



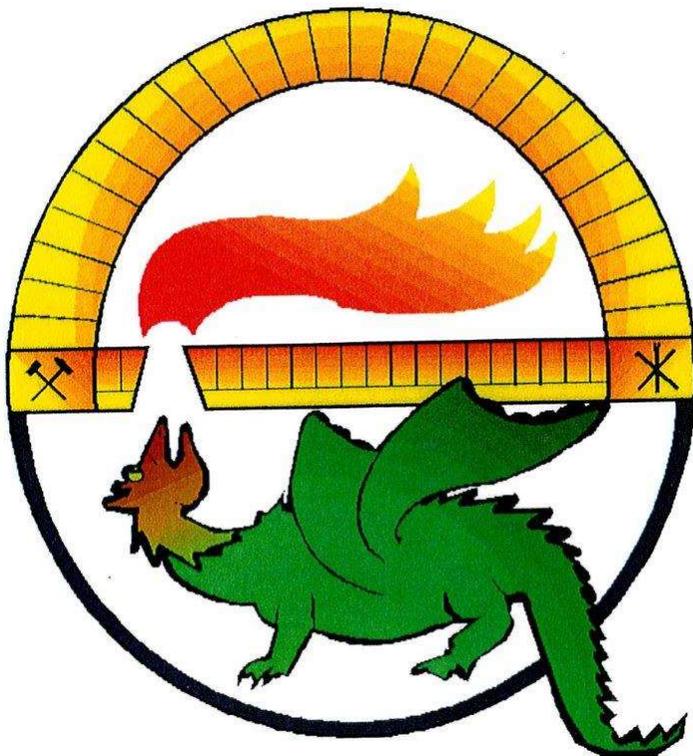
Moderne Industrieofen- anlagen zur Wärmebehandlung

Dr. Peter Wendt
Vice President, Business Development

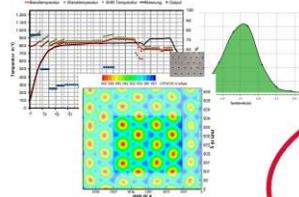
April 2022

Moderne Industrieofenanlagen (Heizen + Kühlen ++)

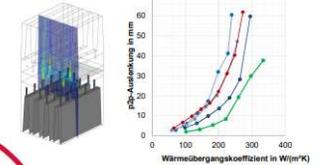
EINLEITUNG



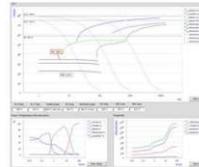
Energietransport



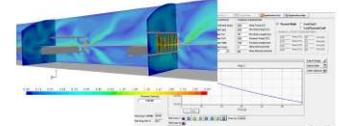
Gutmechanik



Werkstoffe



Atmosphärentechnik



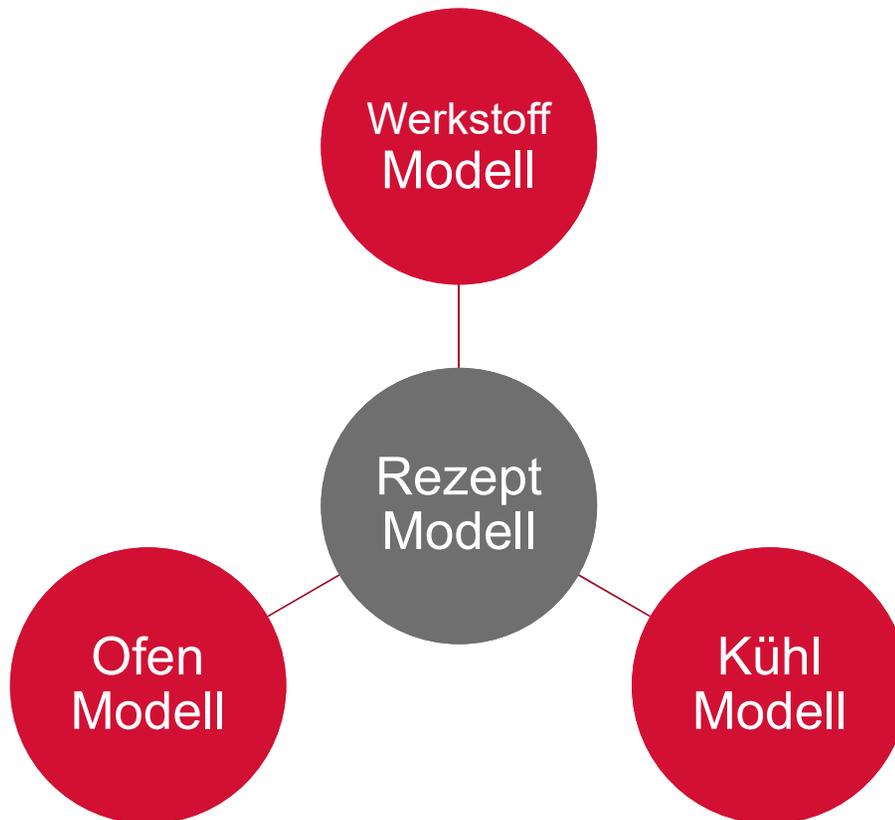
Anlagenkomponenten



- + Automatisierung
- + Mathematische Modelle zur Auslegung
- + Mathematische Ofenführungsmodelle
- + Mathematische Optimierungsmodelle

Die Bandbreite der mathematischen Modelle

EINFÜHRUNG



MATHEMATISCHE MODELLE MATHEMATICAL MODEL

Furnace Model – **Ofen-Modell**

- Bestimmung und Steuerung des Aufheizprozesses
to determine the heating process and the control of the heating system

Quench Model – **Kühl- / Abschreck-Modell**

- Bestimmung des Kühlprozesses
to determine the cooling process
- Optimierung der Grobblech-Planheit
to optimize the plate flatness

Material Model – **Werkstoff-Modell**

- Bestimmung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften
to determine the microstructure and the mechanical properties

Recipe Model – **Glührezept-Modell**

- Bestimmung des Glührezeptes, um die erforderlichen Materialeigenschaften zu erzielen
to generate recipes according to the required material properties

Wärmebehandlung von Eisenbahnrädern

LOI-PROZESSMODELLE IN DER WÄRMEBEHANDLUNG



Sicherheit für Hochgeschwindigkeitszüge



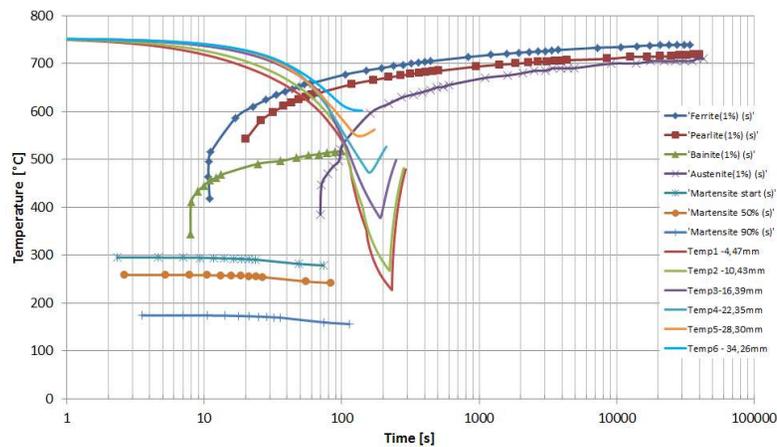
Ziel: 500 km/h



10 verschiedene mechanische Eigenschaften werden garantiert!

Wärmebehandlung von Eisenbahnrädern

LOI-PROZESSMODELLE IN DER WÄRMEBEHANDLUNG

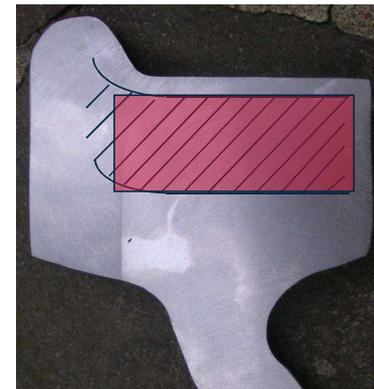
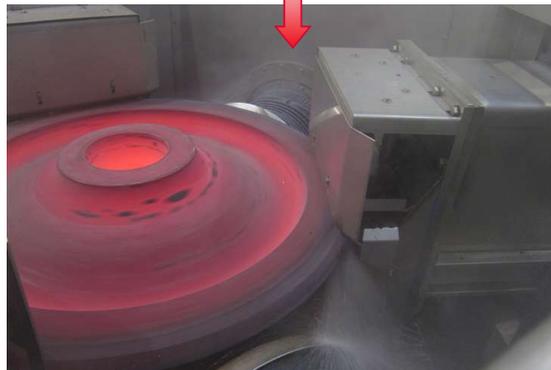


Optimale Wärmebehandlung

- Ziel: Homogene Gefügeausbildung innerhalb des gesamten Verschleißbereichs
→ homogene mechanische Eigenschaften
- Maßgeschneiderte Abkühlstrategie im Bereich der Lauffläche des Rads

Resultat

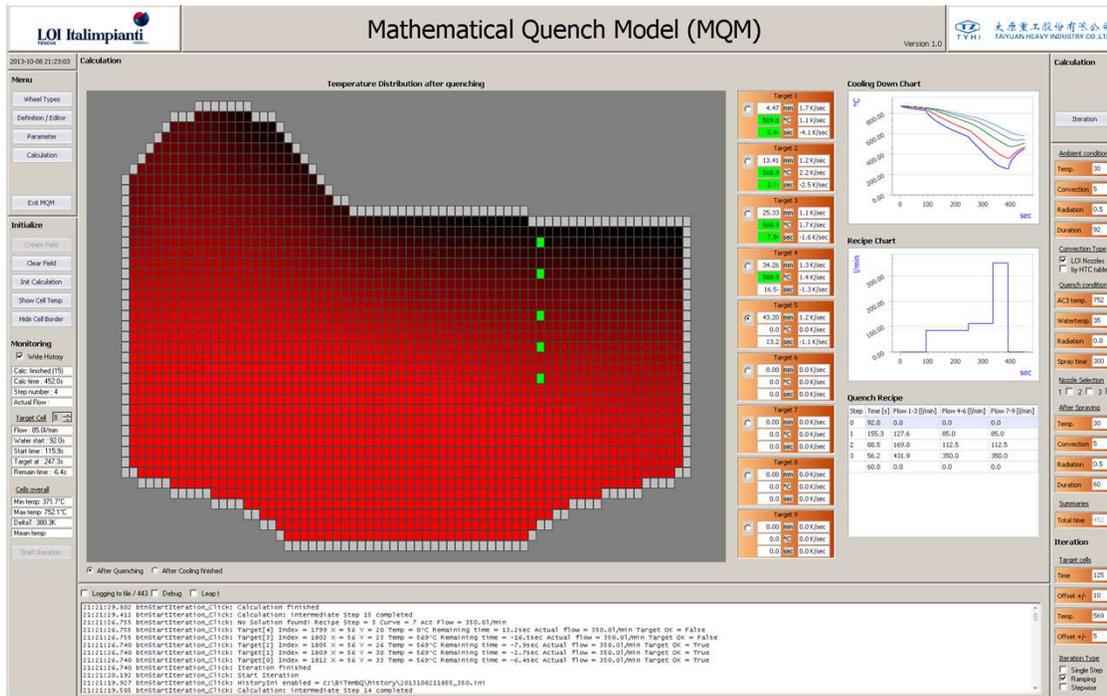
- Optimale Dauerschwingfestigkeit der Lauffläche
- Hohe Zähigkeit im Bereich der Nabe



„Mathematical Quench Model“ für Eisenbahnräder



LOI-PROZESSMODELLE IN DER WÄRMEBEHANDLUNG



Dritte Generation des MQM

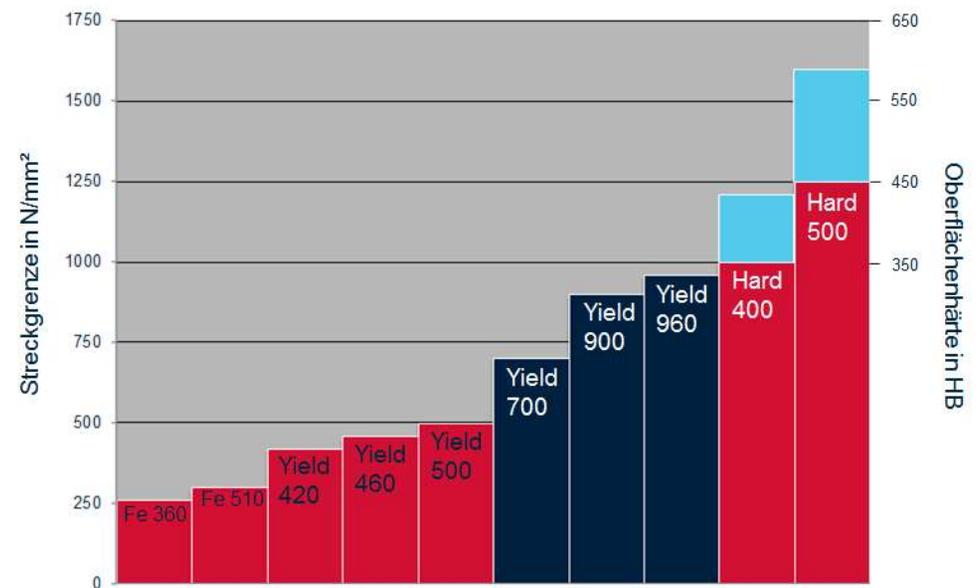
- Bewährtes mathematisches Modell zur Bestimmung und Berechnung von Rezepten
- Grafischer Editor zum Erstellen/Importieren des Produktprofils
- Zielhärten (Target Quenching) mit Hilfe von 9 unterschiedlichen Kühlzonen
- Bestimmen der mechanischen Produkteigenschaften nach der Wärmebehandlung

Wärmebehandlung von Grobblech

LOI-PROZESSMODELLE IN DER WÄRMEBEHANDLUNG

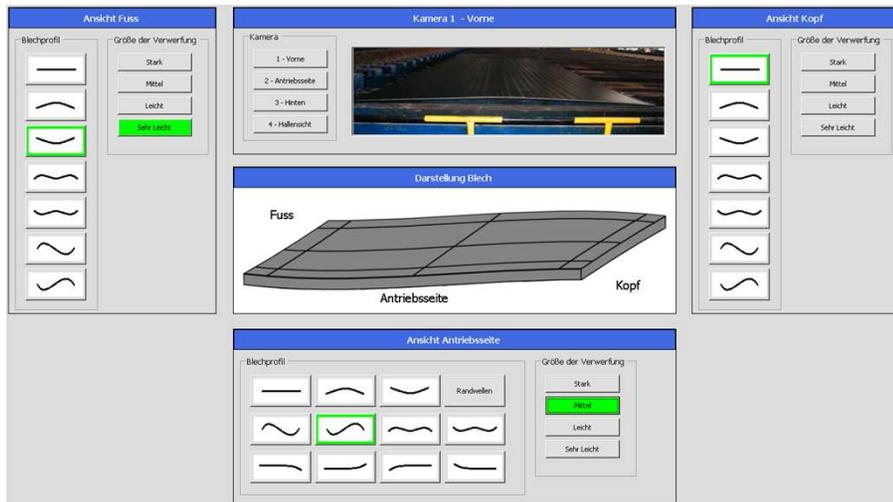


Optimierung der mechanischen Eigenschaften ermöglicht neue Einsatzgebiete



Ebenheits-Modell für Grobblech

LOI-PROZESSMODELLE IN DER WÄRMEBEHANDLUNG



- Optische Beurteilung des Blechs aus verschiedenen Ansichten
- Bewertung der Unebenheiten mit einem einfachen Dialog
- Einbinden von Kameras
- Gegenmaßnahmen nach Art und Größe der Verbiegung (bis zu 12 individuelle Regelzonen)
- Ebenheitsmodell liefert neues Rezept durch
 - Basiskorrektur
 - Erfahrungswert durch selbstlernende Technik

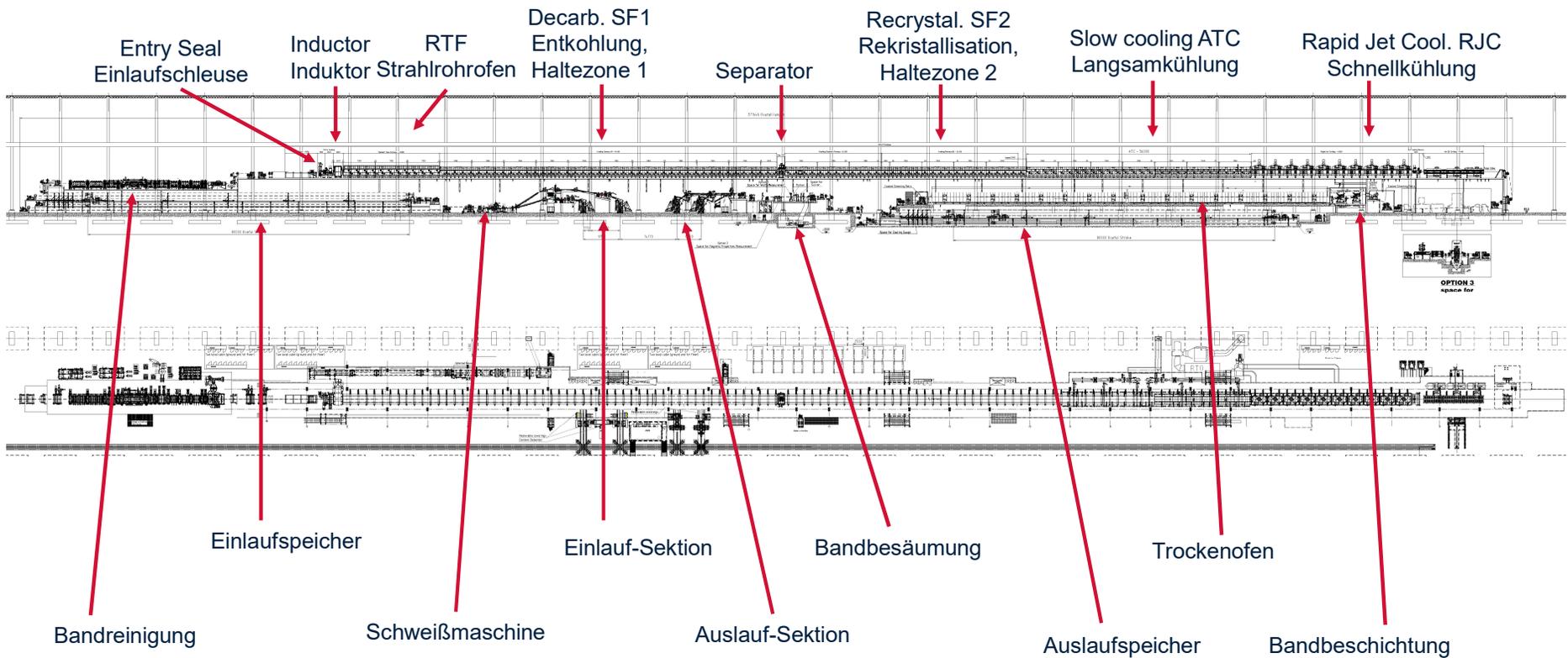
Wärmebehandlung von Elektrobänd (NGO)

ANNEALING AND COATING LINE

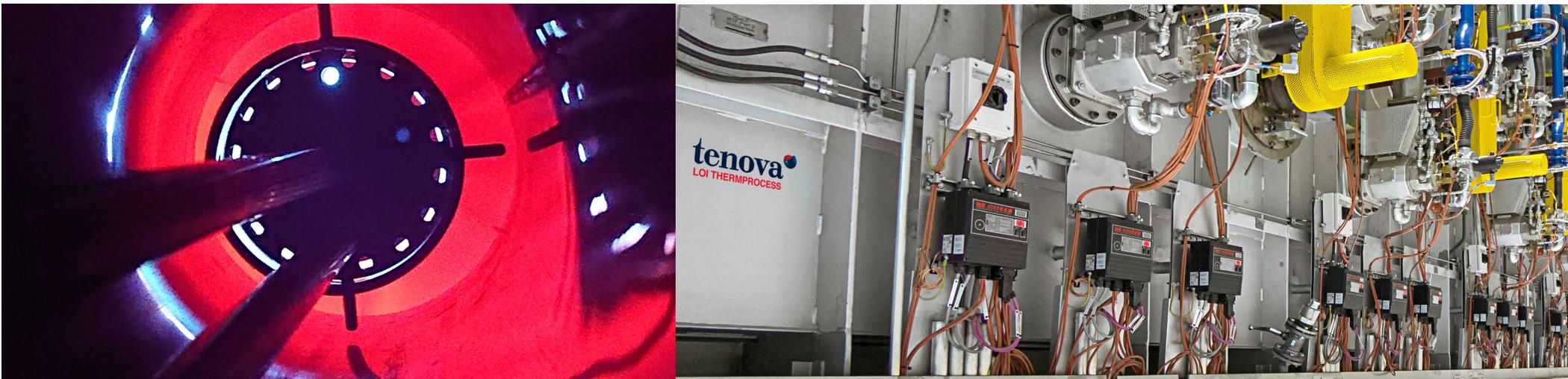


Typisches Layout einer Elektrobandanlage

ANNEALING AND COATING LINE



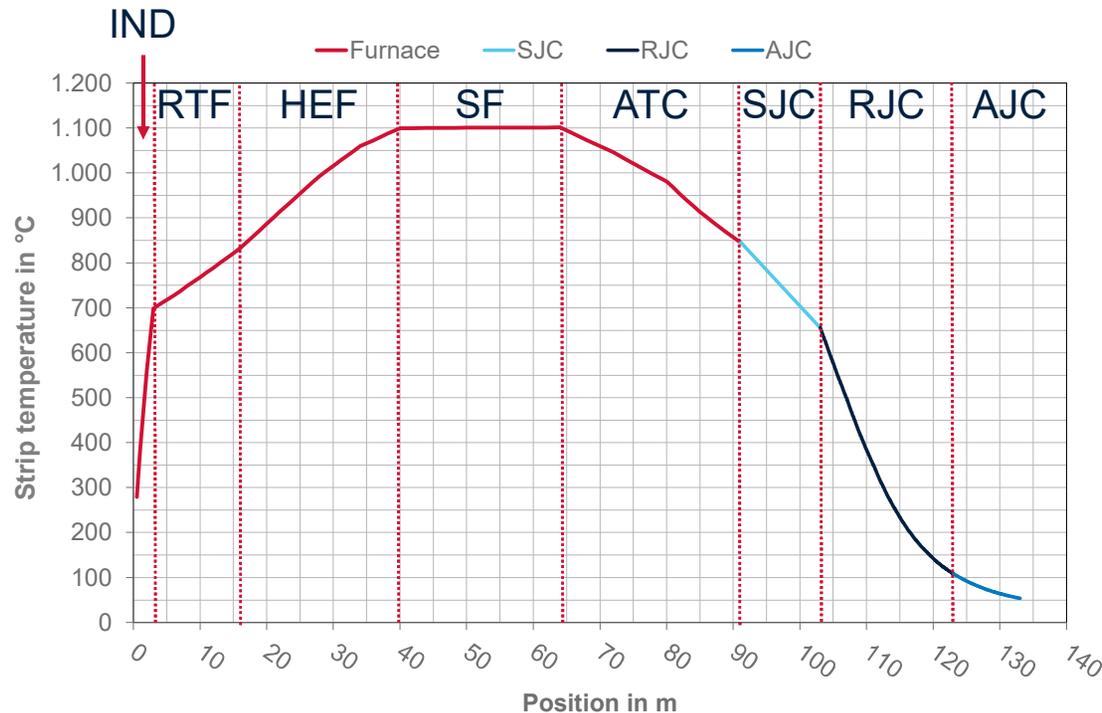
Ofenlänge: ± 300 m / Anlagenlänge: ± 600 m in 2-3 Ebenen



Heating Strategies

Typische Glühkurve mit induktiver Beheizung

HEATING STRATEGIES



Inductor (IND):

- RT - 700°C > 200 K/s

Radiant tube furnace (RTF):

- 700 - 850°C > 12 K/s

Heating element furnace (HEF):

- 850 - 1100°C > 12 K/s

Soaking furnace (SF):

- Soaking time typ. > 20 s

Air tube cooling (ATC):

- 1100 - 850°C < - 10 ..-15 K/s

Slow jet cooler (SJC):

- 850 - 660°C < - 20 K/s

Rapid jet cooler (RJC):

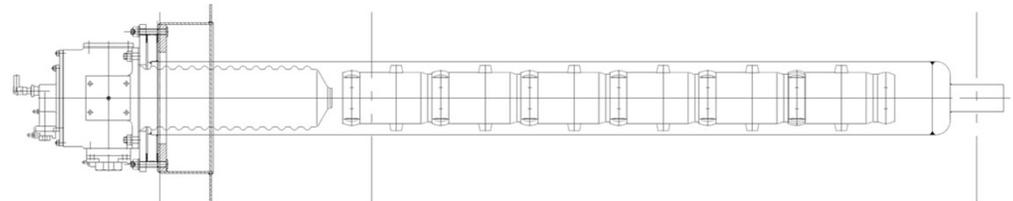
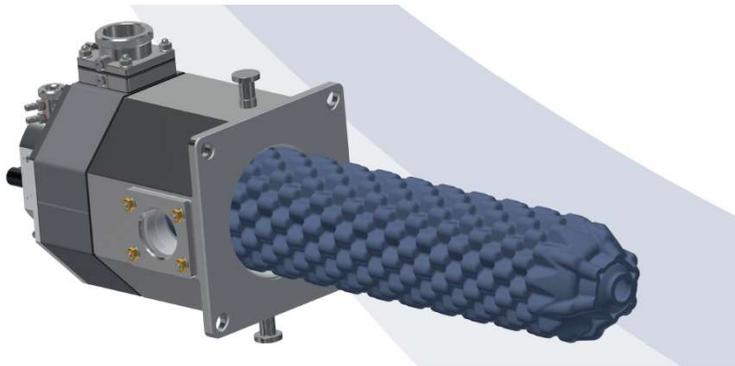
- 660 - 100°C < - 50 K/s

Air jet cooler (AJC):

- 100 - 50°C - 15 K/s

Brenner und Strahlheizrohre (Single Ended)

HEATING STRATEGIES



BRENNER / BURNER

- Flammenlose Verbrennung
- NOx Emission
 < 40 mg/Nm^{3*} Flammenlos
 < 150 mg/Nm^{3*} Flamme
- >70% Wirkungsgrad (metallischer Reku)
- Bereits mit H₂ getestet

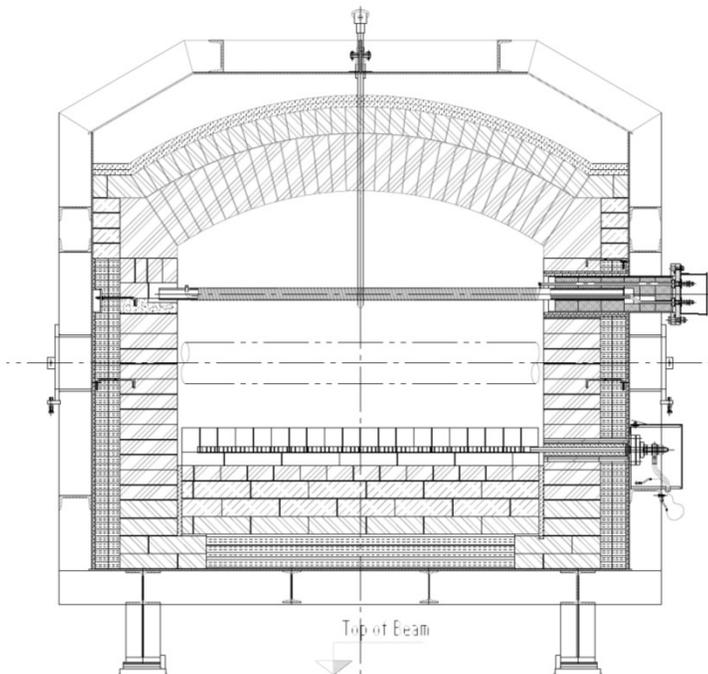
* Reference 5% Sauerstoff

STRAHLHEIROHR / RADIANT TUBE

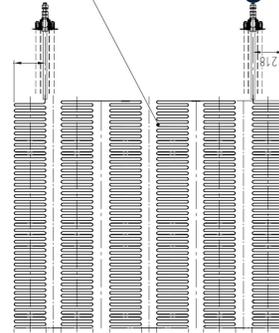
- Metallisch (max. 1100°C Manteltemperatur)
- Keramisch (SiSiC, max, 1250°C)
- Optimierte Temperaturgleichmäßigkeit durch spezielle Flammenführung

E-Heizung

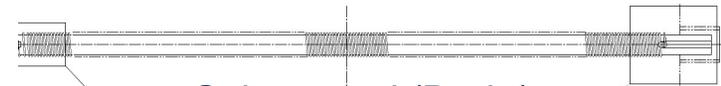
HEATING STRATEGIES



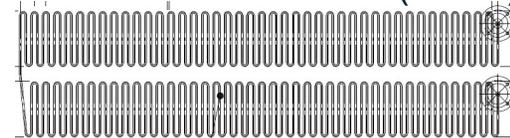
Bodenheizung (Band)



Deckenheizung (Draht auf Keramikrohr)

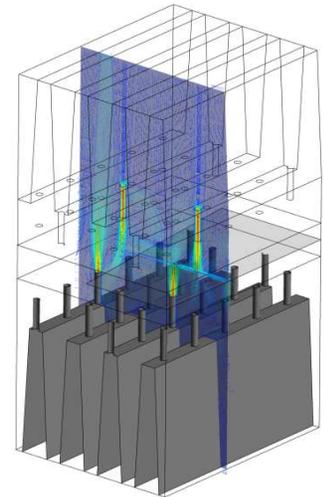
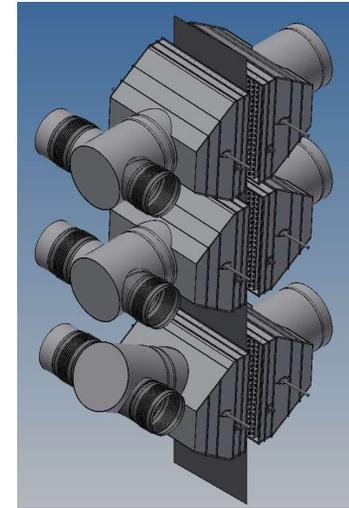
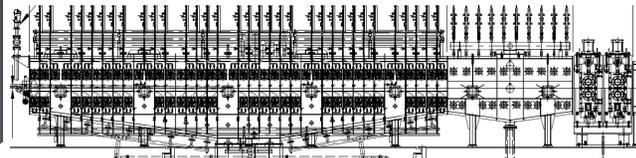
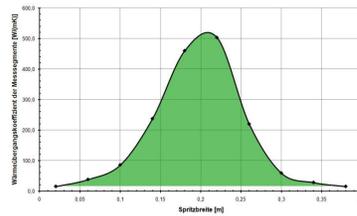
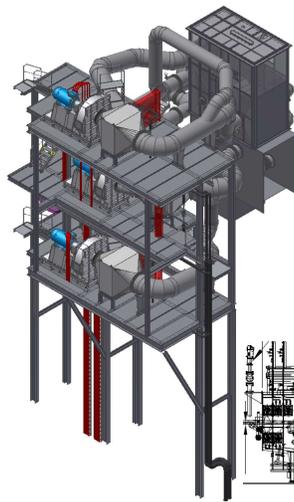
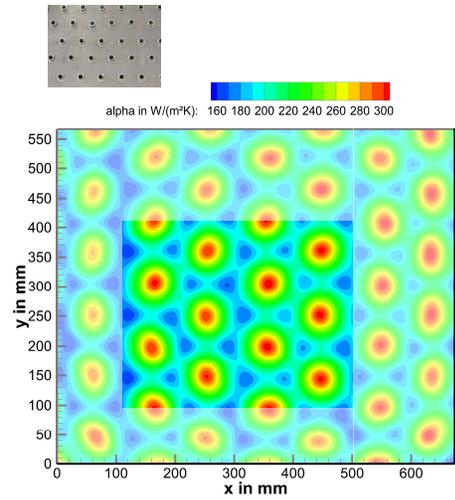


Seitenwand (Draht)



HIGHLIGHTS

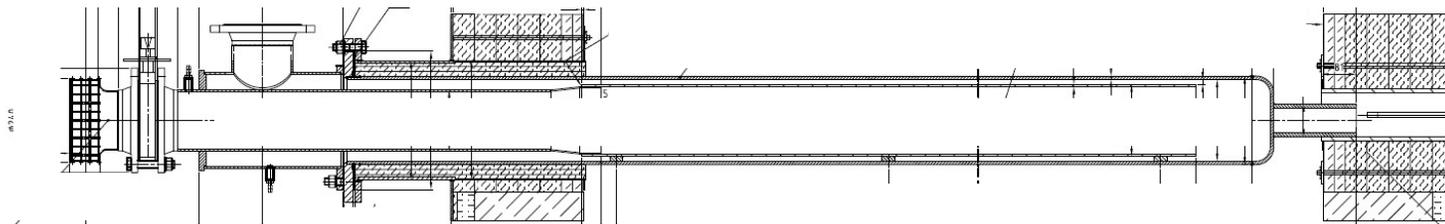
- Ni/Cr-Material, einsetzbar für niedrige Taupunkte ($< -30^{\circ}\text{C}$)
Hohe H_2 -Konzentrationen im Prozessgas (30% bis 100%)
- Design ist optimiert für verschiedene Temperaturniveaus
Heizelementtemperaturen bis 1200°C
Temperaturüberwachung durch Thermoelemente
- Sehr hohe Temperaturgleichmäßigkeit
($\pm 3^{\circ}\text{C}$ im Ofen)



Cooling strategies

Luft-Rohr-Kühlung / Air tube cooling (ATC)

COOLING STRATEGIES

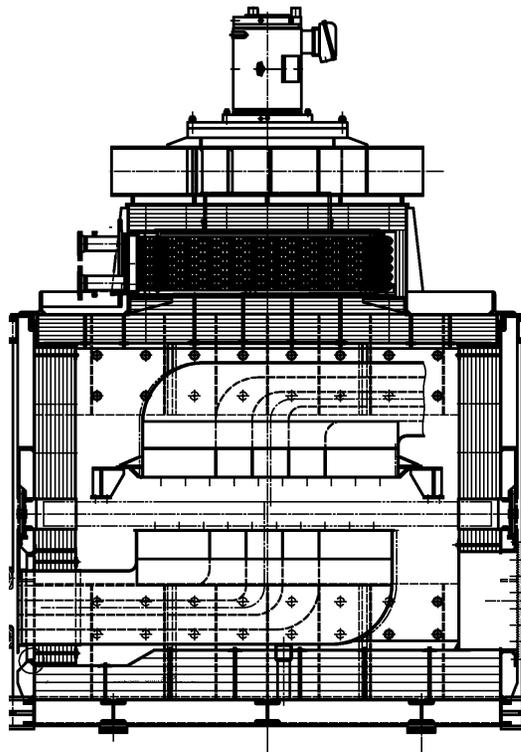


HIGHLIGHTS

- Strahlungskühlung bei hohen Temperaturen ($>700^{\circ}\text{C}$)
- Langsame und gesteuerte Kühlung von 1100°C bis auf 700°C
- Typische Kühlleistung zwischen **10 kW** und **50 kW** pro Kühlrohr
- Steuerbar durch unterschiedliche Luftströme
- Betriebsweise im **Saug-Modus** → Verhinderung von Prozessgasverunreinigungen im Falle einer Kühlrohrleckage
- Rohrdesign mit max. Wärmeübergang und min. Druckverlusten

Langsam-Jet-Kühler / Slow Jet Coolers (SJC)

COOLING STRATEGIES

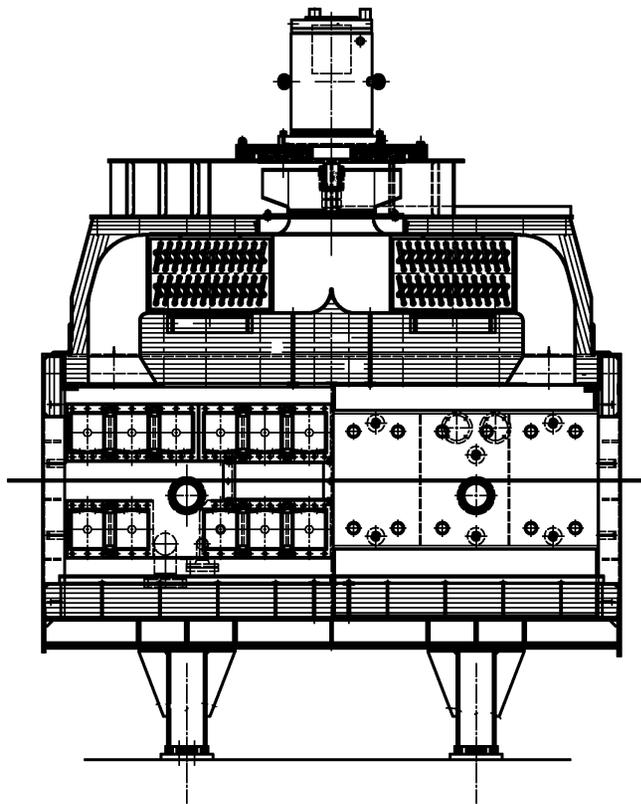


HIGHLIGHTS

- Konvektive Kühlung auf Zwischentemperaturen ($<850^{\circ}\text{C}$)
- Typische Kühlgradienten von -5 K/s bis zu -25 K/s
- Gut steuerbares System mit definierten Kühlgradienten von 850°C bis 650°C
- Installation von Gas/Wasser-Wärmetauschern und optionale Installation einer Elektroheizung zum Halten oder sehr langsamen Abkühlen
- Kühlgradient einstellbar durch temperaturüberwachten Gasvolumenstrom
- Ausgezeichnete Temperaturgleichmäßigkeit über die Bandbreite durch die variable Steuerung der Gasstromes über die Bandbreite (fünf Zonen)
- Gasdichte Kapselung des Motors bzw. der Motorwelle

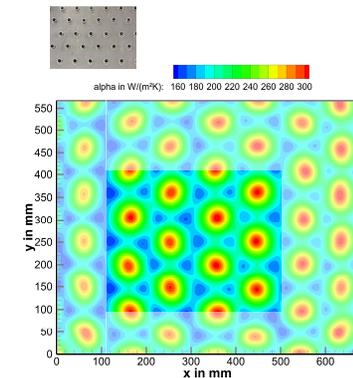
Schnell-Jet-Kühler / Rapid Jet Coolers (RJC)

COOLING STRATEGIES



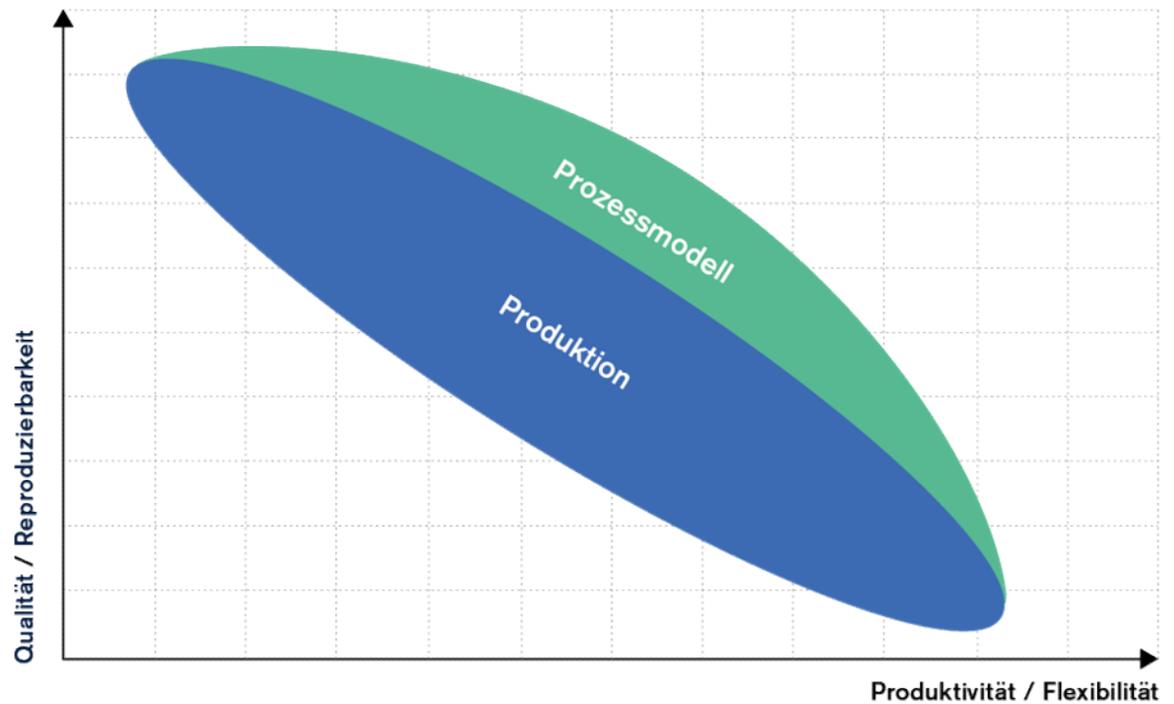
HIGHLIGHTS

- Konvektive Kühlung bei niedrigen Temperaturen ($<650^{\circ}\text{C}$)
- Typische Kühlgradienten von -20 K/s bis zu -50 K/s
- Gut steuerbares System für vorgegebene Kühlgradienten im Temperaturbereich von 650°C bis zu 100°C
- Gas/Wasser Wärmetauscher
- Kühlgradient steuerbar durch Gasvolumenstrom
- Optimierte Düsenanordnung für eine ausgezeichnete Temperaturgleichmäßigkeit über die Bandbreite
- Gasdichte Kapselung des Motors bzw. der Motorwelle



Das Spannungsfeld von Qualität und Produktivität

DIE GRENZEN MODERNER PRODUKTION FÜR KONTINUIERLICHE BANDANLAGEN



Grenzen der Bedienbarkeit (I)

DIE GRENZEN MODERNER PRODUKTION FÜR KONTINUIERLICHE BANDANLAGEN

ZIEL DER ANLAGENBETREIBER

- Möglichst flexible Produktion ohne Einbußen der Produktivität
 - Verschiedene Bandqualitäten (veränderte Wärmebehandlungsparameter)
 - Unterschiedliche Bandgeometrien

HERAUSFORDERUNGEN

- Bandübergänge mit großen Produktänderungen können nur mit Übergangsbändern und/ oder sehr erfahrenen Bedienern gefahren werden
- Einsatz von Übergangsbändern vermindert die Produktion
- Erfahrene Bediener sterben aus

LÖSUNG

- Ein gutes Prozessmodell ist in der Lage, Bandübergänge vollautomatisch und unter **reproduzierbaren** Bedingungen zu fahren.
- Der Einsatz von Übergangsbändern und erfahrener Bediener sind nicht mehr zwingend notwendig

Grenzen der Bedienbarkeit (II)

DIE GRENZEN MODERNER PRODUKTION FÜR KONTINUIERLICHE BANDANLAGEN

DIE KONVENTIONELLEN OFENFAHRWEISE:

- Viele Betreiber fahren ihre Anlagen mit festen Sollwerten für die Zonentemperaturen

HERAUSFORDERUNGEN:

- Die „Rezeptfahrweise“ funktioniert im stationären Anlagenbetrieb.
- Qualitäts-, Geschwindigkeits- oder Bandgeometriewechsel führen zwangsläufig zu Abweichungen in der Bandtemperatur
- Die Produktqualität kann unter Umständen nicht mehr eingehalten werden
- Die **Bandtemperatur** ist entscheidend für die Produktqualität und **nicht die Zonentemperatur**

LÖSUNG:

- Ein gutes Prozessmodell ist in der Lage, die Bandtemperaturen in Echtzeit zu berechnen und die Zonenleistungen sofort so anzupassen, dass **der Bandtemperaturverlauf** in der Anlage **erhalten** bleibt.

Schwächen konventioneller Temperaturregelung

DIE GRENZEN MODERNER PRODUKTION FÜR KONTINUIERLICHE BANDANLAGEN



Zonentemperaturregelung = Blick zurück

- Von der Messung der Temperaturabweichung bis zum ausgeregelten Zustand vergeht Zeit.
Zeit = Bandlänge
- Das Ereignis liegt immer in der Vergangenheit
- Kein Rückschluss auf zukünftig benötigte Energiemenge



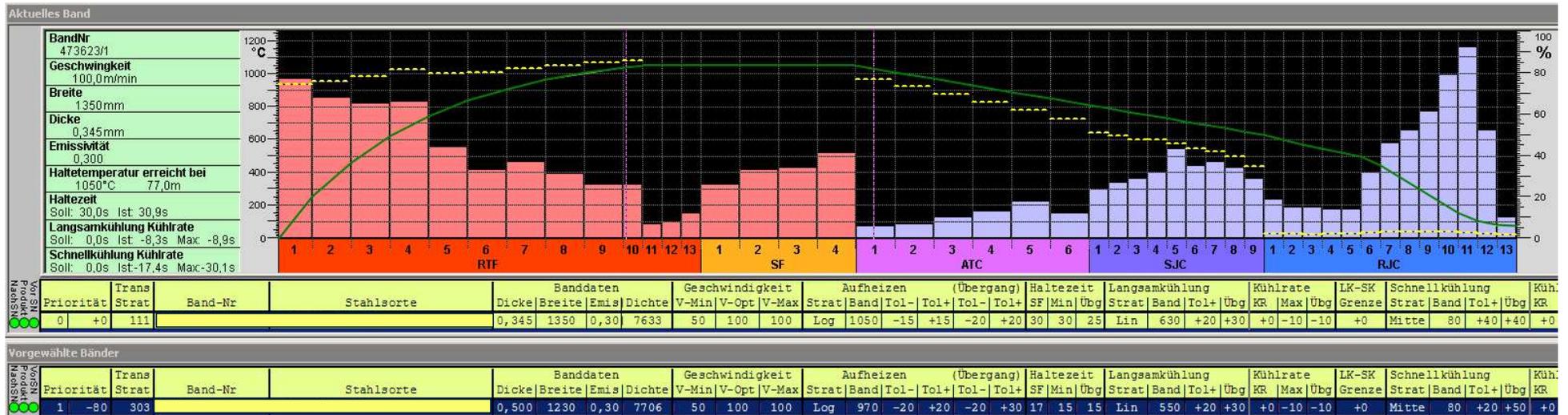
LOI Inline-Prozessmodell = Blick nach vorne

- Immer die richtige Leistung zur rechten Zeit am rechten Ort, synchron zum Bandlauf
- Anpassung der Leistung bei Bandübergängen und Geschwindigkeitsänderung in Echtzeit
- Qualität der Reproduzierbarkeit ist vorhersehbar

LOI Inline-Prozessmodell für Stahlband



LOI-PROZESSMODELLE IN DER WÄRMEBEHANDLUNG



Die Modellebenen

DAS LOI INLINE-PROZESSMODELL



Zusammenfassung und Ausblick

FAZIT

- Bandübergänge werden *vollautomatisch* gefahren
 - Reduzierter Einsatz von Übergangsbändern
 - Weniger „Down-grading“
 - Qualität ist nicht mehr bedienerabhängig
- Prüfung der Einhaltung der qualitätsbestimmenden Merkmale vor dem Bandwechsel
- *Dickensprünge bis zu +65% (bei gleicher Bandbreite) wurden ohne Qualitätsverluste vor und hinter der Schweißnaht nachgewiesen*
- Optimierung der Reihenfolge der Bänder auf Basis der vom Kunden vorgegebener Kriterien (z.B. Produktivität, Qualität)
- Einsatz des Modells an *Neu- und Bestandsanlagen* (Vertikal und Horizontal)
- Abbildung des *gesamten* Wärmebehandlungsprozesses, inklusive Abkühl- und Trocknungsprozesse
- Kompensation von Störungen *in Echtzeit*. Bewertung des Einflusses der Prozessstörung auf die qualitätsbestimmenden Parameter wie z.B. Haltezeit oder -zeit
- Auditierungsprozesse werden durch die hohe Reproduzierbarkeit des Anlagenbetriebs und die Protokollierung der Prozessdaten erleichtert



VIELEN DANK

LOI Thermprocess GmbH
Am Lichtbogen 29
45141 Essen, Germany

Tel.: +49 (0)201 1891-1
Fax.: +49 (0)201 1891-321
loi@tenova.com

www.tenova.com

TECHINT GROUP

