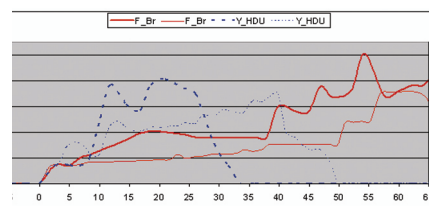
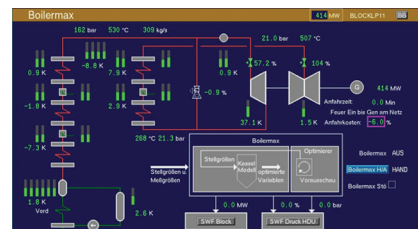


# Betriebserfahrungen mit der Anfahroptimierung von Dampfkesseln

E.ON Kraftwerke Staudinger, Heyden, Ingolstadt und Zolling



# Betriebserfahrungen mit der Anfahroptimierung von Dampfkesseln

## Kostenoptimal anfahren

Der vorausschauende Kesselfreilastrechner BoilerMax realisiert einen nichtlinearen, modellbasierten Mehrgrößenregler zur Online-Optimierung von Kesselanfahrten. Hierbei werden die Brennstoffkosten während der Anfahrt optimiert. Rahmenbedingungen des Prozesses wie thermische Belastungen von kritischen dickwandigen Bauteilen und Freibeträge zu Belastungsgrenzen werden vorausschauend in einem geschlossenen Regelkreis berücksichtigt.

In den letzten zwei Jahren wurde BoilerMax in mehreren E.ON Kraftwerken installiert: im 622 MW Gasblock Staudinger 4, im 420 MW Ölblock Ingolstadt 4, im 450 MW Kohleblock Zolling 5 und im 900 MW Kohleblock Heyden 4.

Die Bedienung und Beobachtung erfolgt in jedem Fall über die normale Leittechnik. Hierzu wird unabhängig von den spezifischen Gegebenheiten der Einbindung der Anfahroptimierung ein Bedienbild erstellt, das einen Überblick über die für die Anfahrt wichtigsten Prozessgrößen und die von BoilerMax berechneten optimierten Sollwertvorgaben gibt.

Die mittels Online-Optimierung erreichten Einsparungen liegen in der Regel bei 10 bis 20 Prozent der Kosten für Brennstoff und Hilfsenergie pro Kraftwerksanfahrt. Die dafür vorgenommenen Änderungen der Anfahrweise werden kraftwerksspezifisch abgestimmt.

In den Kraftwerken Staudinger, Block 4 und Ingolstadt, Block 4 wurde die Einsparung durch reduzierten Brennstoffeinsatz und gleichzeitig koordiniert geringere Frischdampfmenge während der Kesselanfahrt erreicht. Sowohl die Anfahrzeiten als auch die Belastung von kritischen dickwandigen Bauteilen sind jeweils ohne und mit Anfahroptimierung etwa gleich.

Eine Verkürzung der Anfahrzeit ist grundsätzlich durch Mehrbelastung von kritischen dickwandigen Bauteilen oder durch die bessere Ausschöpfung von Freibeträgen bei Vergleichmäßigung der Belastung möglich. Im Kohlekraftwerk Zolling, Block 5, wurde eine Kostenreduktion über die bessere Ausschöpfung von Freibetragsgrenzen und die daraus resultierende Verkürzung der Anfahrzeit erreicht. Darüber hinaus besteht in Kohlekraftwerken ein hohes Einsparpotenzial wenn zeitiger vom Anfahrbbrennstoff auf Kohle umgelastet werden kann.

Neben der Kosteneinsparung verbessern sich mit der vorausschauenden Anfahroptimierung BoilerMax die Wiederholbarkeit von Anfahrten, was sich in einer Verringerung der Streubreite von Kennzahlen wie Anfahrkosten äußert. Die Anfahrt wird über Rahmenbedingungen des Prozesses wie die maximale Belastung von kritischen dickwandigen Bauteilen definiert. Die modellbasierte Optimierung ermittelt daraus die Sollwertvorgaben für Brennstoff- und HDU-Führung. Damit besteht die Möglichkeit der Anpassung der Anfahrweise an sich ändernde Rahmenbedingungen wie Brennstoffkosten und Belastungsgrenzen.

## Funktionsweise BoilerMax

Ziel von BoilerMax ist es, unter Einhaltung von gegebenen verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen, die Anfahrkosten zu minimieren. Insbesondere werden die Brennstoffkosten und thermische Spannungen in kritischen dickwandigen Bauteilen berücksichtigt, um optimale Sollwertvorgaben für die Fahrweise von Brennstoff und HD-Umleitstation zu ermitteln. Abbildung 1 stellt das Funktionsprinzip dar. Während einer Anfahrt werden zyklisch aktuelle Messwerte für Temperaturen, Drücke und Dampf-Massenströme verwendet, um ein physikalisches Blockmodell anzupassen.

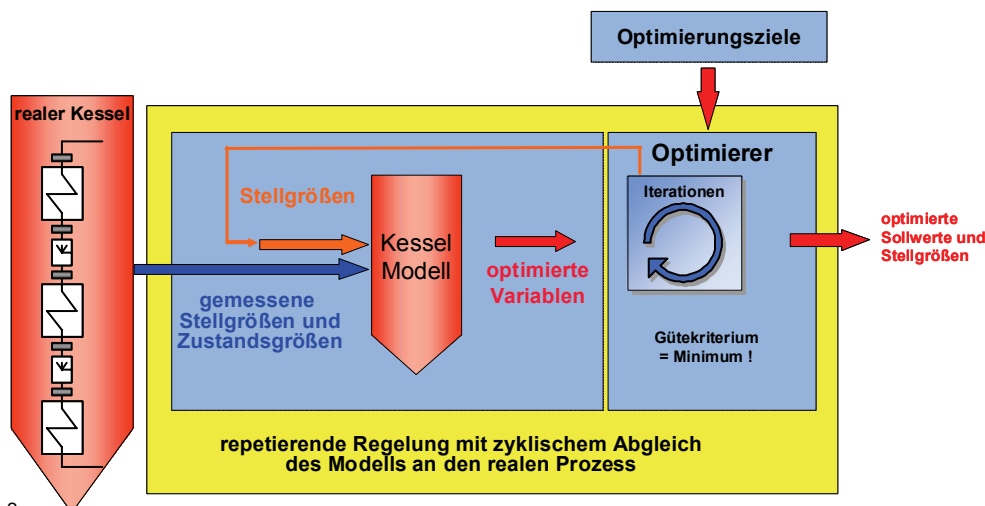


Abb1.: Funktionsprinzip von BoilerMax

# Betriebserfahrungen mit der Anfahroptimierung von Dampfkesseln

Basierend auf dem nichtlinearen Modell erfolgt eine vorausschauende Optimierung des weiteren Verlaufs der Anfahrt. Die damit online ermittelten Anfahrkurven werden als Korrektursollwerte in die vorhandene Blockleittechnik eingebunden.

Der Vorausschauzeithorizont beträgt 60 bis 90 Minuten, womit die gesamte Kesselanfahrt bis zum Anstoßen der Turbine abgedeckt wird und die kostengünstigste Gesamtfahrweise ermittelt werden kann. Die Vorausschau wird alle ein bis zwei Minuten aktualisiert, um auf Störungen zu reagieren. BoilerMax läuft aufgrund der hohen benötigten Rechenleistung auf einem als Applikations-Server ausgelegten PC.

Die zu minimierenden Anfahrkosten setzen sich aus Brennstoff-, Eigenbedarfs- und Fremddampfkosten während der Kesselanfahrt über den Zeitraum von „Feuer Ein“ bis „Generator am Netz“ bzw. „HDU geschlossen“ zusammen.

Unabhängig von erreichten Kosteneinsparungen bietet der modellbasierte Mehrgrößenregler zusätzlich den Vorteil der vorausschauenden Berücksichtigung von thermischen Spannungen im geschlossenen Regelkreis. Die Flexibilität erhöht sich, z.B. zur besseren Abdeckung verschiedener Stillstandszeiten, da das physikalische Modell immer an den aktuellen Anlagenzustand abgeglichen wird. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Anpassung der Anfahrweise an sich ändernde Rahmenbedingungen durch Änderung von Zielfunktion und Rahmenbedingungen wie Brennstoffkosten und Belastungsgrenzen.

## Brennstoffreduktion und Anfahrzeit

In vielen Fällen ist es möglich, durch den Einsatz der vorausschauenden Optimierung eine Anfahrt mit weniger Brennstoff durchzuführen, unter Beibehaltung der Anfahrzeit und der Belastung von kritischen dickwandigen Bauteilen.

Abbildung 2 zeigt den Vergleich zweier Anfahrten im Kraftwerk Ingolstadt, Block 4. Es wird ersichtlich, dass eine vergleichbare Anfahrt des Kessels mit ca. 20 % weniger Brennstoff erreicht wurde. Die Brennstoffeinsparung ist möglich, da durch die gleichzeitige koordinierte Reduktion der Öffnung der HD-Umleitstation die zur Anfahrt verwendete Dampfmenge reduziert wird. Außerdem verkürzte sich die Anfahrzeit leicht.

Durch die mit der Anfahroptimierung erreichte Erhöhung des Automatisierungsgrades wird eine Vereinheitlichung von Anfahrten erreicht.

Abbildung 4 zeigt Anfahrkosten als Funktion der Stoppdauer. Insbesondere bei kurzen Stoppdauern, wo zahlreiche Anfahrten unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt wurden, wird eine Reduktion der Streubreite der Anfahrkosten deutlich. Aufgrund der Optimierung der Anfahrkosten werden mit BoilerMax Werte erreicht, die am unteren Ende des Bereiches der ohne BoilerMax erreichten Kosten liegen. Durchschnittlich wurden die Anfahrkosten mit Anfahroptimierung deutlich reduziert.

Die Anfahrkosten sind bei kurzen Stoppdauern hoch, da wegen der noch hohen Temperaturen in der Turbine eine hohe Frischdampf Temperatur aufgebaut werden muss. Andererseits steigen die Anfahrkosten bei langen Stoppdauern aufgrund der höheren Auskühlung des Kessels. Durch den verringerten Brennstoffeinsatz, die verringerte Dampfproduktion und ggf. den langsameren Druckaufbau entsteht während des Betriebes der Eindruck, dass sich die gesamte Anfahrt in die Länge zieht. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass während der Kesselanfahrt geforderte Zielsollwerte für Dampfmenge und Druck erst zum Anstoßen der Turbine erreicht sein müssen und dass die vorausschauende Optimierung dieses ausnutzt.

## Verkürzung der Anfahrzeit

Eine Verkürzung der Anfahrzeit ist generell möglich, wenn eine stärkere Aufheizung zugelassen wird, unter Inkaufnahme von größeren Aufheizspannungen. Der Einsatz der vorausschauenden Anfahroptimierung zur Verkürzung der Anfahrzeit ist sinnvoll, wenn die zulässigen Aufheizspannungen nicht ausgeschöpft werden, oder aber wenn die Belastung während der Anfahrt ungleichmäßig verteilt ist.

Abbildung 3 zeigt den Vergleich zweier Anfahrten im Kohlekraftwerk Zolling. Bei der Anfahrt ohne BoilerMax wurden die Freibeträge für Aufheizspannungen bis Minute 48 nicht ausgenutzt. Die maximale Temperaturdifferenz lag in den HD-Austrittssammlern bei ca. -20 K, während die zulässige Grenze bei ca. -30 K lag. Erst beim späteren Belasten der Turbine wurde die maximale Aufheizspannung um Minute 60 erreicht.

Die  $\Delta T$ -Grenze ist generell eine vom Kessellieferanten vorgegebene Funktion des Druckes und wird für BoilerMax übernommen. Optional können während der physikalischen Modellierung des Kessels die Grenzen auch nachgerechnet und zusammen mit dem Kraftwerksbetreiber neu abgestimmt werden.

# Betriebserfahrungen mit der Anfahroptimierung von Dampfkesseln

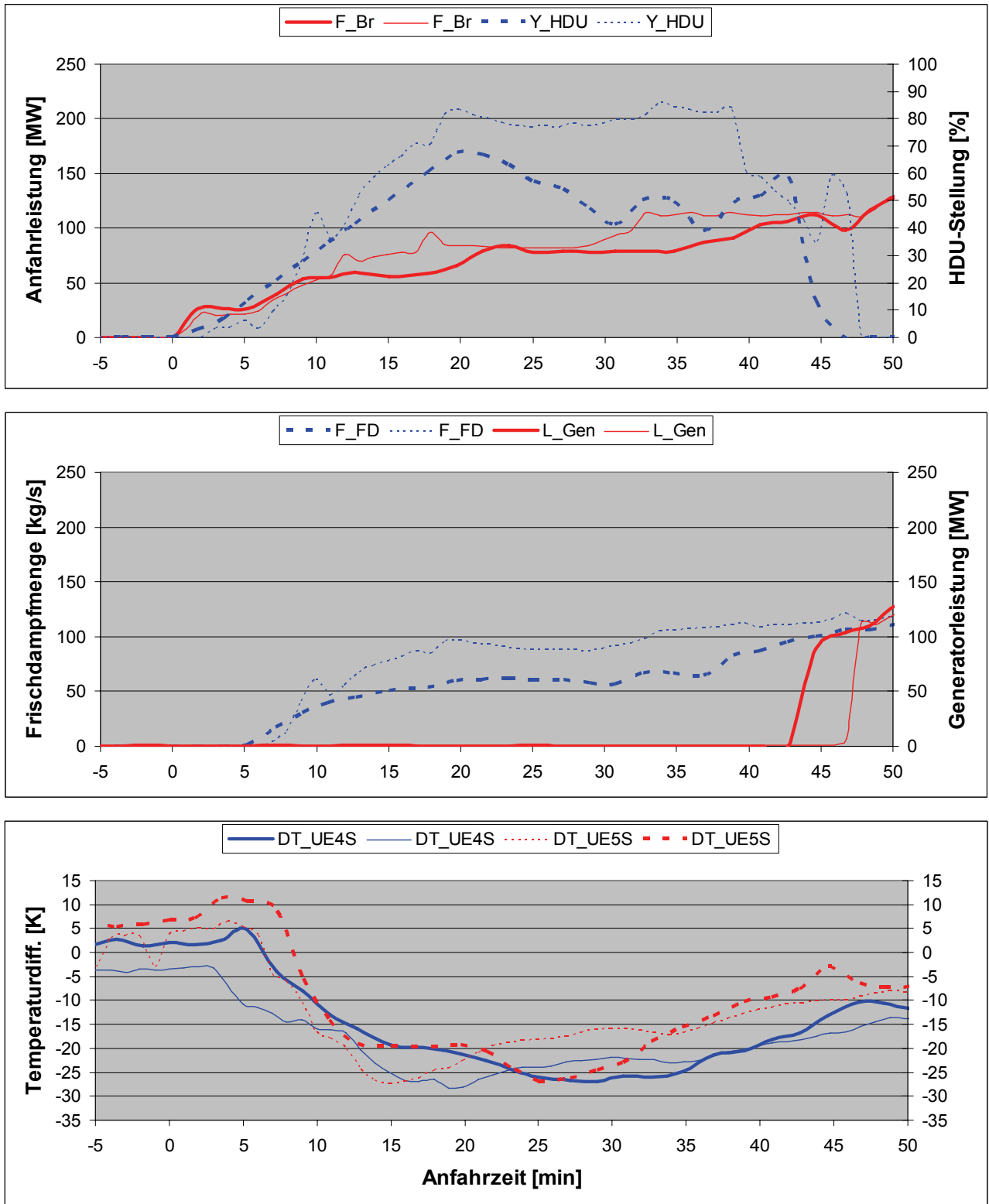


Abbildung 2: Vergleich zweier Anfahrten mit BoilerMax (dicke Linien) und ohne BoilerMax (dünne Linien) im Ölkraftwerk Ingolstadt, Block 4. Das obere Diagramm stellt die Brennstoffmenge  $F_{Br}$  und die HDU-Stellung  $Y_{HDU}$  dar. Das mittlere Diagramm zeigt die Frischdampfmenge  $F_{FD}$  und die Generatorleistung  $L_{Gen}$ . Das untere Diagramm zeigt die in HD-Sammlern der zwei letzten Überhitzer-ebenen aufgetretenen Temperaturdifferenzen  $DT_{UE4S}$  und  $DT_{UE5S}$ .

# Betriebserfahrungen mit der Anfahroptimierung von Dampfkesseln

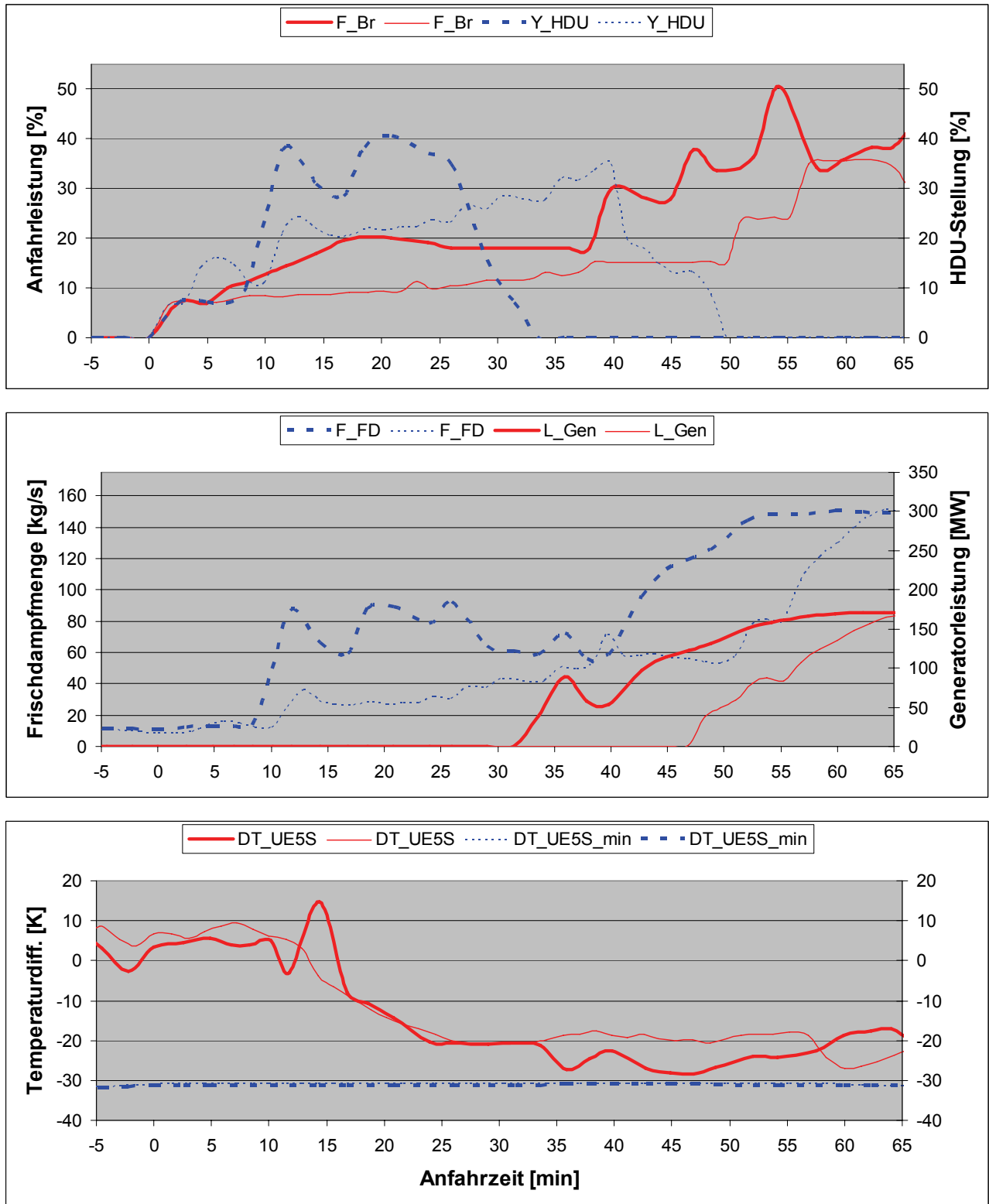


Abbildung 3: Vergleich zweier Anfahrten mit BoilerMax (dicke Linien) und ohne BoilerMax (dünne Linien) im Kohlekraftwerk Zolling. Das obere Diagramm stellt die Brennstoffmenge  $F_{Br}$  und die HDU-Stellung  $Y_{HDU}$  dar. Das mittlere Diagramm zeigt die Frischdampfmenge  $F_{FD}$  und die Generatorleistung  $L_{Gen}$ . Das untere Diagramm zeigt die in HD-Austrittssammlern auftretenden Temperaturdifferenzen  $DT_{UE5S}$  [K] sowie die zugehörigen Grenzwerte  $DT_{UE5S\_min}$  [K].

# Betriebserfahrungen mit der Anfahroptimierung von Dampfkesseln

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, wurde mit vorausschauender Anfahroptimierung durch anfänglich schnellere Steigerung des Brennstoffes und gleichzeitig stärkere Öffnung der HD-Umleitung der Freibetrag bereits ab Minute 35 stärker ausgenutzt. Die Anfahrzeit verkürzte sich um 33 %. Die zur Anfahr eingesetzte Schwerölmenge wurde um ca. 6% reduziert. Da sich mit der verkürzten Anfahrzeit auch der Einsatz von Hilfsenergie (Leichtöl und Eigenbedarf) reduzierte, wurden die Anfahrkosten in der Summe um ca. 11 % reduziert.

Darüber hinaus besteht in einem Kohlekraftwerk ein großes Einsparpotenzial, wenn zeitiger vom Anfahrstoff auf Kohle umgelastet werden kann. Auch hierfür ist es wichtig, mit einer hohen Gesamtbrennstoffmenge anfahren zu können.

Der Brennstoff wird mit vorausschauender Anfahroptimierung keineswegs nur gesteigert, sondern kann nach einer anfänglichen Übersteuerung auch wieder zurückgenommen werden.

## Operating and Monitoring

Die vorausschauende Anfahroptimierung wird über die normale Leittechnik bedient. Hierzu wird ein Bedienbild gestaltet. Abbildung 3 zeigt das Bedienbild im KW Zolling. Im linken und im

oberen Teil werden Prozessgrößen dargestellt, die während einer Anfahr besonders relevant sind. Der untere rechte Bereich dient der eigentlichen BoilerMax-Anwendung. Die von BoilerMax berechneten Sollwertvorgaben für Brennstoff- und HDU-Führung werden zusammen mit den oberen Teil werden zusammen mit den Istwerten dargestellt.

Die dargestellten Prozessgrößen decken insbesondere Frischdampfparameter und Temperaturdifferenzen in dickwandigen Bauteilen ab. Um das Bild nicht zu überfrachten, erfolgt die Darstellung der  $\Delta T$ -Messungen graphisch mit Balkendiagrammen. Die alphanumerische Anzeige beschränkt sich auf die Maximalwerte pro Überhitzerebene und die zugehörigen Grenzwerte. Der Visualisierung von  $\Delta T$ -Grenzen ist besonders wichtig, da diese mit BoilerMax in einen geschlossenen Regelkreis für Brennstoff- und HDU-Führung eingehen. Somit wird im Betrieb die Information über aktuelle Aufheizspannungen und Freibeträge benötigt, um die von BoilerMax berechneten Sollwertvorgaben zu verstehen.

Wenn das neue Leitsystem 800xA eingesetzt wird, dann steht auch die aktuell berechnete Vorausschau der weiteren Anfahr direkt am Bedienplatz zur Verfügung. Die Vorausschau kann in einem normalen Bedientrend mit Zukunftswerten eingesehen werden.

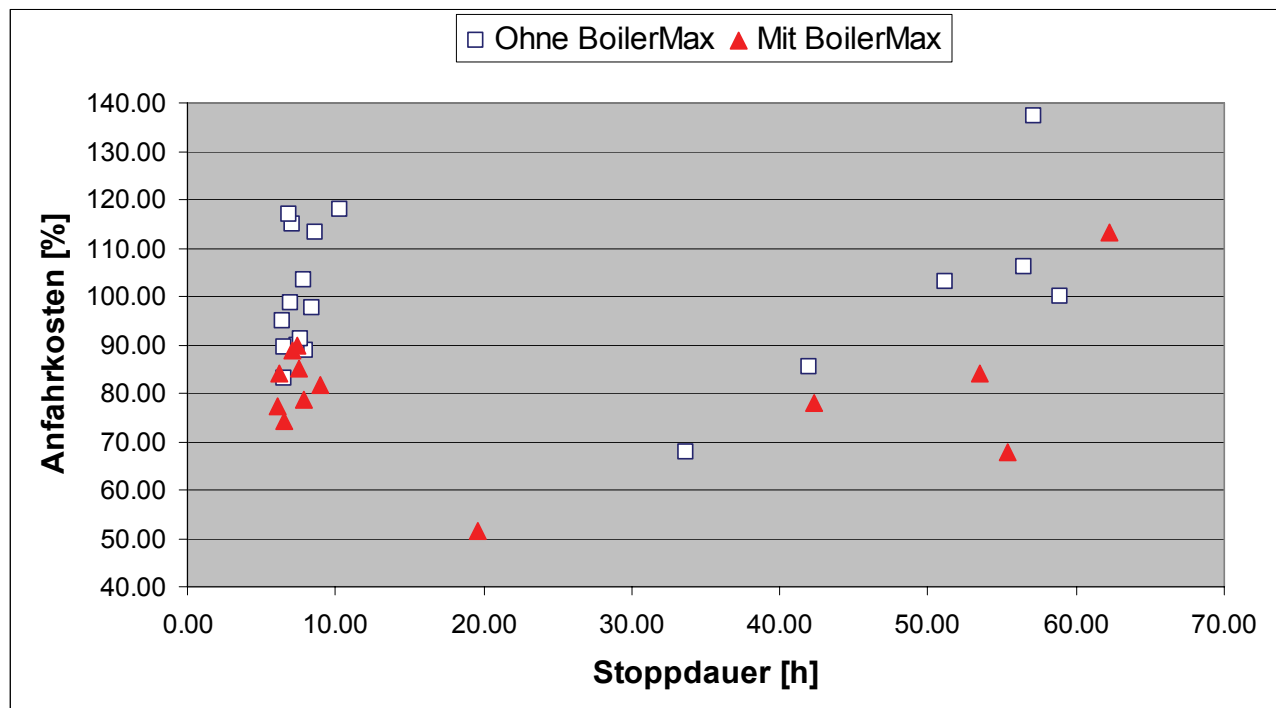


Abbildung 4: Anfahrkosten als Funktion der Stoppdauer im Ölkraftwerk Ingolstadt, Block 4 ohne und mit BoilerMax



# Betriebserfahrungen mit der Anfahroptimierung von Dampfkesseln



## **ABB AG**

### **Energietechnik-Systeme**

Postfach 10 03 51

68128 Mannheim

DEUTSCHLAND

Telefon: +49 (0) 621 381-3000

Telefax: +49 (0) 621 381-2645

E-Mail: [powertech@de.abb.com](mailto:powertech@de.abb.com)

Internet: <http://www.abb.de/pt>

#### **Hinweis:**

Technische Änderungen der Produkte sowie Änderungen im Inhalt dieses Dokuments behalten wir uns jederzeit ohne Vorankündigung vor. Bei Bestellungen sind die jeweils vereinbarten Beschaffenheiten maßgebend. ABB AG übernimmt keinerlei Verantwortung für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten in diesem Dokument.

Wir behalten uns alle Rechte an diesem Dokument und den darin enthaltenen Gegenständen und Abbildungen vor. Vervielfältigung – auch von Teilen – ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung durch ABB AG verboten.

Copyright© 2007 ABB  
Alle Rechte vorbehalten