

Innovation zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen bei der Papiertrocknung

Agenda

- 1 Moritz J. Weig GmbH und Co. KG
- 2 Projektvorhaben und Herausforderungen
- 3 Projektumsetzung durch AutomationX GmbH
- 4 Ergebnisse

1 Moritz J. Weig GmbH und Co. KG

1.1 WEIG - Auf einen Blick

inhabergeführtes Familienunternehmen seit 1931

● Gruppen-Hauptverwaltung
Mayen, Deutschland

1.000

Mio. €

Umsatz
nicht-konsolidiert

15

Standorte

Deutschland und
Paraguay

1.800

Mitarbeitende

weltweit

**9 Standorte für
Altpapier- bzw.
Wertstofferrfassung**

Umschlag von
900.000 t/a

**3 Kartonwerke mit
4 Kartonmaschinen**

Kapazität 1.000.000 t/a
hiervon
WLC / CRB 550.000 t/a

**3 Verarbeitungs-
standorte**

Faltschachteln,
Hülsen sowie
Wellpappe

● Hauptverwaltung Südamerika
Asunción, Paraguay

1.2 WEIG-Karton: Werk Mayen

660.000 t/a Kapazität

Kartonmaschinen

KM3 Faltschachtelkarton:

290.000 t/a 420 cm 300-550 g/m²

KM6 Gipskarton:

370.000 t/a 530 cm 140-220 g/m²



Kraftwerk

Primärenergie

60 % Erdgas

30 % Rejekte

10 % Bio-Gas

Leistung

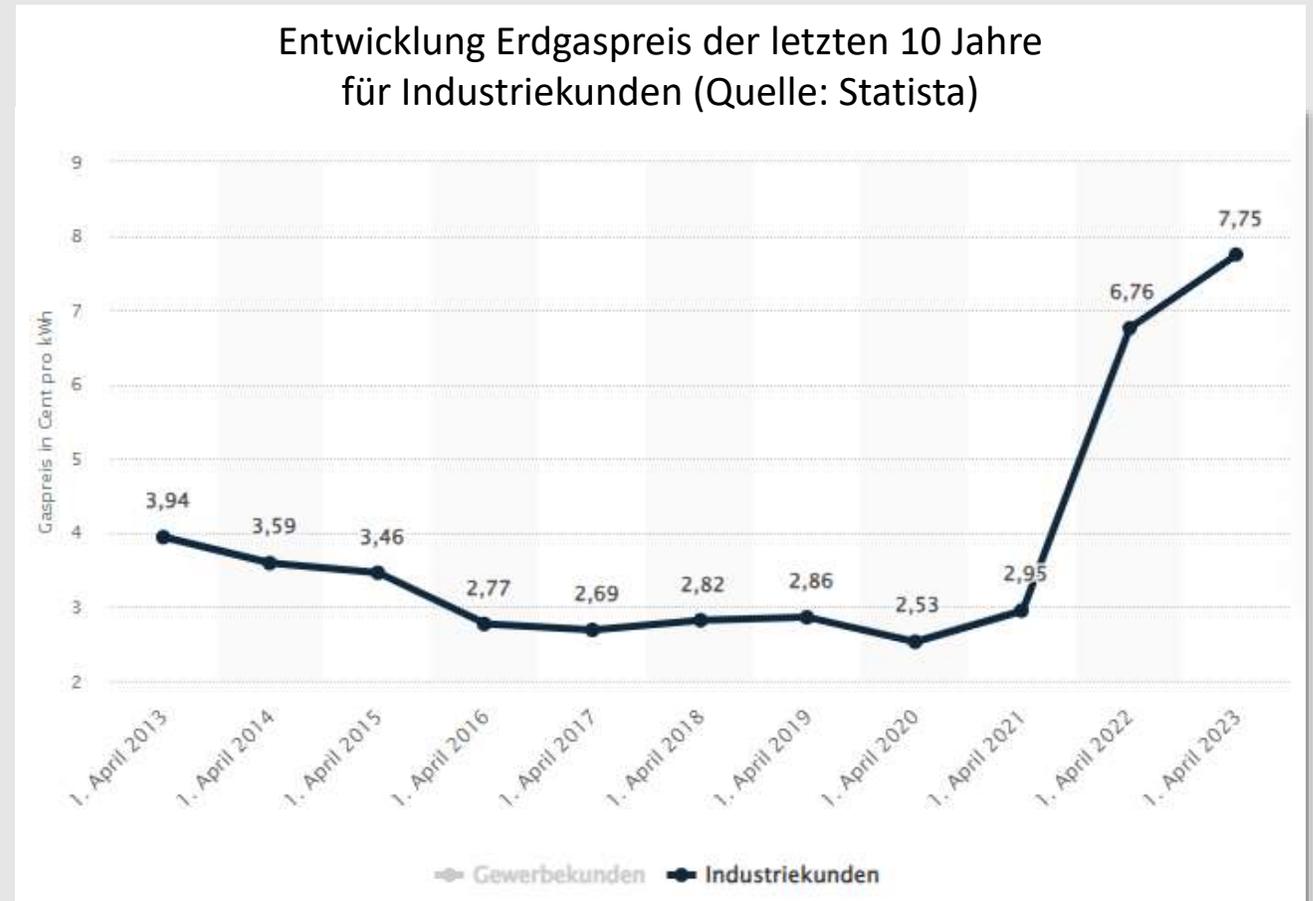
43 MW elektrisch

199 MW thermisch

2 Projektvorhaben und Herausforderungen

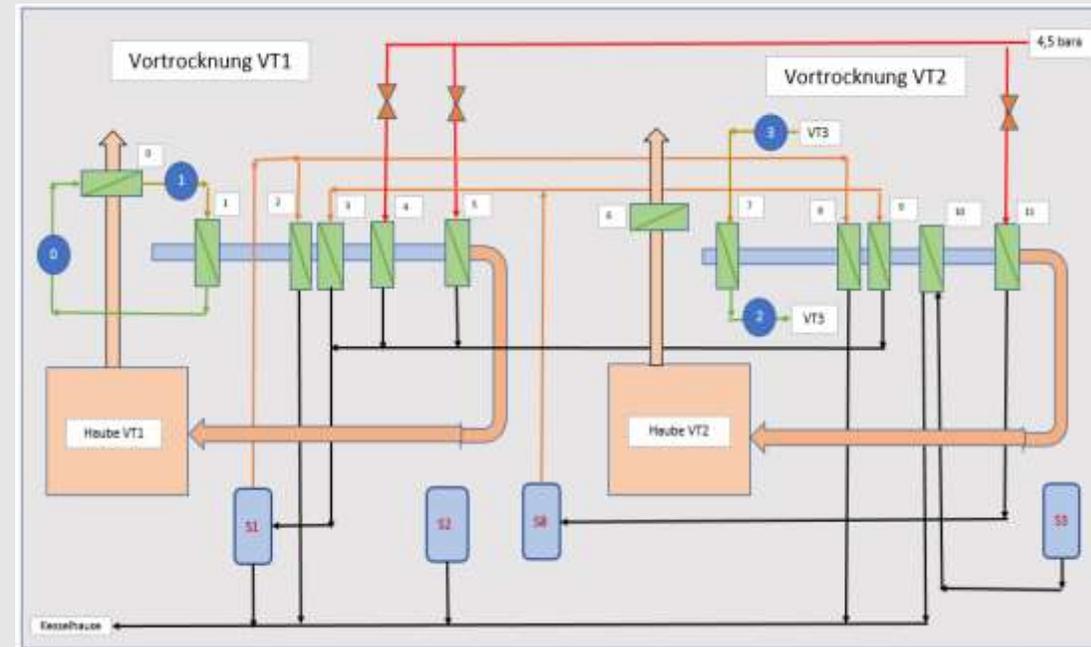
2.1 Projektmotivation

- Hohe Energiekosten (Erdgas/Strom)
- Thermische Trocknung des Papiers sehr energieintensiv
- Hohe Kosten durch Frischdampfeinsatz bei der Hauben Zulufterwärmung



2.2 Herausforderungen KM6

- Breites Spektrum an Flächengewichten und Maschinengeschwindigkeiten
- Qualitätseigenschaften und Anforderungen an Gipskarton
- Komplexe Wärmerückgewinnung
- 11 verschiedene Heizgruppen (Dampfgruppenkaskaden) mit zusätzlichen Optionen zur separaten Beheizung einzelner Trockenzyylinder
- Abschaltung der letzten 6 Trockenzyylinder in der Vortrockenpartie bei niedrigen Grammaturen



2.3 Aufwand seitens Weig

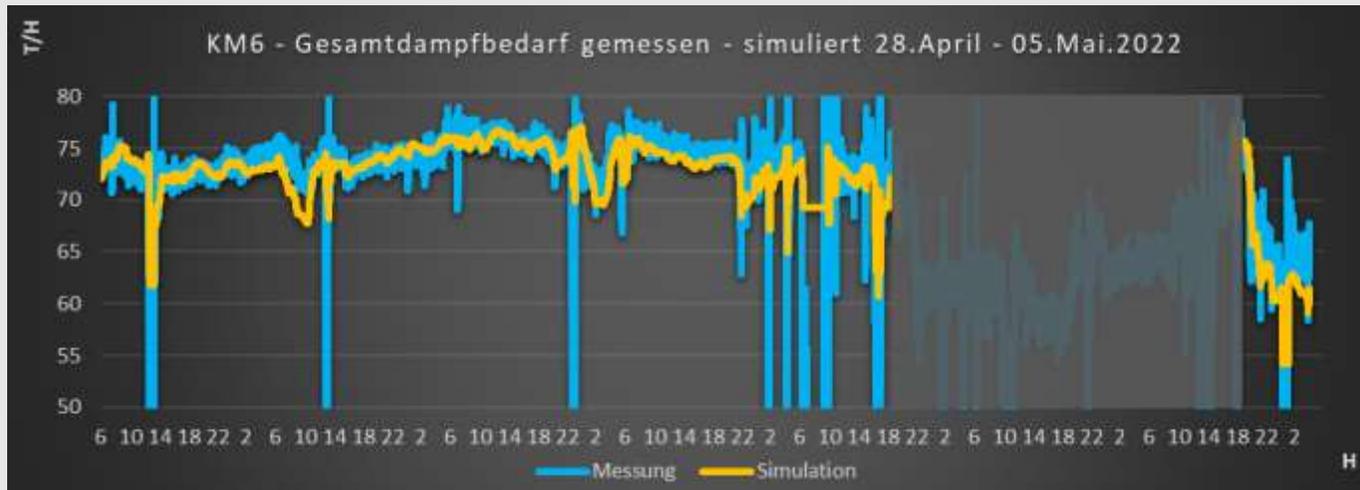
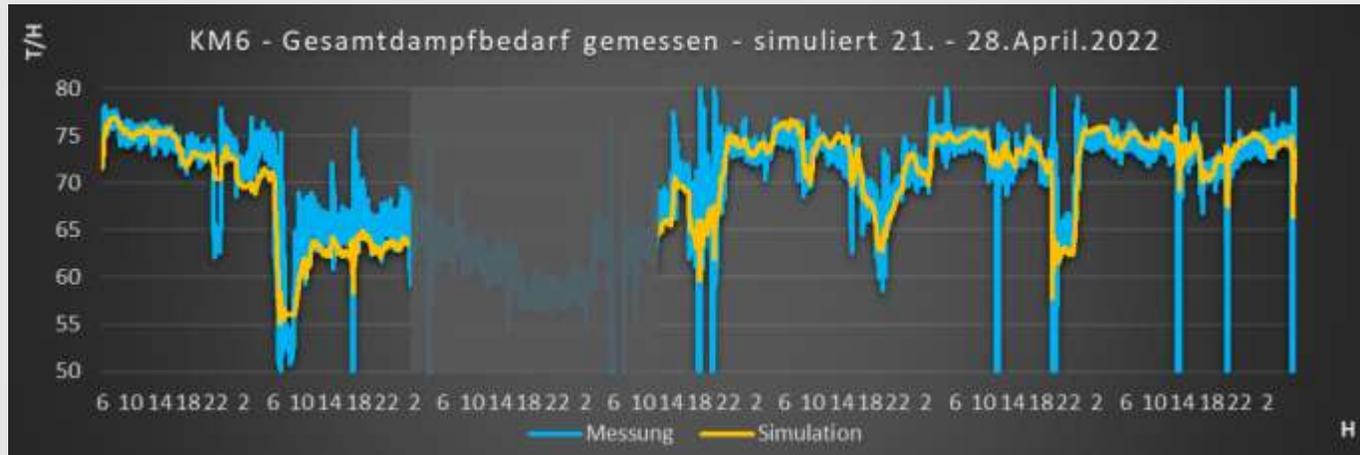
- Bereitstellung von Referenzdaten der prozessrelevanten Größen zur Potenzialanalyse
- Technologische Unterstützung bei der Modellerstellung und -optimierung
- Installation Frequenzumrichter für Zu- und Abluftventilatoren der Hauben
- Instandsetzung und Kalibrierung von Messequipment in bestimmten Bereichen
- Hardwareseitig sonst keine weiteren Umbauten notwendig

3 Projektumsetzung durch AutomationX

3.2 ePMDryEnd – Trocknungs- Grammaturoptimierung

- Potentialanalyse – Ableitung von Garantiewerten für das Optimierungsprojekt
 - 4,5% Frischdampfeinsparung
- Modellierung und Tuning/Validierung KM6 – Digitaler Zwilling
 - Auf Basis von Fließschemata – Trocknung – Dampf / Kondensat System – Wärmerückgewinnung
- KM6 online Simulation – Schnittstelle zu Bestandsystem liefert Vielzahl an Softsensorik
 - Modellexekution via automationX Optimierungsplattform
- Optimierung KM6 – Modelprädiktive „closed loop“ Regelung
 - automationX MPC verwendet KM6 Simulationsmodell für die prädiktive Regelung

3.2 Potentialanalyse / offline Simulation



Nr.	Sollwerte	Prozesswerte
1	PM Geschwindigkeit	
2		Dampfdruck in Hauptdampfverteiler
3		Temperatur in Hauptdampfverteiler
4	Dampfdrücke aller Heizgruppen	
5	Drehzahl Zuluftventilatoren aller 4 Haubenabschnitte	
6	Drehzahl Abluftventilatoren aller 4 Haubenabschnitte	
7	Temperatur Zuluft aller 4 Haubenabschnitte	
8	Liniendrücke in der Presse	
9		Feuchte vor Leimpresse
10		Finale Feuchte Fertigungskarton
11		Flächengewicht absolut trocken
12		Mittlerer Aschegehalt Fertigungskarton
13		Außenlufttemperatur

3.3 Modellierung, Tuning/Validierung

- Alle relevanten Aggregate sind durch Klassen (~20) / Instanzen abgebildet und verschalten.
- Tuning
 - Anpassung notwendiger Koeffizienten wie
 - Wärmeübergänge
 - Ventilatoren Charakteristik
 - Fasern Entwässerungseigenschaften
- Validierung
 - Auf Basis historischer Anlagendaten
- Robustes Modeldesign
 - für die Verwendung in einer „closed loop“ Regelung

Description	Initial Value	Online Value
▶ Cylinder Cylinder_45		
▶ Cylinder Cylinder_46		
▶ Cylinder Cylinder_47		
▶ Cylinder Cylinder_48		
▶ Cylinder Cylinder_49		
▶ Cylinder Cylinder_50		
▶ Cylinder Cylinder_51		
▼ Cylinder Cylinder_52		
▶		
▶		
▶ Durchmesser	1800	1800
▶ Umschlingungswinkel	213,3	213,3
▶ Mantelstärke	32	32
▶ Syphon Abstand	8	8
▶ Wärmeleitfähigkeit Mantel	52	52
▶ Wärmedurchgangskoeff. Luft - Karton	0,01	0,01
▶ Wärmedurchgangskoeff. Zyl. - Bespannung nass	1,3	1,3
▶ Wärmedurchgangskoeff. Zyl. - Bespannung trocken	0,65	0,65
▶ Zug Bespannung	1	1
▶ Wärmedurchgangskoeff. Zyl. - Karton ohne Bespannung	0,3	0,3
▶ Wärmedurchgangskoeff. Zyl. - Luft	0,05	0,05
▶ Wärmedurchgangskoeff. Zyl. - Bespannung	0,02	0,02
▶ Bahnabstand nächster Zylinder	2,035	2,035
▶ Durchblasdampf bei 1bar Differenzdruck	0,14	0,14
▶ Kartontemperatur max.	0	83,81411
▶ Zylinder Umgebungstemperatur	0	95,28576
▶ Lufttaschen Temperatur	0	110,0627
▶ Zylinder Oberflächentemperatur	0	124,6638
▶ Bahnfläche Zyl. Plus Fläche Freier Zug	0	28,92532
▶ Dampfdruck absolut	0	4,5279
▶ Dampftemperatur	0	148,1387

3.3 Modellierung, Tuning/Validierung

Beispiel Zylinder

- Massen und Energie Bilanz des Zylinders
- Math. Beschreibung des Dampfregelventils

Auszug Zylinder Gleichungen

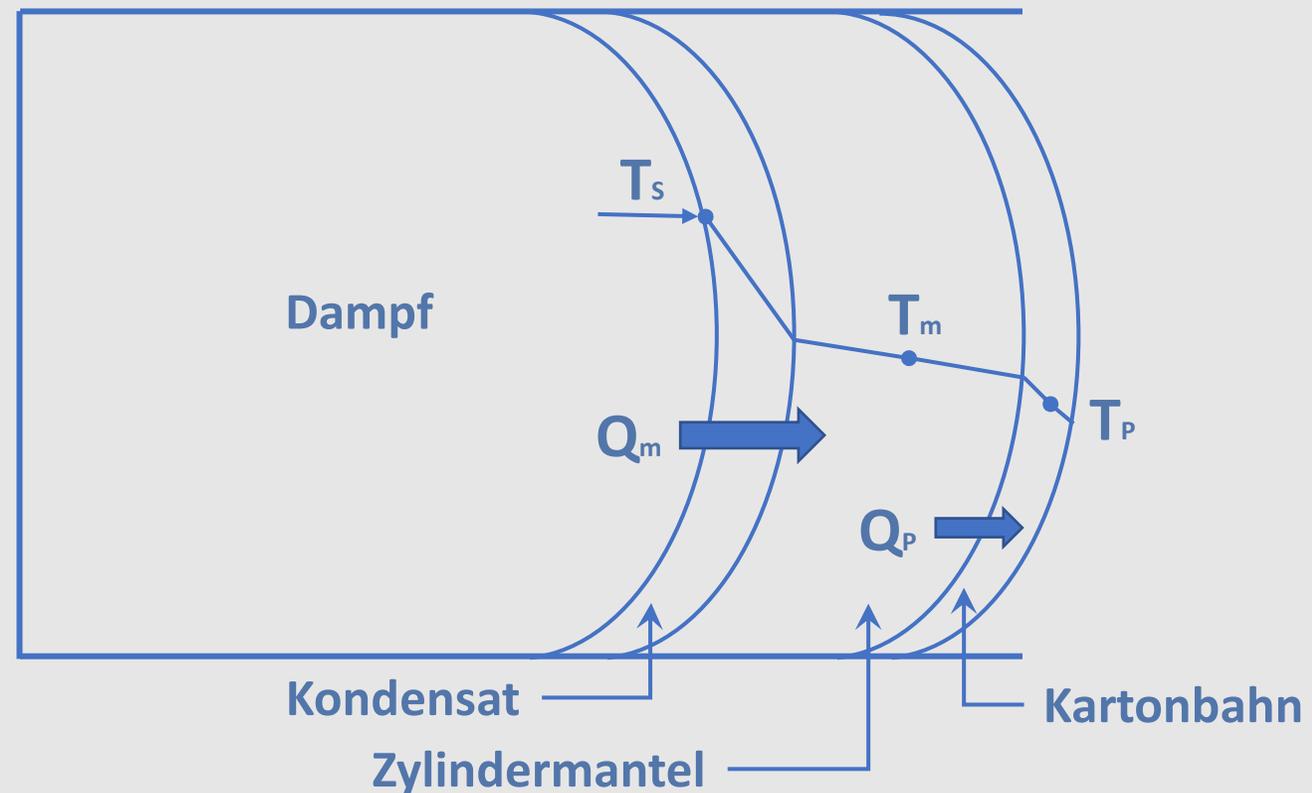
⋮

$$\frac{d}{dt} (m C_{p,m} T_m) = Q_m - Q_p$$

$$Q_m = \alpha_{sc} A_{cyl} (T_s - T_m)$$

$$Q_p = \alpha_{cp} A_{cyl} \eta (T_m - T_p)$$

⋮

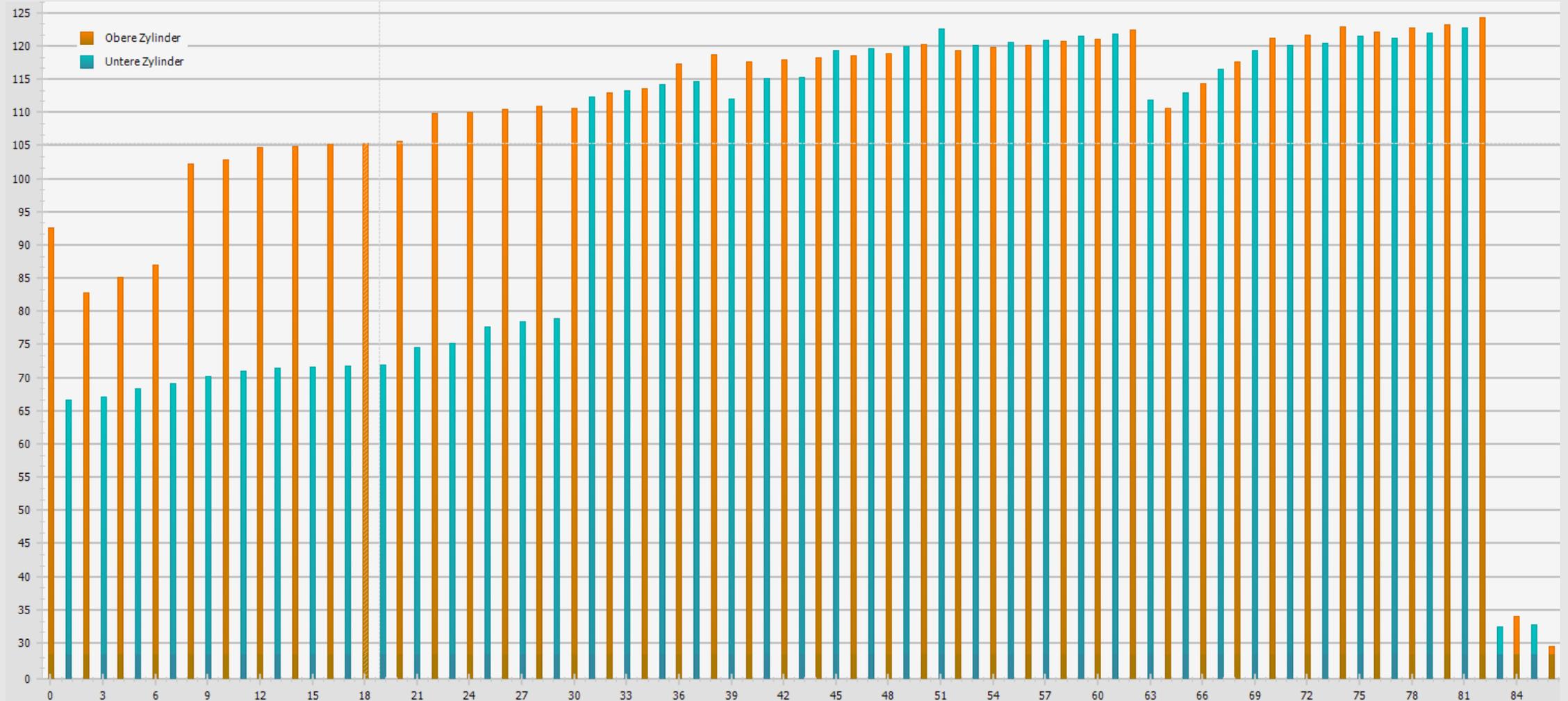


3.4 Online Simulation - Softsensorik

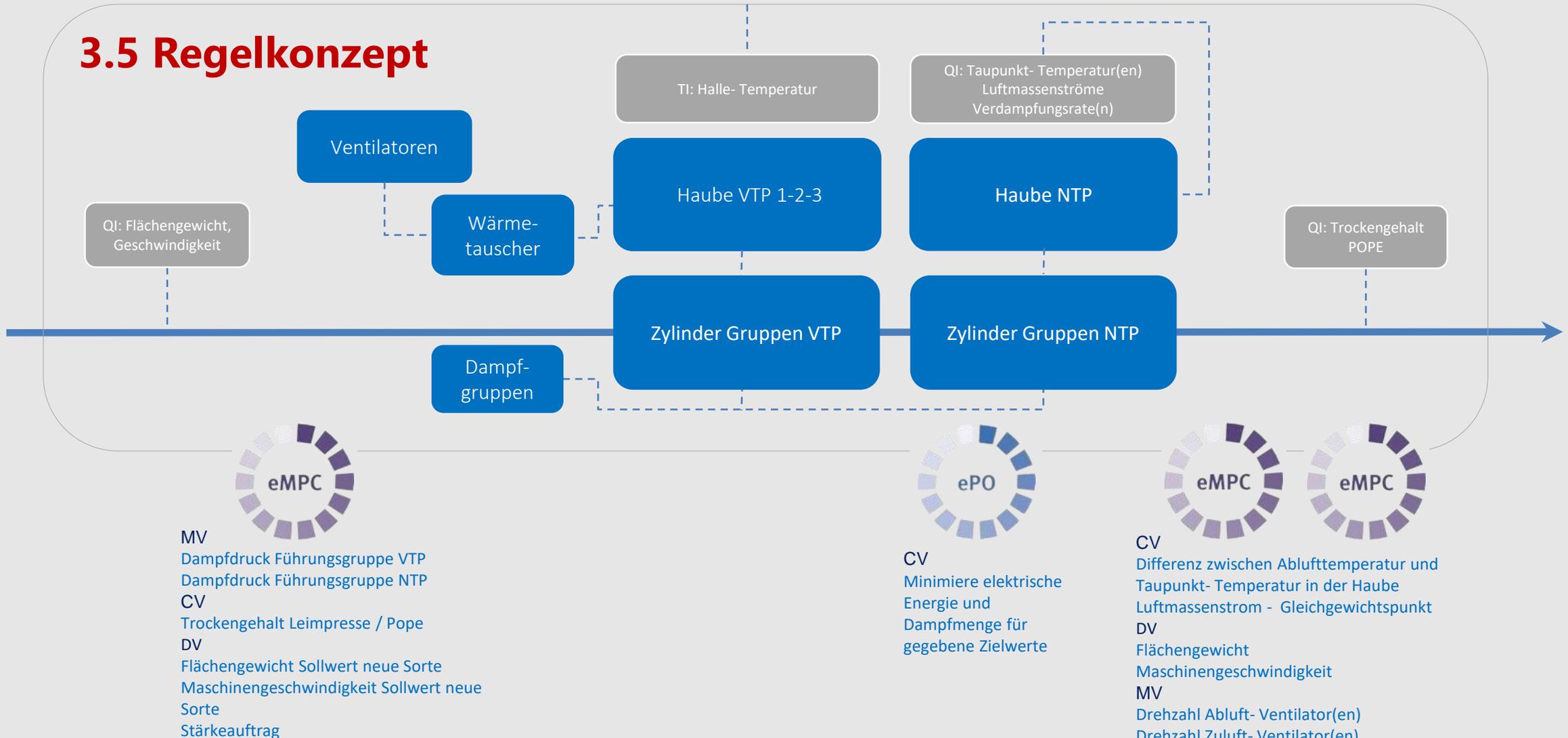
- Schnittstelle zum Bestandsystem via OPC-UA (400 Signale)
- Über die zyklische Berechnung des Prozessmodells wird eine Vielzahl von Softsensorwerten ermittelt.
- Papiertechnologen haben zusätzliche Informationen zur Bewertung des aktuellen Maschinenlaufs und eine neue Basis für die statistische Prozesskontrolle

Prozesswert errechnet	Einheit
Dampfmenge Wärmerückgewinnung Istwert	t/h
Dampfmenge Trocknung	t/h
Dampfmenge Gesamt	t/h
Trockengehalt nach Presse	%
Bahntemperatur Leimpresse	°C
Trockengehalt Fertigungskarton	%
Bahntemperatur Fertigungskarton	°C
Stärkeauftrag Leimpresse	g/m ²
Stärkemenge Leimpresse	l/min
Stärkeverbrauch	kg/min
Zylinder Dampfdruck	barg
Zylinder Oberflächentemperatur	°C
Zylinder Kondensat Menge	t/h
Zylinder Verdampfungsrate Lufttaschen	t/h
Zylinder Feuchte Lufttaschen	kg/kg
Wärmetauscher Massenstrom Brüden Dampf	t/h
Wärmetauscher Massenstrom Kondensat	t/h
Wärmetauscher Massenstrom Frisch Dampf	t/h
Haube Taupunkt Temperatur	°C
Haube Abluft Temperatur	°C
Haube Falschlufte Massenstrom	t/h
Ventilator Zuluft Menge	m ³ /s
Ventilator Abluft Menge	m ³ /s
Heizgruppe Dampfmassestrom	t/h
Separator Kondensat Menge	t/h
Separator Druck	barg

3.4 Online Simulation – Softsensorik - Zylindertemperaturen



3.5 Regelkonzept



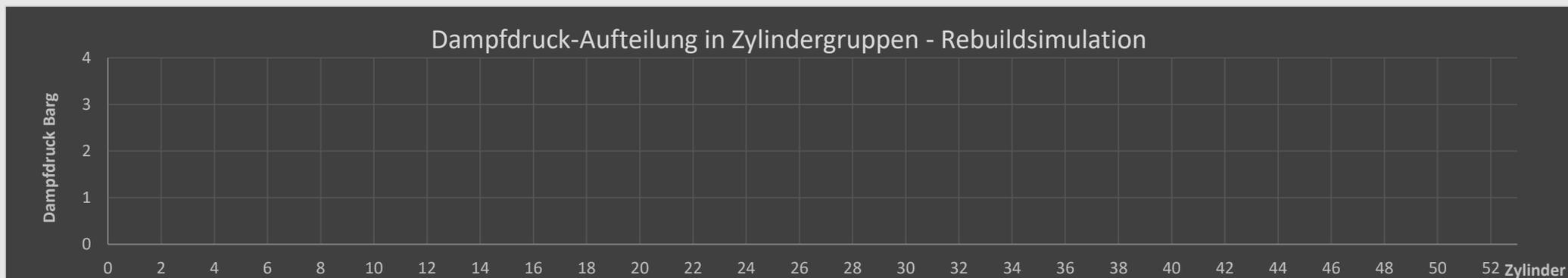
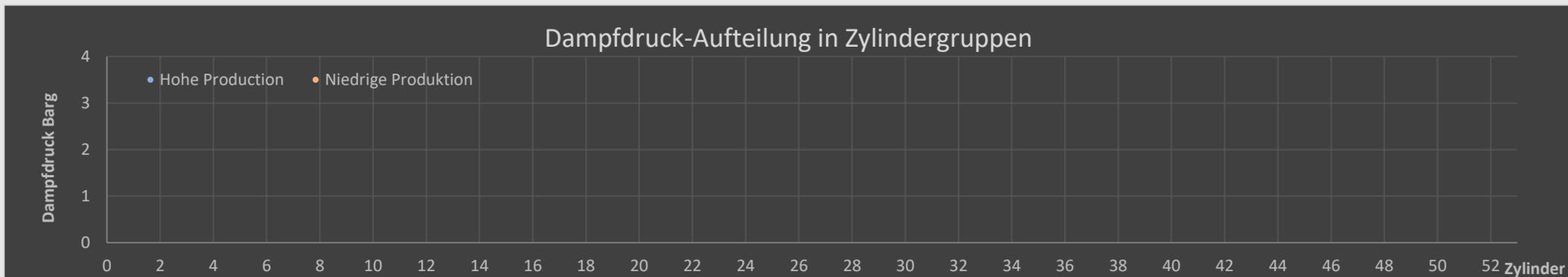
MV
Dampfdruck Führungsgruppe VTP
Dampfdruck Führungsgruppe NTP
CV
Trockengehalt Leimpresse / Pope
DV
Flächengewicht Sollwert neue Sorte
Maschinengeschwindigkeit Sollwert neue Sorte
Stärkeauftrag

CV
Minimiere elektrische Energie und Dampfmenge für gegebene Zielwerte

CV
Differenz zwischen Ablufttemperatur und Taupunkt- Temperatur in der Haube
Luftmassenstrom - Gleichgewichtspunkt
DV
Flächengewicht
Maschinengeschwindigkeit
MV
Drehzahl Abluft- Ventilator(en)
Drehzahl Zuluft- Ventilator(en)
Frischluf- Temperatur nach Dampf- Luft
Wärmetauscher

3.6 Offline Simulation - Rebuild

- Das vorhandene Anlagenmodell (wie bereits in der aktuellen Optimierung im Einsatz) wird verwendet, um alternative Fahrweisen bzw. ein alternatives Anlagendesign offline zu simulieren.



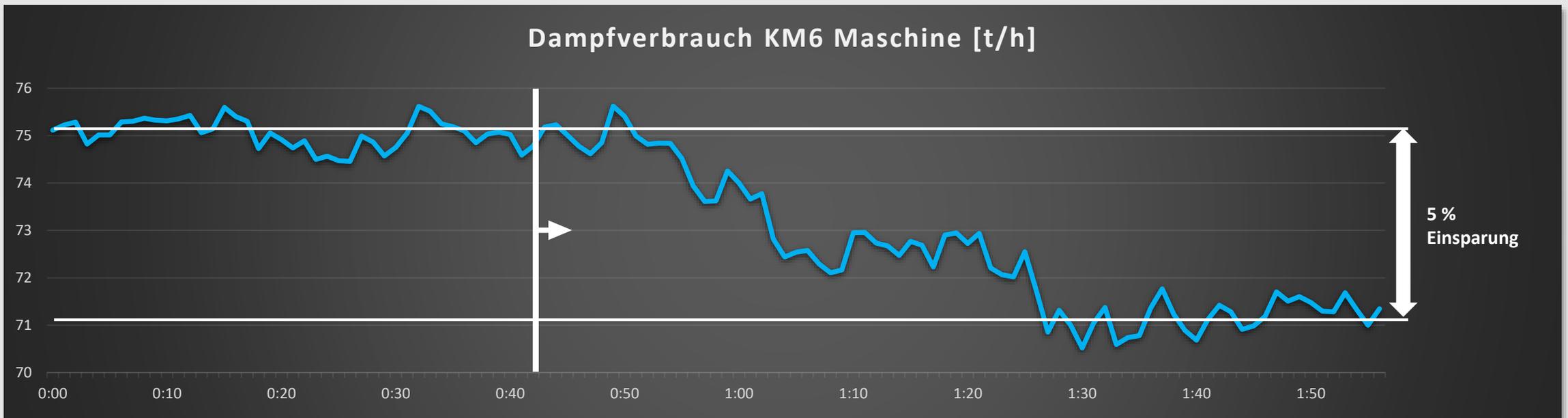
3.7 ROI – Basierend auf 250.000 t/a

- Physikalische Modellierung erlaubt die Umsetzung auf allen Papier-Kartonmaschinen
- Entlastung der Bediener durch
 - **Autopiloten für den geregelten** Grammaturswechsel
 - Energieoptimale Fahrweise der Wärmerückgewinnung
 - Optimierte Feuchte- Querprofilstabilität (Varianzreduktion Feuchte)
 - Produktionsoptimale Lastaufteilung der Trocknungskapazitäten von VTP und NTP
- Return on Invest < 8 Monate
- $250.000 \text{ t/a} * 1,4 \text{ t/t} - \text{steam} * € 40 * 5\% \sim € 700.000$
- $250.000 * 1,4 \text{ t/t} * 5\% * 3,1 \text{ GJ} * 98,4 / 1000 \text{ t CO}_2 \text{ equ.} \sim 5.340 \text{ t CO}_2 \text{ Reduktion}$
 $5.340 \text{ t CO}_2 * € 30 \sim € 160.000$

4 Ergebnisse

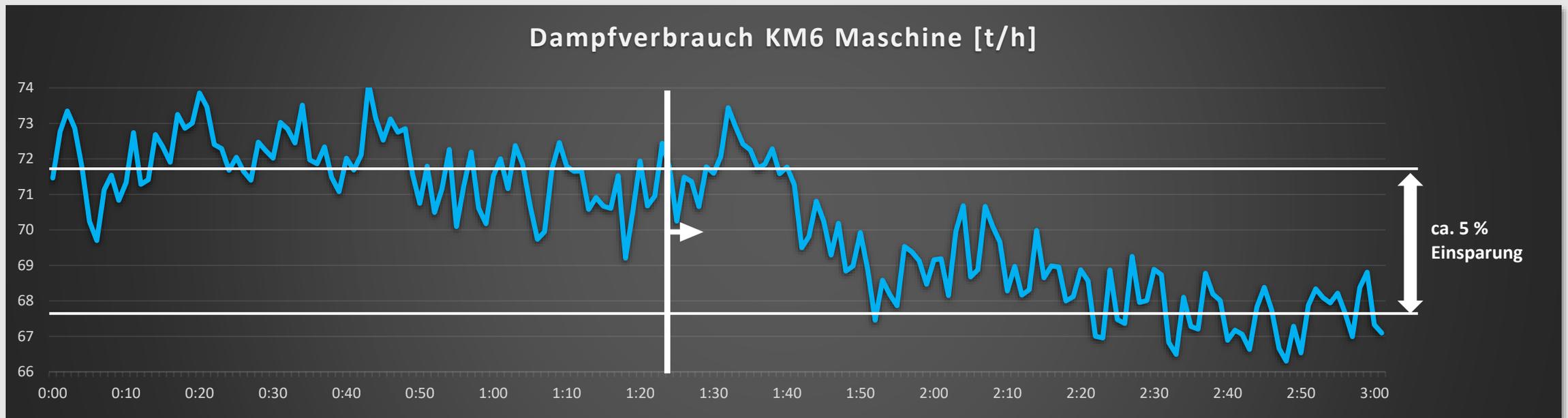
4.1 Ergebnisse - Reduzierung Dampfverbrauch

- Testlauf bei **190 g/m²**
- Entwicklung Dampfverbrauch KM6 nach Zuschalten der Regelung

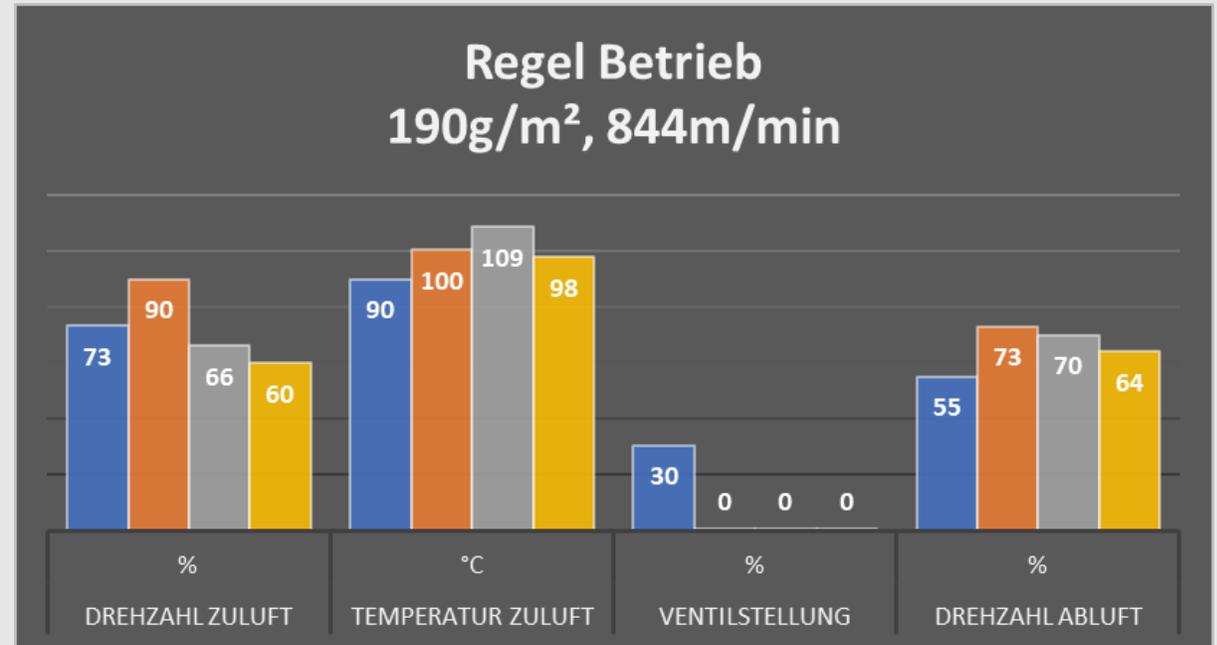
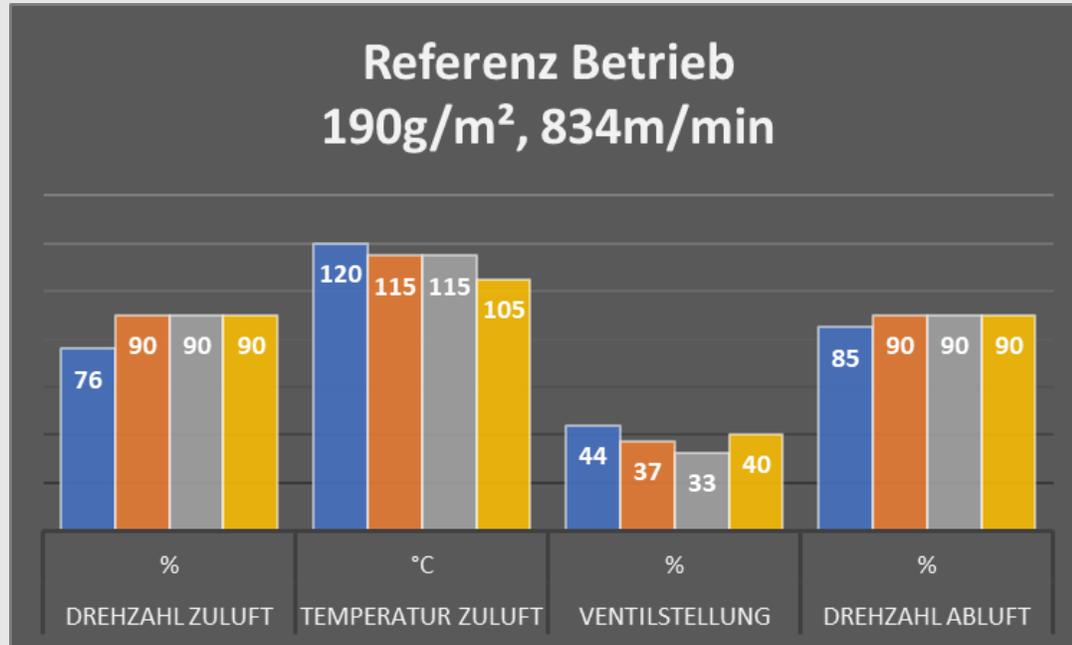


4.1 Ergebnisse - Reduzierung Dampfverbrauch

- Garantielauf bei **190 g/m²**
- 1. Intervall **ohne Regelung** mit Referenzwerten
- 2. Intervall **mit aktiver Regelung**

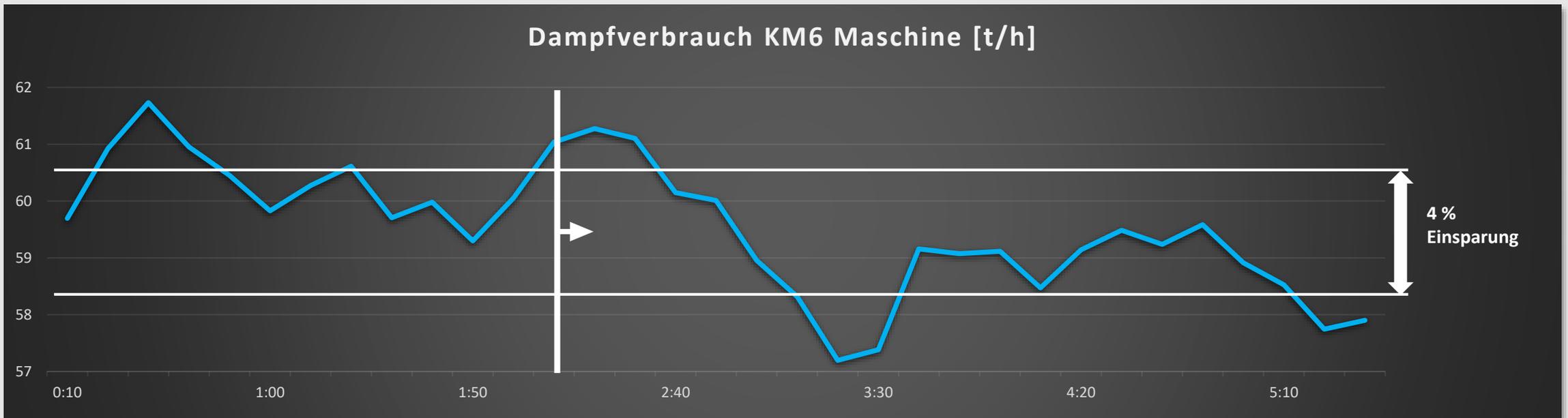


4.1 Ergebnisse Garantielauf



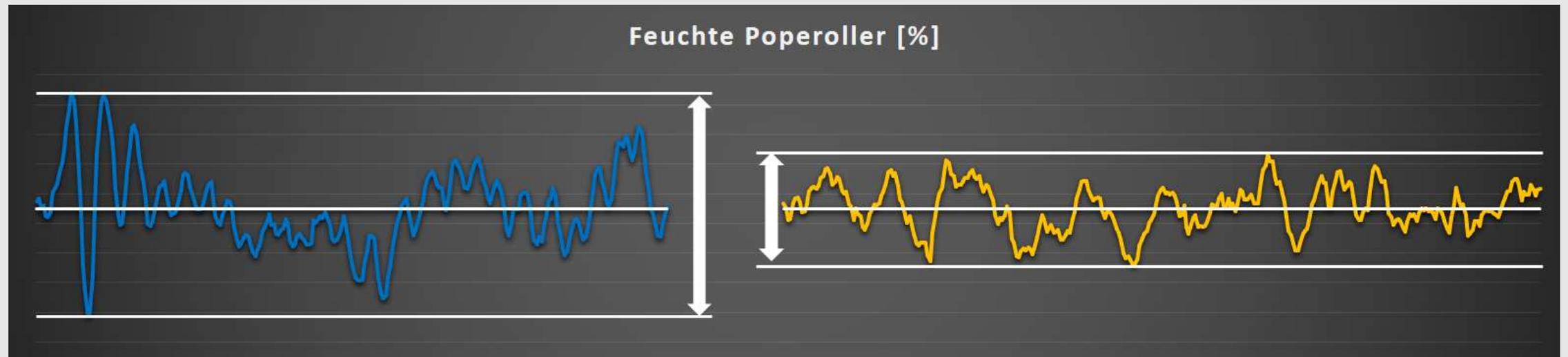
4.1 Ergebnisse - Reduzierung Dampfverbrauch

- Garantielauf bei **140 g/m²** -> geringstes Einsparpotenzial
- 1. Intervall **ohne Regelung** mit Referenzwerten
- 2. Intervall **mit aktiver Regelung**



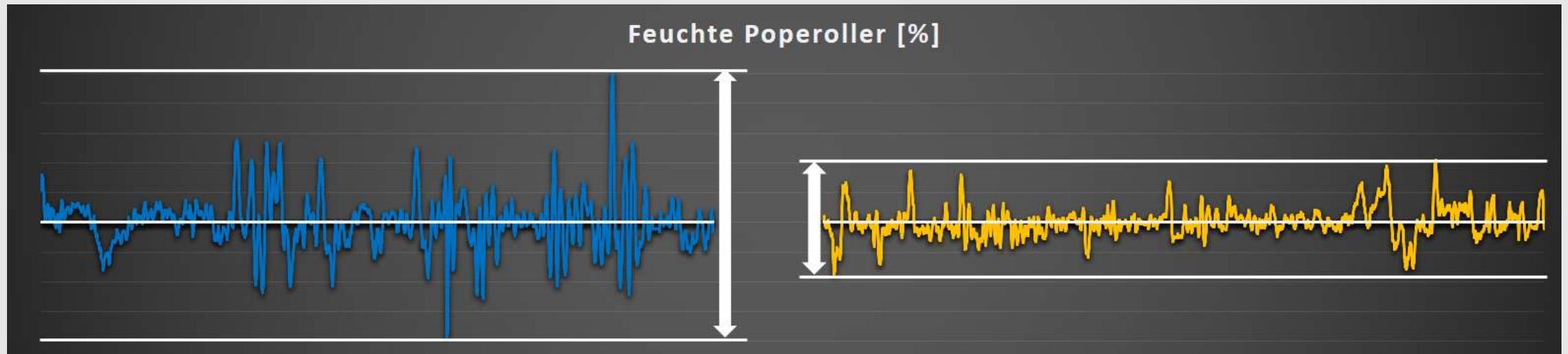
4.2 Ergebnisse - Reduzierung Feuchtevarianz (stationär)

- Modell Prädiktiver Regler zur Regelung des Führungsdampfdrucks Vortrockenpartie
- Flächengewicht: **konstant**
- Geschwindigkeit: **konstant**
- Reduzierung der Feuchtevarianz um ca. **30-50 %** in Abhängigkeit der Sorte

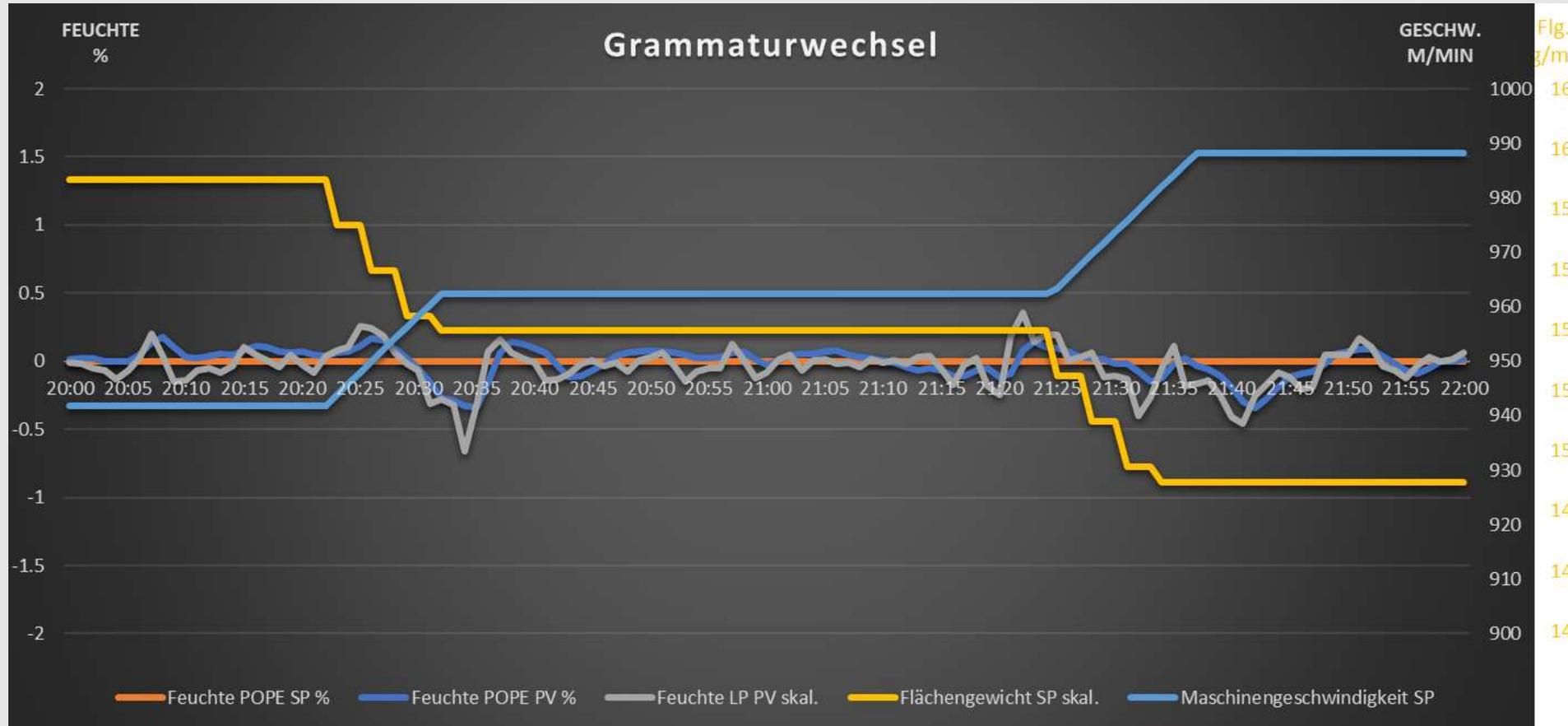


4.2 Ergebnisse - Reduzierung Feuchtevarianz (instationär)

- Flächengewichtsspanne: $\pm 50 \text{ g/m}^2$
- Geschwindigkeitsspanne: $\pm 220 \text{ m/min}$
- Reduzierung der Feuchtevarianz um ca. **30-50 %** in Abhängigkeit der Sorte



4.3 Ergebnisse - Grammatur-/Geschwindigkeitswechsel



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit