

Mobiles Prozessleitsystem zur modellprädiktiven Regelung von Abfallverbrennungsanlagen

Uwe Schneider, Benedikt Faupel und Christian Gierend

1.	Motiv und Ziel zur adaptiven Systementwicklung.....	146
2.	Methodik der Prozessleitsystementwicklung.....	147
2.1.	Die Laboranlage zur Testreihenaufnahme und Systementwicklung....	147
2.2.	Einsatz an bestehenden Abfallverbrennungsanlagen.....	150
2.2.1.	Kamerasystem	150
2.2.2.	OPC Server	153
2.2.3.	Validierung in bestehenden Anlagen	153
2.2.4.	Eingliederung in die Automatisierungspyramide.....	155
3.	Zusammenfassung und Ergebnisse	156
4.	Quellen	156

Die Behandlung von Abfällen beschränkt sich in Deutschland und weiten Teilen Europas größtenteils auf die thermische Wandlung des Energieinhaltes durch Verbrennung. Dieser thermische Wandlungsprozess ist begleitet durch verschiedene Sekundärprozesse. Zum einen steht der Wirkungsgrad der Energiewandlung und die Standzeit von Anlagen im Fokus und zum anderen besteht durch gesetzliche und wirtschaftliche Vorgaben die Notwendigkeit zur Emissionsminderung.

In den letzten Jahrzehnten wurden durch verfahrenstechnische und regelungstechnische Innovationen in beiden Bereichen Fortschritte erzielt. Jedoch sind nicht alle Vorgaben erreicht worden. Aufgrund der Inhomogenität des Brennstoffes und neuer Verordnungen entstehen in Zukunft immer neue Herausforderungen im Bereich der Verfahrens- und Regelungstechnik für die Anlagenbetreiber und Anlagenbauer. Nicht selten sind hohe Kosten mit der Umsetzung neuer Konzepte verbunden, sodass die Forderung nach einer effizienten und kostengünstigen Lösung naheliegt. Im Bereich der Verfahrenstechnik sind Änderungen des bisherigen Anlagenkonzeptes meistens mit baulichen Veränderungen an der Anlage verbunden. Aus regelungstechnischer Sicht jedoch scheint eine Lösung greifbar. Durch das schnelle Voranschreiten der Technik im Bereich der digitalen Datenverarbeitung wird verbaute Anlagen- und Regelungstechnik weit vor Ende ihrer Lebensdauer überholt. Deshalb scheint es sinnvoll die vorhandenen Prozessleitsysteme durch eine adaptive Lösung zu ergänzen und zu unterstützen, wenn nicht sogar den Anteil der Prozessregelung und Steuerung gänzlich zu ersetzen.

Ein gangbarer Weg scheint dabei die Ansteuerung der Sensorik und der Aktorik unter der Obhut des vorhandenen Prozessleitsystems zu belassen und nur Eingriffe bei den für die Prozessführung relevante Prozessgrößen vorzunehmen. Eine Möglichkeit des *Verheiraten* eines bestehenden Systems mit einer effizienteren Lösungen besteht in der Nutzung der OPC (OLE for Prozess Control)-Technologie. Diese Schnittstelle bietet die Möglichkeit prozesssicher an- und abzukoppeln, sowie Herstellerunabhängig ein Lösung bereitzustellen. Um die rasante Entwicklung von rechnergestützten Simulations- und Berechnungsprogrammen nutzen zu können ist es notwendig eine fehlersichere Industrierechnerumgebung als Basis des Prozessleitsystems zu nutzen, um die Offenheit des Systems zu gewährleisten.

Im Folgenden werden das Motiv, das Ziel und die Methodik zur Entwicklung eines mobilen Prozessleitsystems vorgestellt.

1. Motiv und Ziel zur adaptiven Systementwicklung

In den letzten Jahren, wurden seitens der Politik und der Gesellschaft immer mehr Rufe laut mit unseren Reststoffen wirtschaftlich sinnvoll umzugehen. Aus technischer Sicht ist die thermische Wandlung des Energieinhaltes zur Verwertung von Reststoffen die sinnvollste Lösung. In Deutschland werden mittlerweile alle Stoffe, die den entsprechenden Brennwert aufweisen und nicht mehr einer anderen Wertschöpfungskette zugeordnet werden können auf diese Weise *recycelt*. Aber auch thermische Verwertung kann Umweltfolgen nach sich ziehen, welche von der Gesellschaft im Hinblick auf die Energiewende immer weniger toleriert werden. Aus diesem Grund versuchen Anlagenbauer, Anlagenbetreiber und wissenschaftliche Einrichtungen die bereits jetzt schon geringen Folgen für die Umwelt noch weiter zu minimieren.

Die Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (HTW Saar) arbeitet mit einer Arbeitsgruppe seit einigen Jahren an Möglichkeiten, wie die wissenschaftliche Erkenntnisse ihrer Arbeit industriennahe umzusetzen sind. Deshalb wurden mehrere Forschungsprojekte ins Leben gerufen, die sich mit der Verbesserung der Verfahrens- und Regelungstechnik von Verbrennungsanlagen und -vorgängen beschäftigen. Aus der Problemstellung zur Verbesserung der Regelungstechnik von bereits bestehenden Verbrennungsanlagen lies sich die Forderung nach einem mobilen Prozessleitsystem ableiten. Dieses Leitsystem kann temporär zur Verbesserung der vorhandenen Regelung und nach erfolgreicher Anpassung an die jeweilige Prozessführung zur dauerhaften Unterstützung vor Ort verbleiben.

Ziel ist die Entwicklung eines innovativen Systems zur Regelung der Feuerleistung und Dampferzeugung. Es wird neben den bestehenden Grundoperationen, wie *Messen und Regeln der Feuer- und Dampfleistung*, zusätzlich visuelle Feuerraumüberwachung mittels Video- und Infrarotkamera in Kombination mit prädiktiver modellgestützter Regelung in ein System vereint (optional auch Künstlich Neuronale Netze KNN und Fuzzy Control).

Ein weiteres Ziel ist die Reduktion der Fixkosten und der variablen Kosten. Erhöhte Schwankungen in der Brennstoffzusammensetzung führten in den letzten Jahren vermehrt zu Handeingriffen in die Automatik der Feuerleistungsregelung und einer Erhöhung der Energiemengen für die Stützbrenneraktivitäten. Insofern bedarf die bestehende konventionelle Regelung einer Berücksichtigung höherer dynamischer Anteile zur Regelung der Verbrennungsprozesse. Die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich der Emissionsgrenzwerte und eine wirtschaftlich nutzbare Auskopplung von Energie in Form von Strom und Dampf sind relevante Kriterien für diese neue Art der innovativen Regelungstechnik. Aufgrund einer verbesserten Regelungstechnik entstehen zusätzlich zur Einsparung von Verbrauchsmitteln und Freiheitsgraden für die Anlagenfahrweise weitere Vorteile wie:

- längere Reisezeiten,
- geringere Reparaturkosten,
- Entlastung des Personals bei der Prozessüberwachung,
- Minimierung von Erdöl- und Erdgaseinsatz für die Stützbrenneraktivität,
- reduzierter Chemikalien-Einsatz in der nachgeschalteten Abgasreinigung,
- arbeitet gezielter am stöchiometrischen Auslegungspunkt,
- Verbesserung des Stöchiometriefaktors,
- Umweltentlastung durch geringeren Chemikalien-Schlupf, Wasser- und Abwasser-aufbereitung, Verkleinerung klimatisierter Schalt- und Leittechnikräume,
- Rückgang des Eigenstrombedarfs.

2. Methodik der Prozessleitsystementwicklung

2.1. Die Laboranlage zur Testreihenaufnahme und Systementwicklung

Die ersten Schritte zur Systementwicklung wurden im Labor gemacht. Nach vorbereitenden Forschungsergebnissen wurde ein Prozessleitsystem in Laborumgebung entwickelt. Die Laborausstattung beinhaltet verschiedene Kleinfuerstätten mit Zentralverbrennungseinheiten und zweistufigen Verbrennungsverfahren (Biomasse- und Holzvergaser). Diese bieten die Möglichkeit Verbrennungsversuche mit verschiedensten inhomogenen Brennstoffen durchzuführen. Die Brennstoffarten reichen von verschiedenen Arten von Biomassen bis hin zu verschiedenen Arten von Reststoffen. So bietet sich unter kontrollierter Laborumgebung die Möglichkeit zur Sammlung von empirischen Daten zur Brennstoffzusammensetzung, zum Ausgasungsverhalten, zum Temperaturverhalten, zur Abgaszusammensetzung, zum stöchiometrischen Verhältnis und Verhalten des Prozesses auf Änderungen der Regelgrößen.



Bild 1: Laboraufbau zu Testzwecken

Nach den Grundlagenversuchen an nichtautomatisierten Kleinf Feuerstätten kommt ein Laboraufbau, der der Hierarchie eines Prozessleitsystems nachempfunden ist, zum Einsatz (Bild 1). Ein Verbrennungsofen mit vorhandener Steuerung ist an ein fest installiertes Prozessleitsystem gekoppelt und alle Hierarchieebenen der Prozessautomatisierung in kleinem Maßstab nachgebildet:

- **Feldebene:** Sensoren, Aktoren, Infrarot- u. CMOS-Kamera, Abgasmessgerät, dezentrale Peripherien. Bussysteme: Profibus, RS-232 RS-Stromsignal 4-20mA,
- **Steuerungsebene:** mobiles Prozessleitsystem OPC-gekoppelt mit Prozessleitsystem S7-400. Bussysteme: Industrial Ethernet, RJ-45,
- **Prozessleitebene:** Operator Station (WinCC), OPC-Server, Modellimplementierungen. Bussysteme: Industrial Ethernet, Ethernet, RJ-45,
- **Unternehmensleitebene:** Zugriff auf alle Daten für Professoren, Studenten, Bussysteme: Ethernet, RJ-45.

Ein Fließbild des Laboraufbaus zeigt Bild 2. Links oben im Bild ist das mobile Prozessleitsystem dargestellt. Es handelt sich hier um eine Industrie Box PC mit einem Windows Betriebssystem, das herstellereitig Betriebssicherheit gewährleistet. Das Prozessleitsystem beinhaltet eine Operator Station, eine Engineering Station und ein Matlab-Simulinkmodell zur prädiktiven Reglerabbildung. Es bietet eine PC-Kopplung über einen OPC-Server, einen Webzugriff sowie Anschlussmöglichkeiten für diverse Arbeitsplätze.

Zusätzlich zu den Sensoren die das stationäre Prozessleitsystem bietet, werden durch zwei Kameras und ein externes Abgasmessgerät weitere Daten erhoben. Alle Pfade die zum mobilen Prozessleitsystem führen stehen später auch in der Abfall- bzw. Biomasseverbrennungsanlage zur Verfügung.

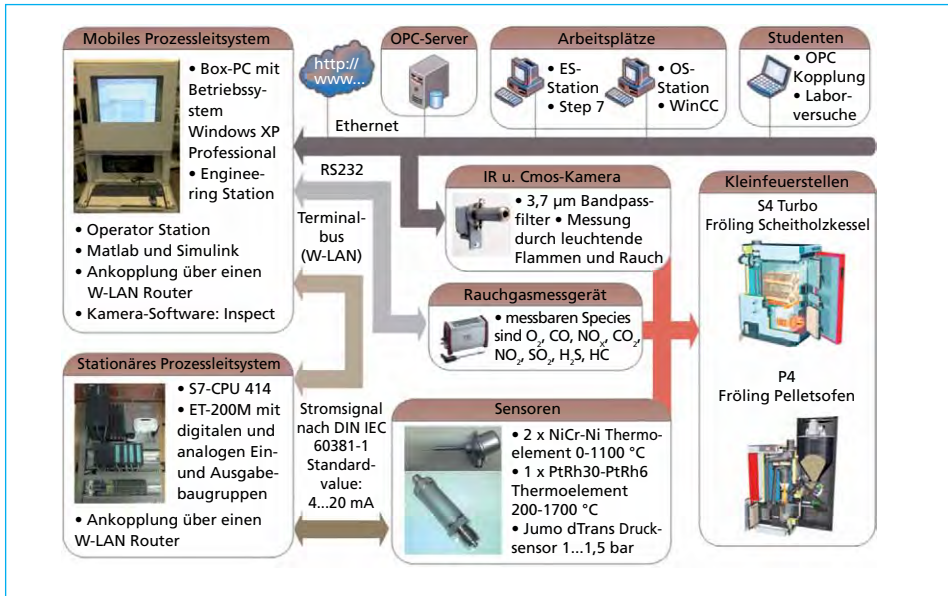


Bild 2: Übersicht über die Anlagenstruktur



Basierend auf Versuchen und Tests mit diesem Kraftwerksnachbau im kleinen Maßstab wurden die modellprädiktive Regelung, die numerische Simulation, die Datenverarbeitung, die Datenaufbereitung getestet und auf eine Entwicklungsstufe gebracht mit der an Abfall und Biomasseverbrennungsanlagen erste Tests und Versuche durchgeführt werden (Bild 3).

Bild 3:

Mobiles Prozessleitsystem

2.2. Einsatz an bestehenden Abfallverbrennungsanlagen

2.2.1. Kamerasystem

Die für die Verbrennung wichtige Temperatur über dem Verbrennungsrost ist mit klassischen Thermo-Sensoren, die auf Wärmeleitung angewiesen sind, schwer zu ermitteln. Sie können nicht direkt im Brennstoffbett untergebracht werden und geben so nicht die akkuraten Werte wieder, sondern je nach Positionierung zeitlich verzögerte Mittelwerte, Flammentemperaturen oder reflektierende, sich überlagernde Gasstrahlung.

Die bei der Verbrennung frei werdende Energie äußert sich in Form von elektromagnetischer Strahlung, deren Eigenschaften, wie Frequenz und Intensität, direkt von der Temperatur abhängen. Die Strahlungsemissionen erstrecken sich über das für Menschen sichtbare Spektrum hinaus auf Bereiche die nur mit technischen Hilfsmitteln zugänglich sind. Ein Bereich im infraroten (IR) Spektrum zwischen $3,5\ \mu\text{m}$ und $4\ \mu\text{m}$ ist hier von besonderem Interesse, da die IR-Absorber Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf bei diesen Wellenlängen ein Absorptionsminimum besitzen. Andere wichtige Bestandteile der Abluft wie beispielsweise Stickstoff haben keinen Einfluss auf IR-Strahlung. Dies erlaubt es einer IR-Kamera durch die Feuerfront (Flammen) hindurch auf das Brennstoffbett und die Feuerraumwände zu sehen und anhand der Strahlungsintensität die Temperatur des Brennstoffes direkt zu ermitteln (Bild 4).

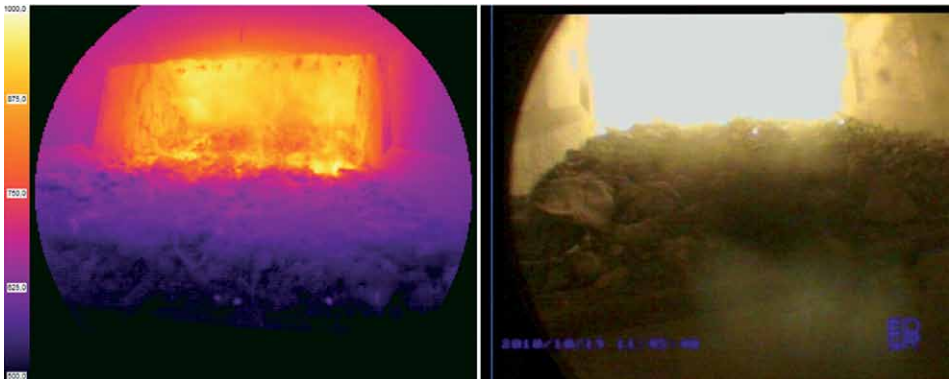
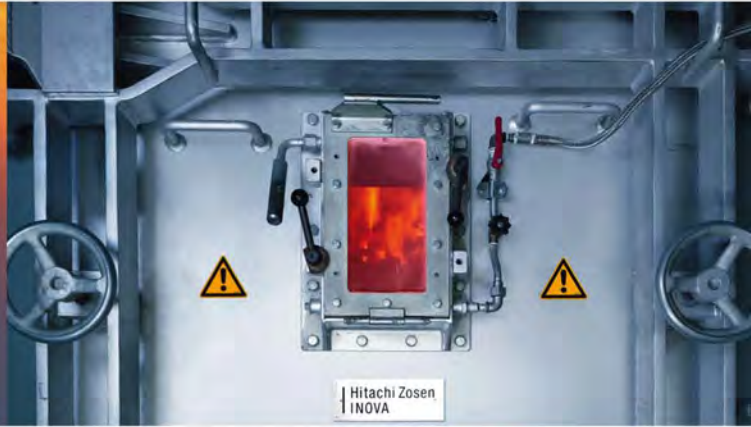


Bild 4: IR-Bild und Videobild eines Verbrennungsraumes mit Vorschubrost

Ein so gewonnenes Rohbild kann mit der verwendeten Software INSPECT weiterverarbeitet werden. Es ist möglich, im Gegensatz zu früheren bildgebenden Verfahren, die Aufnahmen perspektivisch zu entzerren und durch Methoden der Mustererkennung Bildstörungen zu minimieren und für die Regelung wichtige Daten zu ermitteln. So kann die Aufgabe der qualitativen Bewertung, die bisher von einem Menschen durchgeführt wurde, automatisiert werden und den Menschen bei der Prozessbewertung unterstützen. Zusätzlich zur einfachen Temperaturermittlung können durch die neue Art der Bildverarbeitung die Lage der Hauptbrandzone oder sich anbahnenden Überschüttungen erkannt werden.

Waste is
our Energy



Engineering is
our Business



Sustainable
Solutions are
our Mission





Doosan Lentjes

Helping you recover energy from waste



At Doosan Lentjes we help our customers convert millions of tonnes of residual waste into valuable energy every year. Combining our proven grate-fired 'chute to stack' technology with industry-leading turbines from Doosan Škoda Power, we provide solutions that make us the perfect partner for all your waste-to-energy needs.

www.doosanlentjes.com

To learn how Doosan Lentjes' technologies can help you, contact:

Doosan Lentjes GmbH
Daniel-Goldbach-Strasse 19
40880 Ratingen, Germany

Tel: +49 (0) 2102 166 0
or email: DL.Info@doosan.com



Die so ermittelten Daten können unter anderem durch OPC- und Access-Anbindung, Monitor-Ansichten und Video-Archivierung zugänglich gemacht werden.

2.2.2. OPC Server

OLE for Process Control (OPC) ist der Name für standardisierte Software-Schnittstellen, die den Datenaustausch zwischen Anwendungen unterschiedlichster Hersteller in der Automatisierungstechnik ermöglichen.

OPC wird dort eingesetzt, wo Sensoren, Regler und Steuerungen verschiedener Hersteller ein gemeinsames, flexibles Netzwerk bilden. Ohne OPC benötigten zwei Geräte zum Datenaustausch genaue Kenntnis über die Kommunikationsmöglichkeiten des Gegenübers. Erweiterungen und Austausch gestalten sich entsprechend schwierig. Mit OPC genügt es, für jedes Gerät genau einmal einen OPC-konformen Treiber zu schreiben. Ein fertiger OPC-Treiber lässt sich ohne großen Anpassungsaufwand in beliebig große Steuer- und Überwachungssysteme integrieren.

OPC unterteilt sich in verschiedene Unterstandards, die für den jeweiligen Anwendungsfall unabhängig voneinander implementiert werden können. OPC lässt sich damit für Echtzeitdaten (Überwachung), Datenarchivierung, Alarm-Meldungen und neuerdings auch direkt zur Steuerung (Befehlsübermittlung) verwenden.

Mithilfe dieser Schnittstellentechnologie soll die sichere Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Systemen gewährleistet werden.

2.2.3. Validierung in bestehenden Anlagen

Für die Validierung an bestehenden Abfall- und Biomasseverbrennungsanlagen sind verschiedene Kriterien zu berücksichtigen. Es muss zu jeder Zeit sichergestellt sein, dass die Regeleingriffe sich nicht in einer Schiefelage des Prozesses manifestieren können. Deshalb ist das System als redundantes System ausgelegt. Über die Schnittstelle mit der vorhandenen Prozessleittechnik wurde ein sicheres An- und Abkoppeln durch verschiedene Überwachungsorgane gewährleistet. D.h. sobald die Regelung aus den gewünschten Arbeitspunkt hinausläuft und nicht selbst wieder zu ihm zurückkehren kann, schaltet sich das Überwachungsorgan ein und die vorhandene Regelungstechnik der Anlage übernimmt die Kontrolle. So ist in der Anfangsphase der Kopplung in jedem Fall gewährleistet, dass durch das Anpassen an die Eigenheiten die jede Anlage besitzt, keine Gefahr besteht.

Nachdem das System angepasst wurde, läuft es probeweise mit und gibt Stellgrößen und prädiktive Tendenzen an die Aktoren weiter. Diese zweite Phase dient als Vergleich mit der vorhandenen Regelungstechnik, um festzustellen wie sich durch den Einsatz des Systems Verbesserungen einstellen. Bisherige Tests haben gezeigt, dass insbesondere durch den prädiktiven Regleranteil Verbesserungen in der Prozessführung und Stabilität erreicht werden.

Prozessleitsysteme bieten die Möglichkeit alle Ebenen der Automatisierungspyramide in den Prozessführung mit einzubinden. Somit ist eine Offenheit gegenüber Erweiterung, Umbau oder Abbau neuer oder alter Teilsysteme möglich, welche eine erhebliche Zeit- und Kostenersparnis mit sich bringt. Neue Komponenten können einfach durch die standardisierten Bussysteme angekoppelt werden, ohne den laufenden Prozess zu behindern oder sogar zu stoppen.

2.2.4. Eingliederung in die Automatisierungspyramide

Natürlich lässt sich dieses System ebenso gut auf einem industrietauglichen Rechner implementieren. Der Grund für die Nutzung eines mobilen Prozessleitsystems beim bisherigen Entwicklungsstand liegt darin, dass das Prozessleitsystem zusätzliche Möglichkeiten bietet gegenüber der normalen PC-Anbindung. Diese Freiheitsgrade sind gerade in der Entwicklungsphase des Systems von Vorteil.

Prozessleitsysteme bieten die Möglichkeit alle Ebenen der Automatisierungspyramide in die Prozessführung einzubinden. Somit ist eine Offenheit gegenüber Erweiterung, Umbau oder Abbau neuer oder alter Teilsysteme möglich, welche eine erhebliche Zeit- und Kostenersparnis mit sich bringt. Neue Komponenten können einfach durch die standardisierten Bussysteme angekoppelt werden, ohne den laufenden Prozess zu behindern oder sogar zu stoppen.

Um einen komplexen Prozess durch ein Prozessleitsystem zu realisieren, müssen wesentliche Kriterien erfüllt werden:

- Echtzeitfähigkeit

Unter Echtzeitfähigkeit versteht man, dass ein Prozess in einem fest vorgeschriebenen Zeitraum abgearbeitet werden muss. Die benötigten Daten müssen in diesem Zeitraum zur Verfügung stehen, um auf einen technischen Ablauf reagieren zu können.

- Hohe Verfügbarkeit durch Redundanz

Bei einem komplexen Prozess kann der Ausfall eines Prozessleitsystems erhebliche Kosten verursachen. Um dem vorzugreifen werden einzelne Komponenten doppelt oder sogar dreifach ausgelegt. Diese erhöhte Verfügbarkeit hat zur Folge, dass wenn ein Teilsystem ausfällt, die Aufgaben von einer Reserve-Komponente verzugsfrei übernommen werden können.

- Offenheit

Darunter versteht man, dass einzelne Komponenten in der Automatisierungspyramide vertikal und horizontal erweitert werden können. Diese Offenheit besteht nicht nur in der Feld- und Steuerungsebene, sondern reicht auch bis hin in die Management Ebene, da wirtschaftliche Daten, Betriebsführung, Logistik und Qualitätssicherung auch in einem Prozessleitsystem zur Verfügung stehen.

- Durchgängigkeit

Prozessleitsysteme bestehen aus vielen unterschiedlichen Systemen. Daraus soll eine Gesamtlösung entstehen die dem Anwender ermöglicht, ohne großen Mehraufwand, an die Prozessinformationen zu gelangen. Das heißt, sie müssen für jede Komponente im System zugänglich sein. Dies sollte sowohl bei der Planung und Programmierung als auch zur Laufzeit gelten. Durchgängigkeit sollte also auch die Wartung unterstützen und so langfristig Investitionen schützen.

3. Zusammenfassung und Ergebnisse

Im ersten Schritt der Prozessleitsystementwicklung ist ein Laboraufbau entstanden, der zur Ausbildung künftiger Prozessingenieure genutzt wird. Er bietet die Möglichkeit in vorlesungsbegleitenden Praktika und Übungen, Versuche durchzuführen, die dem Ingenieurnachwuchs die Möglichkeit bieten ein tieferes Verständnis des Kraftwerksprozesses in Verbrennungsanlagen und für die Regelung und Steuerung in Kraftwerken zu erlangen. Sie können Versuche zu Brennstoffzusammensetzungen durchführen und Kenntnisse über die elektronische Datenverarbeitung in der Prozesstechnik erwerben. Damit steht ein Werkzeug zur Verfügung, Ingenieure auszubilden, die später leichter im Bereich von Verbrennungsanlagen eingesetzt werden können.

Im zweiten Schritt der Entwicklung ist ein Werkzeug entstanden, das aktiv zur Verbesserung der Steuerung in Abfall- und Biomasseverbrennungsanlagen genutzt wird. Pilotversuche in verschiedenen Anlagen haben gezeigt, dass das System zur Verbesserung der Feuerlage, Feuerlänge und Feuerintensität in der Lage ist. Die modellprädiktiven Algorithmen zur Berechnung von Emissionen, Luftstufungen und Schürwirkung haben mit hoher Korrelation gezeigt, dass das System die Möglichkeit hat ohne hohen Kostenaufwand zu optimieren.

Im letzten Entwicklungsschritt wird das System in seiner Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Stabilität verbessert. Es soll den Anlagenbetreibern und Anlagenbauern ein System an die Hand gegeben werden, mit dem der tägliche Anlagenbetrieb erleichtert wird, aber auch längerfristige Verbesserungen bei Planungssicherheit und Wirtschaftlichkeit eintreten werden.

4. Quellen

- [1] CMV Systems GmbH & Co. KG: Spezifikationen PYROINC 320 Serie. Mönchengladbach, Deutschland, 2011
- [2] Felleisen, M.: Prozeßleittechnik für die Verfahrensindustrie. München: Oldenbourg, 2001
- [3] Fröling: Fröling Heizkessel- und Behälterbau Ges.m.b.H. Abgerufen am 9. 9 2011 von www.froeling.com/de
- [4] Heinze, A.: Konzept und Aufbau eines PCS7-Systems zur Messdatenerfassung von Verbrennungsvorgängen. Saarbrücken, 2011

- [5] MRU Messgeräte für Rauchgase und Umweltschutz GmbH: Industrielle Kontroll- und Einstellungsmessungen VARIOplus Industrial. Neckarsulm-Obereisesheim, Deutschland, 2011
- [6] Schneider, U.: Modellbildung und Simulation von Verbrennungsprozessen für biogene Brennstoffe in Kraftwerken. Saarbrücken, 2010
- [7] Siemens AG: Das Prozessleitsystem SIMATIC PCS 7. Nürnberg: Siemens, 2011