

Publikation

Klasen, T., Flötgen, A.

BWK-Zeitschrift, Heft 5/2007

*Kraftwerk Wismar
Biomasseverbrennung
CFD-Simulation
Betriebserfahrungen*

InPro-Consult GmbH

SIPREU-TEC

Innovative Prozessoptimierung

AnSimO GmbH

Das Biomassekraftwerk der Firma Egger in Wismar

BWK-Zeitschrift
Heft 5/2007

Das Biomassekraftwerk der Firma Egger in Wismar

Dipl.-Ing. André Flötgen¹⁾, Dr.-Ing. T. Klasen²⁾

¹⁾ Standardkessel GmbH, Duisburg

²⁾ InPro-Consult GmbH, Essen

1 Einleitung

Im August 2004 erhielt die Standardkessel GmbH den Auftrag zum Bau eines holzbefeuerten Dampfkessels (inkl. Rauchgasreinigungsanlage). Der Auftraggeber, die Firma Egger Holzwerkstoffe Wismar GmbH & CO KG, betreibt in Wismar ein modernes Werk zur Herstellung verschiedener auf Holz basierender Produkte. In Folge einer durchzuführenden Vergrößerung / Erweiterung des Produktionsbetriebes stieg auch der Bedarf an Prozessdampf. Dieser erhöhte Bedarf konnte nicht mehr mit der vorhandenen Kesselanlage (Baujahr 1997 / Standardkessel) gedeckt werden.

Aus wirtschaftlichen Gründen soll die neue Kesselanlage Heißdampf für die Verstromung mittels Gegendruck-Dampfturbine erzeugen. Als Brennstoffe sollen sowohl Holzabfälle aus dem Produktionsbetrieb als auch externes Altholz der Gruppen A1 - A4 gemäß der Altholzverordnung zum Einsatz kommen. Vor diesem Hintergrund war eine Genehmigung der Anlage hinsichtlich lufttechnischer Emissionen nach der 17. BImSchV vorgeschrieben.

Wie noch nachfolgend dargestellt, ergeben sich aus dem spezifischen Band an Holzbrennstoffen und dem Betrieb der Anlage nach der 17. BImSchV, hier insbesondere die Einhaltung der Verbrennungsbedingungen (2 sek. Verweilzeit der Rauchgase über 850 °C) Besonderheiten, die es bei der Planung der Kesselanlage zu berücksichtigen galt.

2 Brennstoff- und Anlagendaten

2.1 Brennstoffspezifikation

Wie eingangs dargestellt, sollen in der zu errichtenden Anlage sowohl Produktionsabfälle sowie von extern bezogenes Altholz der Gruppen A1 - A4 gemäß Altholzverordnung thermisch verwertet werden. Die Produktionsabfälle teilen sich in Stückholz, Staub und Granulat auf.

Für die verschiedenen Holzbrennstoffe wurden folgende maßgebliche Eigenschaften festgelegt:

Stückholz und Altholz:

Max. Feuerungsleistung [MW]:	21
Heizwert (roh) [kJ/kg]:	9.000 - 14.000
Max. Stickstoffgehalt (wf) [%]:	2
Max. Aschegehalt (wf) [%]:	10
Abmessungen [mm]:	250 x 50 x 25

Zusätzlich wurden die Schadstoff- und Störstoffanteile im Brennstoff Stückholz begrenzt.

Staub und Granulat:

Max. Feuerungsleistung [MW]:	20
Heizwert (roh) [kJ/kg]:	17.500
Max. Stickstoffgehalt (wf) [%]:	7
Max. Aschegehalt (wf) [%]:	1
Schüttgewicht (roh) [kg/m ³]:	200
Körnung [mm]:	< 1,2 (100%)

Der Einsatz von Staub, der bei der Bearbeitung von Platten in Feuer hemmender Ausführung entsteht, wurde ausgeschlossen.

2.2 Technische Daten des Dampferzeugers

Mit der oben angegebenen Gesamtfeuerungsleistung von 41 MW (Stückholz: 21 MW + Staub: 20 MW) sollen über die gesamte Reisezeit folgende Dampfparameter erreicht werden:

Heißdampfleistung [t/h]:	45
Heißdampfdruck [bar]:	66
Heißdampftemperatur [°C]:	452
Speisewassertemperatur [°C]:	110

Der Dampferzeuger mit integriertem Feuerraum soll im Naturumlauf funktionieren.

2.3 Anlagenkonzept

Aufgrund der Brennstoffsituation entschied man sich für ein Konzept mit zwei Feuerungssystemen. Für das stückige Holz wurde ein Vorschubrost gewählt. Der staubförmige Brennstoff wird mittels Staubbrenner verfeuert. Um die Vorteile beider Systeme ausnutzen zu können, wurde der Staubbrenner in der Decke einer separaten Brennkammer realisiert. Das Konzept sah weiter vor, dass das Rauchgas nach Ausbrand der Staubfeuerung mit dem aus der Rostfeuerung stammenden Rauchgas zusammengeführt wird (**Bild 1**).

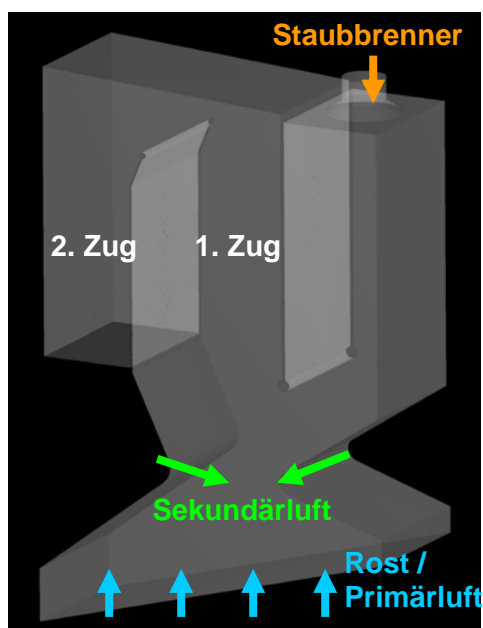


Bild 1 Anlagenkonzept

Die Herausforderung bei diesem Konzept bestand sowohl in der Einhaltung der Emissionen (Kombination beider Feuerungssysteme) als auch der Verbrennungsbedingungen (2s Verweilzeit über 850 °C). Sowohl im Volllast- als auch Teillastbetrieb (Kombination verschiedener Lasten der beiden Feuerungssysteme) mussten die Auflagen der 17. BImSchV eingehalten werden. Um für den Betrieb die sichere Einhaltung der Verbrennungsbedingungen zu realisieren, wurde die Zusammenführung der beiden Rauchgasteilströme mit Hilfe einer CFD-Studie optimiert.

Für in der Vergangenheit realisierte Verbrennungsanlagen mit Vorschubrost für Altholz hatte sich das Werkzeug der CFD-Simulation bereits bewährt. Durch die langjährige Zusammenarbeit der Firmen Standardkessel GmbH und InPro-Consult GmbH konnten die chemischen und physikalischen Prozesse auf dem Rost als gesicherte Basis dienen. In Folge dessen bestand die Aufgabe in der Optimierung der verfahrenstechnischen Auslegung und der geometrischen Gestaltung der kombinierten Feuerungssysteme.

3 Computational Fluid Dynamics (CFD)

3.1 Mathematische Modellierung

Unter einer mathematischen Modellierung wird die Abbildung von chemischen und physikalischen Vorgängen mit Hilfe mathematischer Beziehungen verstanden. Die Gleichungssysteme sind vorwiegend so komplex, dass sie nicht analytisch, sondern numerisch gelöst werden. Messungen dienen zur Überprüfung, aber auch zur Verbesserung des angewendeten Modellkonzepts. Wird die Eignung dieser Ansätze anhand von Mess- und Erfahrungswerten erfolgreich bestätigt, so können sie innerhalb ihres Gültigkeitsbereichs dazu eingesetzt werden, experimentelle Messungen aufgrund von Zeit- und Kostenersparnissen zu ersetzen bzw. zu ergänzen.

Die Erhaltungsgleichungen aus der Strömungsmechanik stellen die Grundlage der mathematischen Modellierung von Strömungen jeglicher Art (z.B. turbulent, reagierend oder Mehrphasenströmungen) dar. Bei den Bilanzierungen für die Gasphase spielen vor allem folgende Modelle eine wesentliche Rolle:

- Strömung Turbulenzmodelle
- Wärmeübertragung Strahlungsmodelle
- Stofftransport Reaktionsmodelle

3.2 Beschreibung der heterogenen Verbrennung auf dem Rost

Probleme bereiten die in 2.1 beschriebenen Ansätze für die heterogene Phase, nämlich das Festbett, da die chemischen und physikalischen Vorgänge, die auf dem Verbrennungsrost ablaufen, sehr komplex sind. Die wesentlichen Ursachen sind in der breiten und meist kaum zu definierenden Partikelgrößenverteilung (Stückigkeit) des Altholz und seiner chemischen Zusammensetzung zu suchen. Infolgedessen stellt die Kopplung zwischen Brennstoffbett und

Feuerraum, insbesondere der Strahlungsaustausch sowie die Beschreibung der Transport- und Reaktionsvorgänge, ein großes Problem bei der Modellierung dar.

Bei der heterogenen Verbrennung auf dem Rost laufen die folgenden Prozesse ab: Erwärmung durch Strahlungswärmeaustausch, Wärmeleitung sowie Konvektion, Trocknung (Freisetzung des "physikalischen Wassers"), Pyrolyse (Entgasung von brennbaren Kohlenwasserstoffen) und Abbrand des festen Kohlenstoffes.

Am Essener Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik (LUAT, Universität Duisburg-Essen) wurde für den Brennstoff „Müll“ vor ca. 10 Jahren ein 1-dimensionales Modell entwickelt, mit dem sich Temperatur-, Konzentrations- und Geschwindigkeits-Profile oberhalb des Rostes näherungsweise angeben lassen. Dutzende von europäischen Müllverbrennungsanlagen konnten auf Basis dieser entwickelten Submodelle verbrennungstechnisch optimiert werden. Betriebsmessungen im Anschluss an die CFD-Optimierung konnten die vorhergesagten Simulationsergebnisse und Tendenzen bestätigen.

3.3 Rostverbrennung für den Brennstoff "Holz"

Auf Grund der positiven Ergebnisse bei der Optimierung von Müllverbrennungsanlagen und der starken Nachfrage für Biomasseverbrennungsanlagen kam es 2002 wie erwähnt zu einer Kooperation der oben genannten Unternehmen. Im Rahmen dieser Kooperation wurden kommerzielle und wissenschaftliche Studien hinsichtlich der Abbildung von Holzverbrennungsanlagen durchgeführt, sodass wichtige Erkenntnisse über diverse Anlagen gewonnen werden konnten. Interne Messergebnisse nach der Inbetriebnahme der jeweiligen Anlage als auch spätere TÜV-Abnahmemessungen sind infolge dessen sehr positiv ausgefallen.

3.4 Modifizierung des Sub-Modells für den Brennstoff "Holz"

Biomasse bzw. Holz besitzt gegenüber Müll eine gänzlich veränderte Abbrandcharakteristik. Für eine erste Abschätzung der Modellgüte wurden allerdings zunächst bei der Abbildung von Biomasseanlagen die Wärmefreisetzungsprofile für den Brennstoff „Müll“ verwendet. Der Unterschied zwischen gemessenen und berechneten Temperaturen und Konzentrationen war aber deutlich zu groß. Dies wurde sowohl an einer Real- als auch an einer Laboranlage bestätigt. Die Differenz zwischen Mess- und Simulationsergebnissen lag teilweise bei über 200 K. Die Profile über dem Rost mussten auf Grund der veränderten Wärmefreisetzung also modifiziert werden. **Bild 2** zeigt den Vergleich der Wärmefreisetzung von Hausmüll und Holz.

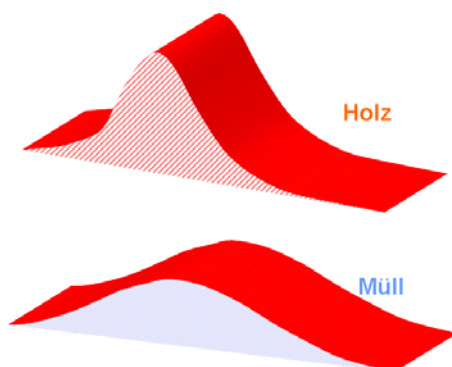


Bild 2 Wärmefreisetzung für die Brennstoffe "Holz" und "Hausmüll"

Mit den neu konzipierten Rost-Profilen für Holz wurden die Real- und Laboranlagen erneut simulationstechnisch abgebildet. Dieses Mal wurden die Verhältnisse durch die Simulation gut vorhergesagt, wie in **Bild 3** verdeutlicht wird.

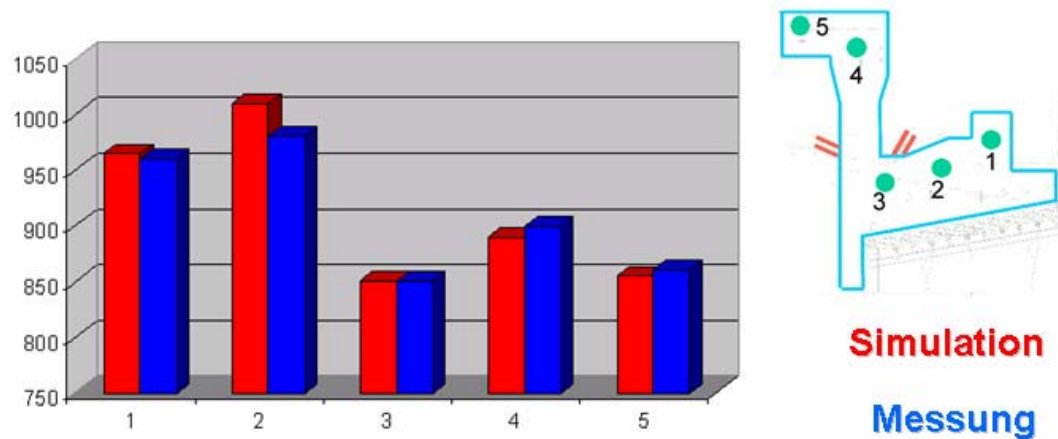


Bild 3 Temperaturen in °C (Brennstoff "Holz" mit Sub-Modell für Holz)

Die an der Laboranlage gefunden Beziehungen wurden auch an großen Realanlagen überprüft sowie ebenfalls bestätigt. **Bild 4** zeigt eine TÜV-Abnahmemessung nach einer Einstellungs-Optimierung auf Basis einer CFD-Studie. Zwei wichtige Fakten sind festzuhalten. Alle Temperaturen lagen über 850°C und sowohl die Einzeltemperaturen als auch das Temperaturniveau konnte mit Hilfe des modifizierten „Holz-Submodells“ sehr gut vorhergesagt werden.

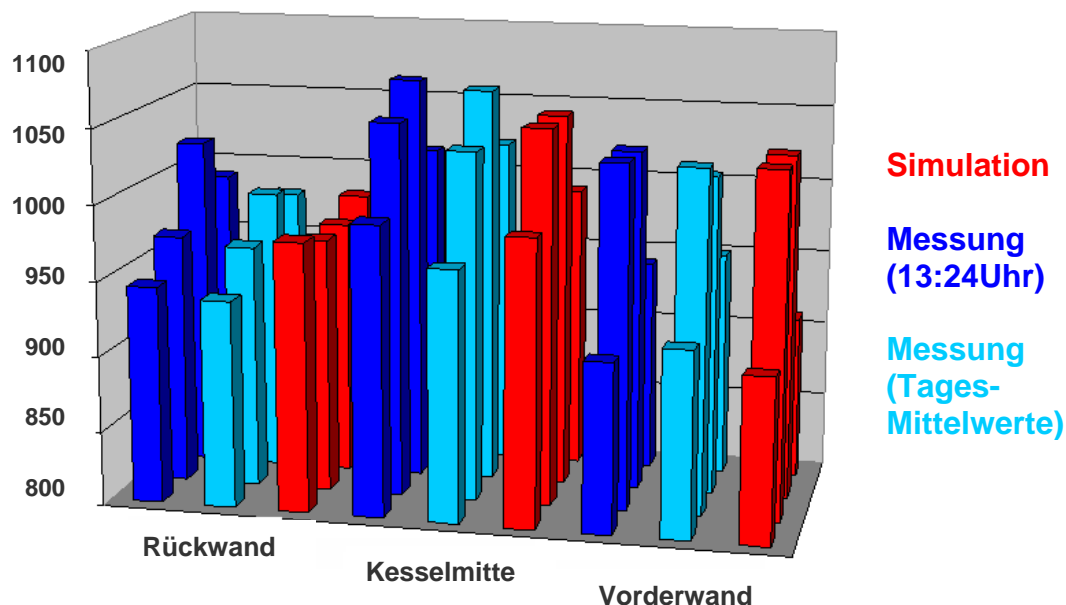


Bild 4 Temperaturen in °C (Brennstoff "Holz" mit Sub-Modell für Holz), Realanlage

4 Simulationsergebnisse

4.1 Geometrisches und verfahrenstechnisches Konzept

Zunächst wurde die Geometrie im Bereich der Zuführung des aus der Staubfeuerung resultierenden Rauchgases untersucht. Es wurde schnell deutlich, dass die Austrittsfläche der Staubkammer möglichst groß sein sollte, damit die Rauchgasgeschwindigkeiten ausreichend klein werden und somit die Rosthauptströmung nur moderat zur Rückwand hin abgelenkt wird. Die Geschwindigkeitsverteilung in **Bild 5** aus einer der ersten Berechnungen verdeutlicht diesen Effekt.

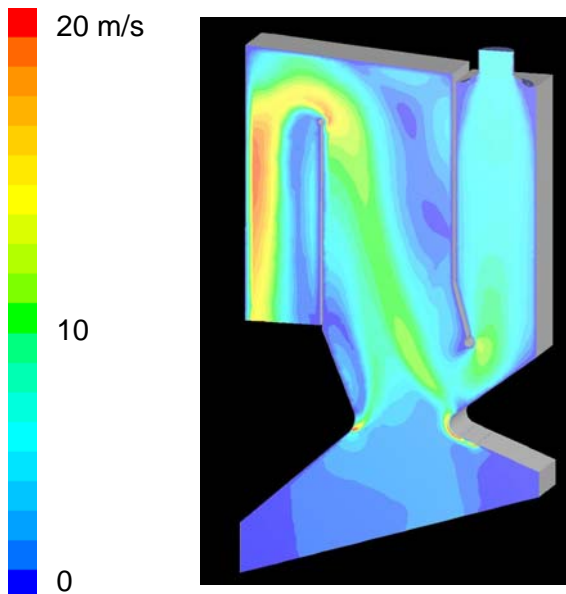


Bild 5 Geschwindigkeit (Schnitt durch Kesselmitte)

Als Ergebnis dieser Studie konnte folgendes festgestellt werden:

1. Der notwendige Sauerstoff im Bereich der vorderen Sekundärlufteindüsung musste mit einem möglichst geringen Impuls zugeführt werden. Hierdurch wurde eine zusätzliche Ablenkung des Rauchgases zur Rückwand vermieden.
2. Im Gegensatz zur Situation im Bereich der vorderen Sekundärlufteindüsung erwies es sich für den rückwärtigen Teil als notwendig, mit einem Impuls die Sekundärluft zuzuführen. Eine Stabilisierung der Hauptströmung in der Kesselmitte war die Folge.

Die unter 1. und 2. geschilderten Zusammenhänge hinsichtlich der Hauptströmung übten keine negative Auswirkung auf die Verbrennungsvorgänge und hier insbesondere auf die Oxidation von Kohlenmonoxid aus. Auch die Beurteilung der Simulationsergebnisse hinsichtlich der Verbrennungsbedingungen fiel positiv aus. Die Ergebnisse waren nahezu identisch mit vorher durchgeführten Studien für den ausschließlichen Betrieb einer Rostfeuerung.

Zusammenfassend konnten konkrete Vorgaben zur geometrischen Gestaltung sowie zur verfahrenstechnischen Fahrweise der Anlage erstellt werden. Anhand von Stromlinien soll die positive Strömungssituation des Endkonzeptes in **Bild 6** gezeigt werden.

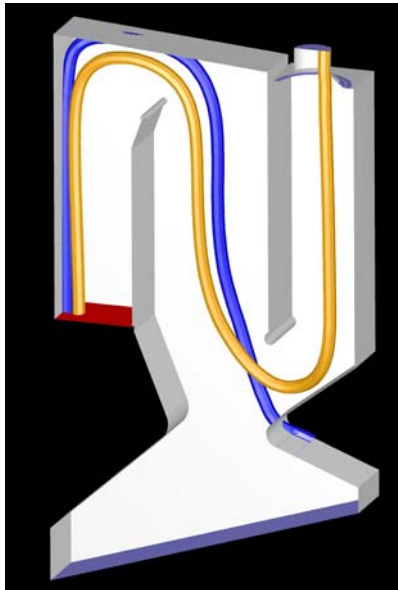


Bild 6 Stromlinien

Im Gegensatz zur Ursprungsgeometrie befinden sich die Stromlinien praktisch in der Kesselmitte. Die Hauptströmung wird also nur sehr moderat zur Rückwand abgelenkt.

4.2 Bezug zur Praxis

In **Bild 7** sind gemessene und berechnete Temperaturen für einen Nennlastfall dargestellt. Zunächst ist zu erkennen, dass sowohl bei der Simulation als auch bei der Netzmessung leicht abgesenkte Temperaturwerte an der Vorderwand existieren. Die Temperaturen liegen aber selbst in der oberen Messebene in der Nähe der Vorderwand noch weit über 850°C , wodurch ein homogenes Strömungsfeld praktisch unterstellt werden kann.

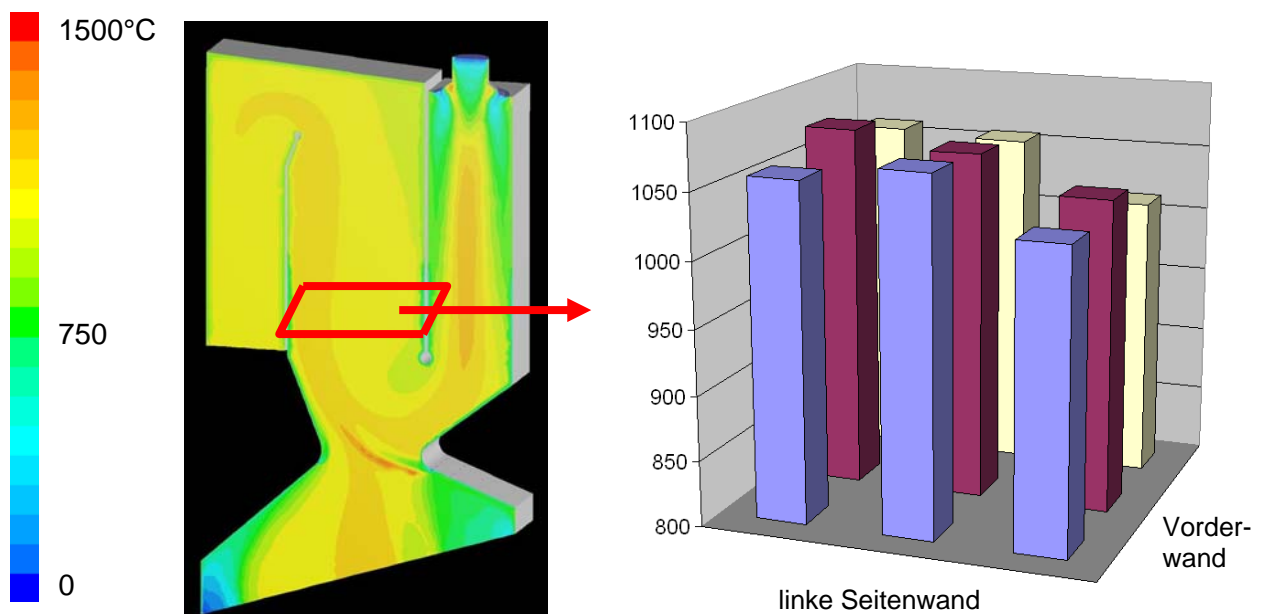


Bild 7 Vergleich von gemessenen und berechneten Temperaturen
(links: Simulation / rechts: Netzmessung)

Darüber hinaus waren die Mess- und Rechenwerte der Sauerstoffkonzentrationen sehr gleichmäßig. Bereits in der unteren Messebene sind quasi keine O₂-Mangelzonen zu erkennen gewesen, wie sie z.B. häufig bei Müllverbrennungsanlagen existieren.

5 Zusammenfassung

Nach nunmehr zehnmonatiger Betriebszeit mit erfolgreichem Nachweis der Verbrennungsbedingungen sowie der sicheren Einhaltung sämtlicher Emissionsgrenzwerte kann dieses Anlagenkonzept als erfolgreich bewertet werden. Gerade die gute Übereinstimmung der Ergebnisse der CFD-Simulation mit dem realen Anlagenbetrieb führte zu einer effizienten und erfolgreichen Inbetriebnahme bzw. dem behördlichen Nachweis.

Die vorhergesagten Strömungs-, Temperatur- und Konzentrationsfelder konnten durch Messungen an der realen Anlage nachvollzogen werden. Bei diesen Netzmessungen wurden mit aufwendiger Messtechnik verschiedene Lastfälle aufgenommen. Exemplarisch wurde das Ergebnis des Vergleichs von Simulation und realem Anlagenbetrieb in den Bildern 8 und 9 (Kapitel 3.2) für einen Vollastbetrieb dargestellt.

Wie den Bildern zu entnehmen ist, stimmen die grundsätzlichen Tendenzen sehr gut überein. Größere Abweichungen treten nur in Folge von inhomogenen Brennstoffeigenschaften örtlich auf.