

# Kosteneffiziente Trocknung mit teurer Energie

## Optimierte Infrarotstrahlung kombiniert mit Heißluft

*Wolf Heilmann*

Herbsttagung der Regionalgruppe Süd des VPM und Zellcheming  
Gernsbach, 11. 11. 2022

# Kosteneffiziente Trocknung mit teurer Energie



- Einleitung
- Trocknungsarten
- Trocknungsphysik der Infrarotstrahlung
- Praxiserfahrungen

# Einleitung

- Papiermachen ist ein Spiel mit dem Wasser
  - Fasern in Wasser lösen
  - Wasser entfernen
  
- Welche Werkzeuge haben wir zum Entfernen des Wassers?

# Einleitung

- Siebpartie: Schwerkraft oder Zentrifugalkraft
- Pressenpartie: mechanisches Pressen
- Trockenpartie: Erwärmung
  - nur wenn es ihm zu warm wird, bequemt sich das Wasser aus dem Substrat oder Strich

# Erwärmung des Wassers

- Konduktion – Wärmeleitung – Zylinder – energieeffizient
- Konvektion – Heißluft – günstig
- Radiation – Strahlung – Infrarot – sehr teuer
  
- 3 verschiedene Werkzeuge für den Papiermacher

# Erwärmung durch Konduktion

- Dampfbetriebene Zylinder haben höchste Energieeffizienz
- Erwärmen das Trockengut von der Oberfläche aus

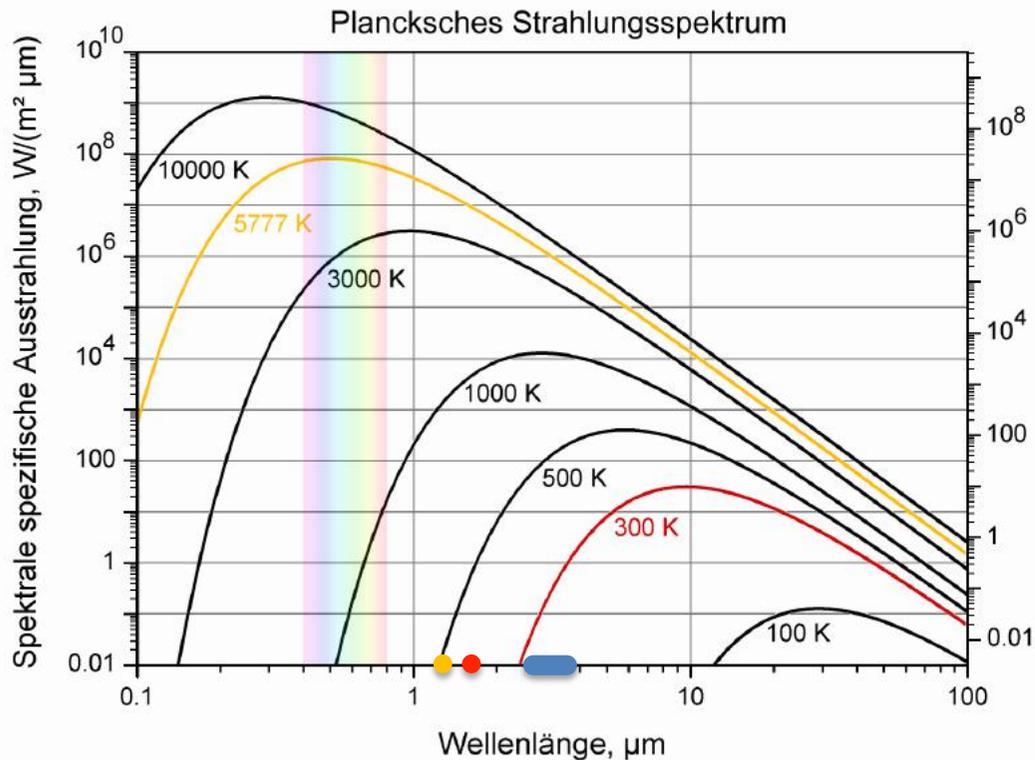
# Erwärmung durch Konvektion

- Heißluft wird immer da eingesetzt, wo Kontaktrocknung nicht machbar ist
  - Strichtrocknung,
  - Leim- und Filmpressentrocknung
  - Hygienepapiere,
  - Filterpapiere u.ä.
  
- Erwärmt das Trockengut von der Oberfläche aus

# Erwärmung mittels Radiation

- Wechselwirkung zwischen Strahlung und
  - Wasserstoffbrückenbindung
  - OH<sup>-</sup>-Gruppen
- Diese werden in Schwingung versetzt und erwärmen Wasser und Fasern
- Strahlung dringt unter die Oberfläche

# Erwärmung mittels Strahlung – 1.Schritt



Gasbetriebene IR-Strahler (Mittelwelle):  
Strahlungsmaximum zwischen 2.5 und 3.5  $\mu m$   
Wellenlänge, entsprechend 1.160 bis 830 K

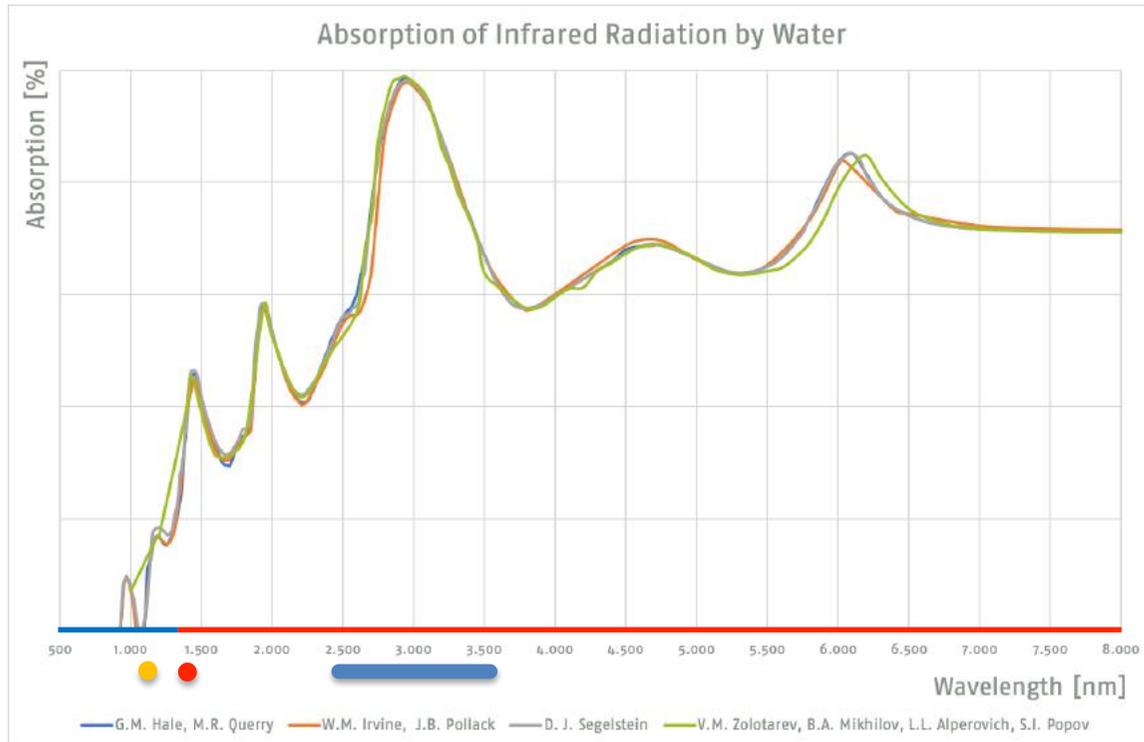
Standard elektrische NIR-Strahler (Kurzwellen):  
Strahlungsmaximum bei 1.18  $\mu m$ , entsprechend 2.450 K

Optimierte elektrische NIR-Strahler:  
Strahlungsmaximum bei 1.45  $\mu m$ , entsprechend 2.000 K.

1/3 der Energie wird bei kürzerer Wellenlänge, 2/3 bei längerer als dem Maximum ausgestrahlt

Temperaturen gemäß Stefan-Boltzmann und Wien'sches Verschiebungsgesetz

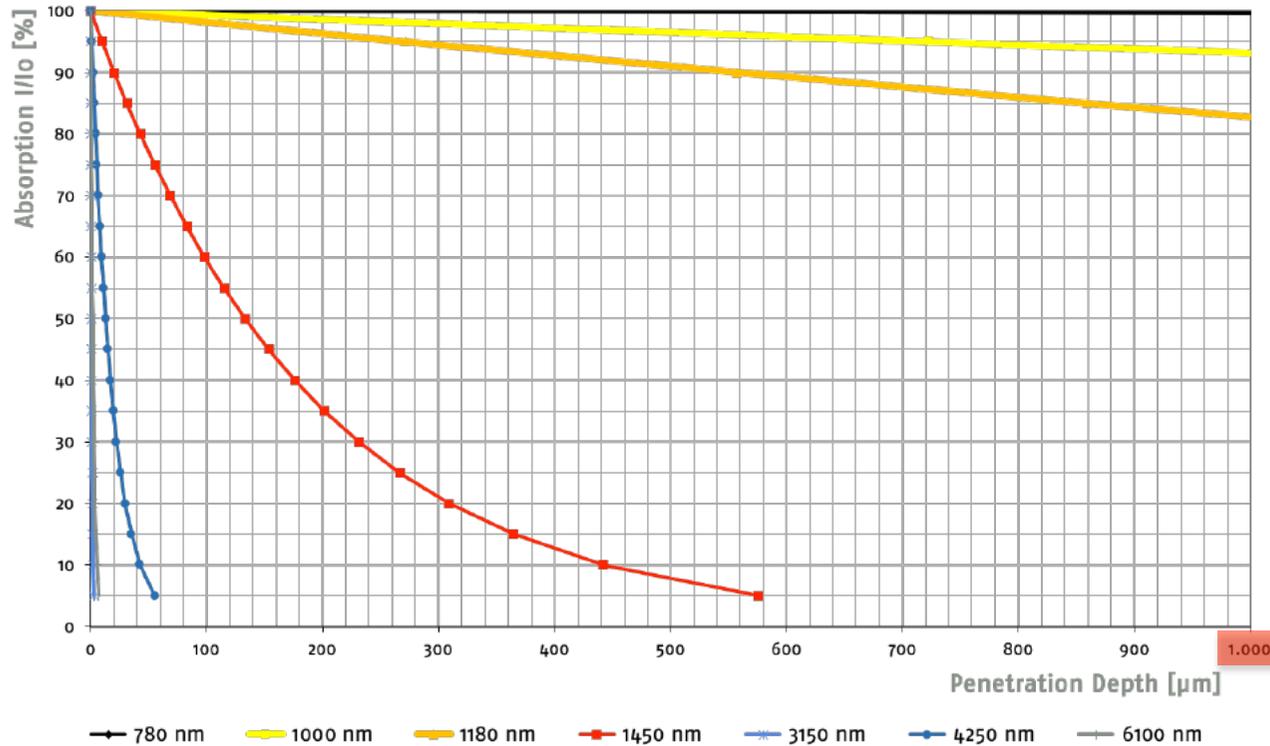
# Absorption infraroter Strahlung – 2.Schritt



Praktisch keine Absorption von Infrarotstrahlung durch Wasserstoffbrückenbindung und atomare Bindung der Wassermoleküle bei Wellenlängen unter 1.3  $\mu\text{m}$

# Penetration gemäß Lambert-Beer – 3.Schritt

Penetration Depth and Absorption, radiation angle compensated

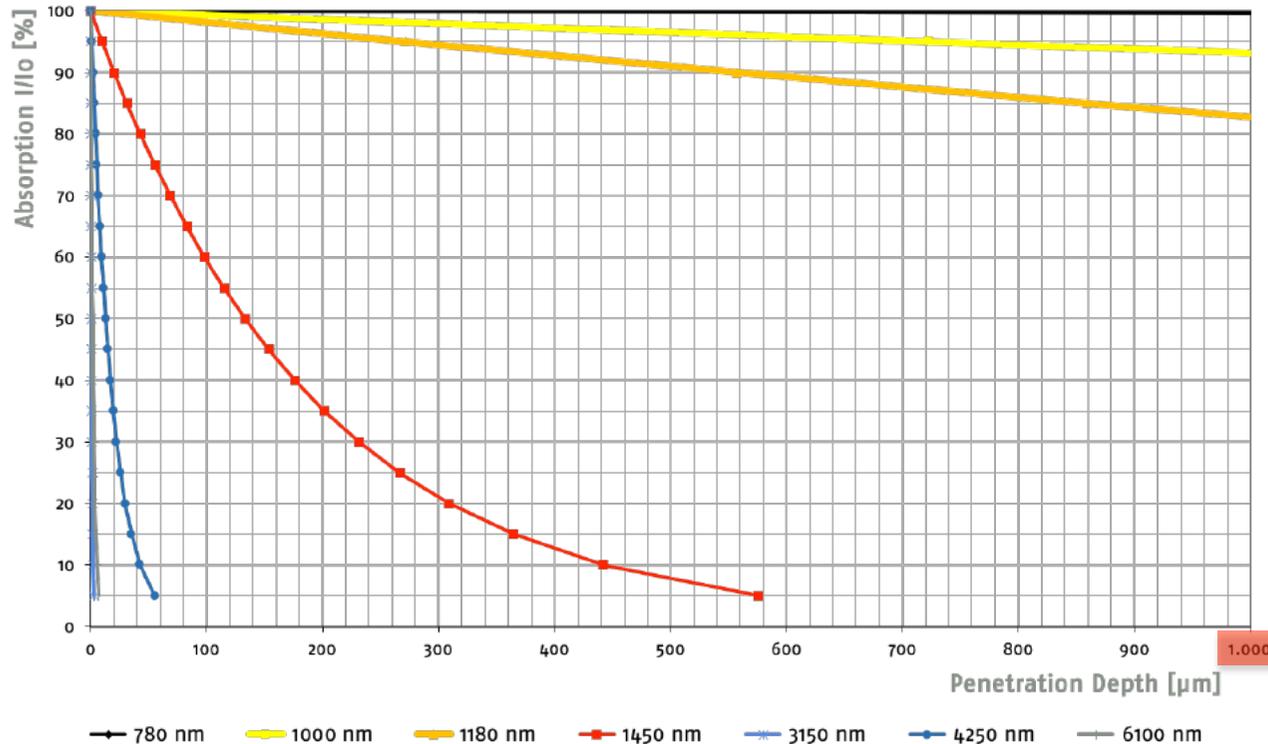


Je nach Wellenlänge dringt die Strahlung mehr oder weniger tief in das Substrat ein.

Die Absorption – d.h. Umwandlung von Strahlung in Wärme durch Anregung der Wasserstoffbrückenbindung hängt ebenso von der Wellenlänge ab.

# Penetration gemäß Lambert-Beer – 3.Schritt

Penetration Depth and Absorption, radiation angle compensated



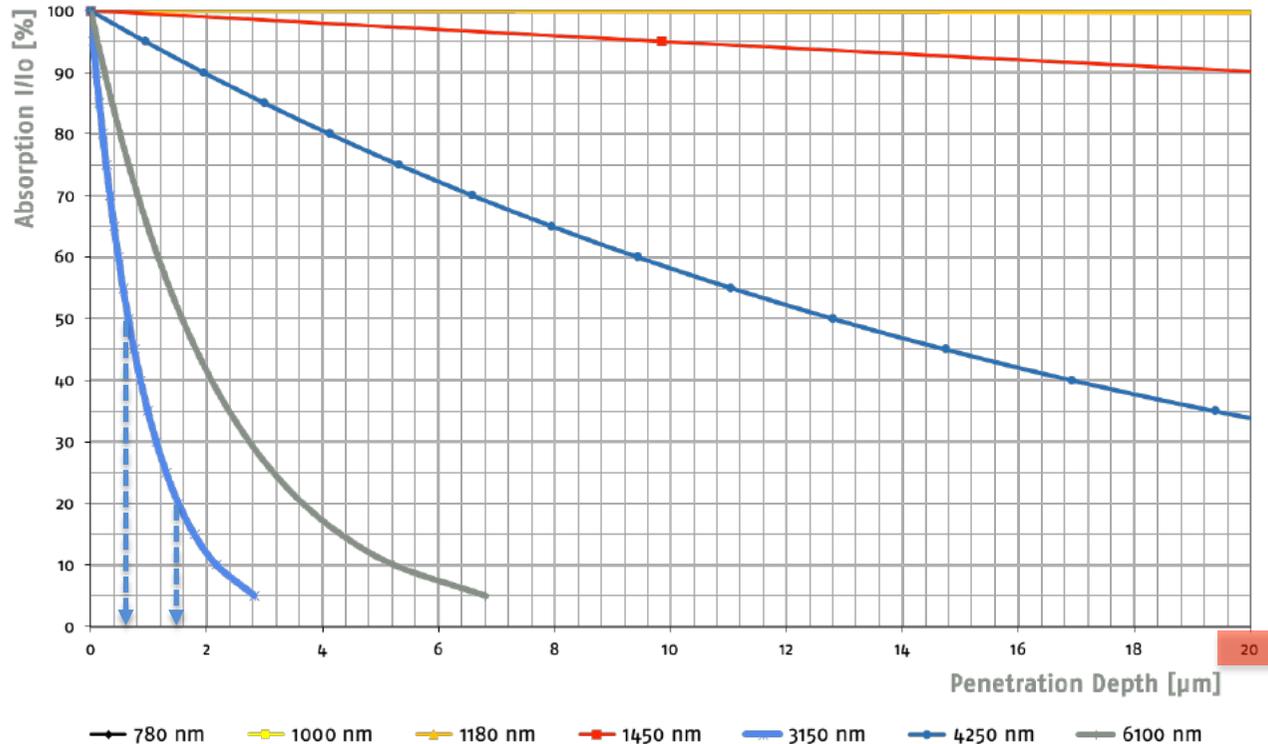
Strahlung elektrisch betriebener NIR Strahler (Strahlungsmaximum bei 1,18 µm) dringt sehr tief ein bei sehr geringer Absorption.

Strahlung elektrisch betriebener NIR Strahler (Strahlungsmaximum bei 1,45 µm) dringt tief in das Substrat ein bei starker Absorption.

Infrarotstrahlung gasbetriebener Strahler wird innerhalb weniger µm absorbiert. Es wird praktisch nur die Oberfläche erwärmt.

# Penetration gemäß Lambert-Beer – 3.Schritt

Penetration Depth and Absorption, radiation angle compensated



Infrarotstrahlung gasbetriebener Strahler wird innerhalb weniger µm absorbiert.

Gas ist sehr günstig und extrem teuer.

Meist sind Zylinder bzw. Heißluft viel besser, weil sie Oberfläche genau so gut erwärmen.

# Praxiserfahrungen

-  Booster für Strichtrocknung
-  Booster für Barrieretrocknung
-  Profilierung
-  Vorwärmung

# Praxiserfahrung Strichtrocknung



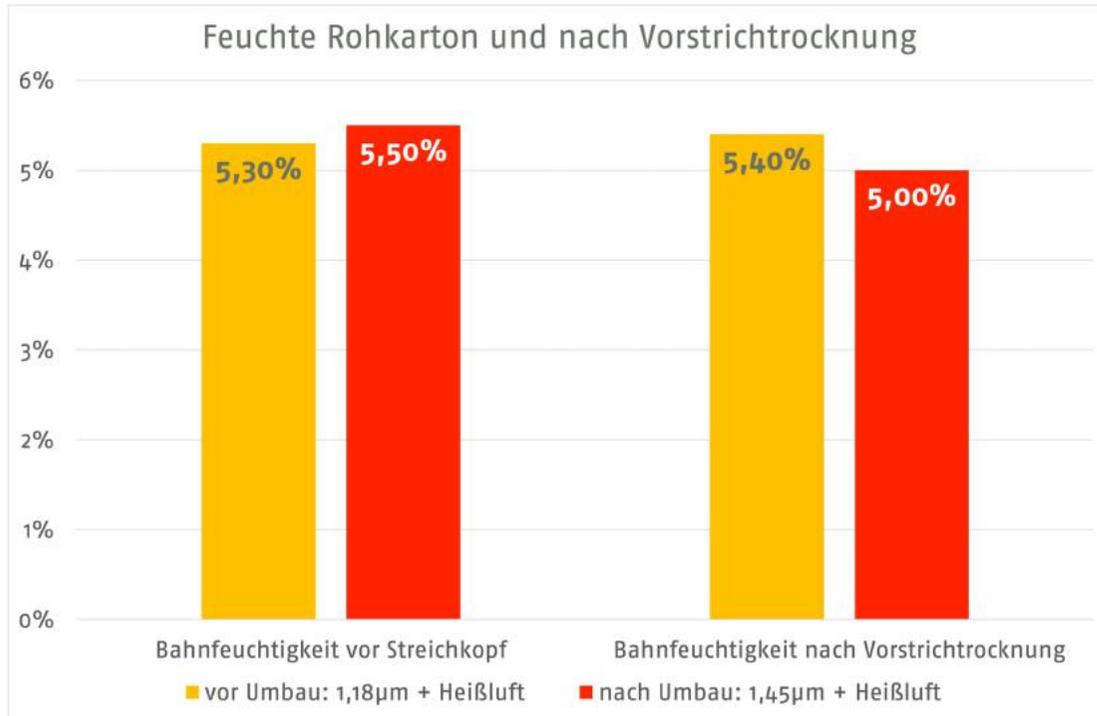
# Praxiserfahrung Strichtrocknung

- Kartonmaschine mit 2+2 Strichen online
- Elektro-IR mit 1,18  $\mu\text{m}$  Wellenlänge
  - Pro Strich 2 Reihen mit 28 Modulen à 30 kW
  - 400 kW/m Arbeitsbreite
- Gesamt 1,680 MW installierte Leistung pro Strich
- Gefolgt von 2 Heißluftthauben

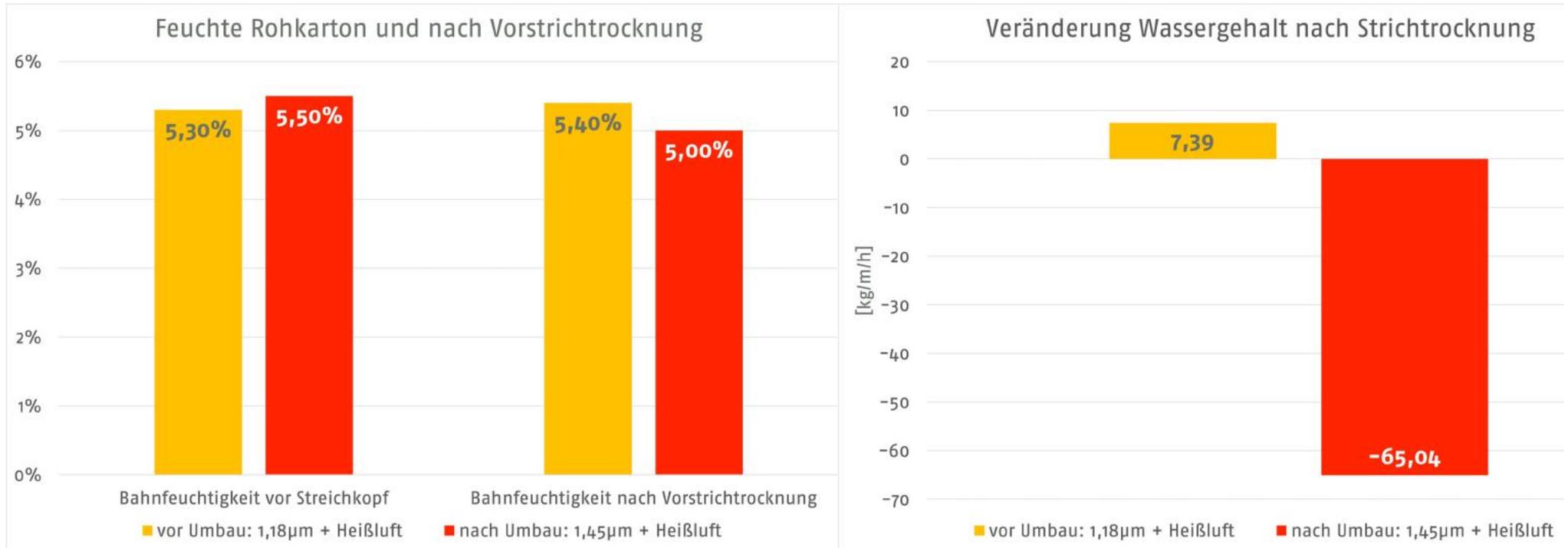
# Praxiserfahrung Strichtrocknung

- Elektro-IR mit 1,45  $\mu\text{m}$  Wellenlänge
  - Pro Strich 2 Reihen mit 28 Modulen à 24 kW
  - 320 kW/m Arbeitsbreite
  
- Gesamt 1,344 MW installierte Leistung pro Strich
  
- 20% geringere installierte Leistung
- Ziele: Erhöhung Vorstrichgewicht, Geschwindigkeitssteigerung

# Praxiserfahrung Strichtrocknung



# Praxiserfahrung Strichtrocknung



# Praxiserfahrung Strichtrocknung



- Gleiche Leistungssteigerung mit Heißluftthauben hätte großen Umbau ab dem 1. Vorstrich erfordert, um überall die Anzahl der Heißluftthauben anzupassen.
- Bei dieser Maschine wäre Verlängerung der Halle um 20 bis 30 m erforderlich geworden.

# Praxiserfahrung Booster Barrieretrocknung



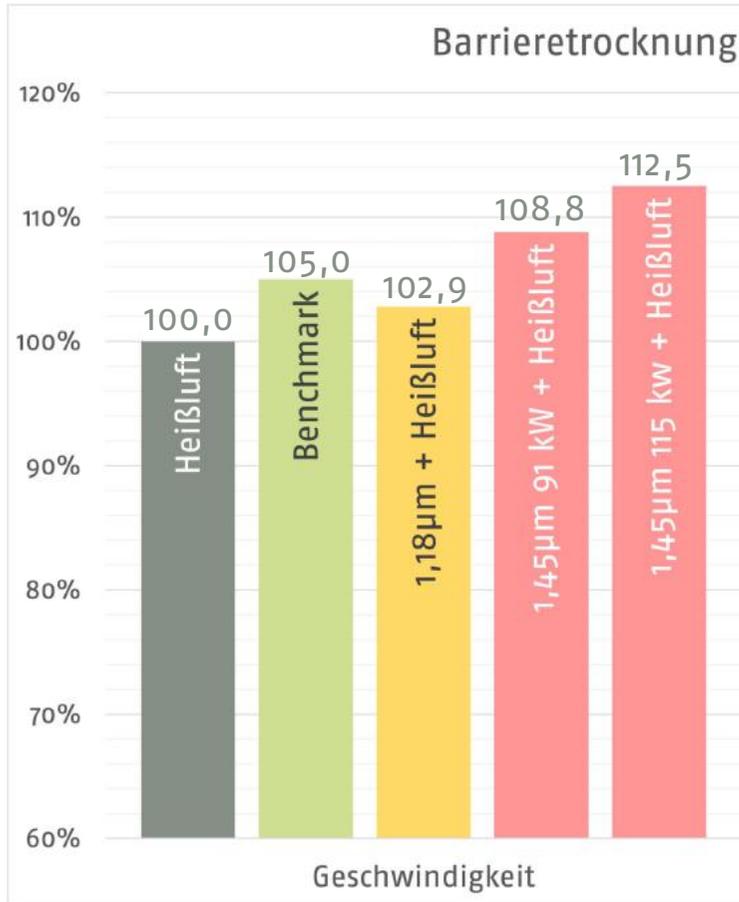
# Praxiserfahrung Booster Barrieretrocknung

- PVA-basierte Barriere
- Streichmaschine mit mehreren Streichköpfe auf beiden Papierseiten.
- 5 Heißlufthauben zur Trocknung des PVA-Strichs.
- Geschwindigkeitsbegrenzung durch Trocknung des PVA-Strichs.

# Praxiserfahrung Booster Barrieretrocknung

- Elektro-IR mit 1,45  $\mu\text{m}$  Wellenlänge vor Heißlufthauben installiert.
- Reflektor auf Rückseite um Energieverluste zu minimieren.
- Benötigter Einbauraum md: 50 cm
- Installierte Kapazität: 160 kW/m Arbeitsbreite

# Praxiserfahrung Booster Barrieretrocknung

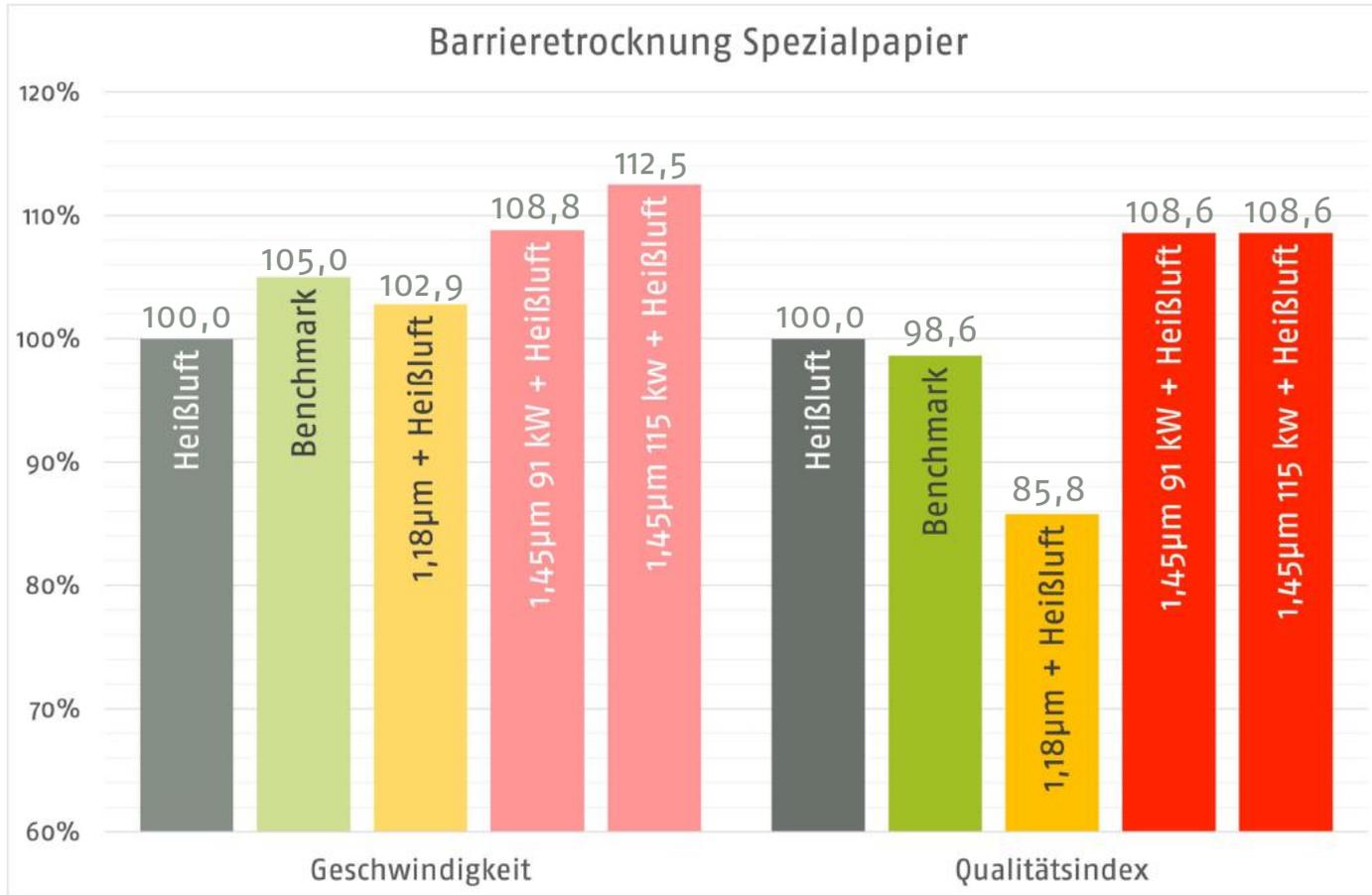


Elektrischer IR mit Wellenlänge 1,18µm erlaubt nur geringfügige Steigerung

Gasstrahler mit 3µm sind Barrierekiller, wurden vom Kunden nicht evaluiert.

Elektrischer IR mit Wellenlänge 1,45µm ermöglicht signifikante Geschwindigkeitssteigerung

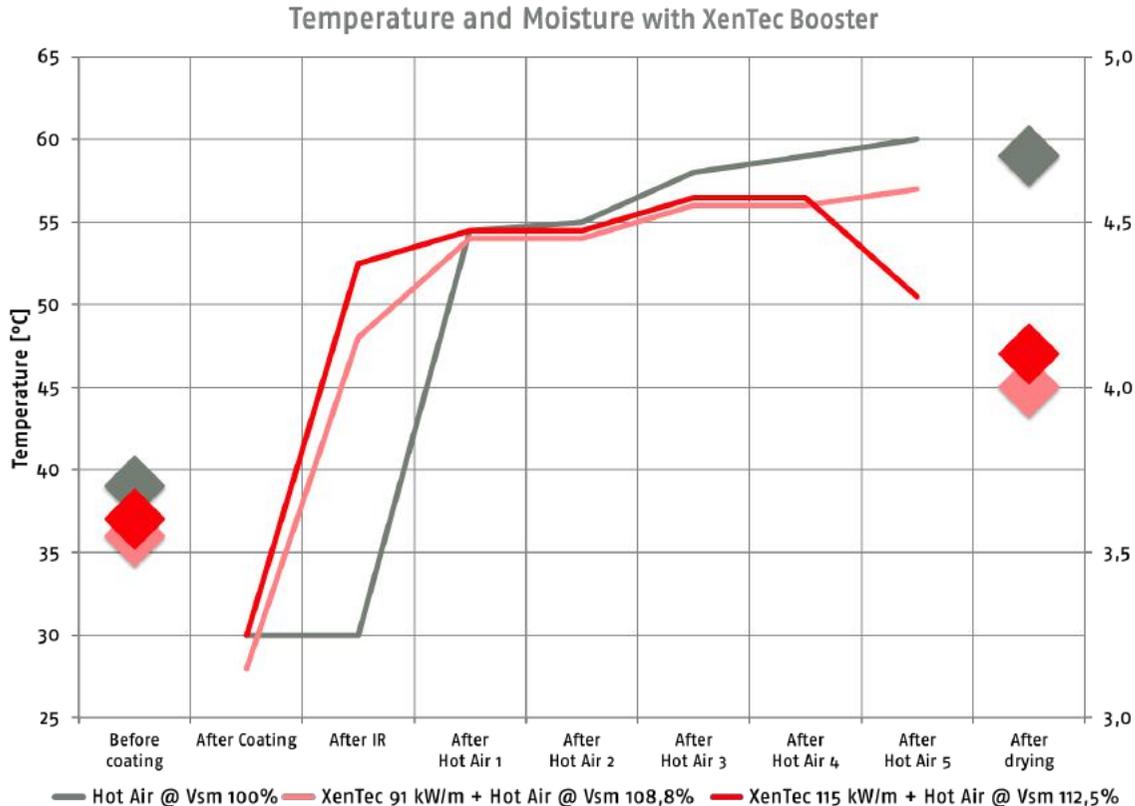
# Praxiserfahrung Booster Barrieretrocknung



Wellenlänge 1,18µm verschlechtert Qualität

Wellenlänge 1,45µm ermöglicht Geschwindigkeitssteigerung und Qualitätsverbesserung durch Trocknung von der initialen Sedimentschicht aus und Verfilmung der Oberfläche erst, wenn alles Wasser verdampft ist

# Praxiserfahrung Booster Barrieretrocknung



— Temperatur      ◆ Feuchte

Qualitätsverbesserung aufgrund niedrigerer Temperatur

Optimierte Verdampfungsrate ergibt verbesserte Kühlung des Strichs

Trocknung von der initialen Sedimentschicht ausgehend

Kein Risiko verfrühter Verfilmung an der Oberfläche des Strichs

Maschine könnte weitere 20% vorgefahren werden

# Praxiserfahrung Profilierung



# Praxiserfahrung Profilierung

- Verpackungspapier und -karton
  - 200 bis 600 g/m<sup>2</sup>
  - $V_{\text{prod}}$  150 bis 300 mpm
- Feuchteschwankungen an Aufwicklung +/- 2,1%
- Produktion beschränkt weil Trockenpartie nicht verlängert werden kann
- Geschwindigkeit auch durch Antrieb beschränkt

# Praxiserfahrung Profilierung

- Erste Evaluierung für Profilierung.
- Je ein Versuchsstrahler auf Ober- und Rückseite.
  - Wird bei schwereren Grammaturen gemacht, um auch in z-Richtung perfektes Profil und damit Planlage zu bekommen.

# Praxiserfahrung Profilierung o kW/m



- Strahler o kW/m
- Feuchteschwankungen an Temperaturschwankungen ersichtlich

# Praxiserfahrung Profilierung 320 kW/m



- Strahler 320 kW/m
- Temperaturanstieg FS 6,9 °C
- Maschine war nur gut 3,5% nach vorne gefahren
- Hätte 10 bis 14% vorfahren müssen
- FS war 2,4% trockener als Rest der Bahn

# Praxiserfahrung Profilierung 320kW/m

- Projektierung war 640 kW/m Breite
- Versuch zeigt, dass knapp 320 kW/m ausreichend sind um Feuchteprofil von  $\pm 2,1\%$  auf  $\pm 0,2\%$  zu bringen
- Spezifische Verdampfungsrate 0,48 kg/kW bei 550 g/m<sup>2</sup>
- Garantiert waren 0,36 kg/kW bei 100% AP und 600 g/m<sup>2</sup>
- Bei Profilierung wird nur halbe Energie benötigt

## Praxiserfahrung Profilierung 320kW/m

- Mit rund 155 kW/m wird Produktion um 12% gesteigert
  - für rund 2,82 €/t zusätzliche Kosten bei 0,3 €/kWh
- Mit rund 450 kW/m wird Produktion um 24% gesteigert
  - für rund 7,64 €/t zusätzliche Kosten bei 0,3 €/kWh

# Praxiserfahrung Profilierung 320kW/m



- Leistungssteigerung dieser Größenordnung ohne Infrarot nur schwer möglich, da kein Platz für zusätzliche Zylinder
- Mit dem richtigen Strahler werden nur 900 mm Umfang des Zylinders benötigt, um 320 kW/m Energie einzubringen

# Praxiserfahrung Vorwärmung



# Praxiserfahrung Vorwärmung

- Pappenmaschine
- Bis zu 2.000 g/m<sup>2</sup>
- Bei zu hoher  $V_{\text{prod}}$  besteht Risiko des Lagenspalzens
- Pappenmitte wird unzureichend erwärmt

# Praxiserfahrung Vorwärmung

- Gleichmäßiges Erwärmen der Bahn in z-Richtung mittels Strahlung in der Tiefe
- Bahn wird bereits ab dem zweiten Zylinder auf Verdampfungstemperatur gebracht
  - Mehr Zylinder stehen zum Verdampfen zur Verfügung
- Leistungssteigerung ohne Verringerung der Spaltfestigkeit
- Macht hauptsächlich Sinn bei schweren Sorten.

# Praxiserfahrung Vorwärmung

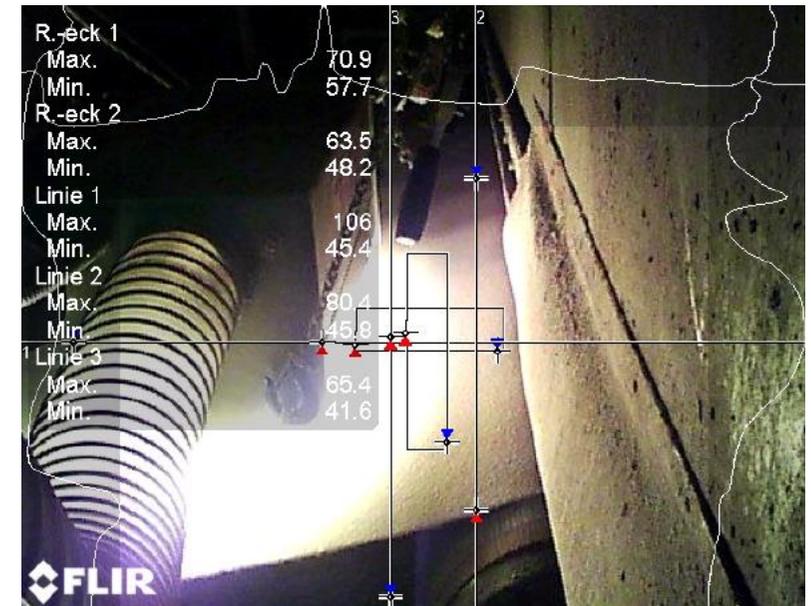
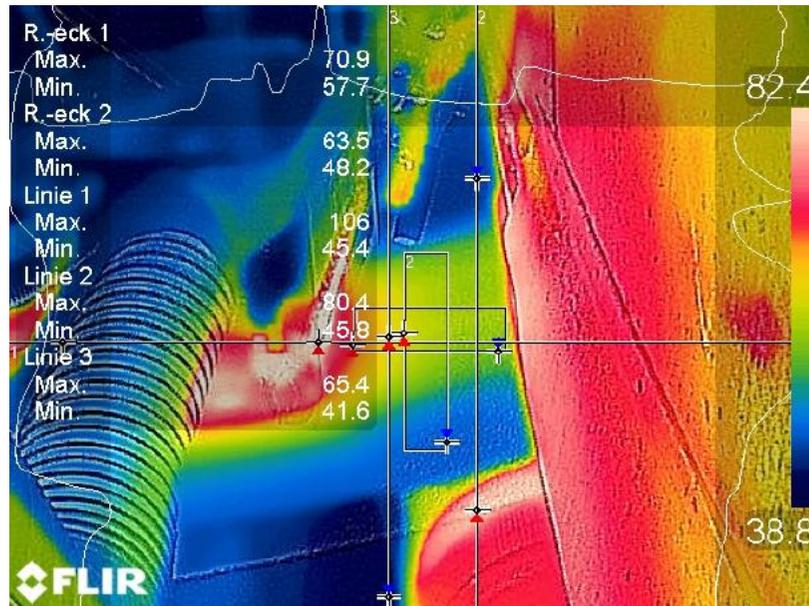
- Zusätzliche Vorteile
  - Weniger Faserrupfen, weil Oberfläche ausreichend feucht ist
  - Weniger Ablagerungen von Stickies, weil Oberfläche ausreichend feucht ist

# Praxiserfahrung Vorwärmung

- Jeweils ein Strahler à 160 kW/m auf Ober- und Rückseite.
- Mit 185 kW/m wird eine Produktionssteigerung von 23% erreicht.
- Pro zusätzlicher Tonne Pappe werden rund 27 kW Strom benötigt.
  - Bei 0,3€/kWh entspricht dies gut 8€/t Pappe.
- Je mehr Zylinder zum Aufwärmen benötigt werden, desto schneller rechnet sich die Investition.
- Spaltfestigkeit verbessert

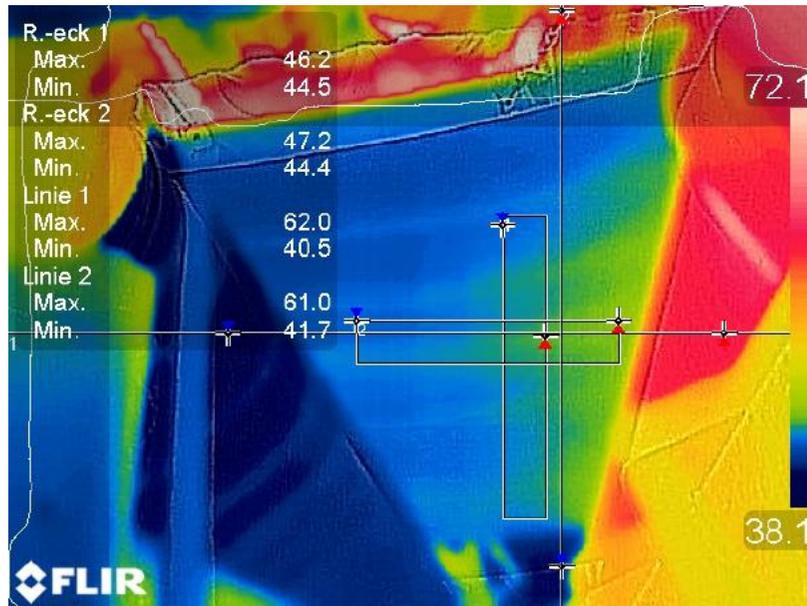
# Praxiserfahrung Vorwärmung

- Hier Thermographien von Betriebsversuch mit einseitigem Bestrahlen einer Pappe am Einlauf der Trockenpartie – Ansicht von Oberseite



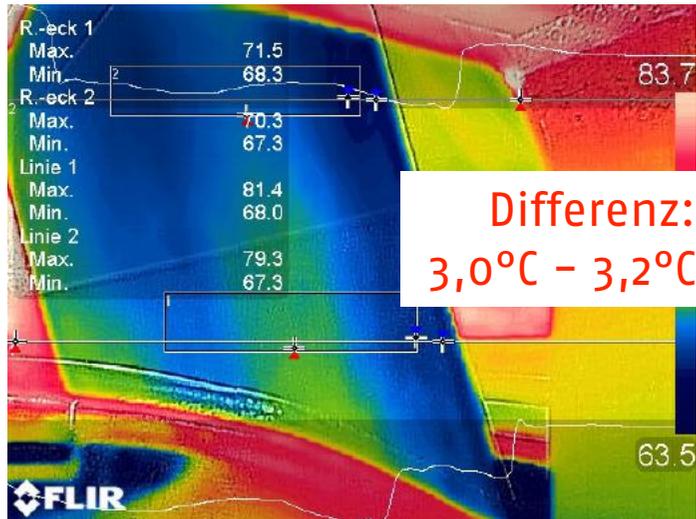
# Praxiserfahrung Vorwärmung

- Hier Thermographien von Betriebsversuch mit einseitigem Bestrahlen einer Pappe am Einlauf der Trockenpartie – Ansicht von Unterseite

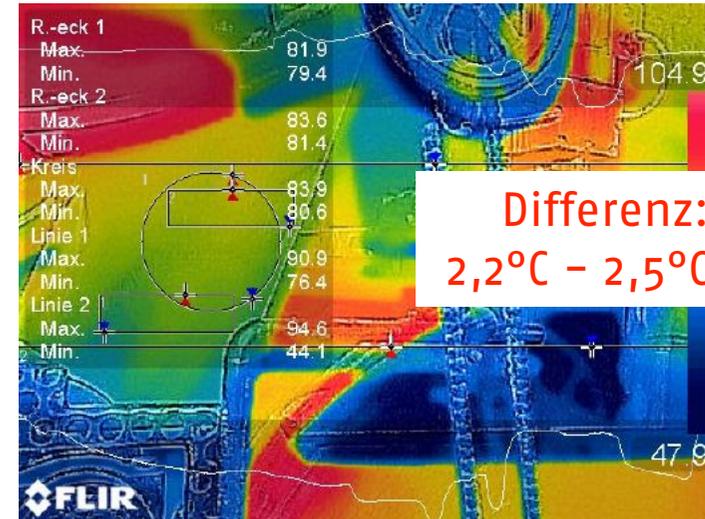


# Praxiserfahrung Vorwärmung

- Oberflächentemperatur Oberseite (1.-2. Zylinder)



- Oberflächentemperatur Rückseite (2.-3. Zylinder)



# Praxiserfahrung Vorwärmung

- Leistungssteigerung mit Erhöhung der Spaltfestigkeit nur mit Infrarot möglich.
- Ohne Strahlung bleibt Kern zu feucht beim Vorfahren

 Vielen Dank

 Fragen?