert.

#### Gezieltes Nachwärmen

Lokaler Temperatenausgleich wie z.B. Nacherwärmung von „skid marks“. Bei Stoßöfen aber auch bei Hubbalkenöfen entstehen an der Brammenunterseite kalte Streifen während des Transports auf den Auflageflächen im Ofen. Auch isolierte Reiter können nur bedingt diese kalten Stellen vermeiden. Skid marks sind ein Qualitätsproblem für das anschließende Walzen und sollten somit möglichst vermieden werden. Durch eine induktive Beheizung mit speziell angepassten Induktoren können diese Stellen gezielt nacherwärmt und somit die Brammentemperatur ausgeglichen werden.

## Einsatz konventioneller Öfen in induktiven Anlagen

Optimierung induktiver Systeme wie z. B. Stab- oder Rohrvergüteanlagen mittels gasbeheizter Ofentechnik. Durch die induktive Erwärmung auf Härte- bzw. Anlasstemperatur kann sehr schnell und unter geringer Zunderentwicklung aufgeheizt werden. Um einen idealen Temperatenausgleich zu erzielen, kann die Ausgleichsstrecken dieser Anlagen durch konventionelle gas- oder elektrisch beheizte Öfen ersetzt werden. Bei einer Gasbeheizung kann durch die Ofenatmosphäre die Zunderentwicklung und die Randschichtenkohlung gegenüber einer reinen induktiven Anlage noch weiter reduziert werden. Weiter ist ein optimaler Temperatenausgleich auch bei unterschiedlichen Wandstärken möglich, was für rein induktive Anlagen bedingt durch das Erwärmungskonzept eine große Herausforderung darstellt.

## FAZIT

Die vielfältigen Vorteile der Hybridlösungen können nur beispielhaft aufgezeigt werden. Oftmals sind es nicht die reinen Energiekosten, welche die vorgestellten Lösungen rentabel machen. So können zum Beispiel beim Rollenherdofen durch zwei verschiedene Ansätze, welche jeweils auf das Produkt zugeschnitten sind, teure Rollenwechsel verringert werden.

Aus einem nur langsam reagierenden Ofen kann durch eine zusätzliche Induktionserwärmung ein extrem flexib-

les Gesamtsystem geschaffen werden. Umgekehrt sind jedoch konventionelle Öfen für das Erreichen einer höheren Temperaturgenauigkeit besser geeignet, sodass auch ein Einsatz von konventionellen Öfen in normalerweise rein induktiven Linien sinnvoll sein kann. Die optimale (hybride) Wärmestrategie muss daher an die Anforderungen des Wärmegutes und des Betriebs angepasst werden.

## AUTOREN



**Helmut Krammer**  
SMS Elotherm GmbH  
Remscheid  
Tel.: 02191 / 891-250  
h.krammer@sms-elotherm.com



Dr.-Ing. **Markus Langejürgen**  
SMS Elotherm GmbH  
Remscheid  
Tel.: 02191 / 891-218  
m.langejuergen@sms-elotherm.com



Dr. **Christian Sprung**  
SMS group GmbH  
Düsseldorf  
Tel.: 0211 / 881 6724  
christian.sprung@sms-group.com

# Check it out: www.prozesswaerme.net



Prozesswärme ONLINE vereint Wissen,  
Markt und Anwender!

**PROZESSWÄRME**  **ONLINE**  
Das B2B-Portal für die Thermoprozesstechnik