

Ratgeber zum richtigen Schüren des Kaminfeuers

Zoltán Faragó
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
DLR_School_Lab Lampoldshausen / Stuttgart
74239 Hardthausen

In dieser Arbeit ist die Kunst der Feuerung so einfach wie möglich dargestellt. Zum Verstehen ist keine höhere Schulbildung notwendig, lediglich die Bereitschaft, sich mit den behandelten Fragen inhaltlich auseinanderzusetzen. Der Ofen, der Schornstein, der Geldbeutel und die Umwelt werden es danken: Bei richtigem Schüren des Feuers entstehen weniger Schadstoffe, und für die Heizung wird weniger Holz benötigt.

Flammenbetrachtung durch die Spektralbrille



Bild 1: Wird eine Flamme durch eine Spektralbrille (Regenbogenbrille) betrachtet, erscheint sie in den Regenbogenfarben. Die rechten Hälften der Bilder 7 bis 11 zeigen die Flamme durch die Spektralbrille. Die Farbzusammenstellung verrät die Flammentemperatur, die Intensität der Farben zeigt die Neigung der Flamme zur Rußbildung an. Wenn die Spektralfarben viel Rot und wenig Grün enthalten (Bild 10), ist die Flamme kälter als 1100 °C. Erscheint genau so viel Grün wie Rot, ist die Flamme etwa 1200 °C (Bilder 7 bis 9). Tritt auch die blaue Farbe auf, so ist die Flamme etwa 1250 °C heiß, wie bei der hier gezeigten Kerzenflamme. Werden durch die Spektralbrille nur Pastellfarben gezeigt, vorwiegend gelb, eventuell violett (Bilder 10 und 11), so bildet sich kein Ruß in der Flamme. Die gelbe Farbe wird durch Natrium, die violette durch Kalium verursacht. Natrium und Kalium sind Bestandteile der Holzasche. Eine Spektralbrille kann für 1 - 2 € unter anderem in verschiedenen Online-Shops erworben werden (Suchwörter: „Spektralbrille“, „Regenbogenbrille“, „Spektralfolie“ usw.).

Verbrennungsluftbedarf, Luftzahl, Wirkungsgrad und Nutzungsgrad

Die Holzverbrennung ist eine Oxidation des Holzes mit dem Sauerstoff der Luft. Die Verbrennungsprodukte sind Kohlendioxid, Wasserdampf und Wärme. Die zur vollständigen Verbrennung unbedingt notwendige Luftmenge bezeichnet man auch als theoretischen Luftbedarf oder **Mindestluftbedarf** (L_{min}) der Verbrennung.

Wird weniger Luft als L_{min} der Verbrennung zugeführt, verläuft die Verbrennung nicht vollständig: Es bleiben im Abgas unverbrannte Bestandteile (Schadstoffe wie Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Ruß usw.) erhalten und der Wirkungsgrad (Nutzwärme/Verbrennungswärme) sinkt. Um das zu vermeiden, muss die in den Feuerraum zugeführte Luftmenge (L) höher als L_{min} sein.

Die **Luftzahl** (λ) ist das Verhältnis der zur Verbrennung tatsächlich zugeführten Luftmenge L zum Mindestluftbedarf ($\lambda = L / L_{min}$). Das Symbol der Luftzahl ist der griechische Buchstabe λ . Wenn λ zu groß ist, verläuft die Verbrennung ebenfalls nicht vollständig: Zu viel überschüssige Luft kühlt die Flamme aus, so dass in der kalten Flamme die Verbrennung unvollständig ist. Auch in diesem Fall entstehen unverbrannte Abgasbestandteile, und ebenso sinkt der Wirkungsgrad.

Es gibt eine optimale Luftzahl, bei der die Schadstoffbildung am niedrigsten und der Wirkungsgrad am höchsten ist. Bei Stückholzfeuerung liegt sie zwischen $1,5 < \lambda < 3$. Beim richtigen Schüren des Feuers kann also die Schadstoffbildung reduziert und der Wirkungsgrad erhöht werden. Wer die Zusammenhänge kennt, hat einen saubereren Ofen, einen saubereren Schornstein und spart Holz.

Die **Mindestabgasmenge** ($A_{tr, min}$) ist das Abgasvolumen, das entstände, wenn die Verbrennung beim Mindestluftbedarf vollständig verlief. Die tatsächliche Abgasmenge ist größer, da der Luftüberschuss der Verbrennung die Abgasmenge vergrößert. Die Hauptbestandteile des Abgases sind Stickstoff, Kohlendioxid, Wasserdampf und Sauerstoff. Für die Messung wird das Abgas gekühlt, der Dampf kondensiert zu Wasser, und es entsteht das **trockene Abgas**. Bei der Abgasverdünnung durch den Luftüberschuss ist die im Abgas gemessene Schadstoffkonzentration niedriger als es bei unverdünntem Abgas wäre. Die im verdünnten Abgas gemessene Schadstoffkonzentration wird zur Vergleichbarkeit auf das trockene **unverdünnte Abgas** umgerechnet.

Der **Wirkungsgrad** (η) des Ofens gibt an, wie viel Prozent der Verbrennungswärme genutzt werden kann. Die nicht nutzbare Wärme verlässt den Ofen durch den Schornstein. Der Schornsteinverlust besteht teils aus der fühlbaren Abgaswärme, teils aus dem chemischen Verlust - das ist die Heizwärme der nicht verbrannten Abgasbestandteile. Während des Abbrandes ändern sich ständig die Luftzahl und der Wirkungsgrad der Verbrennung. Der thermische Verlust ist am Anfang am niedrigsten (ca. 10 %), am Ende des Abbrandes mit 30 – 50 % am höchsten, im ungünstigen Fall über 100 %! Ein „**negativer Wirkungsgrad**“ entsteht, wenn mehr Wärme durch den Schornstein entweicht als bei der Verbrennung entsteht. Der chemische Verlust ist am Anfang des Abbrandes weniger als 1 %, am Ende kann er 10 % übersteigen. Bei Luftmangel oder zu wenig Luftüberschuss kann der chemische Verlust während des gesamten Abbrandes 10 % übersteigen. Über den Brennstoffverbrauch entscheidet jedoch nicht der Wirkungsgrad, sondern der **Jahresnutzungsgrad**. Dieser berücksichtigt die sogenannten Bereitschafts- und Stillstandverluste der Heizungsanlage. Der Jahresnutzungsgrad einer Holz-Zentralheizung liegt im Bereich von 50 – 70 %. Speicheröfen haben wiederum nur dann Stillstandsverluste, wenn nach der Feuerung die Ofentür nicht luftdicht geschlossen wird oder zu spät geschlossen wird. In diesem Fall entsteht der negative Wirkungsgrad, und der Jahresnutzungsgrad sinkt.

Bei der Feuerung sollen sowohl zu niedrige als auch zu hohe Luftzahlen vermieden werden. Ob die Luftzahl zu niedrig, zu hoch oder gerade richtig ist, verrät das Flammenbild.

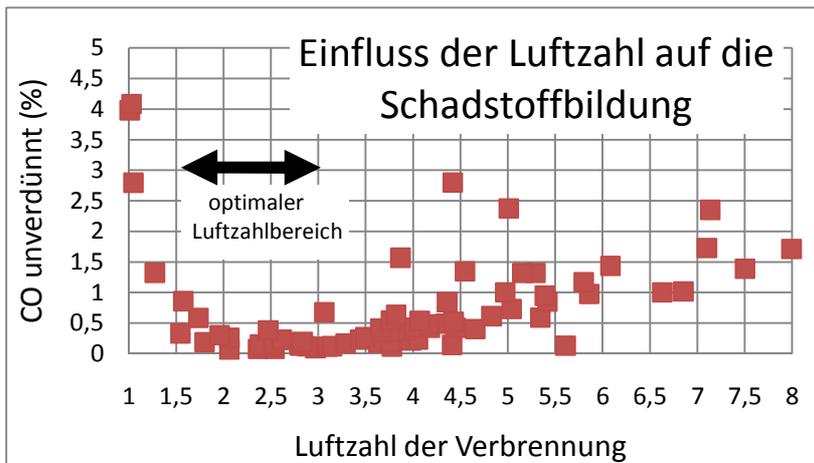


Bild 2: Bei zu niedriger Luftzahl (in diesem Beispiel $\lambda < 1,5$) steigt der Kohlenmonoxidgehalt im Abgas stark an: Die Luft reicht nicht für eine vollständige Verbrennung. Bei zu hoher Luftzahl (in diesem Beispiel $\lambda > 3$) steigt ebenfalls der CO-Gehalt: Der hohe Luftüberschuss kühlt die Flamme aus, und die niedrige Flammentemperatur verhindert die vollständige

Verbrennung. Zu hohe CO-Konzentration ist schlecht für die Umwelt (Kohlenmonoxid ist hochgiftig), erhöht die chemischen Abgasverluste und senkt den Wirkungsgrad des Kaminofens.

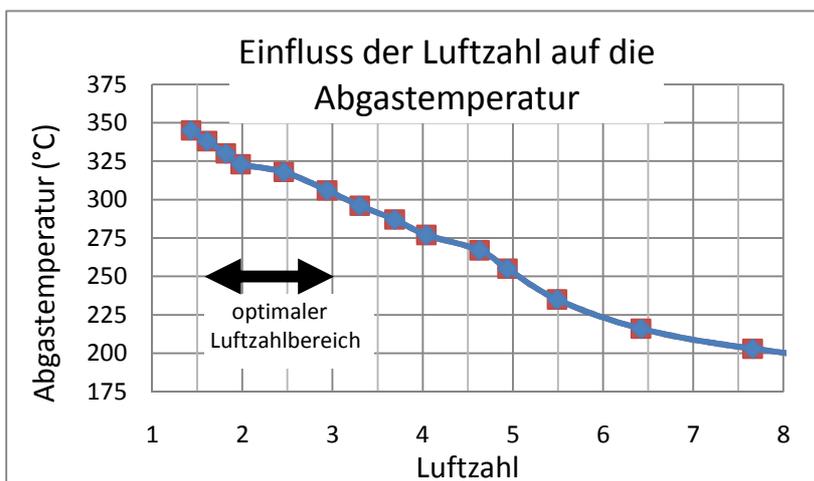


Bild 3: Bei zu hoher Luftzahl sinkt die Abgastemperatur, da die überschüssige Luft die Flamme und das Abgas auskühlt. Mit steigendem Luftüberschuss steigt die Abgasmenge. Dadurch steigt trotz sinkender Abgastemperatur der thermische Abgasverlust, es sinkt somit der Wirkungsgrad. Eine Halbierung des Wirkungsgrades verdoppelt den Holzverbrauch.

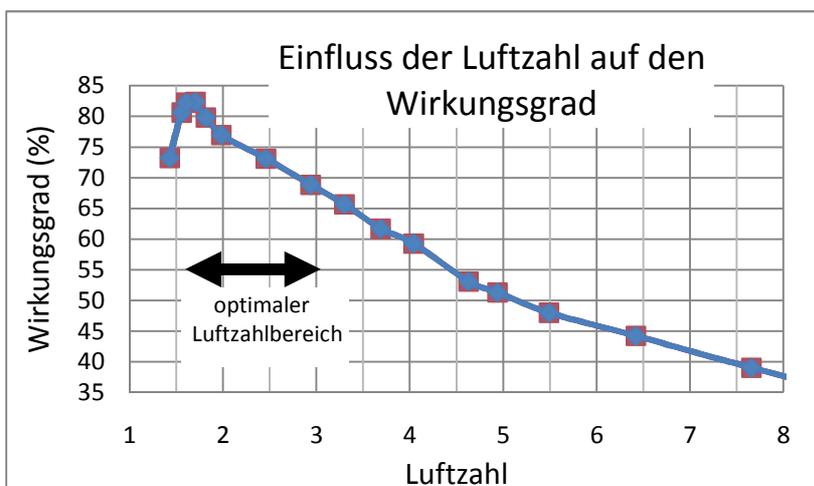


Bild 4: Bei zu niedriger Luftzahl sinkt der Wirkungsgrad infolge der nicht genutzten chemischen Energie der unverbrannten Gasbestandteile. Bei zu hoher Luftzahl sinkt der Wirkungsgrad teils, weil der Abgasmassenstrom und dadurch die thermischen Verluste zu hoch sind, teils weil die chemischen Verluste infolge der schlechten Verbrennung ebenfalls zunehmen.

Bei Luftzahlen über 15 steigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Wirkungsgrad negativ wird. Dies ist vorwiegend der Fall, wenn die Glut ohne Flamme verbrennt bzw. wenn die Ofentür zu spät oder nicht dicht geschlossen wird.

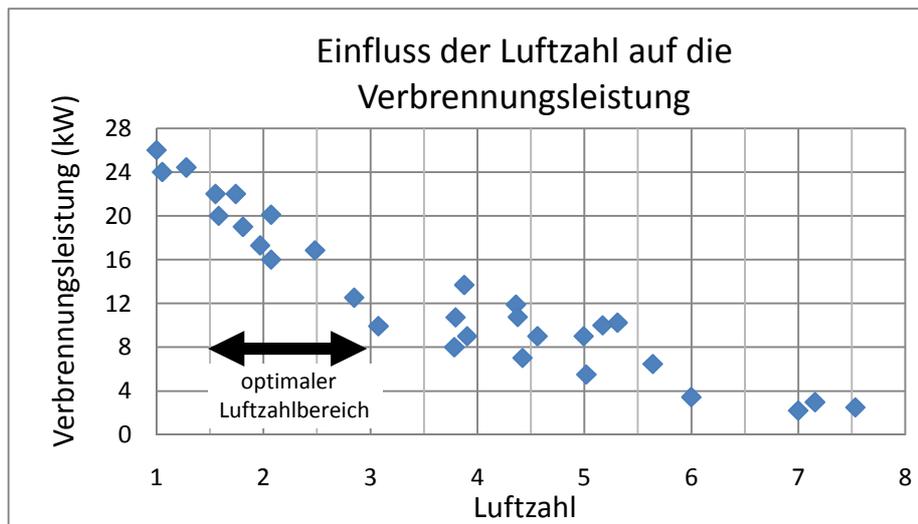


Bild 5 zeigt den Zusammenhang zwischen der Luftzahl und der augenblicklichen Verbrennungsleistung. Diese schwankt während des Abbrandes. In der Regel ist die Feuerungsleistung umgekehrt proportional zur Luftzahl: Bei niedriger Luftzahl ist die Leistung hoch, bei hoher ist sie niedrig.

Eine niedrige Feuerungsleistung ist besser im Einklang mit dem Heizwärmebedarf des Aufstellraumes als eine große – es sei denn, die Wärmefreisetzung bei der Verbrennung und die Wärmeabgabe des Ofens sind durch die hohe Speicherkapazität eines Kachel- oder Specksteinofens voneinander entkoppelt. Doch ist die Verminderung der Feuerungsleistung in den meisten Fällen teuer erkaufte: sie ist verbunden mit einer zu hohen Luftzahl, mit einem „kalten“ Feuerraum und einer „kalten“ Flamme, mit Anstieg von Ruß und Kohlenmonoxid, mit fallendem Wirkungsgrad, mit Geruchsbildung und mit zu hohem Holzverbrauch. Die gleichen Nachteile entstehen, wenn die flammenlose Glutphase der Verbrennung zeitlich zu stark ausgedehnt wird, um die nächste Anfeuerung zu erleichtern.

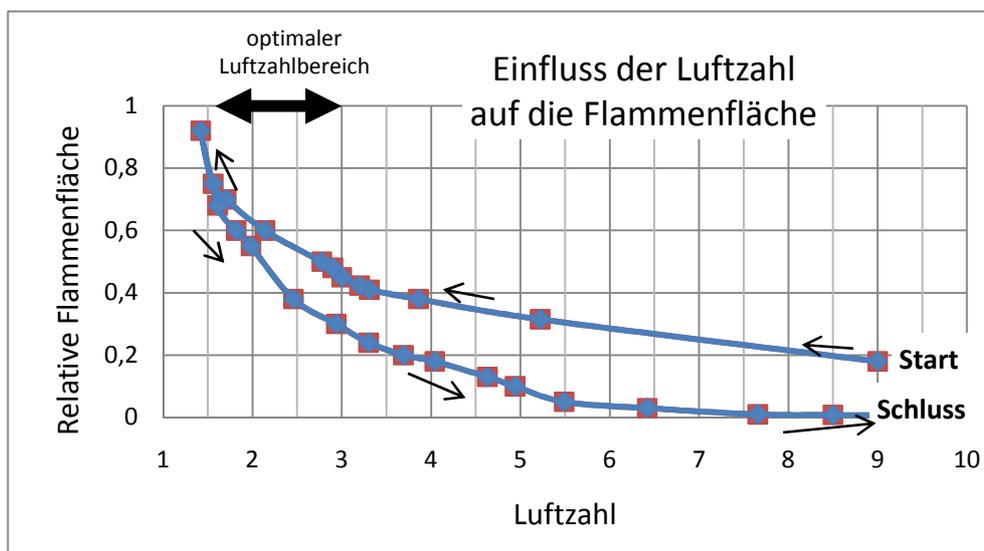


Bild 6: Beim Zünden des Feuers ist die Luftzahl groß, die Flammenfläche ist klein. Mit zunehmender Zeit sinkt die Luftzahl und die Flammenfläche vergrößert sich. Zum Zeitpunkt der größten Flammenfläche ist die Luftzahl am niedrigsten. Bei abnehmender Flammenfläche steigt die Luftzahl wieder an. Die „relative Flammenfläche“ ist das Verhältnis der sichtbaren Flammenfläche zur Fläche der Glas-scheibe an der Ofentür.

Aus der Flamme lesen

In der Regel betreibt der Nutzer einen Kaminofen nach der Betriebsanweisung des Herstellers. Ob aber bei der Feuerung das Drosseln der Luftzufuhr den Wirkungsgrad verbessert oder verschlechtert, den Schadstoffausstoß reduziert oder fördert, hängt unter anderem vom momentanen Schornsteinzug ab. Dieser ist wiederum wind- und wetterabhängig. Die Betriebsanweisung hilft in vielen Fällen nicht weiter. Aus diesem Grund werden handbeschickte Stückholzfeuerungsanlagen oft nicht unter optimalen Bedingungen betrieben und verursachen eine hohe Emission von Kohlenmonoxid und Ruß (Feinstaub). Aus Form, Farbe und Größe der Flamme ist zwar vieles ablesbar, aber nur wenige Menschen können aus der Flamme lesen, d.h. die Flammenbilder richtig deuten.

Eine große Flammenfläche ist erstrebenswert, da sie meistens zu einer kleinen Luftzahl, zu einer geringen Schadstoffbildung und zu einem hohen Wirkungsgrad führt. Eine zu niedrige Luftzahl ist jedoch ebenfalls zu vermeiden, denn sie erhöht die Schadstoffbildung und senkt den Wirkungsgrad. Ist die Luftzahl zu niedrig, so wird die Flamme dunkelrot und weist dunkle Flecken auf (Bild 7). Ist die Luftzahl zu hoch, so verkleinert sich die Flammenfläche (Bild 11).



Bild 7: Luftzahl zu niedrig ($\lambda \approx 1,2$): rötliche Flammenfärbung, viele dunkle Flächen in der Flamme, starke Rußbildung, Rußbeschlag an der Feuerraumwand, grauer Schornsteinrauch, hohe CO-Konzentration, jedoch mittlerer bis hoher Wirkungsgrad.



Bild 8: Die untere Grenze ($\lambda \approx 1,5$) im optimalen Luftzahlbereich. Schön leuchtende, goldgelbe Flamme. Mittlere bis hohe Rußbildung, niedrige bis mittlere CO-Bildung, hoher Wirkungsgrad.



Bild 9: Optimale Luftzahl ($\lambda \approx 2$). Halbtransparente, goldgelbe Flamme. Geringe Rußbildung, niedrige bis mittlere CO-Bildung, mittlerer bis hoher Wirkungsgrad.



Bild 10: Die obere Grenze im optimalen Luftzahlbereich ($\lambda \approx 3$). Kaum Rußbildung, mittlere bis hohe CO-Bildung, mäßiger bis mittlerer Wirkungsgrad. Mit Stochern kann die Luftzahl reduziert und der Wirkungsgrad erhöht werden. Holz kann nachgelegt werden.



Bild 11: Luftzahl viel zu hoch ($\lambda \approx 5$). Keine Rußbildung, über 1 % CO im unverdünnten Abgas, Wirkungsgrad unter 50 %. Entweder sollte Holz nachgelegt werden, oder Primärluft gedrosselt und Sekundärluft geschlossen werden, um in wenigen Minuten die Feuerung zu beenden.

Richtiges Schüren des Kaminfeuers

Das richtige Schüren wird durch die richtige Scheitholzgröße erleichtert. Die Kantenbreite liegt optimal im Bereich 3 bis 7 cm, wie im folgenden Bild gezeigt.



Bild 12: Das gespaltene Holz sollte aus einer Mischung aus kleineren und größeren Stücken bestehen. Die Scheitholzlänge sollte die Feuerraumbreite oder Feuerraumtiefe möglichst um 10 cm unterschreiten, um das Holz so im Ofen stapeln zu können, dass zwischen Brennstoff und Feuerraumwand ein Spalt von 5 cm entsteht. Das Holz rußt deutlich stärker, wenn es die Feuerraumwand berührt.

Kurz nach Anzünden wächst die Flamme schnell, und die Luftzahl nimmt ab. Wenn dabei ein Flammenbild entsteht wie in den Bildern 7 und 8 gezeigt, wurde zu viel Holz in den Ofen gelegt. In diesem Fall sollte kurzzeitig die Tür zum Aschenkasten geöffnet werden. Optimal ist, wenn die größte Flammenfläche dem Bild 9 ähnelt. Wenn das Flammenbild am Ende des Abbrandes den Bildern 10 und 11 ähnelt, kann ein wenig Holz nachgelegt werden. Durch Stochern und Schüren kann man erreichen, dass das Flammenbild immer zwischen den Bildern 8 und 10 liegt. Das Flammenbild 11 darf nur kurzzeitig vor dem Ende der Feuerung auftreten. In der Endphase der Feuerung soll durch Stochern und Drosseln der Luftzufuhr eine maximale Flammengröße angestrebt werden. Wenn das Glühen der Glut abnimmt, soll die Luftzufuhr ganz geschlossen werden.



Bild 13: Die Methode „Anfeuern ohne Rauch“ wurde vor wenigen Jahren in der Schweiz entwickelt und ermöglicht eine deutliche Schadstoffreduzierung bei Stückholzfeuerungen. Die großen Holzstücke werden unten aufgelegt, oben die kleinen. Das Feuer wird mit einem Zündwürfel oben angefacht. Suchwörter wie „Richtig Anfeuern“, „Neue Anfeuerungsmethode“, „Anfeuern ohne Rauch“ etc. in einer Internet-Suchmaschine führen zu weiteren Informationen zur schadstoffarmen Zündung des Kaminfeuers.

Zusammenfassung

Die Qualität der Feuerung ist auch bei unterschiedlichen Kaminöfen anhand des Flammenbildes erkennbar. Große Flammenfläche bedeutet niedrige Luftzahl. Rote Flamme und dunkle Flammenflächen deuten auf Rußbildung und hohe CO-Konzentration. Halbtransparente, große, gelbe Flamme weist auf den optimalen Luftzahlbereich, auf hohen Wirkungsgrad und niedrige Schadstoffbildung hin. Kleine Flammenfläche zeigt niedrigen Wirkungsgrad und hohe CO-Bildung an. Verrußte Feuerwand bedeutet starke Ruß- und CO-Bildung. Alle Untersuchungen zeigen eine ähnliche Korrelation zwischen Flammenbild und feuerungstechnischen Parametern.

Anhang

Für diese Arbeit wurden drei Kaminöfen vermessen, gleichzeitig wurde im Minutentakt die Flamme fotografiert. Folgende Öfen wurden untersucht:

1) Wamsler	KF 108	Feuerungsleistung 6,5 kW	13 Messungen
2) Tulikivi	TU1000	Feuerungsleistung 12 kW	19 Messungen
3) Koppe	KK 190 A	Feuerungsleistung 10 kW	2 Messungen

Der Wamsler Ofen wurde am wärmetechnischen Prüfstand der Hochschule Esslingen vermessen. Der Schornsteinzug betrug 0,1 mbar. Variiert wurden Scheitholzgröße und Holzmenge [1-3]. Die anderen Öfen sind in Einfamilienhäusern aufgestellt; hier variierte der Schornsteinzug je nach Wetter im Bereich $0,04 \text{ mbar} < p < 0,35 \text{ mbar}$ und die Außentemperatur zwischen $-5 \text{ °C} < T < +15 \text{ °C}$. Die Ermittlung des Wirkungsgrades erfolgte nach dem Vorschlag von Good und Nussbaumer [4]. Für die Ermittlung der relativen Flammenfläche in Bild 6 wurde ein Hilfsgitter konstruiert, die Flammenfläche in den einzelnen Maschen abgeschätzt und zusammengezählt. Detaillierte Hinweise zum theoretischen Hintergrund und zu den angewandten Mess- und Auswertemethoden finden sich in [1, 2, 3 und 5]. Das Abgas wurde mit einem **rbr-ecom-J2KN-IB** Abgascomputer untersucht.

Literatur

- [1] Zoltán Faragó: Richtiges Schüren des Kaminfeuers durch Flammenbetrachtung; **gi – Gesundheitsingenieur** 05/2010, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2010
- [2] Stephanos Apostolopoulos, Christoph Bender: Benutzerfreundliche Diagnosemethoden für Stückholzfeuerungen; Bachelorarbeit SS 2010, Hochschule Esslingen, Esslingen, 2010
- [3] Zoltán Faragó: Heizen mit Holz – aber richtig; (wird veröffentlicht) VU-Berichte der Hochschule Esslingen, Nr. 27/2011
- [4] Jörgen Good, Thomas Nussbaumer: Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen. Publication Number: 195423, Program: Biomass & Wood Energy, Project: 910017, Seite 37, Swiss Federal Office of Energy, 2000
- [5] <http://www.farago.info/job/drittevorlesung1.html>