

**Pro<sup>2</sup>Future :: Products and Production Systems of the Future**

Programm: COMET – Competence Centres for Excellent Technologies

Förderlinie: COMET-Centre K1

Type of project: PreMoBAF  
2,5 Jahre, multi-firm



Bild: magazine.primetals.com

# ROBUSTE DATENGETRIEBENE MODELLIERUNG DES THERMISCHEN VERHALTENS VON HOCHÖFEN

## RAHMENWERK ZUR STEIGERUNG VON TRANSPARENZ UND ROBUSTHEIT DATENGETRIEBENER MODELLE FÜR DIE PRÄDIKTIVE HOCHOFENMODELLIERUNG

Die Modellierung und Steuerung eines Hochofens stellt eine enorme Herausforderung dar – bedingt durch komplexe Massen- und Wärmetransportprozesse, einer Vielzahl an Gas-Feststoff-, Feststoff-Feststoff- und Feststoff-Flüssig-Reaktionen sowie die eingeschränkte Möglichkeit, den inneren Zustand direkt zu messen. Aufgrund der inhärenten Komplexität des Prozesses mit nichtlinearen und zeitlich veränderlichen Dynamiken konnte der Reduktionsprozess im Hochofen bisher nicht präzise durch ein physikalisches Modell beschrieben werden.

Diese kritische Bedeutung des Prozesses führt zu einer gewissen Skepsis gegenüber der Nutzung reiner Black-Box-Modelle des maschinellen Lernens, wenn diese nicht durch zusätzliche Transparenzinformationen gestützt werden. Prozessbetreiber verlassen sich daher eher auf Instrumentierung wie Wärmebildtechnik, Temperatur-, Durchfluss- und

Druckmessungen, ihre Erfahrung sowie auf Expertensysteme.

Diese Herausforderungen haben die Einführung effektiver Black-Box-Modelle in der Prozesssteuerung bisher gehemmt und gleichzeitig die Forschung an robusten und transparenten prädiktiven Modellen motiviert. Die in diesem Projekt entwickelten Methoden wurden in einem Transparenz-Rahmenwerk zusammengeführt, das die Akzeptanz datengestützter Modelle im Hochofenbetrieb fördern soll.

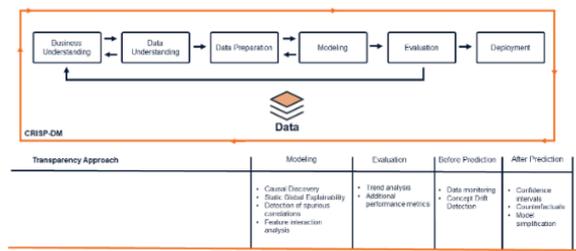


Abb. 1 Übersicht des Transparenz-Rahmenwerks

## SUCCESS STORY

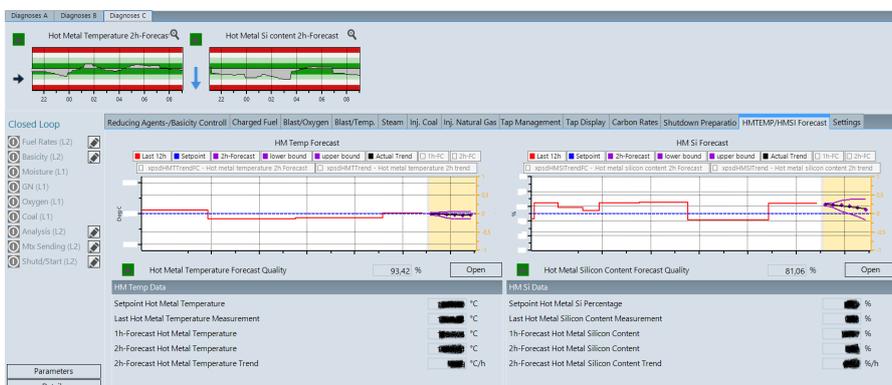


Abb. 2 Integration von Forschungsmethoden in das Prozessleitsystem

Das Transparenz-Rahmenwerk umfasst Methoden für verschiedene Phasen des Lebenszyklus eines prädiktiven Modells. In der Modellierungsphase wurden kausale Entdeckungsalgorithmen wie FCI und ANM eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen Variablen zu erkennen und eine robuste Auswahl an Merkmalen zu definieren, die die zugrundeliegenden Prozessmechanismen genau widerspiegeln. In der Evaluierungsphase wurden prädiktive Modelle nicht nur nach Standardleistungsmetriken, sondern auch hinsichtlich ihrer Fähigkeit bewertet, langfristige Trends im thermischen Verhalten präzise vorherzusagen. Abschließend wurde ein Satz an Methoden wie Konfidenzintervalle, Counterfactuals

und Anchors, für die Analyse vor und nach der Inferenz entwickelt, um unbekannte Proben zu identifizieren und die Modellvertrauenswürdigkeit bei der Vorhersagegenauigkeit zu bewerten.

### Auswirkungen und Nutzen

Die Projektergebnisse haben direkten Einfluss auf die

Produktionsverbesserung laufender Hochofenanlagen und zeigen vielversprechende Resultate in der Vorhersage des thermischen Verhaltens. Der RMSE der Heißmetalltemperaturvorhersage lag bei etwa 13 °Celsius mit einem mittleren 90 %-Vorhersageintervall von etwa 40 °Celsius.

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, wurden die im Projekt entwickelten Methoden in das Prozessleitsystem integriert und sind derzeit in Hochofenanlagen im Einsatz. Dank der engen Zusammenarbeit zwischen Fachexperten, Forscher:innen und wissenschaftlichen Partnern gelang mit diesem Projekt der erfolgreiche Transfer wissenschaftlicher Methoden in die industrielle Praxis – mit messbarem Einfluss auf reale Anwendungen.

### Pro2Future GmbH

Altenberger Straße 69  
4040 Linz, Austria

T +43 (0) 732 2468 – 4783  
[office@pro2future.at](mailto:office@pro2future.at)  
[www.pro2future.at](http://www.pro2future.at)

### Scientific Director

Univ.-Prof. Dr. Alois Ferscha  
[alois.ferscha@pro2future.at](mailto:alois.ferscha@pro2future.at)

### Projektpartner

- Primetals Technologies GmbH, Österreich

### Success Story by

Matej Vukovic, Mag.inf.  
[matej.vukovic@pro2future.at](mailto:matej.vukovic@pro2future.at)

DI Dr. Belgin Mutlu  
Area Manager  
[belgin.mutlu@pro2future.at](mailto:belgin.mutlu@pro2future.at)

### Center Communications Manager

DI Dr. Markus Jäger, MLBT  
[markus.jaeger@pro2future.at](mailto:markus.jaeger@pro2future.at)



Diese Success Story wurde von der Zentrumsleitung und den genannten Projektpartnern zur Veröffentlichung auf der FFG Website freigegeben. Das COMET-Zentrum Pro2Future wird im Rahmen von COMET – Competence Centres for Excellent Technologies durch BMIMI, BWET, Oberösterreich und die Steiermark gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt. Weitere Informationen zu COMET: <http://www.ffg.at/comet>