

Alexander Weissinger

Emissionsreduktion durch moderne Biomassefeuerungen

erschienen 08/2016 in der Broschüre „Bioenergie und Umweltschutz“ des ÖBMV



Erstmals werden in der EU im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie neben einer Kennzeichnungspflicht der Energieeffizienz von Heizungssystemen auch europaweit einheitlich gültige Emissionsgrenzwerte für Biomassefeuerungen, sowohl im Wohnbereich als auch bei Zentralheizungen bis 500 Kilowatt und für Anlagen im mittleren und großen Leistungsbereich von 1 bis 50 Megawatt, eingeführt. Die relevanten Verordnungen und Richtlinien sind diesbezüglich: EU 2015/1189 (Festbrennstoffkessel bis 500 kW), EU 2015/1185 (Festbrennstoff Einzelraumheizgeräte), EU 2015/2193 (Richtlinie mittelgroße Feuerungsanlagen von 1 bis 50 MW). Diese führen teilweise zu deutlichen Verschärfungen in den Mindestanforderungen bei den zulässigen Emissio-

nen, vor allem im Bereich Staub und organische Kohlenwasserstoffe (Org. C). Damit sollte ein weiterer Schritt in der Entwicklung von Feuerungen mit geringen Emissionen initiiert werden. Mögliche Effekte werden in diesem Beitrag diskutiert.

Neue emissionsarme Technologien stehen an der Schwelle zur Markteinführung bzw. wurden neu eingeführt. Vier vielversprechende Ansätze von in Österreich entwickelter Technologie sollen hier vorgestellt werden. Darüber hinaus sollen deren mögliche Auswirkungen und Potenziale für die zukünftigen Emissions- und insbesondere Immissionsreduktionen diskutiert werden.

All diese Technologien wurden in einem derzeit wirtschaftlich schwierigen Umfeld zur Serien- bzw. Demonstrationsreife ent-

wickelt; der Startschuss der Entwicklungen erfolgte aber bereits vor Veröffentlichung der Richtlinien.

Bezüglich der Emissionsreduktion gibt es verschiedene Ansätze. Die Pfade der Emissionsentstehung und die Bereiche, in denen die Minderungsverfahren eingreifen, sind in Abb.1 zusammen mit den schematischen Mechanismen dargestellt. Sie lassen sich in drei Prinzipien untergliedern:

1. Abscheidung der Partikel in Filtern (vor allem elektrostatische Filter)
2. Reduktion der Freisetzung von Feinstaub bildenden Elementen
3. Reduktion der Häufigkeit des Auftretens und der Dauer von instationären Betriebszuständen mit schlechter Verbrennung durch intelligente (modellbasierte) Regelungsalgorithmen und durch neue flexiblere Brennertechnologie vor allem im Bereich manuell beschickter Feuerungen.

Der bekannte und klassischerweise betrachtete Pfad ist in Abb.1 auf der rechten Seite dargestellt. Dort ist die Verbrennung der kohlenstoffhaltigen gasförmigen Bestandteile des klassischen zweistufigen Verbrennungsprozesses veranschaulicht. Je effektiver der Verbrennungsprozess verläuft, desto sauberer sind die Abgase. Feinstaub bildet sich hier als kohlenstoffhaltiger Rußpartikel oder in größeren Fraktionen als Teil des mitgerissenen Brennstoffs. Relevante Emissionen treten bei Feuerungen auf dem Stand der Technik nur noch bei instationären Betriebsphasen wie Start-Stopp und eventuell bei raschen Lastwechseln auf.

Neue Technologien zielen darauf ab, diese instationären Betriebsbedingungen möglichst rasch zu überbrücken oder generell den Betrieb so zu optimieren, dass die Anzahl dieser Betriebszustände generell reduziert wird. Vier vielversprechende technologische Ansätze werden in Folge vorgestellt.

1. Integration der sekundären Abscheider direkt in den Kessel

Der bisher am häufigsten verfolgte Ansatz ist die Reduktion der Emissionen mittels Sekundärmaßnahmen (vor allem Filter) am Ende des Verbrennungsprozesses. Alle modernen Feuerungen sind für stationäre Zustände hinsichtlich der Ausbrandqualität der Gase optimiert. Die Feinstaubbildung wird hier aber nur im Hinblick auf die organischen Feinstaubkomponenten reduziert. Die anorganischen Komponenten folgen dem in Abb.1 auf der linken Seite dargestellten Pfad. Daher ist eine nachträgliche Abscheidung für eine zusätzliche Emissionsreduktion bei Feuerungen auf dem Stand der Technik nur über Sekundärmaßnahmen wie Filter möglich.

In diesem Bereich haben sich Elektrofilter als nachgeschaltete Einheit technologisch bereits auf dem Markt etabliert. Für eine rasche Marktdurchdringung weisen sie aber einige Nachteile auf: Kostendruck und Platzbedarf der Filter verhindern in vielen Fällen die Installation einer Anlage. Die optimale Einbindung in den Betrieb des Kessels inklusive Start-Stopp und Lastwechsel erfordert eine Koppelung der Regelungssysteme. Für den Kunden hat dies zur Folge, dass er sich unter Umständen an mehrere Ansprechpartner wenden muss. Ein wesentliches Erfolgskriterium für E-Filter ist die Reinigung der Elektroden und Abscheideflächen sowie die Entaschung im Betrieb. Dadurch kann ein langzeitstabiles, ausreichendes elektrisches Feld zur Abscheidung der Partikel gewährleistet werden. Neben den Emissionen des Kessels sind dies die Hauptparameter, die im realen Betrieb die Emissionen der Feuerungen beeinflussen.

Daher wird in diesem Fall der Ansatz verfolgt, den Filter inklusive Regelung in den Kessel zu integrieren. Der wesentliche Vorteil ist eine kompakte, Platz sparende Bauweise. Kosteneinsparungen und Komfortgewinne für den Kunden resultieren aus

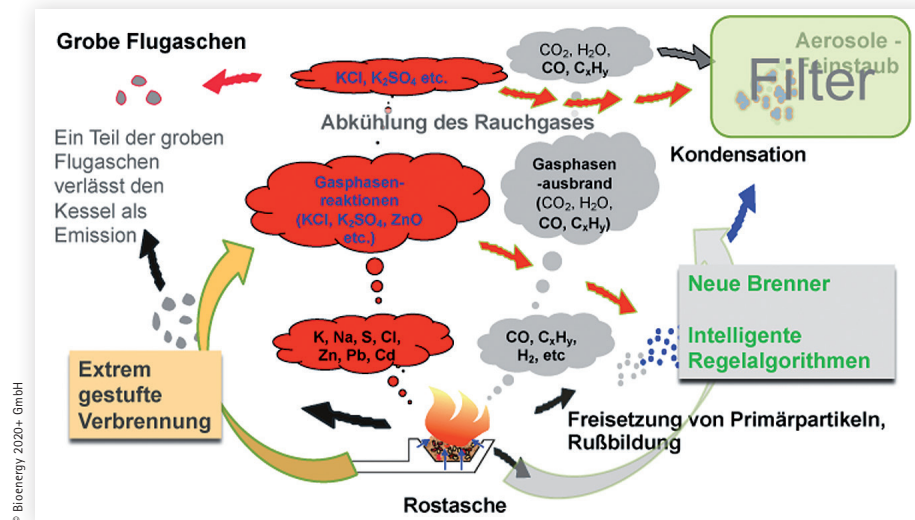


Abb. 1: Pfade der Emissionsentstehung und Handlungsfelder der Technologien zur Emissionsminderung



Abb. 2: Darstellung der Einbausituation und des kombinierten Reinigungs- und Entaschkungskonzepts am Beispiel des Hackgutkessels ETA eHACK



Abb. 3: Abscheideprinzip eines integrierten E-Filters

der Möglichkeit, die automatische Filterreinigung mit der Reinigung des Wärmetauschers und der Entaschung zu koppeln.

2. Feinstaubreduktion durch extrem gestufte Verbrennung

In stationären Betriebsphasen sind moderne Feuerungen in der Regel auf eine sehr gute Verbrennung optimiert, wodurch Emissionen organischer Partikel auf ein Minimum reduziert werden. Klassische Verbrennungsansätze sind aber nur bedingt in der Lage, auch die anorganischen Partikel zu minimieren. Diese Partikelemissionen sind – wie auch NO_x -Emissionen – direkt an die Zusammensetzung des Brennstoffes gekoppelt und lassen sich auch über Brennstoffindizes prognostizieren.

Ein neuer, vielversprechender Ansatz wird mithilfe der Technologie der extrem gestuften Verbrennung verfolgt. Dabei verhindern stark reduzierende Bedingungen im Brennstoffbett die Freisetzung von Feinstaub bildenden Elementen. Damit werden Feinstaubemissionen reduziert. Dies ermöglicht eine Staubreduktion auf Emissions-

werte, die ohne zusätzlichen Abscheider – entsprechend publizierten Forschungsergebnissen und Daten des ersten auf dem Markt vorgestellten Serienproduktes – auch bei kritischen Brennstoffen jenen eines E-Filters entsprechen bzw. diese unterschreiten können. Eine NO_x -Reduktion ergibt sich als Synergieeffekt, weil reduzierende Verbrennungsbedingungen auch eine NO_x -Verringerung fördern.

Das Verfahrensprinzip ist in Abb.1 im linken Pfad dargestellt. Infolge der gestuften Verbrennung werden jene Substanzen im Brennstoff, die für die Bildung von Feinstaub oder NO_x (Brennstoff-N-Gehalt) verantwortlich sind, an der Freisetzung gehindert. Damit werden die Emissionen reduziert. Das Prinzip der Verbrennung ist am Beispiel des Brenners der Fa. Windhager dargestellt (Abb.4). Der Prozess selbst ist aber technologisch aufwändiger als eine einfache Verbrennung. Die Entwickler der Technologie wurden mit zusätzlichen Herausforderungen konfrontiert:

- Die gestufte Verbrennung ist ein Betriebszustand, welcher idealerweise

kontinuierlich und lange beibehalten werden sollte. Bei modulierender Betriebsweise sind die Emissionen in den Übergangsphasen mit denjenigen einer unvollständigen Verbrennung vergleichbar.

- Aufgrund der stark reduzierenden Bedingungen im Bereich der Primärverbrennungszone werden höhere Anforderungen an die Werkstoffe gestellt.
- Um aufgrund von Schwankungen bei der Brennstoffversorgung nicht in die Gefahr eines Flammabbrisses mit hohen Emissionen zu kommen, muss auch auf eine gesicherte Zündung und Flammausbildung geachtet werden.
- Wesentlich für eine effiziente Emissionsreduktion ist bei dieser Technologie die Ausbildung eines stabilen Brennstoffbettes und eines emissionsarmen Start-Stopp-Betriebs.
- Um die reduzierenden Bedingungen bei einem Lambdawert $\lambda < 0,5$ aufrecht erhalten zu können, sind ein dichter Brenner und ein dichtes Entaschkungssystem unumgänglich.

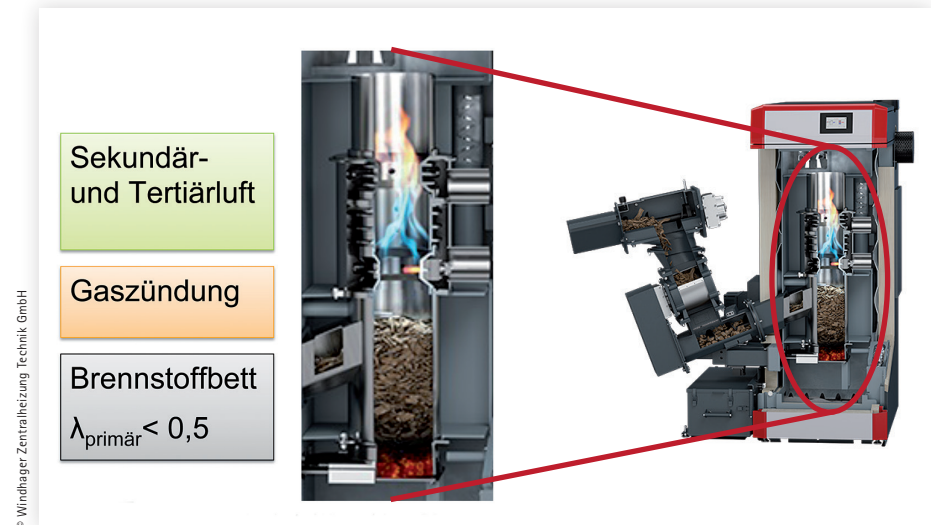


Abb. 4: Aufbau eines Brenners zur extremen Luftstufung – Windhager PuroWIN

3. Kerzenbrenner

Der Kerzenbrenner ist ein Beispiel, wie bei manuell beschickten Systemen mittels entsprechender Brennerkonzeption eine Optimierung der Emissionen und der Effizienz erzielt werden kann. Ausgangspunkt war die Frage: „Wie kann ich ein Brikett nur teilweise und mit geringer Leistung durch eine Dosierfähigkeit ähnlich Pellets trotzdem mit guten Emissionen abbrennen lassen?“ Als Vorbild diente das Brennverhalten einer Kerze.

Im Bereich Öfen wurde von Bioenergy 2020+ ein neuer Brikettbrenner entwickelt, der dem Prinzip einer Kerze folgend die Vorteile einer automatischen Brennstoffbeschickung von Pellets mit dem Flammenbild eines Stückholzofens kombiniert. Dabei wurden die ab 2022 gültigen Emissionsgrenzwerte deutlich unterschritten. Durch die Verlängerung einer Abbrandphase bei geschlossener Ofentüre werden über einen Heizzyklus deutlich geringere Emissionen erzielt. Eine automatische Nachführung ermöglicht hier eine zusätzliche Verlängerung des ungestörten Betriebes und damit deutlich längere Abbrandzeiten als bei mit Scheitholz betriebenen Öfen. Dies steigert den Komfort für den Endverbraucher deut-

lich und verringert das Risiko einer Fehlbedienung. Allgemein gesehen wäre bei dieser Technologie das Emissionsreduktionspotenzial und damit auch das Potenzial der Verringerung von Immissionen am größten, da Öfen unter den Einzelfeuerungen im Bestand die meisten Emissionen verursachen. Die wesentlichen Vorteile sind:

- Semiautomatischer Betrieb mit einem Flammenbild, das mit jenem eines Scheitholzofens vergleichbar ist
- Komfort durch lange Brenndauer, störungsfreies Nachlegen, Abschaltmöglichkeit und automatische Zündung
- Geringe Emissionen auch bei niedrigen Leistungen
- Eignung für Niedrigenergiehäuser aufgrund der geringen Leistung
- Grundsätzlich auch für Kessel geeignet

Die Technologie wurde von Bioenergy 2020+ mit Entwicklungspartnern patentiert; eine erste Lizenzierung ist erfolgt.

4. Intelligente Regelalgorithmen und Vernetzung

Der vierte und letzte technologische Ansatz verfolgt das Ziel, mittels intelligenter Rege-

lungsalgorithmen die Betriebsbedingungen der Anlagen so zu verbessern, dass die im Realbetrieb für Emissionen hauptverantwortlichen instationären Zustände schneller ausgeregelt oder verhindert werden können (z.B. durch schnellere modellbasierte Verbrennungsregelung und modellprädiktive Systemregelung mit Lastprognose). Dadurch können Emissionen im realen Betrieb deutlich gesenkt werden.

Abb. 7 zeigt die möglichen Handlungsfelder, in denen intelligente Regelalgorithmen sinnvollerweise zum Einsatz kommen. Diese werden derzeit bei Bioenergy 2020+ in Zusammenarbeit mit Partnern entwickelt. Das Prinzip der Feuerungsregelung verfolgt dabei das Ziel, auf Basis mathematischer Modelle, welche das dynamische Verhalten der Biomassefeuerung

beschreiben, die zielgerichtete Vorgabe von Massenströmen zur Regelung und die schnellstmögliche Kompensation von messbaren Störungen zu ermöglichen.

Vereinfacht beschrieben basiert das System auf Annahmen über schwer messbare Zustandsparameter der Anlage, die mittels Modellen und leichter messbaren Parametern überprüft werden. Die Kernkomponente des Algorithmus ist ein sogenannter Zustandsbeobachter (Kalmanfilter, Abb. 8). Die wesentlichen Vorteile des Systems sind hier aufgelistet:

- Automatische Anpassung des Regelungsverhaltens an die geänderten Brennstoffeigenschaften (Wassergehalt, Schüttdichte)
- Stabilerer Lastverlauf
- Schnellere Reaktion auf Laständerungen

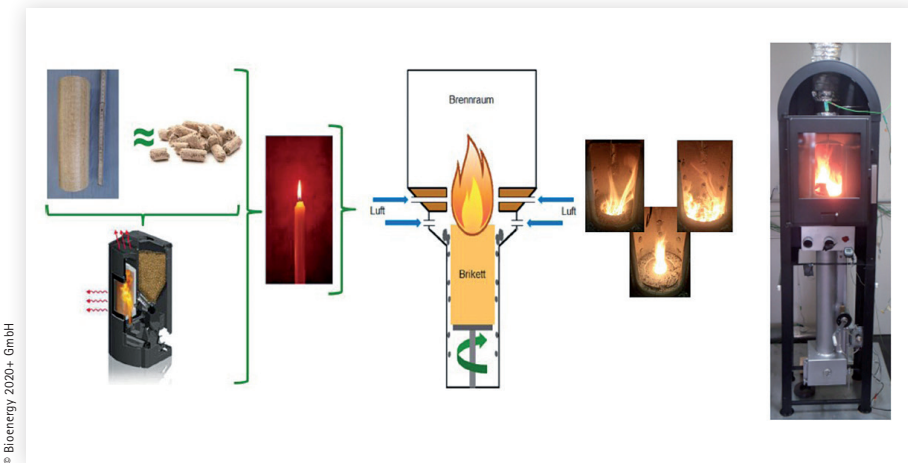


Abb. 5: Prinzipschema des Kerzenbrenners und erstes umgesetztes Funktionsmuster

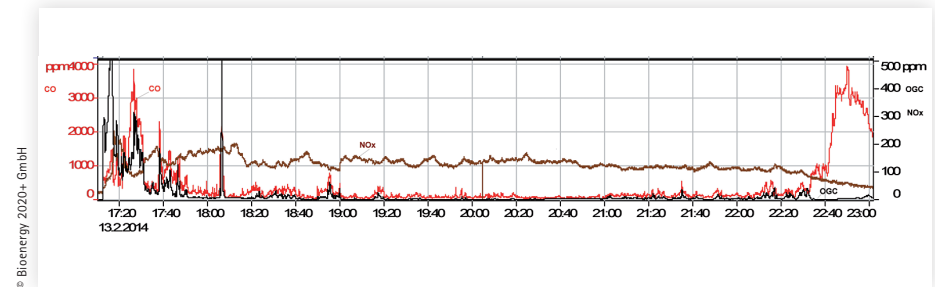


Abb. 6: Beispiel für langen Abbrandzyklus mit geringen Emissionen beim Kerzenbrenner

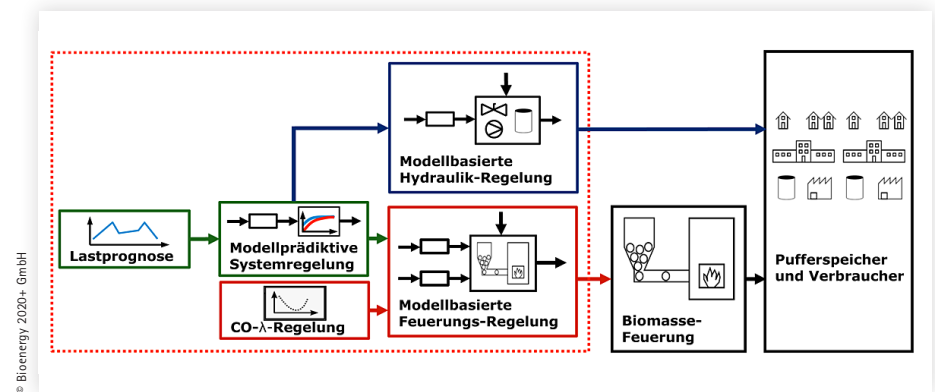


Abb. 7: Module und Handlungsfelder intelligenter Regelalgorithmen und modellbasierter Regelungssysteme

- Potenzial zur Absenkung des O₂-Sollwerts und damit zur Wirkungsgraderhöhung
- Stabilerer Verlauf des Sauerstoffgehalts in allen Lastbereichen
- Reduzierte Schadstoffemission (CO, Staub)

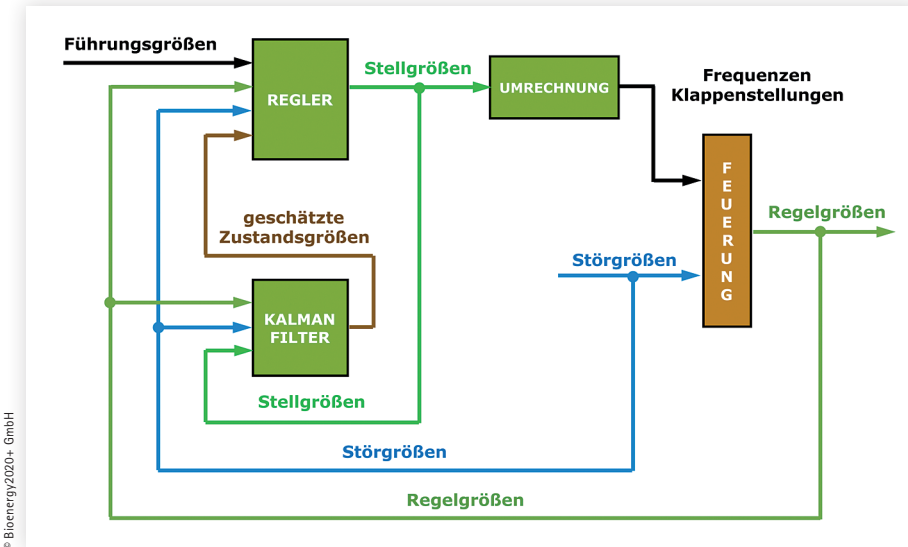


Abb. 8: Prinzip der modellbasierten Feuerungsregelung

Das Prinzip bietet sich vor allem für Hackgutfeuerungen an, für die es, ausgehend von Großanlagen, entwickelt wurde. Eine weitere Entwicklung beschäftigt sich aber auch mit der Umsetzung für Scheitholzkessel, mit einem speziellen Fokus auf der Berücksichtigung des Wärmebedarfs sowie der Wärmeverteilung. Das hier verfolgte Ziel ist das optimale Zusammenspiel der einzelnen Teilsysteme mit einer übergeordneten, prädiktiven Systemregelung sowie einer schadstoffarmen und effizienten Verbrennung mithilfe einer unterlagerten, modellbasierten Feuerungsregelung (Abb. 9).

Ein für größere Anlagen und für Heizwerke im derzeitigen Forschungsstadium interessantes Modul ist jenes der modularen CO-λ-Regelung. Mithilfe eines intelligenten, eigens entwickelten Algorithmus ist dieses System während des Betriebs eines Feuerungssystems robust gegenüber einer Veränderung der CO-λ-Charakteristik infolge von Änderungen bei Brennstoff, bei der Luftstufung oder der Last. Damit ist das System in der Lage, Falschlufteintrag oder Messfehler (z. B. infolge eines Drifts der O₂-

Sensoren, λ-Sonden oder CO-Sensoren) zu kompensieren.

Das Prinzip ist in Abb. 10 erläutert. Das Verfahren selbst befindet sich in einigen Heizwerken zu Monitoringzwecken bereits im Einsatz. Das System sollte bald eine als für bestehende Anlagen einsetzbare und nachrüstbare Technologie Serienreife erlangen. Der wirtschaftliche Nutzen, der sich daraus für die Betreiber ergibt, ist im folgenden geschildert:

- Erhöhung des Wirkungs- und Nutzungsgrades
- Reduktion der Schadstoffemissionen
- Anhebung des im Realbetrieb erzielbaren Nutzungsgrades (Brennstoffeinsparung) auch bei schwierigen Brennstoffen durch die modellbasierte Regelung
- Reduktion der Schadstoffemissionen (CO, org. C, Feinstaub) durch die verbesserte Feuerungsregelung in Kombination mit der neu entwickelten CO-λ-Regelung
- Erhöhung der Betriebsstabilität, Verringerung von Wartungsaufwand und Betriebsausfällen

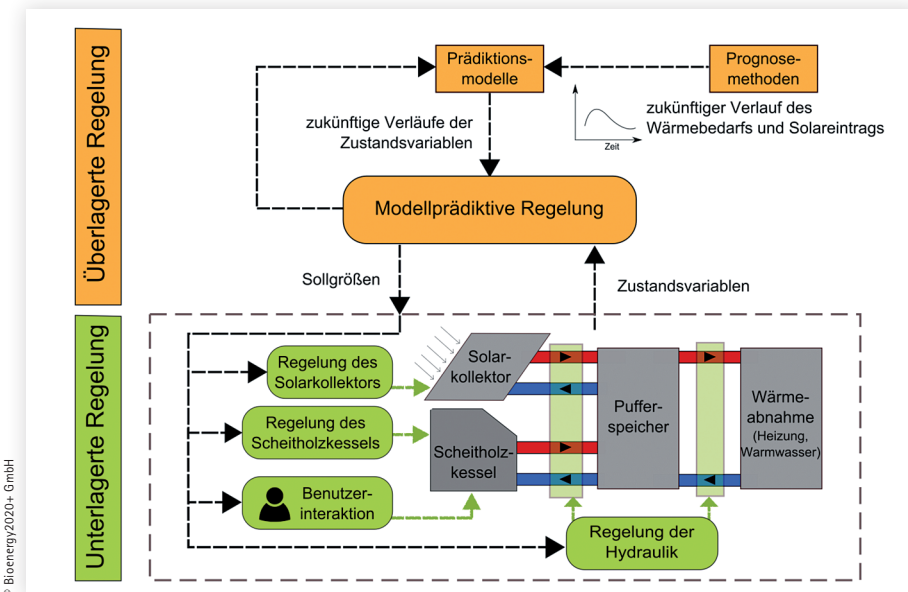


Abb. 9: Modellansatz Scheitholz

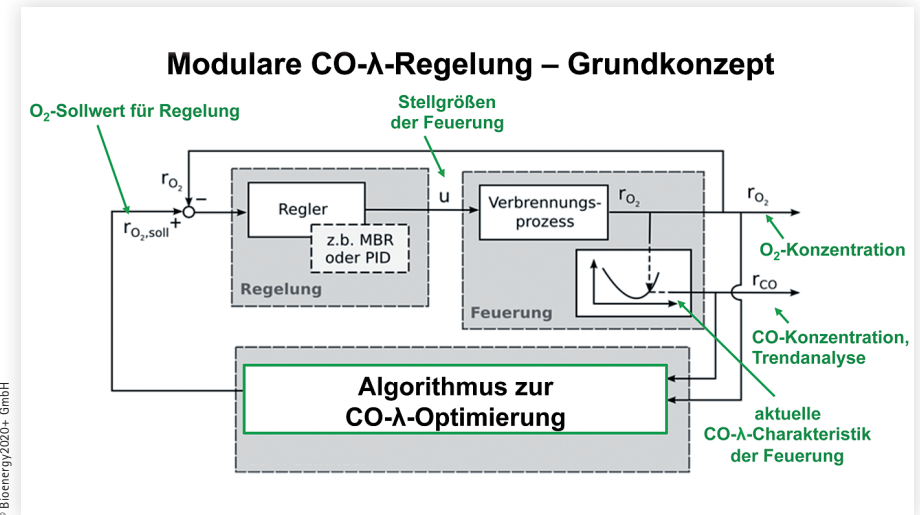


Abb. 10: Prinzipschema modellbasierte modulare CO-λ-Regelung

Zusammenfassung

Der Immissionsschutz kämpft schon seit Jahren mit einer Überalterung des Bestandes an Festbrennstofffeuerungen und damit verbunden mit deutlich überhöhten Emissionen aufgrund veralteter Technologie. Dies hat auch dazu geführt, dass den Holzfeuerungen generell ein schlechtes Image anhaftet, da vor allem aufgrund des Altbestandes ein wesentlicher Teil der Immissionen – vor allem Feinstaub – den Holzfeuerungen zugeordnet wird. Neue emissionsarme Feuerungen und Heizungen werden noch immer mit alten Technologien zusammen in den gleichen Topf geworfen. Moderne Heizkessel weisen bereits geringe Emissionen auf und werden auch zukünftige Anforderungen an Emissionsgrenzwerte bei Heizungsanlagen erfüllen.

Vier erfolgsversprechende technologische Ansätze österreichischer Firmen zu einer weiteren Reduktion der Emissionen aus Biomassefeuerungen wurden vorgestellt. Die neuen Ansätze haben ein großes Potenzial – mehrere parallele Entwicklungen sind im Gange; einige Technologien haben bereits Serienreife erreicht und sind teilweise schon auf dem Markt verfügbar.

Die Entwicklungszeiten von mehreren Jahren sind generell zu lange, als dass diese Entwicklungen bereits als Reaktion auf die neuen Emissionsanforderungen der EU gesehen werden könnten. Die Entwicklung dieser emissionsarmen Technologien, speziell im Bereich von biogenen Festbrennstofffeuerungen, wurde vielmehr von einem Technologiewettbewerb der Hersteller und Anreizen durch Förderungen getrieben. Somit waren bei den hier vorgestellten Technologien die Initialgeber für ihre Entwicklung nicht die Ankündigung von Grenzwertverschärfungen, da die erforderliche Entwicklungsdauer deutlich länger als die Zeitspanne von der Ankündigung bis zur Gültigkeit von Grenzwerten ist. Erfreulich ist, dass die Entwicklungen trotz eines für

die Branche schwierigen wirtschaftlichen Umfelds durchgeführt wurden. Die Verfügbarkeit neuer Technologien bedeutet aber nicht, dass das Problem für den Immissionsschutz gelöst ist. Dazu müssen neue Technologien in der Lage sein, die Bestandsanlagen auf breiter Front zu ersetzen.

Neue Technologien müssen auch den Markteintritt noch erfolgreich überstehen und sich im kommerziellen Wettbewerb bewähren. Die Geschwindigkeit der Marktdurchdringung hängt von der Akzeptanz auf dem Markt ab. Für eine rasche Marktdurchdringung ist es auch erforderlich, dass eine neue Technologie von mehreren Herstellern angeboten wird. Die derzeitigen Rahmenbedingungen begünstigen eine rasche Marktdurchdringung allerdings nicht; daher werden neue Technologien erst in einigen Jahren einen deutlich spürbaren Beitrag leisten können.

Die Kesselbranche leidet derzeit unter einem sinkenden Markt. Der Kesseltausch stagniert; damit verringern sich auch die Budgets, die in eine Weiterentwicklung der Technologie investiert werden können. Der Fortschritt in der technischen Entwicklung und der Emissionsreduktion bei Biomasseheizungen und -feuerungsanlagen wird künftig sehr stark von der Marktentwicklung abhängen, da nur mit entsprechend hohen Stückzahlen eine technologische Weiterentwicklung finanziert werden und ein Ersatz des Bestandes durch neue emissionsarme Technologien erfolgen können.

Es bedarf daher gemeinsamer Überlegungen und Anstrengungen der Stakeholder für Begleitmaßnahmen, um eine raschere Marktdurchdringung mit emissionsarmen Technologien zur Verbrennung von Biomasse zu erzielen. ■

Dr. Alexander Weissinger
Areamanager Biomasse-Verbrennungssysteme,
Bioenergy 2020+ GmbH

