ETH zürich

ETH Library

Untersuchung der statistischen Schwankungen der Feuerraumstrahlung in Dampferzeugern

Doctoral Thesis

Author(s):
Juzi, Heinz

Publication date:
1970

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000087643

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. Nr. 4466

Untersuchung der statistischen Schwankungen der Feuerraumstrahlung in Dampferzeugern

ABHANDLUNG

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

HEINZ JUZI
dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 7. Dezember 1939
von Ermatingen (Kt. Thurgau) und Flawil (Kt. St. Gallen)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. P. Profos, Referent
Prof. Dr. W. Weinberg, Korreferent

Juris Druck + Verlag Zürich
1970

Wir fassen zusammen:

Dieses Anwendungsbeispiel hat gezeigt, dass es unter gewissen vereinfachenden Annahmen möglich ist, Aussagen über den Verlauf der Schwankungen des Luftfaktors in jenem Teil des Frequenzbereichs zu machen, welche mit den üblichen Rauchgasanalysengeräten nicht erfasst werden. Auf Grund dieser genaueren Angaben über den Verlauf der Luftüberschussschwankungen besteht nun grundsätzlich die Möglichkeit, den mittleren Luftfaktor der verlangten Betriebsweise anzupassen.

2.6.3. Anwendungsbeispiel

Der untersuchte Kessel ist wiederum identisch mit Anlage 3, welche in 2.4. beschrieben wurde. Die Grobanalyse der in dieser Anlage verfeuerten Rheinischen Rohbraunkohle lautet: $H_u = 1500$ kcal/kg ($H_{ur} = 1870$ kcal/kg), Aschengehalt 20 %, Wassergehalt 50 %. Bei diesem Brennstoff kommen laut Angaben der Betriebsleitung kurzfristig nur geringe Schwankungen des Heizwertes H_{ur} vor, dagegen sind Schwankungen des Aschengehalts im unteren Bereich des Frequenzbandes $0{,}05 < \omega < 5$ rad/sec möglich, da die Schlagradmühlen mit einer Zeitkonstante von 10 bis 20 sec diese Schwankungen nur teilweise zu dämpfen vermögen.

Es handelt sich also um eine Kohle mit sehr hohem Aschengehalt, sodass es zunächst fraglich ist, ob das Zusammenfassen der beiden Störgrössen M_B und A zulässig ist. Eine genauere Untersuchung dieses Sachverhaltes ist darum angezeigt, weil eine Veränderung des Aschengehalts wegen des Wärmespeichervermögens der Asche die Wärmeabgabe Q_B nicht in derselben Weise beeinflusst wie eine reine Brennstoffmengenstörung. Es muss deshalb untersucht werden, wie stark die Uebertragungsfunktion $G_{res}(s) = \overrightarrow{\Delta Q_B}^* / \overrightarrow{\Delta \lambda}^*$ für Störungen des Brennstoffmengenstroms (Rohkohle) M_B und des Aschenanteils A abweichen. Zu diesem Zweck sind die folgenden Uebertragungsfunktionen zu ermittelt, vgl. Abb. 26.2 :

$$G_1(s) = \frac{\overrightarrow{\Delta Q_B}^*}{\overrightarrow{\Delta M_B}^*} \quad , \qquad G_3(s) = \frac{\overrightarrow{\Delta Q_B}^*}{\Delta B^*}$$

$$G_2(s) = \frac{\overrightarrow{\Delta \lambda}^*}{\overrightarrow{\Delta M_B}^*} \quad , \qquad G_4(s) = \frac{\overrightarrow{\Delta \lambda}^*}{\Delta B^*}$$

Dabei ist B der Anteil der Reinkohle an der Gesamtkohlenmenge:

$$B = 1 - A \quad , \qquad B^* = \Delta B / B$$

Wir treffen die folgenden Annahmen:

- Massen- und Energiespeicherung in der Brennkammer sind vernachlässigbar
- In der Brennkammer herrscht völlige Durchmischung

- Die Zeitkonstante des Durchmischungsvorganges sei so klein, dass Störungen von M_B und B auf Q_B und λ verzögerungsfrei übertragen werden. In der Folge kann an Stelle der Frequenzgänge mit den entsprechenden statischen Uebertragungsfaktoren gerechnet werden.
- Die Aschentemperatur ist gleich der mittleren Temperatur der Rauchgase in der Brennkammer: $\vartheta_A = \vartheta_B$
- Für die spezifische Wärme der Asche wird angenommen: $\bar{c}_A = 0,3$ kcal/kg°C
- Die Verbrennungsluftmenge M_{Le}, der Heizwert H_{ur} und die Temperatur der Kohle ϑ_K am Eintritt in die Brenner seien konstant.

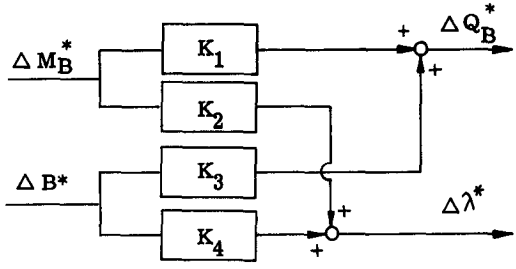

Abb. 26.2. Blockschaltbild der Brennkammer für die Störgrössen M_B

Zunächst sollen die statischen Uebertragungsfaktoren K_1 und K_3 ermittlet werden. Es gelten die folgenden Beziehungen zwischen den auftretenden Stoff- und Energieströmen:

Mengenbilanzen:

$$M_B + M_{Le} = M_R + (1 - B)\, M_B$$

$$M_R = M_B \cdot B + M_{Le}$$

$$\Delta M_R = M_B \cdot \Delta B + B \cdot \Delta M_B \qquad (26.10)$$

Energiebilanzen:

$$Q_F = Q_B + Q_R + Q_A$$

$$Q_F = M_B\, B\, H_{ur} + M_B\, c_B \vartheta_B + M_{Le}\, c_L\, \vartheta_L$$

$$Q_B = K_o(T_B^{\,4} - (\vartheta_w + 273)^4) \quad , \quad T_B = \vartheta_B + 273$$

$$Q_R = M_R\, c_R\, \vartheta_R = M_R\, c_R\, \vartheta_B = c_R(M_B \cdot B + M_{Le})\, \vartheta_B$$

$$Q_A = (1 - B)\, M_B\, c_A\, \vartheta_B$$

Für kleine Abweichungen vom Beharrungswert gilt:

$$\Delta Q_F = \Delta Q_B + \Delta Q_R + \Delta Q_A \tag{26.11}$$

$$\Delta Q_B = k_s \cdot \Delta\vartheta_B \quad , \quad k_s = K_o \cdot T_B^{\,3} \tag{26.12}$$

$$\Delta Q_R = c_R\, \vartheta_B\, \Delta M_R + M_R\, c_R\, \Delta\vartheta_B \tag{26.13}$$

mit (26.10)

$$\Delta Q_R = c_R\, \vartheta_B\, M_B \cdot \Delta B + c_R\, \vartheta_B \cdot B \cdot \Delta M_B + M_R\, c_R\, \Delta\vartheta_B \tag{26.13}$$

$$\Delta Q_A = (1 - B)\, c_A\, \vartheta_B\, \Delta M_B - M_B\, c_A\, \vartheta_B\, \Delta B + (1 - B)\, c_A\, M_B \cdot \Delta\vartheta_B \tag{26.14}$$

$$\Delta Q_F = M_B \cdot H_{ur} \cdot \Delta B + B\, H_{ur}\, \Delta M_B \tag{26.15}$$

(26.12), (26.13), (26.14) und (26.15) in (26.11) eingesetzt:

$$\left[H_{uR} \cdot B - c_R\, \vartheta_B \cdot B - (1 - B)\, c_A\, \vartheta_B\right] \cdot \Delta M_B + M_B \left[H_{ur} + c_A\, \vartheta_B - c_R\, \vartheta_B\right] \cdot \Delta B =$$

$$\left[1 + \frac{M_R\, c_R}{k_s} + \frac{(1 - B)\, c_A\, M_B}{k_s}\right] \cdot \Delta Q_B \tag{26.16}$$

Daraus folgt für die beiden gesuchten statischen Uebertragungsfaktoren K_1 und K_3:

$$K_1 = \frac{\left[H_{ur} \cdot B - c_R\, \vartheta_B \cdot B - (1 - B)\, c_A\, \vartheta_B\right] \cdot M_B}{\left[1 + \frac{M_R\, c_R}{k_s} + \frac{(1 - B)\, c_A \cdot M_B}{k_s}\right] \cdot Q_B} \tag{26.17}$$

$$K_3 = \frac{M_B \left[H_{ur} + c_A \vartheta_B - c_R \vartheta_B\right] \cdot B}{\left[1 + \frac{M_R c_R}{k_s} + \frac{(1-B)\, C_A \cdot M_B}{K_S}\right] Q_B} \qquad (26.18)$$

Wir stellen fest, dass für $c_A \rightarrow 0$, d.h. für verschwindend kleine Wärmespeicherung in der Asche, die beiden Ausdrücke (26.17) und (26.18) identisch sind. Beim Einsetzen der Zahlenwerte erhalten wir:

$$K_1 \Big|_{M_{Le} = \text{const}} = 1{,}38 \qquad \text{resp.} \qquad K_3 \Big|_{M_{Le} = \text{const}} = 1{,}76$$

Obwohl also die Veränderung der brennbaren Brennstoffmenge gemäss der Beziehung $\Delta M_{Bb}^* = \Delta B^* + \Delta M_B^*$ für gleichprozentige Störungen von B und M_B gleich gross ausfällt, sind die entsprechenden Störungen auf die Brennkammerwärmeabgabe Q_B verschieden. Wie zu erwarten war, liegt der Wert für K_3 etwas höher, weil bei einer Störung um $+\Delta B$ die absolute Aschenmenge sinkt, bei einer Störung um $+\Delta M_B$ dagegen ansteigt.

Für die statischen Uebertragungsfaktoren K_2 und K_4 erhalten wir:

$$M_{Lt} = \text{konst.} \cdot M_B \cdot B \qquad \text{solange } H_{ur} = \text{konstant}^{1)}$$

$$\Delta M_{Lt} = K\, M_B\, \Delta B + K\, B\, \Delta M_B$$

$$\Delta M_{Lt} / M_{Lt} = \Delta M_B / M_B + \Delta B / B \qquad (26.19)$$

Aus (26.19) folgt, dass K_2 und K_4 identisch sind.

Wenn wir anstelle von M_{Lt} den Luftfaktor λ einführen, erhalten wir:

$$\lambda = M_{Le} / M_{Lt} \qquad \text{daraus folgt:} \qquad \Delta\lambda / \lambda = -\, \Delta M_{Lt} / M_{Lt} \qquad (26.20)$$

Die gesuchten statischen Uebertragungsfaktoren K_{res} zwischen Q_B und λ bei konstanter Verbrennungsluftmenge lauten somit:

---

1) Im allgemeinen Fall ist M_{Lt} eine Funktion von M_B, B und den Gewichtsanteilen C, H_2, O_2 und S im Brennstoff.

Für Störungen des Brennstoffmengenstromes M_B:

$$K_{res_{M_B}}(Q_B, \lambda) = -\frac{K_2}{K_1} = -\frac{1}{1,38} = -0,725 \qquad (26.21)$$

Für Störungen des brennbaren Anteils B:

$$K_{res_B}(Q_B, \lambda) = -\frac{K_4}{K_3} = -\frac{1}{1,76} = -0,568 \qquad (26.22)$$

Wir sehen, dass die beiden statischen Uebertragungsfaktoren für diesen Brennstoff mit hohem Aschengehalt nicht stark voneinander abweichen. Wenn über die Grössenordnung der Störungen des Brennstoffstromes M_B und des Aschengehalts A nichts Genaueres bekannt ist, empfiehlt es sich deshalb, die Berechnung in erster Näherung unter der Annahme durchzuführen, dass allein Störungen des Brennstoffstromes auftreten. Zur weiteren Vereinfachung der Rechnung werden dann die beiden Störgrössen M_B und A in der einen Störgrösse M_{Bb} zusammengefasst, wie das in Abschnitt 2.6.2. gemacht wurde.

Unter diesen Annahmen erhalten wir mit (26.8), (26.9) und (26.22) einen Schätzungswert für die 95 % Vertrauensbreite des Luftfaktors $\Delta\lambda^* = \Delta\lambda/\lambda$ in Anlage 3:

$$V_{95}(\Delta\lambda^*) = 4 \cdot \left|K_{res}\right| \cdot \sigma(\Delta Q_B^*) = 0,109$$

mit $\left|K_{res}\right| = 0,725$

$$\sigma(\Delta Q_B^*) \approx \sigma(\Delta q_B^*) = \sigma(\Delta q_B) / \bar{q}_B$$

wobei $\sigma(\Delta q_B) = 4120 \text{ kcal/m}^2\text{h}$

$\bar{q}_B = 110\,000 \text{ kcal/m}^2\text{h}$

Die absolute Schwankungsbreite des Luftfaktors λ beträgt daher:

$$V_{95}(\Delta\lambda) = V_{95}(\Delta\lambda^*) \cdot \bar{\lambda} = 0,109 \cdot 1,26 = 0,137$$

wobei $\bar{\lambda}$: mittlerer Luftfaktor nach Brennkammer in Anlage 3.

Für Festlastbetrieb liegen somit die Schwankungen des Luftfaktors innerhalb der Grenzen

$$\underline{\lambda} = \bar{\lambda} \pm 2\sigma = \bar{\lambda} \pm \frac{1}{2} V_{95} = \underline{1{,}26 \pm 0{,}07}$$

Diese mit der indirekten Messmethode bestimmte Schwankungsbreite von λ stimmt recht gut mit den Erfahrungswerten, welche über Anlage 3 vorliegen, überein. Auf Grund mehrerer, zum Teil über längere Zeit durchgeführte Versuche, wurde festgestellt, dass bei Vollast mit einem Luftfaktor zwischen 1,08 und 1,12 gefahren werden könnte, wenn keine Verbraucherschwankungen auftreten.

In Abb. 26.3. ist der zeitliche Verlauf des Luftfaktors bei der normalen Betriebsweise mit $\bar{\lambda}$ = 1,26 und bei der im Festlastbetrieb möglichen Betriebsweise mit $\bar{\lambda}$ = 1,10 dargestellt.

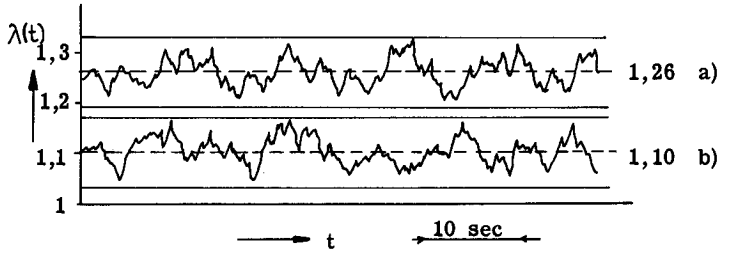

Abb. 26.3. Verlauf des Luftfaktors λ

a) im Normalbetrieb mit $\bar{\lambda}$ = 1,26

b) in der theoretisch möglichen Betriebsweise mit $\bar{\lambda}$ = 1,10, wenn keine Verbraucherschwankungen auftreten.