

Die gleichbleibenden Druckbedingungen in der Abgasstrecke sind eine wesentliche Voraussetzung, um optimale Verbrennungsergebnisse zu erzielen. Hilfreich hierfür sind selbsttätige Nebenluftvorrichtungen, auch bekannt als Zugbegrenzer. Welche Auswirkungen diese Zugbegrenzer auf die Wirtschaftlichkeit von Pelletsheizungen haben, wurde von Prof. Rudolf Rawe und Hermann Kuhrmann an der Fachhochschule Gelsenkirchen untersucht.

**S**chornsteine bzw. Abgasanlagen müssen so beschaffen sein, daß die Rauchgase sicher abgeführt werden und genügend Verbrennungsluft zur Feuerstätte nachströmen kann. Das wird bei Wärmeerzeugern mit Zugbedarf bei einem bestimmten, für das Gerät charakteristischen Unterdruck am Abgasstutzen erreicht, dem sogenannten notwendigen Förderdruck. Erhöht sich dieser Auftrieb über Gebühr, steigen i. d. R. die Abgas- und Bereitschaftsverluste an, der Wirkungs- bzw. Nutzungsgrad der Feuerung verschlechtert sich und der Energieverbrauch steigt.

## Zugbegrenzer und Holzpelletskessel

Diese witterungsbedingte Erhöhung des Unter- bzw. Differenzdrucks am Kesselstutzen kann durch selbsttätige Nebenluftvorrichtungen – besser bekannt als Zugbegrenzer – vermieden werden. Selbsttätige Nebenluftvorrichtungen werden nach DIN 4795 geprüft und zugelassen. Die Norm behandelt die sicherheitstechnischen Anforderungen in bezug auf Aufbau, Funktion und Regelverhalten. Die Arbeitsweise der Geräte ist einfach: Der Zugbegrenzer gibt in Abhängigkeit von der Druckdifferenz am Kesselstutzen eine Öffnung in der Abgasanlage frei. Durch die so kontrolliert einströmende Nebenluft wird der Auftrieb in der Abgasanlage (Schornsteinzug), unabhängig von Witterungseinflüssen, konstant gehalten. Die gleichbleibenden Druckbedingungen in der Abgasstrecke sind eine wesentliche Voraussetzung, um optimale Verbrennungsergebnisse zu erzielen. Der Einfluß dieser Produkte ist für Erdgas- und Heizölfeuerungen in den zurückliegenden

## Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

# Zugbegrenzer für Pelletsheizungen



Bild 1 Zugbegrenzer nach DIN 4795 (Kutzner + Weber, Typ Z 180)

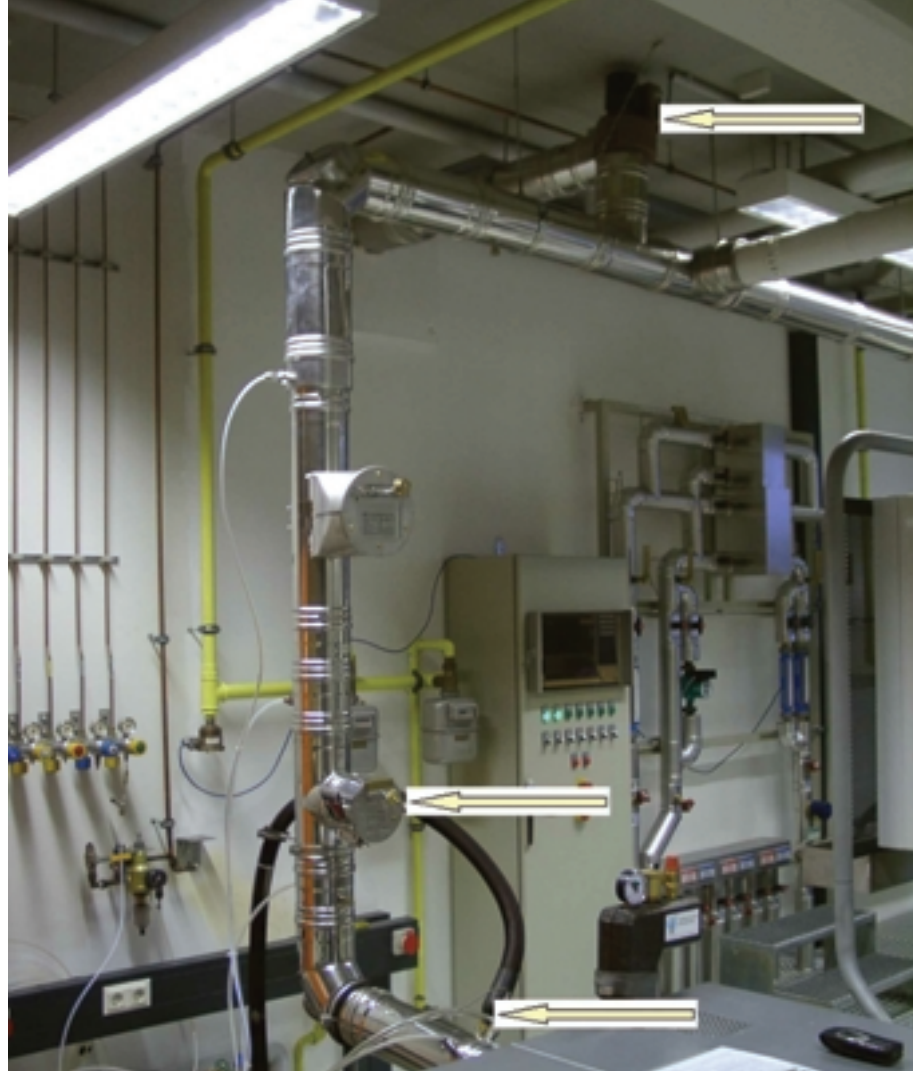
Prinzip	Variante	Typ	Schema
Quereinschubfeuerung (mit Schnecken oder Kolben)	als Rostfeuerung	starrer Rost (z. T. mit Ascheräumer oder Kipprost)	
		bewegter Rost (Vorschubrost)	
	als Schubbodenfeuerung (ohne Rost)	mit Wasserkühlung unter dem Glutbett, (z. T. manuelle Entaschung, kein Schieber)	
		ohne Wasserkühlung unter dem Glutbett	
Abwurf-feuerung	mit Rost	Kipprostfeuerung	
		Schalenbrenner	
	ohne Rost	Tunnelbrenner	

Bild 2 Systematik der Feuerungsprinzipien automatisch beschickter Kleinanlagen (nach Hartmann, Landtechnik Weihenstephan )

Jahren, insbesondere bei Erdgasbrennern ohne Gebläse, intensiv erforscht worden. Wirkungsweise und Wirtschaftlichkeitsdaten der Nebenluftvorrichtungen sind daher für diese Heizkessel-Gruppe bekannt. Da Feuerstätten zur Verbrennung sogenannter Holzpellets erst in den letzten Jahren vermehrt auf den Markt gekommen sind, wurden nun auch Zugbegrenzer für diese Variante untersucht. Den Auftrag hierzu erhielt das Labor für Immissionsschutz an der Fachhochschule Gelsenkirchen von Kutzner + Weber, einem der führenden Hersteller von abgastechnischen Produkten.

### Versuchsaufbau mit zwei Brennersystemen

Genau wie andere Feuerstätten besteht ein Pelletskessel aus einem Brenner, einer Brennkammer, einem Wärmetauscher und der Steuerung. Zusätzlich ist ein Fördersystem und eventuell ein Zwischenbehälter für den Brennstoff nötig. Die Holzpreßlinge gelangen auf unterschiedlichen Wegen – je nach Hersteller – in das Glutbett des Brennraums. Zum einen kommen sie bedarfsgesteuert mittels Förderschnecke in einen Füllschacht, durch den die Holzpellets über eine Rutsche oder ein Rohr in den Brennertopf fallen. (Abwurf- bzw. Fallstufensystem). Zum anderen setzen einige Hersteller auch auf die Quereinschub- oder Unterschubfeuerung. Bei ihr wird der Brennstoff mit einer Schnecke von der Seite oder von unten in die Feuermulde transportiert. Bei beiden Systemen ist immer eine genau definierte Brennstoffmenge im Glutbett vorhanden. Primärluft wird direkt durch Luftdüsen in den Seitenwänden der Feuermulde eingeblasen. Da sich beide Systeme im praktischen Betrieb bewährt haben, wurde für den Versuchsaufbau ein Wärmeerzeuger mit Abwurf- bzw. Fallstufensystem und ein zweiter Kessel mit Unterschubfeuerung installiert. Darüber hinaus besitzt Kessel II neben dem drehzahlregelbarem Verbrennungsluftgebläse zusätzlich ein konstant arbeitendes Abgassaugzuggebläse, wohingegen Kessel I nur ein drehzahlregelbares Abgassaugzuggebläse aufweist. Die Feuerstätten hatten nach Herstellerangaben eine Nennleistung von 14,9 sowie 15 kW. Außerdem verfügten sie über eine vollautomatische Brennerschalenentastung und Heizflächenreinigung. Die hydraulische Einbindung, das Solltemperaturniveau und der Modulationsbereich von 100–30% war bei beiden Kesseln identisch. Die Feuerstätten wurden an eine Edelstahl-Abgasanlage angeschlossen, die mit einem externen Ab-



**Bild 3 Versuchsaufbau im Labor für Immissionsschutz an der FH Gelsenkirchen mit Feuerstätte, Meßöffnungen, Zugbegrenzer Abgassaugzuggebläse und Schornstein**

gasventilator versehen war. So konnten Differenzdrücke in der Abgasstrecke von 5 Pa bis etwa 100 Pa simuliert werden.

### Abgas- und Bereitschaftsverluste

Bei beiden Feuerstätten konnte ein deutlicher Anstieg des Abgasverlustes bei zunehmendem Unterdruck in der Abgasstrecke ermittelt werden. Bei Kessel I stieg der Abgasverlust von ca. 8 % bei 10 Pa auf ca. 12 % bei 90 Pa Unterdruck im Vollastbetrieb. Aufgrund der niedrigeren Abgastemperaturen tritt bei Teillast mit 7 % zunächst ein geringerer Abgasverlust bei 10 Pa auf. Er steigt mit zunehmenden Unterdruck jedoch überproportional an und überschreitet mit 19 % bei 90 Pa deutlich den Abgasverlust bei Vollast. Dies ist darauf zurückzuführen, daß im Teillastbereich verhältnismäßig viel Verbrennungsluft durch den Kessel gesaugt wird. Die starke Zugabhängigkeit konnte nahezu vollständig durch den Einsatz einer Nebenluftvorrichtung ausgeglichen werden. Bei Kessel II stellte sich der Abgasverlust im Teillastbetrieb generell höher als im Voll-

lastbetrieb dar. Die Abhängigkeit der Abgasverluste vom Schornsteinzug war im Teillastbereich nicht so ausgeprägt wie



**Bild 4 Brennstoffzuführung im Abwurfverfahren: Die Holzpellets gelangen über den Fallschacht in den Brennertopf**



**Bild 5** Bei der Unterschubfeuerung gelangen die Holzpellets von unten in die Feuermulde

beim Kessel I. Der Grund für den Anstieg des Abgasverlustes im Teillastbetrieb lag wahrscheinlich am Einfluß des Saugzuggebläses im Abgasstutzen, welches unabhängig von der momentanen Leistung des Kessels, mit konstanter Drehzahl arbeitet. Daraus ergab sich im Teillastbetrieb auch bei geringem Unterdruck ein hoher Luftüberschuß, der einen höheren Abgasverlust zur Folge hatte. Für die Bestimmung der Bereitschaftsverluste beider Kessel wurden je sechs Versuche gefahren. Dabei konnten durchschnittliche Unterdrücke von 12 Pa bis 67 Pa am Abgasstutzen gemessen werden. Während der Versuchsreihen herrschte eine Raumlufttemperatur von 22–26 °C. Die Feuerung von Kessel I setzte bei einer Kesselwassertemperatur von 70 °C ein und ging bei 82 °C in den Ausbrand. Da die restlichen Pellets in dem Brennertopf nach dem Abschalten noch brannten, erhöhte sich die Kesselwassertemperatur auf 88 °C. Dies führt zu einer durchschnittlichen Kesselwassertemperatur von 79 °C und damit zu einer Über-temperatur von 57 °C. Die derart ermittelten Bereitschaftsverluste werden nach DIN EN 304 auf die Sollüber-temperatur von 50 K bezogen.

Kessel II wies geringfügig höhere Bereitschaftsverluste auf. Allerdings war sein Eigenverbrauch deutlich geringer als bei Kessel I, da er in 24 Stunden nur ca. drei mal in Betrieb ging, wogegen Kessel I in derselben Zeit ca. 12 mal startete. Diese Startvorgänge benötigen jeweils eine große Strommenge, so daß der größere Eigenenergieverbrauch des Kessel I erklärt werden kann.

## Bestimmung der Normnutzungsgrade

Zur Bestimmung des Normnutzungsgrades bei unterschiedlichen Förderdrücken mußten vier Teillastnutzungsgrade in modulierender Betriebsweise (bei 30,3 %, 38,8 %, 47,6 % und 62,6 % Teillast) sowie ein Teillastnutzungsgrad in taktender Betriebsweise (Ein-Aus-Betrieb bei 12,8 % Teillast) ermittelt werden. Die Teillastnutzungsgrade bei modulierender Betriebsweise entsprechen den Kesselwirkungsgraden. Im jeweiligen Teillastbereich galt es demnach, neben dem schon beschriebenen Abgasverlust  $q_A$ , den Strahlungsverlust  $q_S$  sowie den Verlust durch unvollständige Verbrennung  $q_U$  zu bestimmen. Die Strahlungsverluste  $q_S$  und die Verluste durch unvollständige Verbrennung  $q_U$  konnten dem Prüfbericht des TÜV entnommen werden. Die angegebenen Werte für den Teil- und Vollastbetrieb sind linear für die vier Betriebspunkte ohne Taktbetrieb umgerechnet worden. Dabei unterstellte man, daß diese Verluste unabhängig vom Schornsteinzug sind. Für diese Betriebspunkte werden die Verlustanteile  $q_A$ ,  $q_S$  und  $q_U$  zur Summe der Verluste  $q$  aufaddiert. Der zugehörige Teillast-Kesselwirkungsgrad entspricht dem Teillast-Nutzungsgrad und errechnet sich aus  $1-q$ . Bereitschaftsverluste müssen bei diesen Betriebspunkten nicht eingerechnet werden, da die Kessel ja im Bereich von 30 bis 100 % modulieren. Für den Betriebspunkt im Ein-Aus-Betrieb bei 12,8 % Kesselbelastung sind in Abhängigkeit vom Unterdruck die Teillastnutzungsgrade mit Berücksichtigung der Bereitschaftsverluste errechnet worden. Damit ließ sich für jeden Unterdruck der

entsprechende Normnutzungsgrad berechnen. Aufgetragen über den Unterdruck ergab sich für Kessel I der in Bild 5 dargestellte Verlauf. Die Normnutzungsgrade lagen zwischen 76,7 % bei 60 Pa und 84,2 % bei 5 Pa Unterdruck.

## Brennstoffeinsparung und Amortisationsdauer

Mit Hilfe der Normnutzungsgrade kann die prozentuale Brennstoffeinsparung  $E_B$  mit nachfolgender Gleichung berechnet werden:

$$E_B = (1 - \eta_i / \eta_{10 \text{ Pa}}) \times 100$$

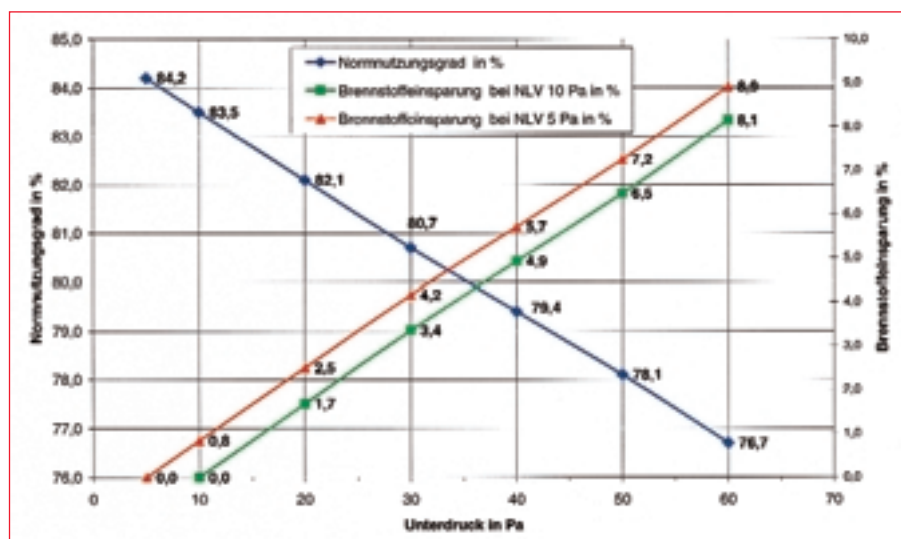
mit:

$E_B$  = Brennstoffeinsparung in %

$\eta_i$  = Normnutzungsgrad ohne Nebenluftvorrichtung

$\eta_{10 \text{ Pa}}$  = Normnutzungsgrad mit Nebenluftvorrichtung (auf 10 Pa eingestellt)

Bei diesen Berechnungen wird – durch Messungen abgesichert – davon ausgegangen, daß die eingebaute selbsttätige Nebenluftvorrichtung über den ganzen Bereich von 10 bis 60 Pa in der Lage ist, den Unterdruck konstant auf den eingestellten Wert von 10 Pa einzuregeln. Die Werte für die auf 5 Pa eingestellte Nebenluftvorrichtung wurden analog errechnet. Anhand Bild 5 ist zu erkennen, daß bis zu 8,9 % Brennstoff durch den Einsatz eines Zugbegrenzers eingespart werden kann. Außerdem wird deutlich, daß allein durch Änderung der Zugbegrenzeinstellung von 10 Pa auf 5 Pa eine zusätzliche Brennstoffersparnis von



**Bild 6** Normnutzungsgrad und Brennstoffeinsparung von Kessel I

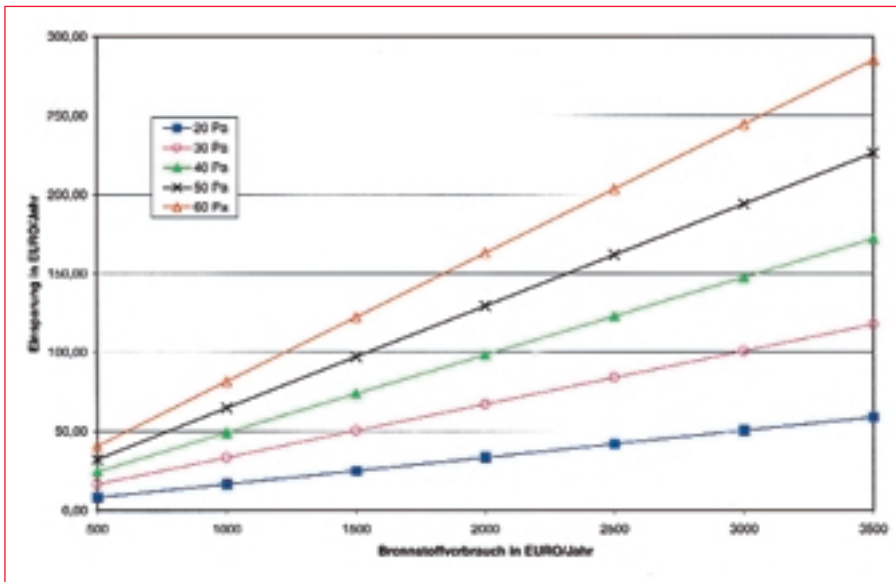


Bild 7 Brennstoffeinsparung Kessel I bei Einbau eines Zugbegrenzers (auf 10 Pa eingestellt)

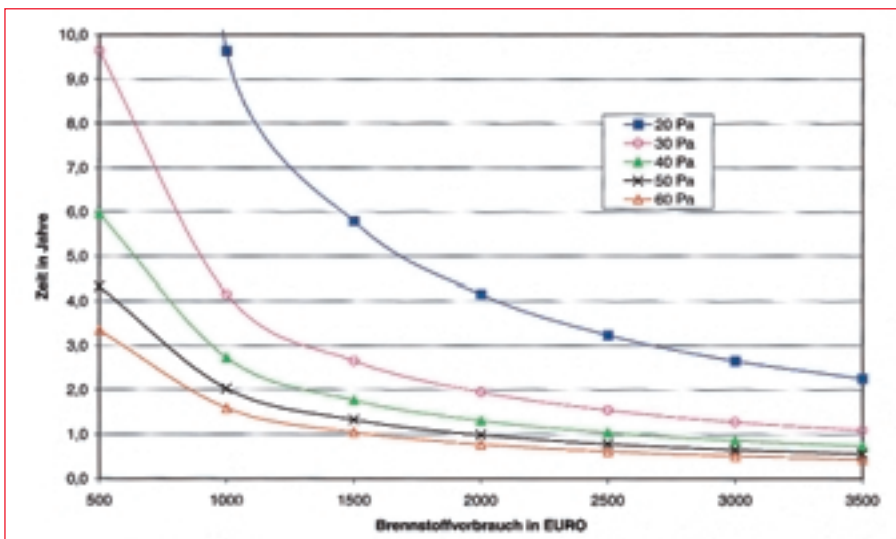


Bild 8 Amortisationszeiten bei Kessel I bei Einbau eines Zugbegrenzers (auf 10 Pa eingestellt)

ca. 0,8 % erreicht wird. Kessel II wies beim planmäßigen Förderdruck von 12 Pa einen Nutzungsgrad von 82,8 % auf. Aufgrund der geringeren Zugabhängigkeit nimmt der Nutzungsgrad mit steigendem Förderdruck weniger stark ab als bei Kessel I und erreicht bei 60 Pa noch 79 %. Das entspricht beim Einsatz eines Zugbegrenzers einer Brennstoffeinsparung von 4,3 %.

Die Amortisationsdauer  $T_A$  errechnet die Zeit von der Anschaffung bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Einsparung an Kosten die Anschaffungskosten und die Kosten für die Kapitalbeschaffung erreicht hat. Bei den Berechnungen kann ein beliebiger Zinssatz eingesetzt werden, je nachdem welche Kosten bei der jeweiligen Kapitalbeschaffung anfallen (Kontokorrentzins, Hypothekenzins, entgangener Zinsgewinn bei Eigenkapitaleinsatz usw.).

Die Amortisationsdauer  $T_A$  wird folgendermaßen berechnet:

$$T_A = \frac{\log \frac{e}{e - i \cdot A_0}}{\log (1 + i)}$$

Legende:

$e$  = die durch die Anschaffung jährlich eingesparten Kosten

$i$  = Kapitalbeschaffungszinssatz

$A_0$  = Anschaffungswert der Nebenluftvorrichtung

Den Berechnungen liegt ein Kapitalbeschaffungszinssatz von 6 % zugrunde.

Bei jährlichen Brennstoffkosten von 2000 Euro und einem Differenzdruck von ca. 30 Pa im Jahresdurchschnitt hat sich das eingesetzte Kapital für einen Zugbegrenzer, der 120 Euro inkl. Einbau und Mehrwertsteuer kostet, bei Kessel I nach ca. 2,0 Jahren bezahlt gemacht (Abb. 6).

Die Zeit läßt sich auf 1,7 Jahre reduzieren, wenn die Nebenluftvorrichtung auf 5 Pa eingestellt werden kann.

Bei Kessel II beträgt die Amortisationszeit bei den oben genannten Rahmenbedingungen hingegen ca. 4,2 Jahre. Ein Zeitraum, der angesichts der Lebensdauer von Zugbegrenzern (Kutzner + Weber gibt 15 Jahre an), interessant ist.

### Zugbegrenzer generell einsetzbar?

Die Bereitschaftsverluste der beiden Feuerstätten waren in der Untersuchung annähernd identisch. Die beiden Kessel zeigten aber ein unterschiedliches Verhalten hinsichtlich der Abgasverluste. Kessel I wies im Teillastbetrieb bei planmäßigem Förderdruck im Gegensatz zu Kessel II geringere Abgasverluste auf als bei Nennlast. Andererseits ist Kessel I wesentlich zugabhängiger als Kessel II, der neben dem drehzahlregelbaren Verbrennungsluftgebläse ein nicht regelbares Abgassaugzuggebläse aufweist. Kessel I besitzt dagegen nur ein drehzahlregelbares Abgassaugzuggebläse. Diese Zugabhängigkeit führte zu schlechteren Normnutzungsgraden bei hohen Unterdrücken. Der Einsatz eines Zugbegrenzers ist daher bei Kesseln dieser Bauart besonders lohnenswert. Die Investition amortisiert sich bei durchschnittlichen Unterdrücken (20–30 Pa) und mittleren Brennstoffkosten schon nach relativ kurzer Zeit (1,5–5 Jahre). Wäre eine 5 Pa-Einstellung des Zugbegrenzers zulässig, würde sich die Amortisationszeit weiter verkürzen.

Es bleibt festzuhalten, daß der Einbau einer Nebenluftvorrichtung für den schadstoffarmen und wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmeerzeugers zur Verbrennung von Holzpellets durchweg empfehlenswert ist. Zusammengefaßt haben die Untersuchungen folgende Auswirkungen deutlich gemacht:

- ruhigerer Abbrand
- niedrigere Emissionen
- geringere Abgasverluste

Aus diesen Gründen sollten Pelletsfeuerstätten generell mit Zugbegrenzern ausgestattet werden.



Günter Fischer

ist seit 25 Jahren beruflich im Bereich Abgastechnik aktiv. Bei Kutzner + Weber, 82216 Maisach, ist er verantwortlich für Vertrieb und Produktmanagement Telefon (0 81 41) 9 57-0, Telefax (0 81 41) 9 57-5 00, www.kutzner-weber.de