

Konkretisierung von Auswertekriterien zur Berechnung der Verbrennungseffektivität für den modernen Wohnungsbau

Concretisation of evaluation criteria for the calculation of the combustion efficiency for modern housing construction

Zehfuß, Jochen; Gößwein, Lukas

Abstract

The combustion efficiency χ is an essential factor for the determination of heat release rates and fire load densities. Neither EN 1991-1-2 (Eurocode 1 part 1-2) nor any other standard specifies a calculation method for χ . Therefore a literature study was carried out to gather different evaluation criteria. Experiments with everyday objects were performed on a laboratory scale (cone calorimeter) as well as on a real scale (using the hood of a room-corner test). The gathered evaluation criteria were used to determine combustion efficiencies and checked for their applicability. Finally, a recommendation regarding the choice of evaluation criteria and other methods for the calculation of combustion efficiency is given.

1. Einführung

Die Verbrennungseffektivität χ (kurz VE) ist wesentlicher, direkter Faktor zur Bestimmung der Wärmefreisetzungsrate und der Brandlastdichte bei Anwendung der Eurocode-Brandschutznachweise. Weder in EN 1991-1-2 (Eurocode 1 Teile 1-2), noch in anderen Normen wird ein Berechnungsverfahren für χ angegeben. Es wird lediglich ein fester Zahlenwert je Stoffgruppe (fest, flüssig, gasförmig) angegeben. Ziel dieses Forschungsvorhabens war, eine Empfehlung bezüglich der Wahl der Auswertekriterien zur Berechnung der Verbrennungseffektivität zu geben. Dafür wurden nach einer Literaturstudie Brandversuche im Labormaßstab (Cone-Kalorimeter) sowie Realmaßstab (Haube Room-Corner-Prüfstand) durchgeführt.

2. Auswertekriterien

Die Verbrennungseffektivität beschreibt i. A. das Verhältnis aus Wärmefreisetzungsrate (kurz HRR) zu Massenverlustrate (kurz MLR) und Heizwert H_i . Die Unterschiede der Kriterien liegen in den zeitlichen Bezügen der Eingangsparameter. Im Rahmen einer Literaturstudie mit Schwerpunkt auf Veröffentlichungen der letzten 10 Jahre wurden 13 unterschiedliche Auswertekriterien zusammengetragen. Nach einer ersten kritischen Bewertung wurden die 8 weitverbreitetsten und in der Praxis angewend-

baren Kriterien zur Anwendung für dieses Vorhaben ausgewählt: **EHC; FL; HRR,mean; HRR,10-90; HRR,...s; IGN; \dot{Q}_{max} ; \dot{m}_{max}** (vgl. Tabelle 2). Eine Besonderheit stellt das Kriterium FL (Englisch „Fuel Load“) dar. Bei diesem bleibt der Massenverlust infolge Verbrennung zu Gunsten der Probenmasse zu Versuchsbeginn unberücksichtigt:

$$\chi_{FL} = \frac{q}{H_i} = \frac{Q}{m_s \cdot H_i} \quad (1)$$

q	Brennstoffbeladung [kJ/kg]
H_i	Heizwert [kJ/kg]
Q	insgesamt freigesetzte Wärme [kJ]
m_s	Probenmasse Versuchsbeginn [kg]

Neben der Anwendung der ausgewählten Auswertekriterien wurden auch die VE aus den Mittelwerten mehrerer Kriterien gebildet. Ebenso wurde die VE in Abhängigkeit der Zeit bestimmt:

$$\chi(t) = \frac{\dot{Q}(t)}{\dot{m}(t) \cdot H_i} \quad (2)$$

$\dot{Q}(t)$	Wärmefreisetzungsrate [kW]
$\dot{m}(t)$	Massenverlustrate [kg/s]

3. Versuchsbeschreibung

Für die experimentellen Untersuchungen wurden acht Gegenstände und Materialien ausgewählt. Es handelte sich um Alltagsgegenstände (Bildschirm, Kleidung, Laptop, PUR-Matratze, Wasserkocher) sowie handelsüblichen Bodenbelägen (PVC-Boden, Polyester-Teppich, Laminat). In beiden Fällen lag der Fokus auf Produkten aus Kunststoff. Alle Proben wurden jeweils dreimal im Cone-Kalorimeter bei einer hohen und einer niedrigen Wärmestromdichte (kurz WSD) untersucht. Die Großversuche wurden im Realmaßstab unter der Haube des Room-Corner-Prüfstandes durchgeführt. Bei den Großversuchen erfolgte die Beflammung der Alltagsgegenstände direkt mittels eines Kiesbettbrenners. Die Bodenbeläge wurden indirekt mittels eines „Reflexionstisches“ beaufschlagt (Bild 1). Bei allen Versuchen im Klein- und Großmaßstab wurden die HRR sowie die MLR aufgezeichnet.

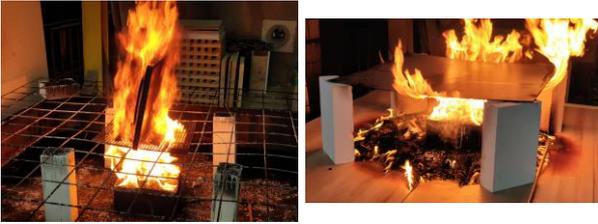


Bild 1 Versuchsanordnungen der Großversuche: links direkt beflammt, rechts indirekt beflammt

4. Versuchsergebnisse (Beispiel: Laptop)

Die aus dem Großversuch mit einem Laptop gewonnenen VE sind in Bild 2 dargestellt. Für die Kriterien EHC und Q_{max} konnten keine Werte zwischen Null und Eins berechnet werden. Die restlichen Auswertekriterien ergaben VE nahe 0,5.

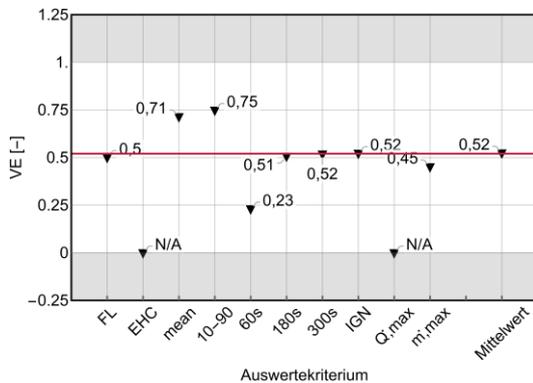


Bild 2 VE als Mittelwert aller Auswertekriterien zwischen Null und Eins (Großversuch, Laptop)

Bild 3 zeigt die Verläufe der Masse und der VE während des Laptop-Großversuchs. Sowohl der gleitende Durchschnitt (grün) als auch die lineare Trendlinie (rot) deuten auf eine zeitlich konstante VE von etwa 0,6 hin.

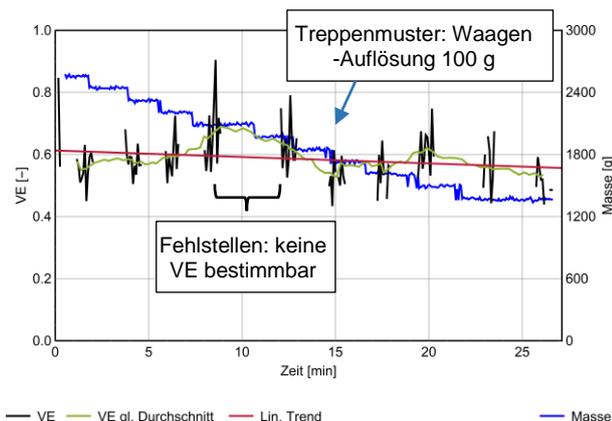


Bild 3 Verläufe der zeitabhängigen VE und der Masse (Großversuch, Laptop)

Tabelle 1 listet die VE, die mit dem Cone-Kalorimeter für den Laptop bestimmt werden konnten. Es werden die Mittelwerte aus vier Kriterien bei jeweils hoher bzw. niedriger WSD sowie der Gesamtmittelwert angegeben.

Tabelle 1 VE für Cone-Kalorimeter-Versuche; erste Zeile hohe WSD, zweite Zeile niedrige WSD

Verbrennungseffektivität [-]				
FL	EHC	HRR,mean	HRR,10-90	Mittelwert
0,26	1,16	0,76	0,80	0,75
0,24	1,01	0,70	0,80	0,69
Gesamtmittelwert: 0,72				

5. Fazit, Empfehlung von Auswertekriterien

Für einige Kriterien konnte keine VE zwischen Null und Eins bestimmt werden. Als Grund dafür konnte insbesondere das starke Oszillieren der MLR ausgemacht werden, das zu unrealistisch großen bzw. kleinen VE führte. Diese Schwierigkeiten konnte auch durch verschiedene Glättungsmethoden nur teilweise kompensiert werden.

Es zeigte sich, dass durch die Mittelwertbildung (rote Linie in Bild 2) eventuelle Ausreißer (nach oben: HRR,mean und HRR,10-90; nach unten: HRR,60s) eingefangen werden können. Eine Mittelwertbildung empfiehlt sich insbesondere bei Vorhandensein einer Vielzahl von Werten. Als ebenfalls sehr robust erwies sich das Kriterium FL aufgrund der beschriebenen Unabhängigkeit von der MLR.

Eine übersichtliche Empfehlung bezüglich der Auswahl von Auswertekriterien bzw. -methoden kann Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2 Empfehlung Auswertekriterien

Abkürzung	Auswertekriterium Beschreibung	Empfehlung
EHC	Eff. Verbrennungswärme	++
FL	Brennstoffbelastung	++
HRR,mean	HRR: Gesamtmittelwert, MLR: Mittelwert 10-90 % MV ⁽¹⁾	+
HRR,10-90	HRR und MLR: Mittelwert 10-90 % MV ⁽¹⁾	+
HRR,...s	Zündung bis 30/180/300 s	+
IGN	Entzündungszeitpunkt	o
Q_{max}	Zeitpunkt maximaler HRR	o
\dot{m}_{max}	Zeitpunkt maximaler MLR	o
Mittelwert mehrerer Kriterien		+
Zeitabhängige VE (Gleichung 2)		+

Bewertungsskala

- ++ sollte immer ausgewertet werden
- + kann ausgewertet werden
- o kann ausgewertet werden, stark abhängig von jeweiligen Randbedingungen
- ⁽¹⁾ MV = Massenverlust