

# NEUE ENERGIEN 2020

## Publizierbarer Endbericht – 825454 – Pulp&Paper-EtaPlus

### **Programmsteuerung:**

Klima- und Energiefonds

### **Programmabwicklung:**

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

## **1 Einleitung**

In komplexen Industriekraftwerken der Zellstoff- und Papierindustrie zur Erzeugung elektrischer Energie und Prozessdampf können durch qualifizierte Identifikation unerkannte, dynamisch energetische Freiräume wirtschaftlich nutzbare Optimierungspotentiale zur Steigerung von Effizienz und Leistung dargestellt werden. Die Nutzung dieser latenten Energie wird durch Integration intelligenter, modernster Prozessregeltechnik realisiert. Das Projekt ist in allen Punkten vollständig im Zeit- und Kostenplan. Es liegen bereits sehr aussagekräftige Ergebnisse vor und die gewünschte signifikante Erhöhung der Kraftwerks-effizienz durch Nutzung der Freiräume lässt sich klar nachweisen. Die gewählte Methode zur systematischen Optimierung von Industriekraftwerken erweist sich als effektiv in den Auswirkungen und durch die entwickelte Systematik effizient in der Anwendung.

### **1.1 Aufgabenstellung**

#### **1.1.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes**

Das Konsortium dieses Projektes, bestehend aus dem Betreiber eines Industriekraftwerkes – Mondi Frantschach GmbH – sowie dem Dienstleister von Optimierungslösungen – VOIGT+WIPP Engineers GmbH –, hat sich die Aufgabe gestellt, im Rahmen dieses Vorhabens eine systematische und effektive Methode zur Optimierung des Wirkungsgrades komplexer Industriekraftwerken zu entwickeln. Am Standort der Papierfabrik in Frantschach/St. Gertraud befindet sich eine Kraftanlage mit derzeit 3 Dampfkesseln – 1 Rindenkessel mit ca. 85t/h, 2 Laugenkessel mit 110t/h bzw. 60t/h Dampfleistung.

Die maximale Auslastung des mit Rinde befeuerten zirkulierenden Wirbelschichtkessels konnte aufgrund der periodisch auftretenden Last- und Druckschwankungen im Dampfsystem bisher nicht ausgeschöpft werden. Die fehlende Leistung des Rindenkessels musste durch Stromzukauf vom Energieversorger ausgeglichen werden.

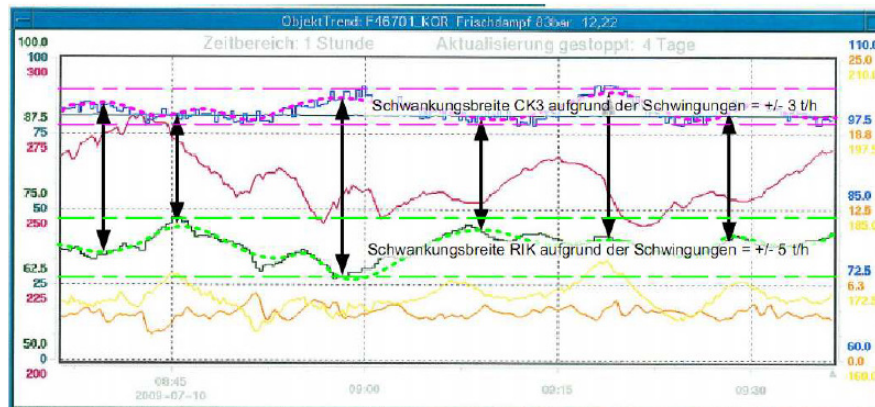


Abbildung 1: Typische Schwankungen als limitierender Faktor vor der Optimierung

### 1.1.2 Zielsetzungen des Projektes

Um die Effizienz, Gleichmäßigkeit und Leistung des Kraftwerksbetriebs zu maximieren, mussten zwei Dampfkessel mit einer Leistung von 90t/h bzw. 110t/h dynamisch voneinander entkoppelt werden da diese zu starken Wechselwirkungen bzw. Schwingungen (Aufschaukeln) neigen und somit die erzielbare Leistung stark reduziert war. Diese Aufgabe sollte durch Entwicklung eines alternativen Lastregelkonzeptes erreicht werden.

Ziel des Projektes war die Erhöhung des Anteils an erneuerbarer Energie bei der Versorgung der Zellstoff- und Papierfabrik durch gesteigerte Auslastung des Rindenkessels im beruhigten, entkoppelten Betrieb sowie entsprechender Eigenstromerzeugung in den 4 Turbinen am Standort.

#### **Projektziele:**

- Vollständige dynamische Entkopplung von Rindenkessel und Laugenkessel auf der Hochdruck-Dampfschiene
- Elimination von periodischen Schwankungen der Kesselleistungen
- Erhöhung der Eigenstromerzeugung (aus erneuerbarer Energie - Rinde) um 5-10%

## 1.2 Schwerpunkte des Projektes

### Modellbildung und Simulation

Um die wesentliche Prozessdynamik vollständig abzubilden wurde eine Reihe von Sprungversuchen (Bump-Tests) zur Anregung der Anlage und entsprechender Auswertung der Reaktionen gemäß durchgeführt. Die Ergebnisse der Sprungversuche waren absolut aussagekräftig und wurden in der weiteren Folge des Projektes entsprechend in der Regelung implementiert. Eine Nachjustierung war an verschiedenen Parametern erforderlich.

Versuch	Beschreibung	Loop-Nr.	Sprung 1	Haltedauer	Sprung 2	Loops auf Hand	Versuchsdauer
1	Rindenmenge (unter Berücksichtigung des 83bar Drucks. Maximale Abweichung +/-2 bar)	F46503	-10t/h	30min	+10t/h	Primärluft (AUTO), Sekundärluft (AUTO), T5 (LAST-Hand)	60min

2	T5 Vordruck Sollwert (in 0,5bar Schritten)	P55102.SW	-2bar	30min	+2bar	P46715 auf Hand (Vorgabe GJ/h RIK), SW-Überdach-Ventil und HIKO werden von 4,1 auf 4,2bar gestellt um Druckanstieg der 4bar Schiene bei Änderung der T5-Last zu sehen	60min
3	T5 HD-Ventile	P55102_MAN_LAST	-5%	30min	+5%	Lastregler RIK	60min
4	Leistung CK3/Sollwert Laugemenge	F43507	-5m <sup>3</sup> /h	30min	+5m <sup>3</sup> /h	Rindenmenge Lastregler (Vorgabe GJ/h RIK auf Hand), T5 auf LAST-Hand Betrieb	60min
5	HiKo-Ventilstellung (Menge F58641_KOR)	P58642	+20%	30min	-20%	T5 auf LAST-Hand	60min
6	O2 Sollwert	A46344	+2%	30min	+2%	Rindenmenge Lastregler (Vorgabe GJ/h RIK auf Hand), Grenze des minimalen O2-Gehaltes bis Anstieg CO ermitteln.	60min
7	RIK Sekundärluftmenge (Regelklappe)	F46912	+25%	30min	-25%	Primärluft (E1), RIK-Lastregler (E1), T5 (bleibt auf LAST-Hand)	60min

Tabelle 7, Durchführung von Sprungversuchen zur Quantifizierung der Prozessdynamik

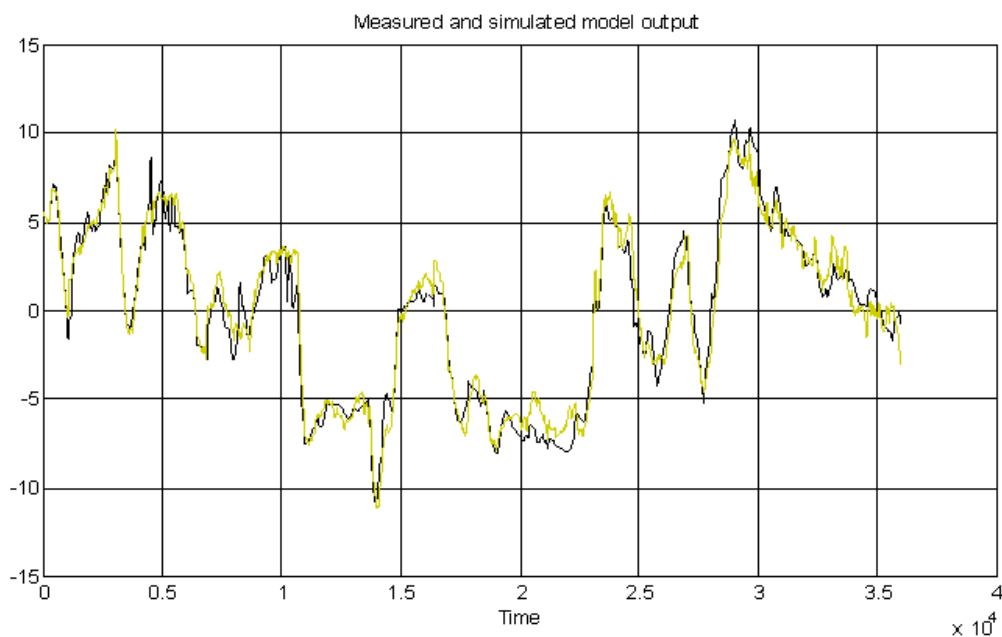


Abbildung 16, Modellvalidierung Leistungsregelung Rindenkessel

In Abbildung 6 ist die Validierung des Modells für die Dampfmenge Rindenkessel dargestellt. Es ist klar zu sehen, dass die Modellgüte sehr hoch ist und damit war bereits bei der Modellbildung zu erwarten, dass damit auch die Regelgüte hoch sein würde. Es hat sich gezeigt, dass durch den Einsatz von model predictive control die Stabilität der Anlage erheblich verbessert werden konnte. Die Quantifizierung der Kraftwerks-Stabilität sowie der Leistungssteigerung ist in Tabelle 4 und Tabelle 9 dargestellt und beziffert.

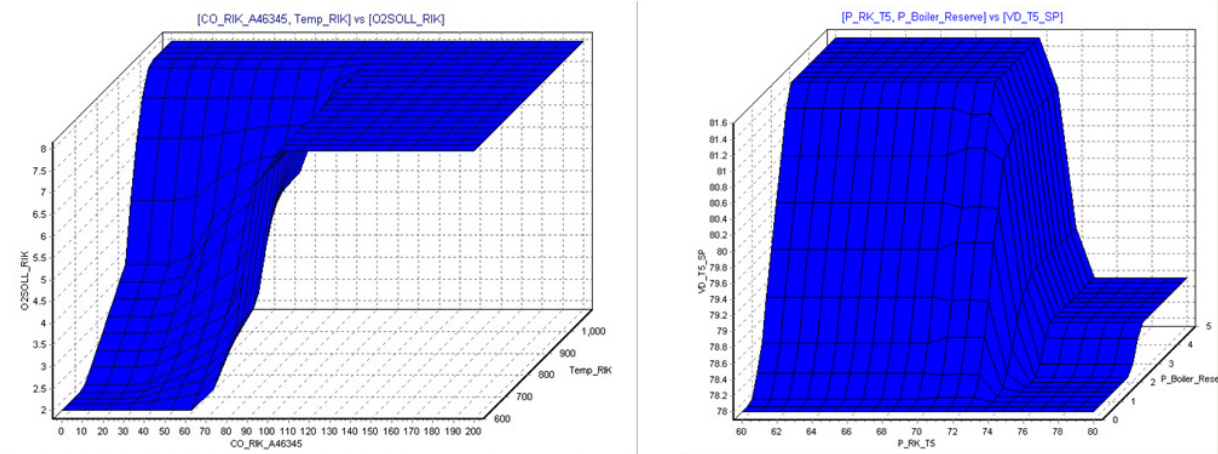


Abbildung 17, Fuzzy Control Expertensystem für Effizienzoptimierungskennfelder  
 Um den großen Unterschieden beim Betrieb der Kraftanlage von Teillast bis Volllast im Sinne der arbeitspunkt abhängigen optimalen Effizienz der Verbrennung (links in Abbildung 17) bzw. der Verstromung des erzeugten Dampfes (rechts in Abbildung 17)

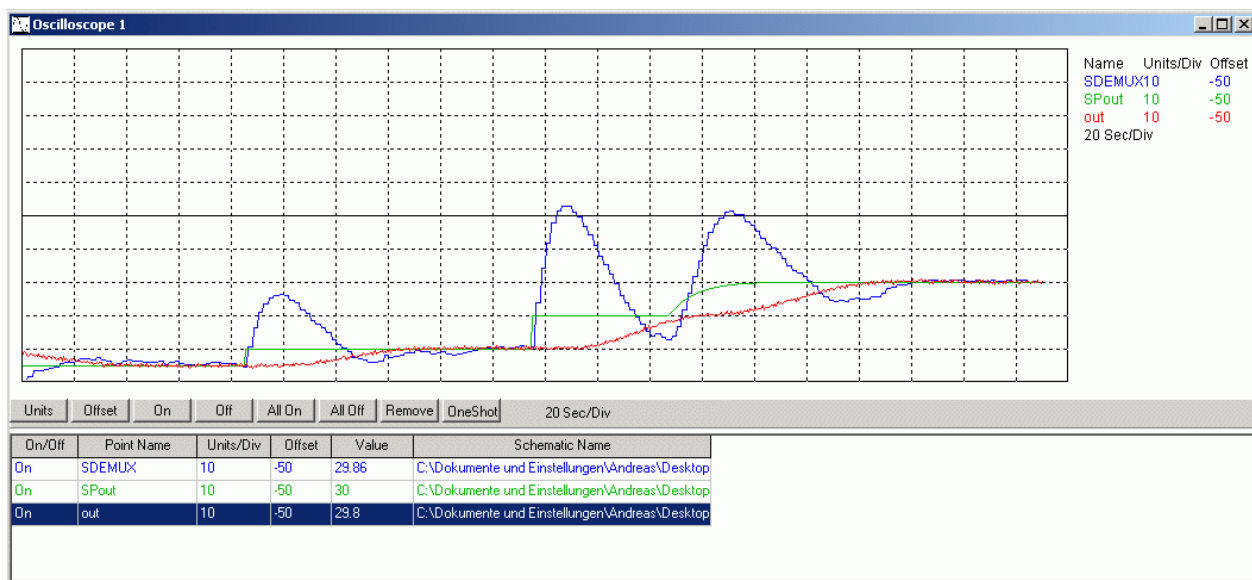


Abbildung 18, Simulation des Lastregelverhaltens Rindenkessel

Bereits vor der ersten Inbetriebnahme wurden umfassende Simulationen zum gewünschten Regelverhalten der Kraftanlage durchgeführt. Ein Beispiel für eine zu aggressive Einstellung der Lastregelung ist in Abbildung 18 dargestellt. Der Last-Istwert folgt zwar dem Sollwert sehr schön, die Zufuhr der Rindenmenge ist aber zu dynamisch. Dies würde CO Emissionen und eine temporäre Überlastung des Rauchgasventilators sowie der Brennstoffzuführung verursachen.

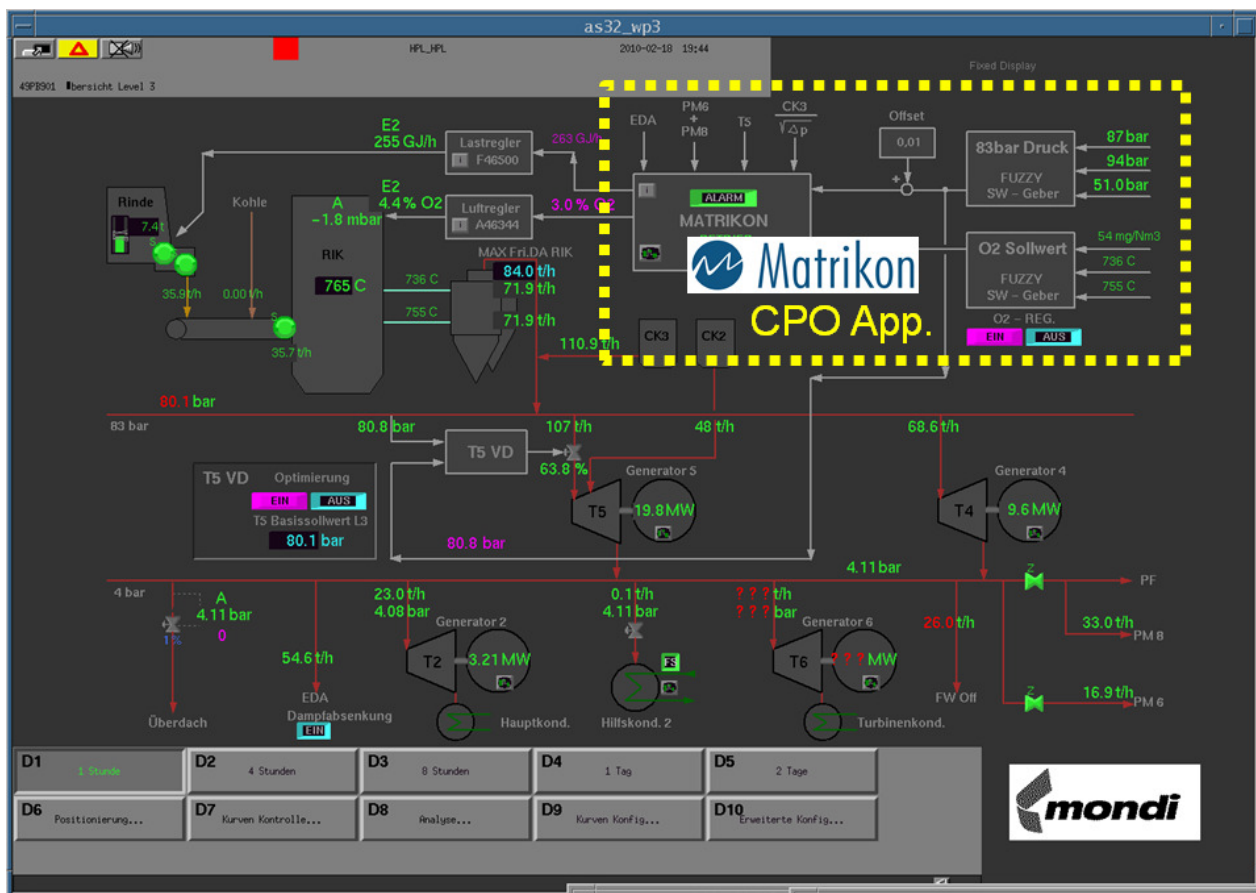


Abbildung 19, Übersichtsbild Energieoptimierung Pulp&Paper-EtaPlus

Abbildung 19 zeigt die Visualisierung der Regeleingriffe der übergeordneten Energieoptimierung. Dieser Screenshot wurde noch vor der Inbetriebnahme der Turbine 6 gemacht. Die Regelung war hier bereits in Betrieb, musste dann aber aufgrund der zusätzlichen Kondensations-turbine T6 neu designt werden. Später kam dann auch noch eine Rindentrocknungsanlage hinzu die großen Einfluss auf die Regeldynamik und das Streckenmodell der Regelung hatte. Die Rindentrocknung wurde im Sommer 2010 in Betrieb genommen, das Regelkonzept dann neuerlich adaptiert, was zu einem erhöhten Aufwand bei der Festlegung der endgültigen Regelstrategie geführt hat.

### 1.2.1 Projektziele

Im Folgenden Abschnitt wird gezeigt, dass alle Ziele des Projektes für diesen Berichtsabschnitt erreicht wurden. Es kann bereits in diesem Berichtsabschnitt eine quantitative Aussage über den Projekterfolg getroffen werden. Bereits die erste Version der installierten Regelung zeigte die gewünschte Verbesserung der Effizienz und Leistungsfähigkeit des Rinden-kessels zur Erzeugung erneuerbarer elektrischer Energie im Kraftwerk Mondri Frantschach.

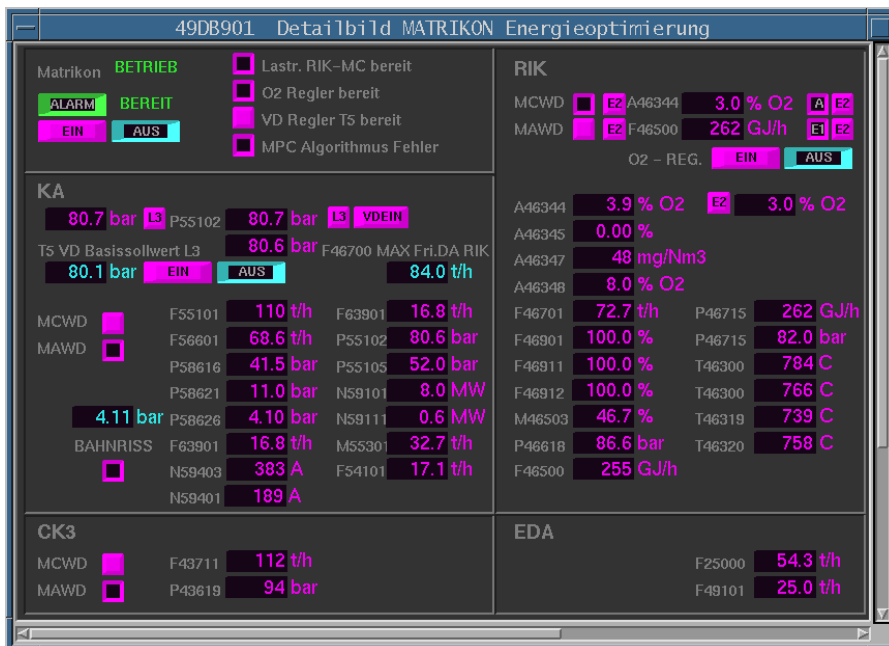


Abbildung 20, Einstellungen und Bedienung Energieoptimierung (Plant Parameter)

Die Fahrweise mit dem Pulp&Paper-EtaPlus System erfordert die Möglichkeit für Operatoren das System zu beeinflussen. Zu diesem Zweck wurde im Leitsystem ein Interface mit Darstellung der von der übergeordneten Regelung verwendeten Parameter sowie Möglichkeiten zur Anpassung der Energieoptimierung geschaffen. In Abbildung 20 ist diese Bedienoberfläche dargestellt.

### 1.2.2 Highlights im Projektfortschritt

Ein besonders wichtiges „Highlight“ im Projekt ist die Tatsache, dass sich die Ansätze dieses Projektes in den Versuchen an der Pilotanlage vollständig bestätigt haben. Es kann bereits jetzt gezeigt werden, dass eine Erhöhung des Anteils aus erneuerbarer Energie (Rinde) im Industriekraftwerk Mondi Frantschach signifikant zugenommen hat.

Schwankungsbreiten Druck und Last Rindenkessel bisher	Schwankungsbreiten Druck und Last Rindenkessel mit Pulp&Paper-EtaPlus Regelung (ohne Rindentrocknung)	Schwankungsbreiten Druck und Last Rindenkessel mit Pulp&Paper-EtaPlus Regelung (mit Rindentrocknung)
<b>83bar +/- 2bar</b>	<b>83bar +/- 0,5bar</b>	<b>83bar +/- 0,5bar</b>
<b>80 t/h +/- 10 t/h</b>	<b>84 t/h +/- 4 t/h</b>	<b>89 t/h +/- 3 t/h</b>

Tabelle 8, Stabilisierung der Kraftanlage durch Pulp&Paper-EtaPlus System

Aus Tabelle 4 kann entnommen werden, dass die Schwankungsbreiten aller relevanten Prozessparameter wie Druck und Dampfmenge am Rindenkessel durch das Konzept der Entkopplung deutlich abgenommen haben. Die Schwankungsbreiten wurden um mehr als 75% reduziert. Damit kann der Betrieb des Kraftwerks als stabilisiert betrachtet werden (siehe Abbildung 21). Ein sehr wichtiger und kritischer Milestone in diesem Projekt. Von einer ruhigen Fahrweise ausgehend kann



dann die eigentliche Optimierung (bzw. Anhebung) der Last stattfinden ohne Überschreitungen durch Schwingungen und Spitzen befürchten zu müssen.

<u>Instabil</u> fahrbare Rindenkesselleistung bisher	Dauerhaft <u>stabil fahrbare</u> Rindenkesselleistung mit Pulp&Paper-EtaPlus Regelung ( <u>ohne</u> Rindentrocknung)	Dauerhaft <u>stabil fahrbare</u> Rindenkesselleistung mit Pulp&Paper EtaPlus Regelung ( <u>mit</u> Rindentrocknung)
<b>80 t/h</b>	<b>84 t/h (= +5%)</b>	<b>89 t/h (=+11%)</b>

Tabelle 9, Leistungserhöhung und Stabilisierung durch Projektergebnisse

Aus Tabelle 9 kann weiters abgelesen werden, dass sich durch die ruhige Fahrweise (siehe Abbildung 21) eine signifikante (+5%) Anhebung der mittleren Rindenkessel-Leistung zugelassen hat. Dies stellt somit den wesentlichsten Erfolgsfaktor des Projektes dar da somit der Anteil an erneuerbarer Energie ebenfalls um 5% gestiegen ist und die Effizienz der Verbrennung bei niedrigen Rauchgasmengen zusätzlich zu einer Reduktion des spezifischen Eigenstrombedarfs geführt hat.

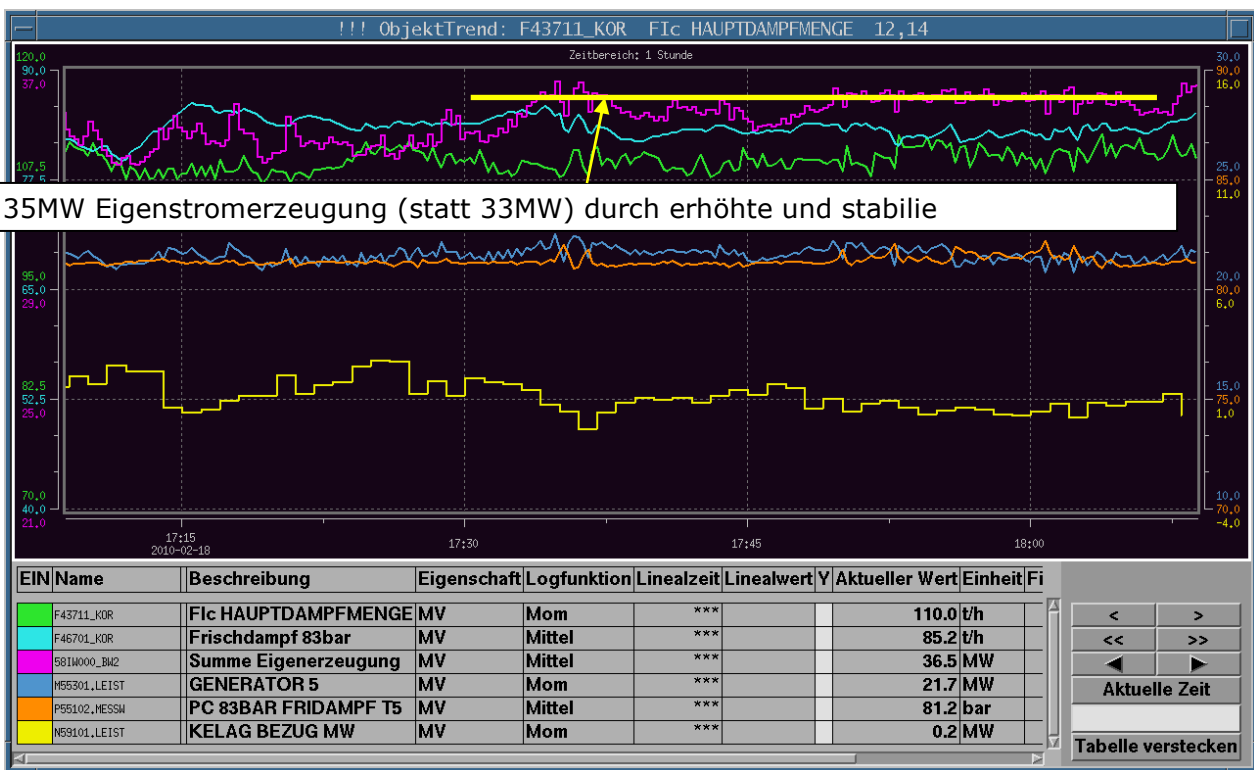


Abbildung 21, Ergebnis: Stabiler Betrieb der Kraftanlage bei maximaler Leistung

Wie in Abbildung 21 zu sehen ist, konnte das gesamte Kraftwerk durch die Entkopplung der beiden Kessel in einen absolut schwingungsfreien und ruhigen Betrieb gebracht werden. Hierfür war es wir bei Antragstellung geplant, notwendig, ein übergeordnetes Regelkonzept für die Lastführung des Rindenkessels zu implementieren. Die Lastvorgabe für den Rindenkessel ist jetzt nicht mehr Druckgeführt wie bisher sondern wird laufend entsprechend der optimalen Anlagenauslastung vom Pulp&Paper-EtaPlus Regler berechnet und mittels Lastvorgabe an den Brennstoffregler im Prozessleitsystem als externer Sollwert übergeben.

### 1.3 Einordnung in das Programm

### 1.4 Verwendete Methoden

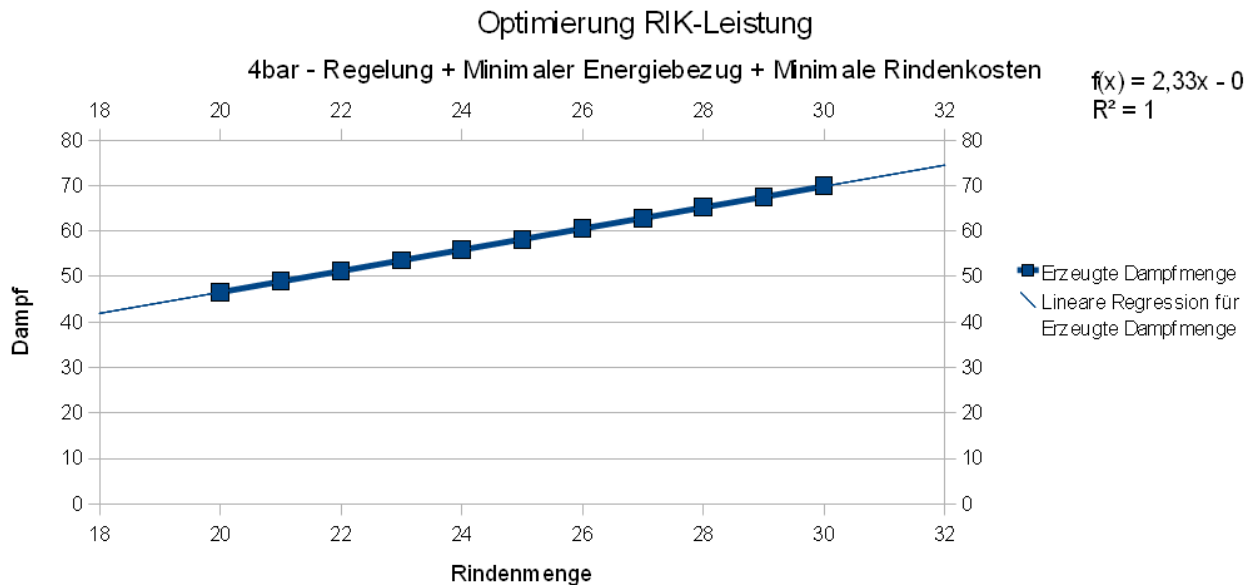


Abbildung 22, Stromerzeugung durch Dampf aus Rindenkessel

Um die tatsächlichen Potentiale zur Leistungserhöhung des Rindenkessels unter Berücksichtigung aller eventuell auftretenden begrenzenden Randbedingungen bestimmen zu können, wurden alle betroffenen Anlagenteile der gesamten Kraftanlage auf limitierende Faktoren untersucht:

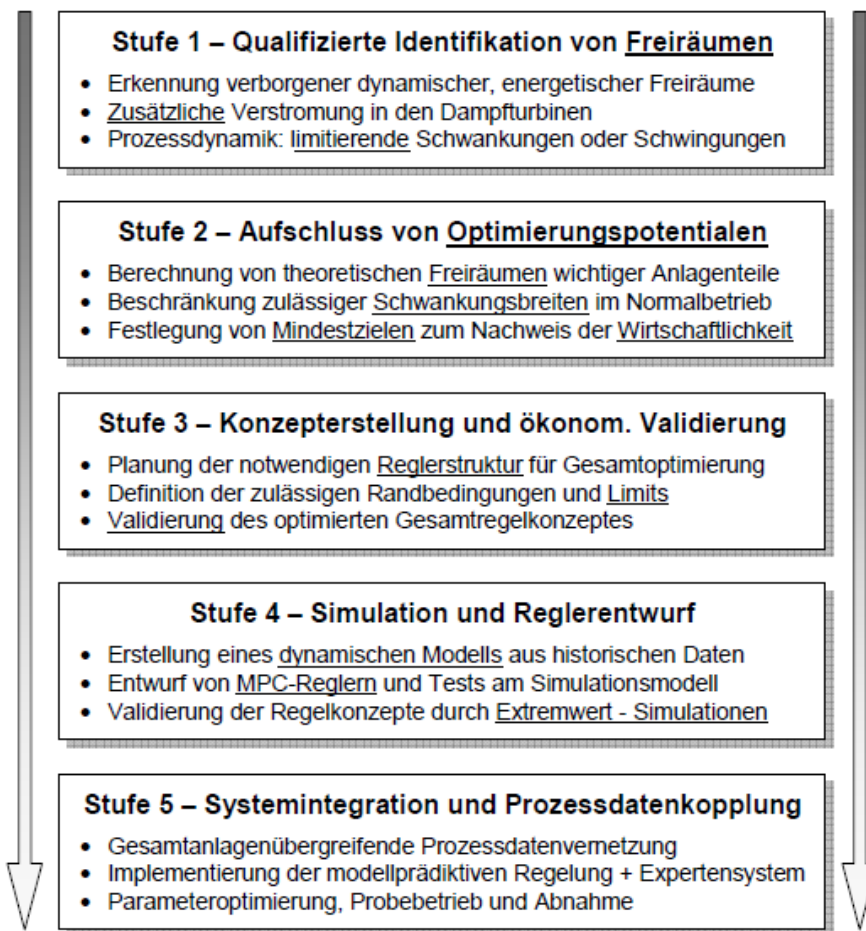
Folgende limitierende Faktoren waren dabei zu berücksichtigen:

- mechanischer Transport der höheren Rindenmenge je nach Heizwert überlastet
- kaum noch Reserven bei den Verbrennungsluft-Gebläsen
- Einhaltung der CO Emissionsgrenzwerte → Geschwindigkeit der Laständerungen begrenzt.
- Rauchgasmenge bei höherer Last für installierten Saugzug zu groß (nur bei feuchter Rinde)
- Kraftanlage kann im Sommer mehr elektrischen Strom erzeugen als für den Betrieb der Zellstoff- und Papierfabrik benötigt wird. → Variable Abregelung bei Überlast erforderlich
- Aufgrund von Wartungsarbeiten stehen nicht immer alle Dampfturbinen zur Verfügung. → Es wird ein Regelkonzept für eine Vielzahl unterschiedlicher Betriebsfälle benötigt. Dem wurde mit Entwicklung einer entsprechenden Umschaltlogik Rechnung getragen.

### 1.5 Aufbau der Arbeit

Besonderes Augenmerk bei diesem Projekt liegt auf der nachvollziehbaren und systematischen Methodik der Prozess-Schritte vom nicht offensichtlichen und nicht quantifizierten Optimierungspotential bis zur Implementierung und dem Nachweis der Wirksamkeit von Regelkonzepten zur Nutzung verfügbarer Effizienz- und Leistungsreserven im Industriekraftwerk der Zellstoff- und Papierfabrik bei Mondi Frantschach.





## 2 Inhaltliche Darstellung

### Konzept der Auslastungsregelung

Folgende Auslastungsgrößen der Teilanlagen wurden definiert und mittels Maximal-Auswahl (siehe Abbildung 8) zur Gesamt-Kraftanlagen-Auslastung zusammengeführt. In Audits mit den Operatoren und den Verantwortlichen für den Betrieb der Kraftanlage wurden diese Parameter gemäß Tabelle 3 definiert.

<b>Auslastungsgröße</b>	<b>Einheit</b>	<b>Vollauslastung</b>	<b>Bemerkung</b>
Frischdampfmenge Turbine 2	t/h	35	konstruktionsbedingtes Maximum
Lastregler Turbine 6	%	100	-
Strom Generator 5	A	2000	eher unkritisch, wird kaum erreicht
Strom 10/20kV Trafo	A	230	nach el. Umbau unkritisch
Strombezug von EVU	MW	~0	vom Operator einstellbarer Mindestbezug um unwirtschaftliche Stromlieferung an EVU zu vermeiden
Brennkammertemperatur Rindenkessel	°C	930	vom Operator einstellbar
Frischdampfmenge Rindenkessel	t/h	~90	vom Operator einstellbar
Stellung Einströmventile T5	%	100	-
Radkammerdruck T5	bar	74	Radkammerdruck abhängig von

			Frischdampf und Zweitdampf
Trommeldruck CK3	bar	97.5	Wichtig zur Vermeidung von
Auslastung 4bar Schiene (T2, T6, Überdachventil)	%	100	T2, T6 auf Volllast → 100%. Bei Öffnung von Überdach-Ventil > 100%

Tabelle 10, Auslastungsgrößen Kraftanlage Mondi Frantschach

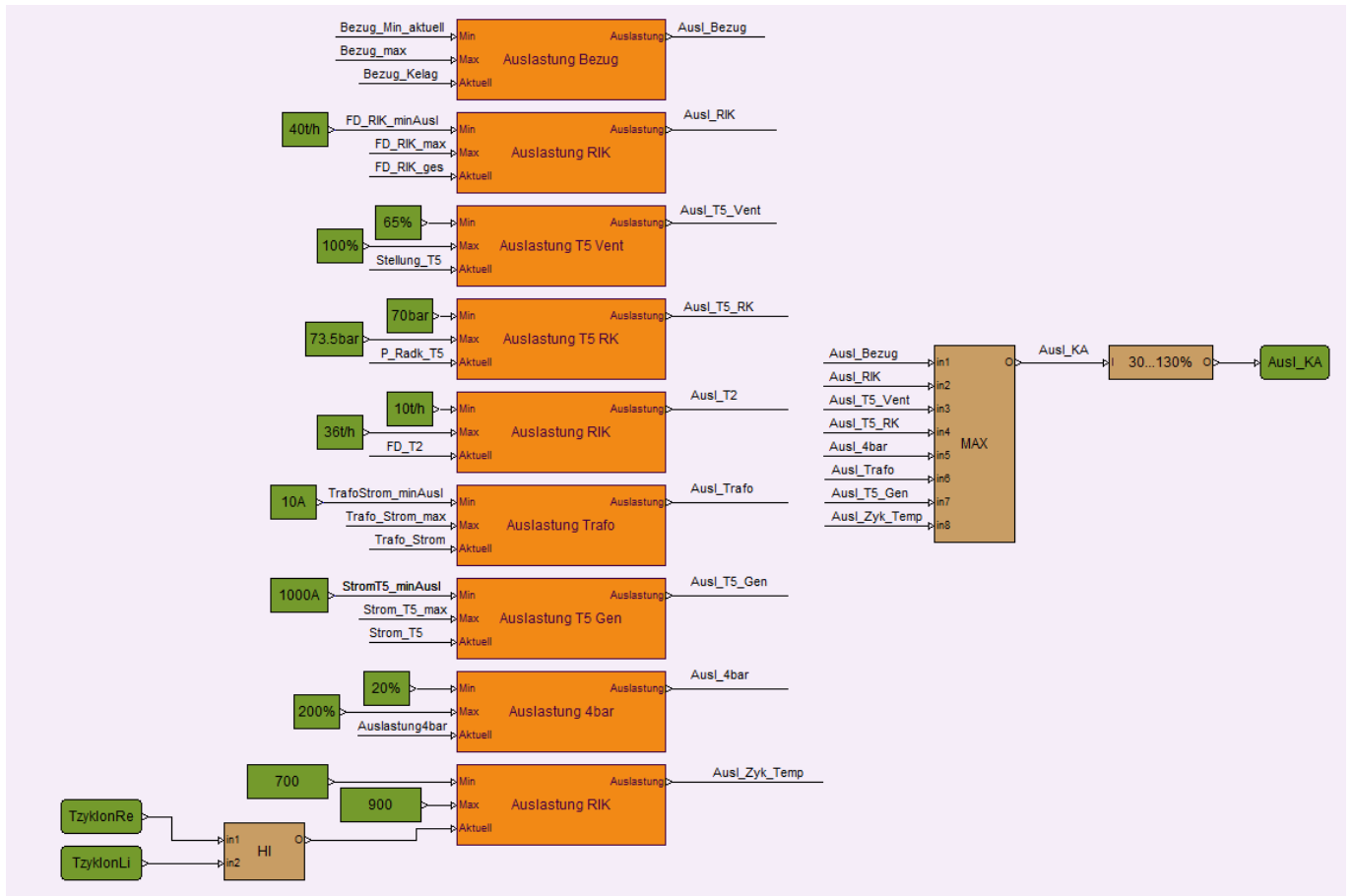


Abbildung 23, Implementierung Auslastungsoptimierung

In Abbildung 9 ist die Realisierung der Auslastung 4bar Schiene exemplarisch dargestellt. Der Rindenkessel soll exakt jene Dampfmenge produzieren die zur Vollaustattung der Kraftanlage führt. Der häufigste Fall ist die Vollaustattung der 4bar Niederdruck-Schiene. Bei einem Dampfüberschuss würde es zum "Abblasen" von Dampf über Dach kommen (sehr unwirtschaftlich) oder aber zu hohen Strombezügen vom EVU. Es existiert also in jedem Zeitpunkt exakt eine optimale Dampfmenge des Rindenkessels.

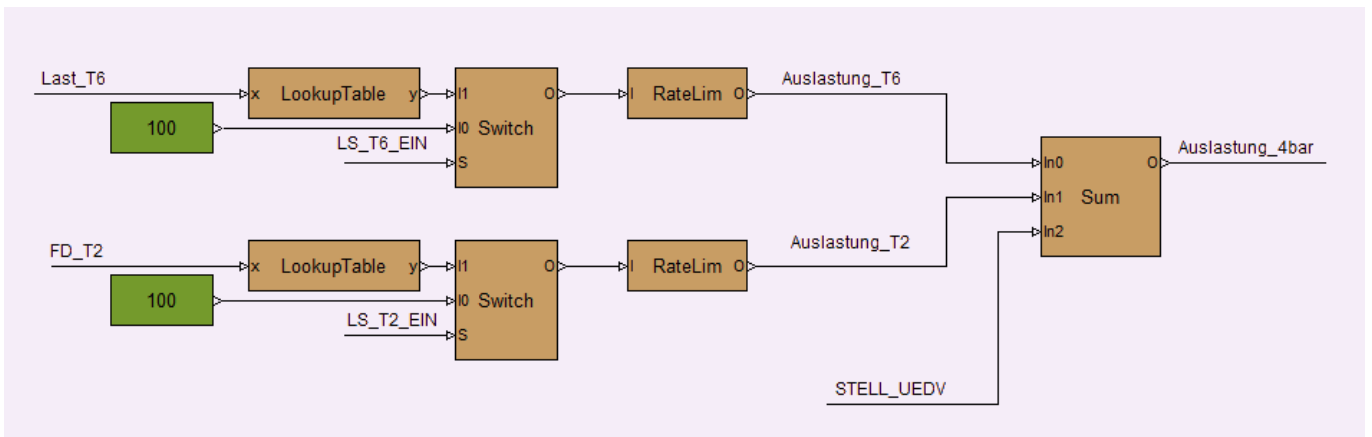


Abbildung 24, Detail Auslastung 4bar Schiene

### Modellprädiktive Auslastungsregelung

Zur Bewältigung der schnellen Lastwechsel der angeforderten Rindenkessel-Leistung wird ein prädiktiver Mehrgrößenregler eingesetzt. In Abbildung 10 ist eine der vielen Konfigurations-Seiten dieses Reglers dargestellt. man erkennt die Sprungantworten von Brennstoffmenge, Verbrennungsluftmenge und der Störgröße Dampfverbraucher.

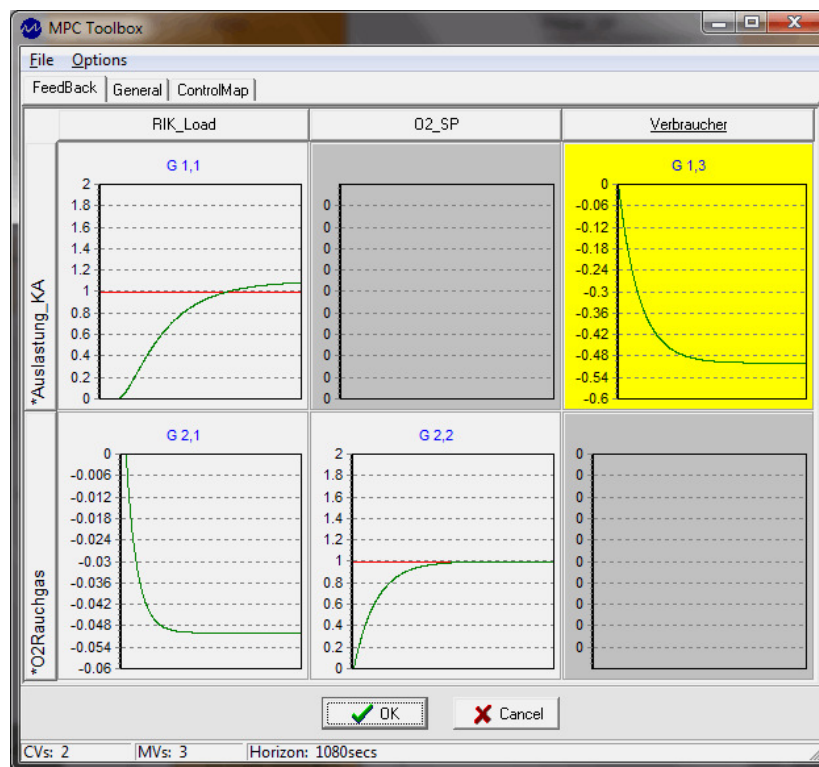


Abbildung 25, MPC Auslastungsregler RIK

## 3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

- Wichtigste Erkenntnis für das Projekt-Team: Intensives Data-Mining, gekoppelt mit Experten-Wissen und Knowledge-Basis-Systemen in Konzernen können nur bei intensiver Auswertung von

Prozessdaten die erforderlichen Entscheidungsgrundlagen für wirtschaftlich- energetisch sinnvolle und wirksame Effizienz-Optimierung liefern.

- Entkopplung durch schnelle Turbinen-Vordruck-Regelung erfolgreich. Die Anwendbarkeit auf viele Industrie-Kraftwerke ist gegeben! Wichtig ist aber eine konsequente Umsetzung an den jeweiligen Standorten.
- Durch Definition der Auslastungsregelung lässt sich eine sehr hohe Komplexität der Randbedingungen systematisch beherrschen!

Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?

Mondi Frantschach hat bereits mehrere Standorte auf die erzielten Ergebnisse hingewiesen und wird diese im Rahmen weiterer interner Veranstaltungen verbreiten.

### **Zielgruppen für Anwendung der Projektergebnisse**

#### **VOIGT+WIPP Engineers GmbH**

bietet aufgrund der erfolgreichen Entwicklung einer wirksamen Methode und Technik zur signifikanten Steigerung der Energie-, Emissions- und Produktionseffizienz von Kraftwerks- und Produktionsanlagen bietet die im Projekt entwickelte Dienstleistungs-Lösung in folgenden Branchen an:

- Papierfabriken in Österreich und Europa (starke Export-Orientierung)
- Zellstoff-Fabriken in Europa und weltweit (auch VOIGT+WIPP Engineers hat Kontakte nach Südamerika aufgebaut. Nachweis der Optimierungspotentiale der weltweit größten Eucalyptus Zellstoff-Trocknungsanlagen bereits erfolgreich. Kooperationsverhandlungen mit VOITH Automation – der größte Hersteller von Papier- und Zellstoffherstellungsanlagen)
- Holzindustrie
- Spanplatten-Werke
- Sägewerke für Massivholz
- Biomasse-Kraftwerke
- Dezentrale Energie-Versorgungs-Netze (z.B. Nah- und Fernwärme-Netze)
- Lebensmittel-Industrie mit Prozessdampferzeugern

#### **Mondi Frantschach GmbH (bzw. Mondigroup)**

betreibt in 31 Ländern Produktions-Standorte. An praktisch allen Standorten kann die Pulp&Paper-EtaPlus Methode angewandt werden. Dieses Projekt liefert die Grundlagen für das Roll-Out auf die weiteren Werke und kann somit einen wesentlichen Beitrag zur Stärkung der Marktposition – und somit der Arbeitsplätze – in Europa liefern. Es wurden bereits Präsentationen auf den konzern-internen Advanced Process Control Workshops und bei der Papiertechnischen Stiftung München gehalten. Der weiterführende Einsatz der entwickelten Anlagenoptimierung ist geplant.

## **4 Ausblick und Empfehlungen**

### **4.1 Empfehlung für weiterführende Forschung und Entwicklung**

Die entwickelte Methode der EtaPlus Optimierung kann sehr gut auf Produktionsanlagen angewandt werden. Bereits während der Projektlaufzeit haben sich beim Antragsteller Kundenkontakte zu großen Chemie-Industrie-Zweigen ergeben. Insbesondere die oberösterreichische Viskose-Faser Fabrik Lenzing zeigte großes Interesse an energetischer Optimierung der Kraftwerks- und Produktionsanlagen.

Die Empfehlung des Pulp&Paper-EtaPlus Teams geht also ganz eindeutig in die Richtung von Ausbau und Implementierung moderner Data-Mining Methoden von sehr komplexen Industrie-Anlagen da sich gerade in dieser Komplexität sehr große Potentiale verbergen. Durch teilweise einfache Steuerungstechnische Maßnahmen können beträchtliche Potentiale für Optimierung der Effizienz und Produktionsleistung nutzbar gemacht werden. Die größte Schwierigkeit ist aber die Freilegung der Entscheidungsgrundlagen für eine Umsetzung aus den teilweise sehr großen Datenmengen.